Na rozkładówce

Postępy Astronomii

1/97

tom 45

styczeń - marzec

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

HST obserwuje galaktyki

41

W numerze:

- *Wszechświat Einsteina*
- *pożegnanie z IUE*
- *reguła Titiusa-Bodego*

Polska w kosmosie

esa

Integral

Gorąca plama na powierzchni Betelgezy

Andrea Dupree z Centrum Astrofizycznego w Cambridge oraz Roland Gilliland z Baltimore przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a uzyskali po raz pierwszy obraz powierzchni gwiazdy. Jest to obraz uzyskany drogą bezpośrednią, po prostu zdjęcie gwiazdy pokazujące jej „twarz". Wcześniej astronomowie uzyskiwali informację o powierzchni gwiazd skomplikowanymi technikami interferometrycznymi. Tą gwiazdą, której powierzchnię teraz trochę lepiej znamy, jest czerwony olbrzym Betelgeza – alfa Oriona. Obraz pokazuje wielką ultrafioletową atmosferę z tajemniczą gorącą plamą na monstrualnej powierzchni gwiazdy. Ta wielka jasna plama ma rozmiary co najmniej dziesięciokrotnie większe od rozmiarów Ziemi i temperaturę co najmniej o 2000 kelwinów wyższą od otaczającej ją powierzchni gwiazdy.

Autorzy odkrycia sugerują, że to całkowicie nowe zjawisko astrofizyczne może dotyczyć atmosfer wielu gwiazd. Niezbędne będą dalsze obserwacje, aby zrozumieć czy plama jest powiązana z wcześniej odkrytymi oscylacjami olbrzymów (Betelgeza pulsuje w okresie ok. 420 dni), czy jest wynikiem wyniesienia gorącej materii z wnętrza gwiazdy przez prądy konwektywne jej atmosfery i czy przemieszcza się na powierzchni gwiazdy w okowach jej potężnego pola magnetycznego?

Betelgeza jest tak wielka, że gdyby znalazła się na miejscu Słońca w Układzie Planetarnym, to jej zewnętrzna atmosfera sięgałaby poza orbitę Jowisza.

Zdjęcie zostało wykonane w świetle UV przy pomocy Kamery Słabych Obiektów HST w dniu 3 marca 1995 roku, ale publicznie przedstawione dopiero w 1996 roku. Na przytoczonej tu fotografii, obok samego obrazy gwiazdy pokazujemy jej położenie w gwiazdozbiorze Oriona i skalę rozmiarów.

014974/45

Drodzy Czytelnicy,

Pierwszy zeszyt „Postępów Astronomii" roku 1997 otwiera artykuł znakomitego kosmologa Księdza Profesora ***Michała Hellera****. „Einstein i Wszechświat" to bardzo ciekawy opis początków nowoczesnej kosmologii. Mam nadzieję, że Ksiądz Profesor będzie ten temat kontynuował w następnych zeszytach PA. O kosmologii piszemy jeszcze w dziale „Astronomia w szkole", pokazujemy też obrazy galaktyk na krańcach Wszechświata uzyskane Teleskopem Kosmicznym Hubble'a. Artykuł „Elementy kosmologii w szkole średniej" pióra Pana* ***Juliusza Domańskiego****, wieloletniego profesora fizyki i astronomii toruńskiego liceum im. Tadeusza Kościuszki, stanowi znakomity konspekt lekcji na ten temat. Oby tylko został w programach Polskich Szkół przewidziany czas na przeprowadzanie takich lekcji! Właśnie o problemach polskiej oświaty ten sam Autor pisze w krótkim felietonie „Quo vadis, Oświato" na stronie 47.*

Polska w Kosmosie! Profesorowie ***Bożena Czerny****,* ***Marek Sikora*** *i* ***Andrzej Zdziarski*** *z Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie przedstawiają (str. 10) satelitę INTEGRAL i udział Polski w tym międzynarodowym kosmicznym laboratorium astrofizyki promieniowania gamma. Życzymy, aby polscy specjaliści astrofizyki wysokich energii pokonali piętrzące się przed nimi trudności i aby ich ambitne plany zakończyły się pełnym sukcesem.*

W grudniu 1996 roku zakończył pracę satelita IUE. Ten niewielki aparat kosmiczny z teleskopem o średnicy zaledwie 45 cm okazał się jednym z najbardziej produktywnych instrumentów badawczych współczesnej astrofizyki obserwacyjnej. Krótką charakterystykę przyrządu i odkryć dokonanych przy jego pomocy przedstawia dr ***Krzysztof Rochowicz*** *z Torunia w artykule „Żegnaj IUE" na str. 19.*

Inny młody adept astronomii z Torunia, ***Wojciech Lewandowski*** *rozważa problem powstawania planet wokół pulsarów (str. 31). Mam nadzieję, że czytelników „Postępów Astronomii" ten problem szczególnie zainteresuje. Planety posłuszne są prawu - regule Titiusa-Boodego. Do dziś trwa spór o to, czy reguła ta to przypadek, czy konieczność. Po artykule Kazimierza Schillinga w PA z. 2/95, do tego tematu powracają panowie* ***Zbigniew Dworak*** *i* ***Marek Kopacz*** *z Krakowa (str. 37).*

Na naszą planetę spada każdego dnia wiele ton materii meteorytowej. Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię przed zderzeniami z większymi bryłami materii międzyplanetarnej, kometami i planetoidami? - zastanawia się w swym artykule profesor ***Alan W. Harris*** *z Laboratorium Napędów Odrzutowych (JPL) w Kalifornii. Niestety odpowiada przecząco, ale zapewne uznacie Państwo Jego wywód za ciekawy (str. 25).*

Tuż przed końcem roku 1996 odszedł od nas na zawsze znakomity astronom i popularyzator wiedzy o Kosmosie Profesor ***Carl Sagan****. Żegnamy Go przypominając Jego sylwetkę i dokonania w naszym „In Memoriam" (str. 40).*

*Jak zwykle obecne są działy „****Rozmaitości****" i „****HST obserwuje****". Na kolorowych stronach publikujemy piękne obrazy zarówno planet, supernowej w 10 lat po wybuchu, jak i odległych galaktyk, w których czasem udaje nam się dostrzec ślady niedawnych narodzin gwiazd. Piszemy również o postępach w budowie Bardzo Wielkiego Teleskopu VLT i nowo powołanym Centrum Astronomicznym w Toruniu.*

Więcej niż zwykle miejsca odstępujemy naszym Czytelnikom. W swych listach Autorzy poruszają głównie problem jakości polskojęzycznych wydawnictw popularnonaukowych i podręczników szkolnych. Niestety w ilości błędów i niedokładności nie ustępuje im też prasa, radio i telewizja. Będę wdzięczny Szanownym Czytelnikom za czujne słuchanie i czytanie, podchodzenie do podręczników z ograniczonym zaufaniem i przysyłanie informacji o zauważonych nieścisłościach. Zadbajmy wspólnie, by nie wypaczano obrazu Wszechświata.

Życzę przyjemnej i interesującej lektury

Toruń, w lutym 1997 roku.

Zmieniony cytat

Na naszym rynku wydawniczym ukazuje się prawdziwy zalew tytułów. Wśród nich jest niemało książek popularyzujących naukę. Ogromna większość tego zalewu słowa pisanego, to tłumaczenia z języków obcych. Niestety, jego wartość merytoryczna jest dość mizerna. Co gorzej, pod literaturę popularnonaukową nachalnie podszywa się mnóstwo pozycji z nauką nie mających nic wspólnego... Czytelnicy mający pewne rozeznanie w sprawach nauki są w stanie to dostrzec, ale większość czytających te „dzieła" po prostu wierzy w te horrendalne brednie jakie są w nich nader często wypisane.

Oczywiście ukazują się i pozycje nader wartościowe, ale nieraz po prostu giną w zalewie tandety.

Nie mam jednak zamiaru rozwodzenia się na ten temat na łamach „Postępów Astronomii". Chodzi mnie o pewną ściśle konkretną sprawę.

Przypadkowo wpadł w moje ręce piękny album dużego formatu pt. „Ludzie którzy zmienili świat" wydany przez Oficynę Wydawniczą MAK. Jest to tłumaczenie z języka niemieckiego i zawiera informacje o 50 największych postaciach w dziejach ludzkości. Książka napisana została przez kilku autorów. Kosztuje wcale nie mało – 50 zł – czyli kilkanaście procent renty przeciętnego emeryta. Co się za te pieniądze dostaje? Moim zdaniem dość banalne informacje na poziomie encyklopedyczno-podręcznikowym, ale jeżeli ktoś chce mieć taką „encyklopedię", to proszę bardzo...

Wśród omówionych postaci jest oczywiście Mikołaj Kopernik. Tekst na jego temat napisał Franz K. Theodor. Zaczyna się cytatem Marcina Lutra, który w brzmieniu autora () tekstu wygląda następująco: „Ten błazen chce mi wywrócić całą sztukę astronomii".

Otóż nie jestem ani „kopernikanistą", ani historykiem astronomii, ale z tego co na ten temat wiem, to Luter wyraził się trochę inaczej – „Ten głupi sarmacki filozof, chce mi wywrócić całą astronomię".

Zacząłem więc czytać uważnie dalej. Daty i fakty się zgadzają. Ale tego i owego brak... Gdzie leżał Toruń, Frombork, Lidzbark Warmiński, Olsztyn, ani słowa. No cóż, w niemieckim tekście nazwy te brzmią: Thorn, Frauenburg, Heilsberg, Allenstein, toteż niemieckiemu czytelnikowi objaśniać ich nie trzeba... O pobycie Kopernika w Olsztynie niewiele – przybył w 1516 r. – administrował dobrami kapituły – przebywał do 1521 r. Prawda. Ale warto może dodać, że pod koniec tego okresu była „jakaś wojna", że Kopernik aktywnie działał na rzecz obrony Zamku Olsztyńskiego (oczywiście nie jako żołnierz – Zamek miał dowódcę wojskowego, nawiasem mówiąc, rycerza czeskiego). Obrona była skuteczna i choć Krzyżacy zajęli prawie całą Warmię i Mazury, to jednak Zamku Olsztyńskiego nie zdobyli, co niewątpliwie odegrało istotną rolę jeżeli chodzi o ostateczny rezultat tej wojny. (Nastąpił on w 1525 r. Na Rynku w Krakowie, można to zobaczyć na obrazie Jana Matejki.)

Że nie był to błahy epizod w życiu Kopernika może świadczyć list jaki wysłał wtedy do Króla Polskiego z prośbą o pomoc. List ten znajduje się w archiwum Zakonu Krzyżackiego w Norymberdze. Dlaczego tam? Do króla nie dotarł – został przechwycony przez otaczających Zamek Krzyżaków.

Wśród ilustracji (bardzo dobrych!) jest też fotografia astrolabium, które rzekomo należało do Kopernika. Widać precyzyjny „płaski" instrument wykonany z brązu. Znowu coś się tu nie zgadza. O ile wiem, to Kopernik miał dość prymitywne przyrządy wykonane z drewna i żaden z nich się do dziś nie zachował (astrolabium było przy tym sferyczne). Zachował się tylko fragment refleksyjnego zegara słonecznego na ścianie krużganka na Zamku Olsztyńskim (!).

Ani słowa też o „Prawie Złego Pieniądza" sformułowanym przez Kopernika.

Czy jednak, biorąc pod uwagę genialność jego odkrycia astronomicznego, trzeba jeszcze wspominać o „jakimś tam prawie ekonomicznym"? Trzeba – bowiem to nie Anglik Gresham, ale właśnie Kopernik je sformułował...

Przeczytawszy artykuł o Koperniku spróbowałem dociec kto był konsultantem naukowym książki? Nie było żadnego. Był tylko redaktor wydania polskiego. (Musiałby jednak być „geniuszem", aby być kompetentnym w odniesieniu do 50 postaci...)

To też reguła.

Wydaje się tłumaczenia książek obcojęzycznych po prostu „na wiarę", że obcy autor prezentuje nam „prawdy absolutne". A tym czasem to wcale nie tak. Nieraz są to „półprawdy", „prawdy tendencyjne", a wcale nie rzadko bywa i tak, że obcy autor po prostu nie zna się na tym o czym pisze. Piękna szata graficzna kryje więc nieraz dość mierną treść merytoryczną.

Polska nie jest „dżunglą kulturalną". Są w naszym kraju kompetentni uczeni ze wszystkich dziedzin wiedzy. Jest więc kogo zapytać, czy wspaniale wydana książka autora zagranicznego rzeczywiście jest taka „wspaniała" jeżeli chodzi o jej wartość merytoryczną.

Można też uzupełnić tekst komentarzem polskiego specjalisty...

Fakt, że cenzura została zniesiona wcale nie oznacza, że można wydawać „wszystko co się tylko zechce". Wydawanie książek to nie „wolna amerykanka". Publikowanie złych tekstów wyrządza wielkie szkody kulturowe i wydawcy powinni o tym wiedzieć, nawet jeżeli motywem ludzkiego działania jest tylko zysk, jak to usiłują nam wmawiać niektórzy politycy.

dr A. Marks, Warszawa

Red. *Zgadzamy się w zupełności z Panem, że na rynku wydawniczym pojawiają się co jakiś czas pozycje literatury popularnonaukowej, które mogą wyrządzić więcej szkody niż pożytku. Podejrzewamy, że zniekształcony cytat jest efektem niekompetencji tłumacza. Prawdopodobnie w oryginale niemieckim znajduje się cytat oryginalny. Kojarzenie z Kopernikiem płaskiego astrolabium arabskiego to błąd często spotykany i należy go prostować.*

Bardzo poważnym problemem jest wydawanie na naszym rynku pozycji, które z założenia mają pełnić funkcję dydaktyczną – poszerzać i pogłębiać horyzonty wiedzy naszego społeczeństwa (zwłaszcza dzieci i młodzieży) – a w praktyce czynią coś wręcz odwrotnego! Przykładem takiej pozycji może być cieniutka książeczka pt. „Przestrzeń kosmiczna" wydana ostatnio nakładem Warszawskiego Domu Wydawniczego w serii „Pytania i odpowiedzi" (oryginał „500 Facts: Questions and Answers: Space", wydawnicto „Zigzag Publishing Ltd.") Seria została wydana w sporym nakładzie – można ją znaleźć w każdym kiosku – skierowana jest do najmłodszych czytelników, którzy bez zastrzeżeń chłoną podawane im fakty. A czego mogą się dowiedzieć ze wspomnianej książeczki? Np. że „wszystkie planety i gwiazdy w przestrzeni kosmicznej nazywamy Wszechświatem", że „atomy (...) zbite razem przez siłę przyciągania ziemskiego tworzą gwiazdy i planety", że „gdy Księżyc znajdzie się dokładnie między Ziemią a Słońcem, rzuca swój cień na Ziemię, zamieniając dzień w noc" (choć stwierdzenie to samo w sobie nie jest fałszem, to staje się bardzo niebezpieczne z tego powodu, iż w całej książeczce nie ma wyjaśnienia co jest prawdziwym powodem zjawiska dnia i nocy!). A co Państwo powiedzą na generalizujące stwierdzenie typu: „satelity są pojazdami kosmicznymi, które (...) przekazują sygnały telewizyjne, radiowe i telefoniczne na cały świat" (ciekawe na jakim programie nadaje HST? – a może to już nie satelita?), czy takie, że: „najmniejsza gwiazda jest nazywana białym karłem" (czym są więc gwiazdy neutronowe?). Określenia typu „około", „prawie", „ponad" przy podawaniu wartości liczbowych nie są tu używane (poza jednym przypadkiem podania wieku Wszechświata) w ogóle i tym sposobem np. „światło słoneczne potrzebuje ośmiu minut, aby dotrzeć do Ziemi". „Dokładnie" podana jest tu nawet temperatura wnętrza Słońca! O konsultancie naukowym ani redaktorze wydania żadnych informacji nie znaleźliśmy.

No cóż. Prawa wolnego rynku jednak obowiązują już w naszej rzeczywistości i musimy pogodzić się z obecnością na rynku pozycji różnego autoramentu – to cena pluralizmu i demokracji. Naszym obowiązkiem pozostaje informowanie Szanownych Czytelników o tym co wartościowe, a co jest „niebezpiecznym bublem". Wybór należy do klienta.

O innych tego typu „kwiatkach" pisze również nasz młody czytelnik z Krakowa.

(ciąg dalszy „listów" na st. 48)

OA 7977

F. 600/87

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA W TORUNIU

Postępy Astronomii

(PL ISSN 0032-5414)

są kwartalnikiem poświęconym popularyzacji astronomii. Pismo jest oficjalnym organem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, założonego w roku 1923. *POSTĘPY ASTRONOMII* ukazują się od 1953 roku, a od 1991 roku w zmienionej formie i nowej szacie graficznej.

Redaktor naczelny:
Andrzej Woszczyk (CA UMK Toruń)

Kolegium redakcyjne:
Roman Schreiber (CAMK Toruń)
Andrzej Sołtan (CAMK Warszawa)

Opracowanie graficzne i skład komputerowy:
Jacek Drążkowski

Korekta autorska

Redakcja w Toruniu:
ul. Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. (0-56) 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail adress):
aw@astri.uni.torun.pl

Redakcja w Warszawie:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Adres WWW:
http://postepy.camk.edu.pl

Druk:
Zakład Poligraficzno-Wydawniczy
POZKAL, Inowrocław,
ul. Cegielna 10/12

Dystrybucja:
Barbara Gertner, UMK,
ul. Chopina 12/18, 87-100 Toruń
tel. (0-56) 651-16-55
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

Numer zamknięto w lutym 1997 r.

*** Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca * Przedruk materiałów i zdjęć tylko za zgodą Redakcji * Opinie i poglądy formułowane przez Redakcję i autorów nie reprezentują oficjalnego stanowiska Towarzystwa ***

© POSTĘPY ASTRONOMII 1997

Materiały dotyczące wyników obserwacji Teleskopu Kosmicznego Hubble`a uzyskano dzięki uprzejmości doktora F. Duccio Macchetto, przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w *Space Telescope Science Institute* w Baltimore (USA)

W NUMERZE

4 **Einstein i Wszechświat** *Michał Heller*

Wszechświat to ogromna przestrzeń wypełniona galaktykami i czas płynący od Wielkiego Wybuchu do dziś, i jeszcze dalej ku nieznanej przyszłości. Nic nie stoi na przeszkodzie, by Wszechświat rozważać jako czasoprzestrzeń. A nawet okazuje się, że trzeba to robić, gdyż w przeciwnym razie pozostawalibyśmy bezsilni wobec złożoności problemu.

10 **Polska w kosmosie: INTEGRAL**
Bożena Czerny, Marek Sikora, Andrzej Zdziarski

W roku 2001 zostanie umieszczone na orbicie laboratorium do obserwacji w zakresie promieniowania gamma o nazwie INTEGRAL. Spodziewamy się, że uzyskane przezeń nowe dane obserwacyjne pozwolą rozstrzygnąć wiele kluczowych problemów dotyczących błysków gamma, aktywnych jąder galaktyk, supernowych i własności ośrodka międzygwiazdowego. W przygotowaniu tej misji bierze udział Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika oraz Centrum Badań Kosmicznych.

19 ***Żegnaj IUE!*** *Krzysztof Rochowicz*

Gdy w połowie lat 70-tych powstawała stosunkowo niewielka sonda do badań spektroskopowych w ultrafiolecie, jej czas pracy planowano na 3 lata. Optymiści liczyli na jego przedłużenie o rok lub nawet dwa. Nikt jednak nie przypuszczał, że satelita IUE dożyje niemal 20 lat, stając się jednym z najaktywniejszych obserwatoriów astronomicznych.

25 ***Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię przed zderzeniami z kometami i małymi planetoidami?*** *Alan W. Harris*

Niestety nie. Odkrywanie tych ciał jest zbyt drogie, a środek zaradczy – broń jądrowa utrzymywana w ciągłej gotowości – jest sam w sobie większym zagrożeniem.

30 **Powstawanie planet wokół pulsarów**
Wojciech Lewandowski

Czy planeta może przeżyć wybuch supernowej, i pozostać związaną z powstałą na skutek wybuchu gwiazdą neutronową? Czy planety muszą się tworzyć w otoczeniu pulsara, lub wcześniej pre-supernowej? A co z możliwością przechwytu przez gwiazdę neutronową jakiejś zabłąkanej w ogromie Wszechświata planety?

37 O regule Titiusa-Bodego inaczej
T. Zbigniew Dworak, Marek Kopacz

Kazimierz Schilling opisał historię Reguły (RT-B), jej warianty, a także wyjątki od niej i pewne osobliwości. Niemniej jednak pozostają jeszcze pewne kwestie wymagające wyjaśnienia bądź odmiennej interpretacji, ponieważ do dziś trwa spór, czy RT-B to przypadek, czy konieczność.

Teleskop Kosmiczny Hubble'a obserwuje
Gorąca plama na powierzchni Betelgezy (okł. II); Neptun; Burza piaskowa na Marsie (24, wkł. I); Galaktyki NGC 1365 i NGC 2366 (wkł. II-III); Galaktyka na horyzoncie Wszechświata (wkł. IV); Supernowa 1987A (okł. IV)

28 **rozmaitości** **ESO – prace nad VLT postępują**
40 **W kraju: Centrum Astronomiczne UMK**
40 **In memoriam: Carl E. Sagan (1934-1996)**
42 **Astronomia w szkole: Elementy kosmologii w szkole średniej**
47 **Felieton: Qvo vadis Oświato**
Fotoobserwacje (okł. III)

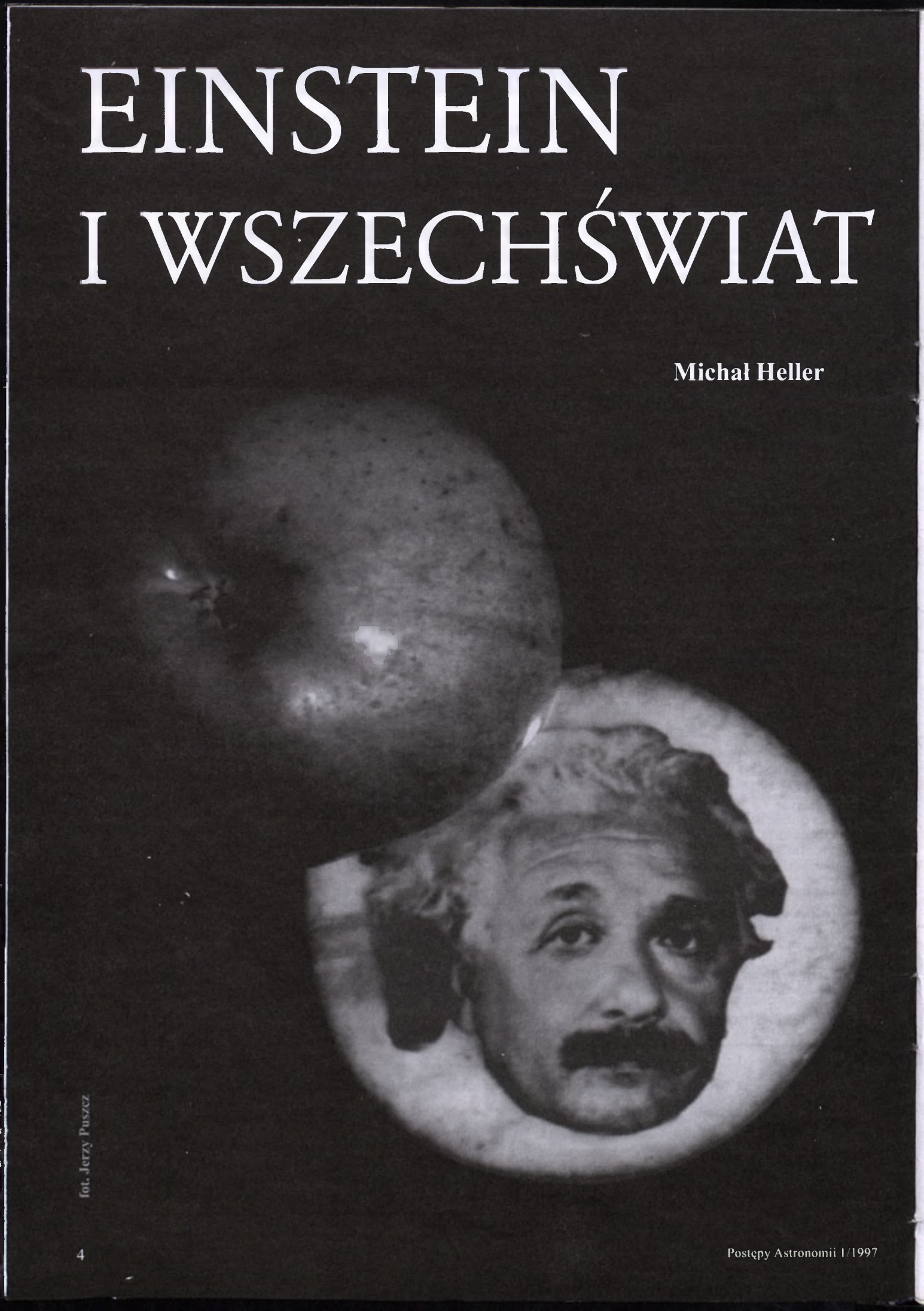
NA OKŁADCE

Galaktyka spiralna NGC 4639 wchodząca w skład gromady Virgo. Jest oddalona od nas o 78 mln. lat świetlnych. Błękitne punkty na jej peryferiach wskazują obecność młodych gwiazd. Wśród nich są cefeidy, które posłużyły swego czasu do określenia, po raz pierwszy w historii, odległości do galaktyki metodą zależności okres-jasność.

Zdjęcie uzyskane przy pomocy kamery WFPC2 Teleskopu Kosmicznego Hubble`a przez zespół Allana Sandage`a (Carnegie Obserwatories)

EINSTEIN I WSZECHŚWIAT

Michał Heller



fot. Jerzy Puszcz

CZASOPRZESTRZEŃ

Jest dzień 21 września 1908 r. Kolonia. Zebranie Towarzystwa Niemieckich Przyrodników i Lekarzy. Na mównicę wchodzi profesor matematyki Politechniki w Zurychu, Hermann Minkowski. Rozpoczyna swój wykład słowami: „Poglądy na temat przestrzeni i czasu, jakie pragnę państwu przedłożyć, wyrosły na glebie eksperymentalnej fizyki i na tym polega ich siła. Są to poglądy radykalne. Odtąd czas sam w sobie i przestrzeń sama w sobie są skazane na rozpłynięcie się w cieniach, a jedynie rodzaj ich zjednoczenia zachowa swoją niezależną realność".

Dalej nastąpił pełen „technicznych szczegółów" wykład o tym, że stworzona trzy lata przedtem przez Alberta Einsteina szczególna teoria względności zyskuje eleganckie geometryczne ujęcie, jeżeli zamiast rozważać oddzielnie czas i przestrzeń, połączymy je razem w jedno czterowymiarowe „kontinuum", zwane czasoprzestrzenią. Minkowski jednak nie uważał tego zabiegu tylko za sprawę elegancji. Jego zdaniem czas i przestrzeń naprawdę nie istnieją niezależnie od siebie, lecz są tak wzajemnie powiązane, że należy je uznać za jeden twór geometryczny.

Nie tak dawno temu Einstein był studentem Politechniki w Zurychu i uczęszczał na wykłady Minkowskiego, ale sławny matematyk nie zwrócił baczniejszej uwagi na średnio zdolnego studenta. Teraz role, w pewnym sensie, odwróciły się: to Minkowski dopracowywał teorię swojego ucznia, który okazał się geniuszem. Einstein początkowo sądził, że praca Minkowskiego nie wnosi nic istotnego do jego teorii, jest rzeczywiście tylko jej eleganckim ujęciem. Wkrótce jednak zmienił zdanie. Pracując nad swoją nową, ogólną teorią względności zrozumiał, że bez pojęcia czasoprzestrzeni nie byłby w stanie zrobić kroku naprzód.

Pojęcie czasoprzestrzeni nie było całkiem oryginalnym odkryciem Minkowskiego. Filozofowie od niepamiętnych czasów traktaty o czasie i przestrzeni umieszczali „obok siebie" i nieodmiennie podkreślali, że czas tylko pod dwoma względami różni się od przestrzeni: Po pierwsze, przestrzeń jest trójwymiarowa, a czas jednowymiarowy, tzn. w przestrzeni możemy poruszać się w trzech prostopadłych do siebie kierunkach, a w czasie tylko w jednym, „po linii" wcześniej-później. I po drugie, przestrzeń „stoi", a czas „płynie". W przestrzeni możemy poruszać się dowolnie „tam i z powrotem", a w czasie tylko z przeszłości w przyszłość, i to czy się nam to podoba, czy nie. Fizycy również od dawna zauważyli, że czas i przestrzeń w mechanice klasycznej odgrywają podobną rolę, a niektórzy (np. francuski uczony Lagrange) spostrzegli, że równania mechaniki wyglądają prościej, jeżeli czas potraktuje się jako „dodatkowy wymiar przestrzeni".

U schyłku XIX stulecia pojęcie czasoprzestrzeni zaczęło nawet stawać się modne. Niestety moda nie zawsze służy nauce. Tym razem reputacja nowego pojęcia została mocno nadwerężona. Niektórzy spirytyści, tzn. specjaliści od wywoływania duchów, zaczęli głosić, że duchy mieszkają w czwartym wymiarze i dlatego mogą nieoczekiwanie pojawiać się i znikać w naszym świecie. Znany jest przypadek całkiem niezłego astronoma, Johanna Zöllnera, który uległ tego rodzaju mistycyzmowi. Zwiedziony sztuczkami spirytysty, niejakiego Slade'a, napisał książkę pt. *Fizyka transcendentalna*, w której dawał wyraz swoim niekonwencjonalnym przekonaniom. Ale pojęcie wielowymiarowości torowało sobie drogę do nauki wbrew niezdrowym sensacjom. Już w 1884 r., a więc na długo przed Minkowskim i szczególną teorią względności, ukazała się urocza książka Edwina Abbotta zatytułowana *Flatland*, popularyzująca to pojęcie. Przygody Płaszczaka, należącego do kasty wieloboków, w zetknięciu z istotą z trójwymiarowego świata, były nie tylko ciętą krytyką stosunków panujących w wiktoriańskiej Anglii, lecz także poglądowym wprowadzeniem do geometrii wielowymiarowej. Potem Einstein często używał pomysłu płaszczaków w celu popularyzowania swojej teorii.

W pracy Minkowskiego nie było jednak żadnych niezdrowych sensacji. Może nie stało się tak, jak przypuszczał, że czas i przestrzeń, rozważane oddzielnie, odejdą do krainy cieni, ale z całą pewnością pojęcie czasoprzestrzeni za sprawą Minkowskiego zyskało trwałą pozycję w fizyce XX w. Co więcej, bez tego pojęcia fizyka współczesna byłaby uboższa o kilka bardzo ważnych teorii.

Pora przejść do wyjaśnienia samego pojęcia. W gruncie rzeczy jest ono bardzo proste, a fascynacja jego „tajemniczą niezrozumiałością" i oplatanie go sensacyjnymi historyjkami wynikało chyba z ludzkiej niechęci, by podjąć – niewielki zresztą – wysiłek zrozumienia nowego pojęcia. Spróbujmy teraz zdobyć się na odrobinę wysiłku.

Spójrzmy na róg stołu, przy którym – być może – czytamy ten artykuł. Jeżeli róg jest wystarczająco ostry, możemy go w przybliżeniu uznać za punkt. Ażeby opisać położenie tego punktu, musimy wybrać układ odniesienia. Niech nim będą dwie ściany naszego pokoju i podłoga. Jeśli ściany i podłoga spotykają się pod kątami prostokątnymi, mamy prostokątny układ odniesienia. Ażeby określić położenie punktu (róg stołu) względem tego układu odniesienia, wystarczy podać 3 liczby: odległość rogu stołu od dwu ścian i podłogi. Fakt, że wystarczą do tego celu 3 liczby, decyduje o tym, że przestrzeń jest trójwymiarowa. Przestrzeń jest to nic innego jak tylko zbiór wszystkich tego rodzaju punktów. Matematycy posuwają się jeszcze dalej: zapominają o wszystkich pomocniczych wyobrażeniach (w rodzaju rogu stołu) i utożsamiają punkt po prostu z trójką liczb, a przestrzeń ze zbiorem wszystkich tego rodzaju trójek liczb.

Natychmiast odnosimy korzyść z takiego postawienia sprawy. Zamiast trójek liczb można rozważać czwórki, piątki, szóstki, dziesiątki... liczb. W efekcie otrzymujemy przestrzenie 4-, 5-, 6-, 10-cio, a nawet dowolnie-wymiarowe. Wprawdzie trudno wyobrażać sobie wielowymiarowe przestrzenie, ale równania operują nimi bez najmniejszych trudności.

Pojęcie przestrzeni nie jest skomplikowanym pojęciem. Jesteśmy z nim zżyci od dziecka. Nauka uogólnia je tylko i wprowadza do niego nieco więcej ścisłości.

Przejdźmy teraz do pojęcia czaso-

przestrzeni. Tu odpowiednikiem punktu jest zdarzenie. Uderzam ołówkiem w róg stołu. W punkcie, w jakim znajduje się róg stołu, coś się zdarzyło. To właśnie jest zdarzenie. Jak je opisać za pomocą liczb? Chwila namysłu z pewnością podsunie nam właściwy pomysł. Jak opisać punkt (w którym coś się zdarzyło), już wiemy: wystarczą do tego celu 3 liczby. A jak opisać, że coś się tu w tej chwili zdarzyło (stuk ołówka)? Wystarczy do naszych trzech liczb dopisać jeszcze jedną liczbę – godzinę, w której ołówek uderzył w róg stołu.

Do tego więc, by zlokalizować zdarzenie, wystarczą 4 liczby: jedna z nich określa czas, w którym coś się zdarzyło, trzy pozostałe – punkt, w którym to coś miało miejsce. Zbiór wszystkich tego rodzaju zdarzeń nazywa się czasoprzestrzenią. Ponieważ do zidentyfikowania zdarzenia w czasoprzestrzeni wystarczą 4 liczby, czasoprzestrzeń jest czterowymiarowa.

Jak widzimy, nie ma tu ani nic tajemniczego, ani niejasnego. Pojęcie czasoprzestrzeni jest tak przejrzyste, jak cała fizyka. I idzie tylko o to, że trzeba się zdobyć na odrobinę myślowego wysiłku, by tę przejrzystość dostrzec.

Rys. Jerzy Puszcz

Jak często mówimy, przestrzeń „stoi w miejscu", a czas płynie. Ten efekt płynięcia czasu utrudnia (ale nie uniemożliwia) jego matematyczną analizę. I tu właśnie pojawiają się korzyści z wprowadzenia pojęcia czasoprzestrzeni. Dzięki swojemu zjednoczeniu z przestrzenią czas staje się podobny do przestrzeni, niejako „zatrzymuje się". Płynąca w czasie historia staje się krzywą w czasoprzestrzeni, a krzywe można badać metodami dobrze znanymi w geometrii.

Na tym właśnie polegała ważność pracy Minkowskiego. W jego ujęciu matematycznie skomplikowana szczególna teoria względności stała się geometrycznie przejrzysta i niejako gotowa do dalszych uogólnień.

Wszechświat to ogromna przestrzeń wypełniona galaktykami i czas płynący od Wielkiego Wybuchu do dziś, i jeszcze dalej ku nieznanej przyszłości. Nic nie stoi na przeszkodzie, by Wszechświat rozważać jako czasoprzestrzeń. A nawet okazuje się, że trzeba to robić, gdyż w przeciwnym razie pozostawalibyśmy bezsilni wobec złożoności problemu.

TRUDNA DROGA EINSTEINA

Szczególna teoria względności zrewolucjonizowała poglądy fizyków na czas i przestrzeń. Spory wokół niej jeszcze nie wygasły, filozofowie wciąż jeszcze kruszyli kopie o to, jak tę teorię należy rozumieć, a Einstein już zaczął myśleć o nowej teorii. Czas i przestrzeń (czy też lepiej – czasoprzestrzeń) są tylko sceną, na której rozgrywają się procesy fizyczne, ale szczególna teoria względności niczego o tych procesach nie mówi. Nie jest więc teorią pełną. Trzeba wprowadzić na scenę aktorów, wypełnić czasoprzestrzeń fizycznymi procesami; trzeba zatem przejść od szczególnej do ogólnej teorii względności.

Einstein od początku zdawał sobie sprawę z tego, że ogólna teoria względności musi być teorią grawitacji. Nie tylko z tej racji, że każdy kawałek materii, wprowadzony na scenę czasoprzestrzeni, wytwarza pole grawitacyjne, lecz również dlatego, że grawitacja jest niemal tak powszechna jak czas i przestrzeń. Nie da się niczym „wygasić" grawitacji (tak jak to można zrobić z polem elektromagnetycznym); przenika ona wszystko i kształtuje strukturę Wszechświata. Posłuszne są jej ruchy planet i gwiazd, ona nadaje kształty galaktykom i ich gromadom.

Oczywiście istnieje teoria grawitacji Newtona i spisuje się ona całkiem dobrze. Ale od dawna znane było niewielkie odchylenie od jej przewidywań. Już w XIX w. wiedziano, że planeta Merkury – najbliższa Słońcu, a więc znajdująca się w silniejszym polu grawitacyjnym niż inne planety – nie porusza się dokładnie tak, jak jej nakazuje prawo Newtona. Ale Einstein kierował się przede wszystkim racjami teoretycznymi. Zdawał sobie sprawę z tego, że teoria powszechnego ciążenia stworzona przez Newtona jest niezgodna z podstawowymi założeniami szczególnej teorii względności i dlatego poszukiwał nowej teorii.

Sprawa nie była łatwa. Najpierw Einstein zastanawiał się nad pojęciowymi podstawami nowej teorii. I tu właśnie docenił pracę Minkowskiego. Zrozumiał, że bez pojęcia czasoprzestrzeni daleko nie zajdzie. Proste przykłady, jakie rozważał, podsunęły mu myśl, że cała sprawa jest związana z geometrią czasoprzestrzeni. W szczególnej teorii względności czasoprzestrzeń jest płaska; wszystko wskazywało na to, że grawitacja winna zakrzywiać czasoprzestrzeń. Ale jak to można przedstawić matematycznie?

Koleje losu rzuciły Einsteina do Pragi, ale po kilku latach mógł z powrotem powrócić do Zurychu. W pierwszych dniach swojego ponownego pobytu w tym mieście przypadkiem spotkał dawnego kolegę, teraz matematyka, Marcela Grossmanna. Opowiedział mu o swoich problemach. Grossmann pogrzebał w bibliotece i podczas kolejnego spotkania z Einsteinem powiedział mu, że powinien przestudiować prace Riemanna, Ricciego i Levi-Civity. I Einstein, przy pomocy swojego przyjaciela, zabrał się do nauki.

W naszym opowiadaniu musimy cofnąć się aż do roku 1854, kiedy to Bernhard Riemann, obejmując katedrę matematyki na uniwersytecie w Getyndze, wygłosił swój sławny wykład habilitacyjny, zatytułowany *O hipote-*

zach, które leżą u podstaw geometrii. Wykład ten stworzył podwaliny nowoczesnej geometrii. Riemann wprowadził w nim pojęcie przestrzeni wielowymiarowych, uogólnił odkryte uprzednio przez Łobaczewskiego, Gaussa i Bolyay'a geometrie nieeuklidesowe i – przede wszystkim – samo pojęcie przestrzeni pojął tak szeroko, że mogło się ono nadawać do wielu rozlicznych zastosowań. Geometrię Riemanna rozwijali inni, wśród nich dwaj włoscy matematycy: Ricci i Levi-Civita. Teraz Einstein musiał się tego wszystkiego nauczyć.

Droga nie była łatwa, ale przy pomocy nowego aparatu matematycznego Einstein coraz dokładniej rozumiał, że związek pola grawitacyjnego z czasoprzestrzenią jest bardzo intymny. Znacznie rzecz upraszczając, można powiedzieć, że czasoprzestrzeń bez ciał materialnych jest płaska i podlega geometrii Euklidesa (ściślej – Minkowskiego). Gdy w czasoprzestrzeni pojawiają się ciała, zakrzywiają ją; czasoprzestrzeń już nie rządzi się prawami Euklidesa lecz prawami Riemanna. Jabłko spada na Ziemię, ponieważ w pobliżu Ziemi czasoprzestrzeń jest zakrzywiona, a jabłko wybiera „najprostszą krzywą" w tej zakrzywionej czasoprzestrzeni.

Mieć właściwą ideę – to jedna rzecz, ale umieć ją wyrazić w równaniach to druga rzecz. I tu Einstein miał spore trudności. Upłynęło już kilka lat od spotkania z Grossmannem, a ciągle jeszcze nie było widać rozwiązania.

W międzyczasie wiele zmieniło się w życiu Einsteina. Został on członkiem Pruskiej Akademii Nauk i przeniósł się do Berlina. Mógł teraz cały swój czas poświęcić nauce. Trzeba przyznać – pracował morderczo. Jesienią 1915 r. nastąpiło przesilenie. Einstein, niemal u kresu sił, był już bardzo blisko swojego celu.

Zebrania Pruskiej Akademii Nauk odbywały się w czwartki. W trzy kolejne czwartki: 4, 11 i 18 listopada Einstein przedstawiał zebranym kolejne wersje swoich równań. Ciekawe, czy ktokolwiek z obecnych był w stanie zrozumieć, o co właściwie chodzi? Równania Einsteina były już prawie dobre, już można z nich było wyliczyć poprawny tor Merkurego (z czym, jak pamiętamy, nie mogła sobie poradzić teoria grawitacji Newtona), ale Einstein ciągle jeszcze widział pewne braki.

Aż wreszcie nadszedł kolejny czwartek – 25 listopada 1915 r. Ostatnie pociągnięcie pióra. Wreszcie jest tak, jak trzeba. Równania fizyki matematycznej mają to do siebie, że są niezwykle piękne. Dobry fizyk – a co dopiero fizyk miary Einsteina – jest szczególnie wyczulony na to piękno i właśnie dlatego Einstein wiedział, że znalazł to, czego szukał.

W ten sposób ujrzały światło dzienne Einsteinowskie równania pola grawitacyjnego lub równania pola – jak się je krótko nazywa. Narodziła się ogólna teoria względności.

Ale piękno równań nie wystarczy. W fizyce równania muszą być jeszcze prawdziwe, tzn. muszą poprawnie opisywać rzeczywisty świat, a o tym możemy się przekonać jedynie za pomocą doświadczenia. Gdy Einstein, w listopadzie 1915 r., wyliczył ze swoich równań poprawny tor Merkurego, natychmiast porównał je z wynikami astronomicznych obserwacji. Okazało się, że nowa teoria zgadza się z doświadczeniem. Po latach Einstein przyznał się, że gdy to stwierdził, dostał palpitacji serca, a jego biograf przypuszcza, że było to najsilniejsze przeżycie w całym naukowym życiu Einsteina.

Tak więc Einstein już wiedział, że jego nowa teoria jest prawdziwa. Teraz należało o tym przekonać cały naukowy świat.

EINSTEIN I FILOZOFIA

Dzieje naukowej teorii nie kończą się lecz zaczynają z chwilą jej powstania. Równania fizycznej teorii są mądrzejsze od tych, co je odkryli. Często zawierają w sobie treść, której – na ogół – ich odkrywcy nawet nie podejrzewali. Zwykle dopiero pokolenia następnych badaczy odkodowują informacje zaszyfrowane w dawno znanych równaniach. Jak to się dzieje, że trafnie odgadnięte równania wiedzą tyle o budowie świata? – jest zapewne największą tajemnicą naukowej metody.

Einstein nie spoczął na laurach. Mając do dyspozycji swoje równania, przystąpił do dalszej pracy. Nie przypadkiem myśl jego skierowała się w stronę Wszechświata w jego największej skali, czyli w stronę rozważań kosmologicznych.

Einstein oczywiście doskonale wiedział o kłopotach, jakie Newtonowska teoria grawitacji miała z zagadnieniem kosmologicznym. Jak to się dzieje, że Wszechświat pod wpływem własnej grawitacji nie zapada się do postaci jednej sferycznej masy? Jeżeli Wszechświat jest nieskończony, a materia zawarta w nim jest rozpostarta w przestrzeni doskonale równomiernie, to Wszechświat nie musi zapaść się do postaci jednej sferycznej masy, ale taka konfiguracja (równomierne rozłożenie materii) jest niesłychanie mało prawdopodobna – jakby ktoś usiłował postawić tysiąc igieł ostrzami na powierzchni lustra, jak to obrazowo określił Newton w liście do Bentley'a. Ponieważ problem ten powróci jeszcze wielokrotnie w historii kosmologii XX wieku, nazwijmy go paradoksem Newtona-Bentley'a.

A jakie perspektywy pod tym względem stwarza nowa teoria grawitacji – ogólna teoria względności? Było rzeczą naturalną, że Einstein postanowił zmierzyć się z tym zagadnieniem.

Istniał także i inny powód zwrócenia się Einsteina w stronę rozważań o Wszechświecie. Jeszcze za studenckich lat Einstein rozczytywał się w książce znanego fizyka i filozofa, Ernesta Macha pt. *Historia mechaniki.* Książka ta dostarczyła Einsteinowi wiele cennych inspiracji. Niektóre przemyślenia Einsteina na marginesie lektury Macha sięgały dawnego – bo rozgrywającego się w XVII w. – sporu pomiędzy Newtonem a Leibnizem. Spór dotyczył przestrzeni i czasu. Newton uważał, że czas i przestrzeń istnieją absolutnie, tzn. zupełnie niezależnie od tego, co się w czasie i przestrzeni dzieje. Gdyby z Wszechświata usunąć wszystkie zjawiska i całą materię, pozostałyby pusty czas i pusta przestrzeń, jakby scena, na której nie ma ani dekoracji, ani aktorów. Leibniz, wielki filozof i matematyk tamtych czasów, uważał przeciwnie, że czas i przestrzeń ściśle zależą od tego, co się w nich dzieje; są one niczym innym, jak tylko pewnego rodzaju uporządkowaniem zdarzeń dziejących się we Wszechświecie. Gdyby z Wszech-

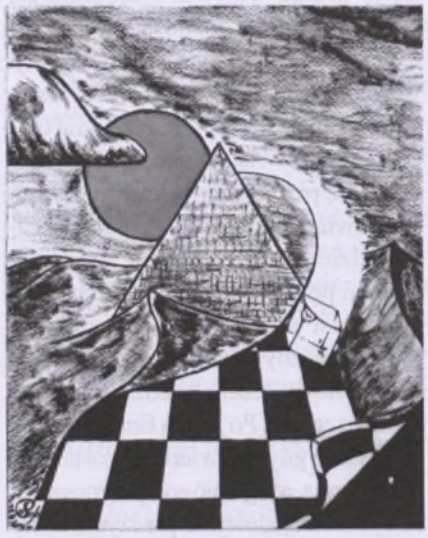
świata usunąć całą materię i wszystkie zdarzenia, nie pozostałoby nic, nawet czas i przestrzeń.

Mach poparł stanowisko Leibniza, a nawet jeszcze bardziej je zradykalizował. Uważał on bowiem, że czas i przestrzeń w ogóle nie odgrywają żadnej roli w mechanice klasycznej, można by się bez nich doskonale obejść. Rolę swojego rodzaju tła czy sceny, jaką Newton przypisywał czasowi i przestrzeni w swojej mechanice, doskonale – zdaniem Macha – mogą spełniać wszystkie masy obecne we Wszechświecie. Co więcej, masy wszystkich ciał – gwiazd, galaktyk, gromad galaktyk – obecnych we Wszechświecie, są nie tylko biernym tłem, lecz spełniają również funkcje dynamiczne. Trzymam w ręku ołówek. Jest to ciało obdarzone pewną masą. W fizyce Newtona masa ołówka była własnością samego ołówka i nie zależała od niczego innego. Mach natomiast utrzymywał, że masa ołówka jest określona przez masy wszystkich innych mas we Wszechświecie. Gdyby masy wszystkich innych ciał we Wszechświecie były inne, lub gdyby je poprzestawiać, masa tego ołówka uległaby zmianie. Gdyby nagle zniknęły wszystkie inne masy we Wszechświecie i pozostałby tylko ołówek, jego masa byłaby nieokreślona lub równałaby się zeru.

Einsteinowi podobała się ta koncepcja, nazywał ją *zasadą Macha*. Chęć stworzenia takiej teorii, w której zasada Macha byłaby urzeczywistniona, stanowiła jeden z głównych motywów jego pracy nad ogólną teorią względności. Teraz, gdy teoria była już gotowa, należało sprawdzić, czy zasada Macha w niej obowiązuje. Trzeba więc skonstruować model Wszechświata i zobaczyć, czy w nim masa „ciała próbnego" (np. ołówka) jest określona przez wszystkie inne masy we Wszechświecie, czy nie.

Zainteresowania Einsteina filozofią sięgały jeszcze dalej. Przez całe swoje życie był on zafascynowany filozofią Spinozy. Baruch Spinoza żył w XVII w. Najbardziej charakterystyczną cechą jego myśli był panteizm, czyli przekonanie, że świat i Bóg są czymś jednym. Pogląd taki był bliski Einsteinowi, który sądził, że prawa przyrody są przejawem działania Boga. Prawa przyrody wyrażają się w postaci matematycznej; matematyka z kolei wyraża konieczne, odwieczne związki, które – według intuicji Einsteina – są po prostu myślami Boga. Tak rozumiane prawa przyrody wyjaśniają się same przez się, ponieważ są myślami Boga, a tych nie można wyjaśnić, odwołując się do czegoś poza Bogiem. A zatem Wszechświat jako całość i rządzące nim prawa powinny stanowić logiczną, zamkniętą w sobie całość. Żeby wyjaśnić Wszechświat, nie trzeba wychodzić poza Wszechświat.

Były to intuicje filozoficzne, ale



Rys. Jerzy Puszcz

skłaniały one Einsteina do zajęcia się kosmologią, do próby skonstruowania takiego modelu Wszechświata, który byłby logicznie zwarty i wyjaśniający sam siebie. Próba ambitna. Być może za ambitna, nawet dla Einsteina. Jak zobaczymy, skonstruowany przez niego pierwszy model kosmologiczny nowoczesnej kosmologii nie tylko nie rozwiązał wszystkich zagadnień dotyczących struktury Wszechświata, lecz postawił wiele nowych problemów. Geniusze mają to do siebie, że nie zamykają historii nauki, lecz nadają jej większe przyspieszenie.

I jeszcze jedna uwaga. Gdy to wszystko się działo, gdy myśli rzucone kiedyś przez Leibniza, Macha, Spinozę kiełkowały w głowie Einsteina i prowadziły go do nowych prac, znaczących kolejne etapy rozwoju XX-wiecznej nauki, w świecie rosła fala antyfilozoficznych tendencji. Wkrótce miała ona wydać kierunek, zwany neopozytywizmem, który ogłosi światu, że filozofia jest raz na zawsze zamkniętą sferą działalności człowieka i że od teraz będą się liczyć tylko suche, ponad wszelką wątpliwość doświadczalnie stwierdzone fakty a nie jałowe spekulacje myślowe.

Gdy Einstein ok. 1905 r. tworzył szczególną teorię względności, był dosyć bliski tego typu poglądom, ale już po stworzeniu ogólnej teorii względności spostrzegł, że gdyby pozostał im wierny, nie zaszedłby daleko. Do końca życia Einstein był zdecydowanym przeciwnikiem pozytywizmu, który uważał za doktryną jałową. Niekiedy narażał się przez to na ironiczne uśmieszki swoich uczonych kolegów. Dziś wiemy, jak bardzo i pod tym względem Einstein miał rację. Neopozytywizm jest już obecnie doktryną z podręczników filozofii, a stworzona przez Einsteina kosmologia – nauka o Wszechświecie w jego największej skali – nadal pomyślnie się rozwija.

WSZECHŚWIAT EINSTEINA

Czas przyjrzeć się nieco dokładniej pierwszemu modelowi kosmologicznemu zbudowanemu przez Einsteina. Punktem wyjścia są równania pola grawitacyjnego ogólnej teorii względności. Jak pamiętamy, równania te przedstawiają pole grawitacyjne jako zakrzywienie czasoprzestrzeni. Słońce wytwarza pole grawitacyjne, tzn. wokół Słońca zakrzywiona jest czasoprzestrzeń. Zagadnienie kosmologiczne polega na tym, by odpowiedzieć na pytanie: w jaki sposób wszystkie ciała obecne we Wszechświecie, zakrzywiają czasoprzestrzeń Wszechświata? Idzie więc nie o zakrzywienie czasoprzestrzeni, jakie powoduje Słońce, czy jakieś inne ciało niebieskie, lecz o średnie zakrzywienie pochodzące od wszystkich mas obecnych we Wszechświecie, czyli o globalną geometrię Wszechświata.

Chcąc odpowiedzieć na to pytanie, Einstein musiał przyjąć kilka upraszczających założeń. Najważniejsze z nich głosiło, że gwiazdy średnio jednakowo gęsto wypełniają całą przstrzeń Wszechświata. Zbiorowisko gwiazd można więc opisać jako swojego rodzaju pył – każda gwiazda jest

cząstką pyłu. Pył ten jest jednostajnie rozpostarty w przestrzeni.

Zauważmy, że Einstein nie wiedział jeszcze, o tym, że gwiazdy grupują się w galaktyki (astronomowie ustalą to ponad wszelką wątpliwość dopiero kilka lat po pracy Einsteina), a galaktyki w gromady galaktyk (to ustalono znacznie później). Ale ten brak nie niszczy wartości pracy Einsteina. Jeżeli wszędzie, gdzie Einstein mówi o gwiazdach, będziemy myśleć o gromadach galaktyk, jego praca zachowa swoją ważność. A więc taki „pył gwiazd", czy raczej „pył gromad galaktyk" jest w przybliżeniu rozpostarty jednostajnie i dzięki temu stosunkowo łatwo opisać go matematycznie.

Ważne jest tu założenie, że ten pył jest rozpostarty w przestrzeni równomiernie, tzn. nie ma w przestrzeni żadnych wyróżnionych punktów, ani żadnych wyróżnionych kierunków. Potem kosmologowie nazwą to założenie *zasadą kosmologiczną*. To ona właśnie sprawia, że trudne równania Einsteina redukują się do jednego, stosunkowo prostego równania. Teraz trzeba to równanie rozwiązać.

Równania tego typu, jakie Einstein miał przed sobą (równania różniczkowe), mają zwykle bardzo wiele możliwych rozwiązań i by zidentyfikować rozwiązanie właściwe dla danego zagadnienia, trzeba przyjąć pewne nowe założenia, które mówią, jak układ zachowuje się na swoich brzegach (tzw. warunki brzegowe). Np. gdy rozważamy pole grawitacyjne pochodzące od jednej gwiazdy, to możemy przyjąć, że „na brzegu", tzn. dowolnie daleko od gwiazdy, pole grawitacyjne jest tak słabe, że możemy je zaniedbać. Ale co przyjąć jako warunek brzegowy dla Wszechświata? Jeżeli Wszechświat rozciąga się w nieskończoność, to czy w ogóle można mówić o jego brzegach? A jeżeli Wszechświat jest skończony, to co istnieje poza nim? Jeżeli ktoś stanie na brzegu Wszechświata i wyciągnie rękę, to gdzie się jego ręka znajduje?

Einstein spostrzegł wyjście z tego dylematu. Przestrzeń Wszechświata może być zakrzywiona tak jak powierzchnia kuli. Dwuwymiarowa istota (płaszczak), podróżując po powierzchni kuli ciągle przed siebie, po pewnym (skończonym) czasie wróci do punktu wyjścia, nie napotykając na żadne brzegi. Nie może ona także wyciągnąć ręki poza kulę, bo w tym celu musiałby podnieść rękę, odrywając ją od powierzchni kuli, czyli musiałby sięgnąć do trzeciego wymiaru, a jako istota dwuwymiarowa nie może tego zrobić.

My jesteśmy „trójwymiarowymi płaszczakami", czyli „objętościakami". Wedle Einsteina przestrzeń naszego Wszechświata jest zakrzywiona w taki sposób, że podróżując ciągle przed siebie, po skończonym czasie wrócimy do punktu wyjścia. Nie możemy wyciągnąć ręki poza przestrzeń, bo wyciągnięta ręka zakrzywia się razem z przestrzenią. By wyjść poza przestrzeń, musielibyśmy sięgnąć do dodatkowego wymiaru a taki wymiar jest dla nas niedostępny. Einstein mawiał, że jego model przedstawia Wszechświat „skończony ale nieograniczony". Skończony, bo jego objętość – podobnie jak objętość powierzchni kuli – jest skończona, ale nieograniczony, bo podróżując po nim nigdzie nie napotkamy na brzegi czyli granice.

Są już zatem równania i są warunki brzegowe, które głoszą, że przestrzeń Wszechświata nie ma brzegów podobnie jak powierzchnia kuli. Można więc przystąpić do rozwiązywania równań.

I tu dał o sobie znać paradoks Newtona-Bentley'a. Pył, wypełniający jednostajnie model Einsteina, nie może się utrzymać w bezruchu. Pod wpływem swojego własnego pola grawitacyjnego cząstki pyłu wykazują tendencję bądź do rozbiegania się, bądź do zapadania się.

Einstein był zbulwersowany. Cóż może być bardziej stabilnego niż Wszechświat? Czyżby kłopoty kosmologii Newtonowskiej prześladowały także nową teorię? Pojawiła się wszakże pewna możliwość. Einstein spostrzegł, że jeżeli dodać do równań nowy człon (w którym występuje nowa stała, nazwana przez Einsteina *stałą kosmologiczną*, oznaczana tradycyjnie grecką literą lambda), to model kosmologiczny można ustabilizować.

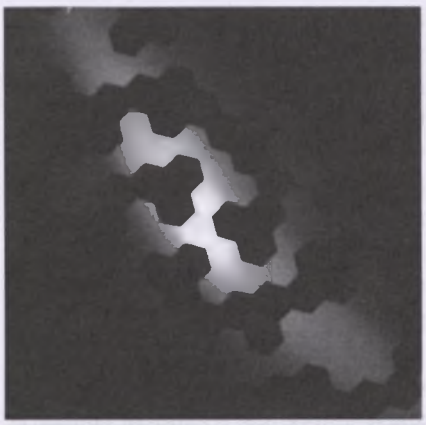
Einstein nie wiedział wówczas jeszcze, że już od kilku lat astronomowie mierzą przesunięcie ku czerwieni w widmach galaktyk. Dopiero za ponad dziesięć lat Hubble odkryje swoje prawo i ustali, że Wszechświat się rozszerza. Równania Einsteina wiedziały to już teraz. Ale sam Einstein bardziej wierzył swojemu rozsądkowi niż równaniom, dodał więc do równań człon ze stałą kosmologiczną i uzyskał statyczny (tzn. ani nie kurczący się, ani nie rozszerzający się) model Wszechświata.

Pamiętamy zasadę Macha: masa ciała nie jest jego „wewnętrzną" własnością, lecz jest wynikiem oddziaływania tego ciała ze wszystkimi innymi masami we Wszechświecie. Czy zasada ta jest spełniona w modelu Einsteina? Einstein wykonał następujący eksperyment myślowy: Załóżmy, że we Wszechświecie nie ma mas, tzn. że w modelu gęstość materii wszędzie równa się zeru. Einstein przyrównał odpowiednią wielkość do zera i stwierdził, że nie istnieją wówczas rozwiązania, a więc żadne lokalne własności ciał nie są wówczas określone. Mamy więc jedno rozwiązanie z materią, a bez materii nie ma rozwiązania. Einstein uznał to za spełnienie zasady Macha. Cel jego zamierzeń został osiągnięty. Tak przynajmniej Einstein sądził w 1917 r. Ale mylił się i już wkrótce miał się o tym przekonać.

Za kilka miesięcy holenderski uczony, Wilhelm de Sitter, znalazł drugie rozwiązanie kosmologicznych równań Einsteina. Co więcej, jakby na złość Einsteinowi, rozwiązanie to przedstawiało Wszechświat z gęstością materii równą zeru. Zasada Macha nie została więc wcielona do równań Einsteina. Pusty świat de Sittera, mimo że pusty, posiada jednak ściśle określoną strukturę.

Młoda kosmologia musiała stawiać czoła paradoksom. Ale są paradoksy oznaczające kryzys i paradoksy sygnalizujące okres wzrostu. Paradoksy młodej kosmologii były zapowiedzią jej przyszłych sukcesów.

Ks. Prof. Michał Heller jest znakomitym kosmologiem i autorem wielu książek o narodzinach i rozwoju Wszechświata, wykładowcą na Wydziale Filozofii Papieskiej Akademii Teologicznej w Krakowie oraz członkiem Papieskiej Akademii Nauk.



Polska w kosmosie:

INTEGRAL

B. Czerny, M. Sikora, A. Zdziarski

W roku 2001 zostanie umieszczone na orbicie laboratorium do obserwacji w zakresie promieniowania gamma o nazwie INTEGRAL – International Gamma-Ray Astrophysics Laboratory. Spodziewamy się, że uzyskane przezeń nowe dane obserwacyjne pozwolą rozstrzygnąć wiele kluczowych problemów dotyczących błysków gamma, aktywnych jąder galaktyk, supernowych i własności ośrodka międzygwiazdowego. W przygotowaniu tej misji bierze udział Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika oraz Centrum Badań Kosmicznych.

1. Astronomia w zakresie promieniowania gamma

Promieniowanie gamma stanowi najbardziej energetyczny zakres promieniowania elektromagnetycznego. Wysokie energie fotonów i ich wysoka przenikliwość sprawiają, że niosą one informację z krańca obserwowalnego Wszechświata, z wnętrz kwazarów i innych aktywnych galaktyk, a także z niemal wszystkich bliższych, dramatycznie zmiennych i egzotycznych obiektów na niebie, jak galaktyczne czarne dziury.

Rozwój astronomii gamma, zapoczątkowany pod koniec lat 60-tych uległ w ciągu ostatnich kilku lat wyjątkowemu przyspieszeniu. Poprzednie misje kosmiczne przyniosły zagadkę błysków gamma – prawdopodobnie najjaśniejszych obiektów we Wszechświecie – oraz pokazały, że znaczna część promieniowania licznych obiektów jest emitowana w tej właśnie części widma. Jasności tych obiektów często zmieniają się znacząco w ułamku sekundy, w ciągu godzin czy dni, dając możliwość bezpośredniego badania, jak wydziela się energia, a energie te są często ogromne.

Do najciekawszych na niebie źródeł gamma, oprócz tajemniczych błysków gamma, należą: centrum Galaktyki, gwiazdy, na które opada materia (w szczególności gwiazdowe czarne dziury, gwiazdy neutronowe i białe karły), wybuchy supernowych, a w większej skali aktywne jądra galaktyk i gromady galaktyk. Znaczna część promieniowania gamma emitowana jest też przez ośrodek międzygwiazdowy w dysku Galaktyki i stanowi zapis śladów minionej nukleosyntezy pierwiastków oraz oddziaływania materii międzygwiazdowej z energetycznymi cząstkami promieniowania kosmicznego.

Emisja promieniowania gamma i struktura jej źródeł jest zagadnieniem niezwykle ciekawym, ponieważ zjawiska silnej aktywności są istotnym stadium ewolucji gwiazd i galaktyk, a więc badania te zarazem stanowią istotny etap w zrozumieniu ewolucji Wszechświata jako całości – jego składu chemicznego oraz hierarchicznej struktury.

2. Misja INTEGRAL - szkic założeń technicznych i programu naukowego

Misja INTEGRAL – International Gamma Ray Astrophysics Laboratory przygotowywana przez Europejską Agencję Kosmiczną ESA (European Space Agency) przy współudziale amerykańskiej agencji kosmicznej NASA (National Aeronautics and Space Agency) i rosyjskiej IKI (Instytut Kosmicheskih Issledovanij) jest naturalną kontynuacją dwóch poprzednich misji: SIGM i CGRO (Compton Gamma Ray Observatory); przewyższa je zarówno pod względem zdolności rozdzielczej kątowej jak i energetycznej.

Misja planowana jest na rok 2001, a prace przebiegają jak dotychczas bez opóźnień. Spodziewana trwałość urządzeń i samego satelity wynosi co najmniej 5 lat (tzw. nominalny czas trwania misji wynosi 2 lata). Doświadczenia z innymi satelitami rentgenowskimi i gamma pokazują, że okres 5 lat jest zwykle przekraczany. W szczególności bezpośredni poprzednik misji INTEGRAL, Compton Gamma Ray Observatory (CGRO), wkrótce wchodzi w szósty rok trwania misji, z tylko minimalnym stopniem zużycia przyrządów na pokładzie.

Obserwacje wykonywane będą przy pomocy dwóch urządzeń wiodących i dwóch stowarzyszonych z nimi kamer uzupełniających:

1. ***Detektor Obrazowy*** (Imager on Board the INTEGRAL satellite = IBIS). Urządzenie to rejestruje fotony w zakresie 50 keV – 10 MeV, ma pole widzenia 3.2 stopni i zdolność rozdzielczą 17 sekund oraz umiarkowaną spektralną zdolność rozdzielczą (40 keV dla fotonów o energii 1 MeV).

2. ***Spektrograf***. Rejestruje on fotony w zakresie 15 keV – 10 MeV, ma pole widzenia 4.2 stopnia, kątową zdolność rozdzielczą 1.4 stopnia i bardzo dobrą spektralną zdolność rozdzielczą (2 keV dla fotonów o energii 1 MeV).

3. ***Monitor rentgenowski*** (Joint European X-ray Monitor = JEM-X). Działa w zakresie 3 – 120 keV i rejestruje obrazy ze zdolnością rozdzielczą rzędu minut. Pomaga on w identyfikacji źródła promieniowania gamma i okre-

śla jego zachowanie w zakresie niższych energii.

*4. **Kamera Optyczna***. Jest to również detektor obrazowy, o dużym polu widzenia i zdolności rejestracji obiektów o jasności 12^m przy jednosekundowej integracji. Przeznaczony jest przede wszystkim do poszukiwania optycznych rozbłysków towarzyszących błyskom gamma i rentgenowskim źródłom przejściowym.

Pokrycie zakresu energii od 3 keV do 10 MeV przy udziale Monitora Rentgenowskiego i Detektora Obrazowego gwarantuje możliwość przeprowadzania jednoczesnych obserwacji w szerokim zakresie widmowym i z dokładnością znacznie przewyższającą możliwości poprzednich instrumentów. Na energiach rzędu 50 keV Monitor Rentgenowski będzie miał czułość pięciokrotnie wyższą niż SIGMA/GRANAT, a na 500 keV, Detektor Obrazowy będzie miał czułość ok. 20 razy wyższą niż SIGMA/GRANAT i dwukrotnie wyższą niż CGRO.

Kątowa zdolność rozdzielcza przy pomiarach widma ciągłego w całym zakresie też będzie lepsza. Na energiach rzędu 50 keV Monitor Rentgenowski będzie miał trzykrotnie lepszą kątową zdolność rozdzielczą niż SIGMA/GRANAT, a na 500 keV Detektor Obrazowy będzie miał tego samego rzędu zdolność rozdzielczą co SIGMA i ponad dwudziestokrotnie lepszą niż CGRO.

Tak więc INTEGRAL będzie mógł penetrować zagęszczone zwartymi obiektami obszary centralne naszej galaktyki z podobną kątową zdolnością rozdzielczą jak SIGMA, przy czym będzie to mógł robić z czułością 20-krotnie lepszą. Ponadto, dzięki powyższym parametrom INTEGRAL będzie mógł dokonywać dużo pewniejszych identyfikacji źródeł promieniowania gamma obserwowanych na dużych szerokościach galaktycznych, niż CGRO.

Nowy instrument będzie się doskonale nadawał do prowadzenia prawdziwej spektroskopii gamma, czyli detekcji linii widmowych w tym zakresie. Na 500 keV spektrograf będzie dysponował 20-krotnie lepszą energetyczną zdolnością rozdzielczą, niż CGRO i GRANAT, a jego czułość w wąskich liniach gamma będzie aż prawie 100-krotnie większa niż GRANATA i 10-krotnie większa niż CGRO. Stwarza to niespotykane do tej pory możliwości badania linii produkowanych w ośrodku międzygwiazdowym, dzięki czemu weryfikować można będzie teorie wzbogacania materii międzygwiezdnej ciężkimi pierwiastkami oraz teorie produkcji i propagacji promieniowania kosmicznego.

Zastosowanie Optycznej Kamery ma na celu przede wszystkim identyfikacje optyczne błysków gamma. Podobne rozwiązanie zaplanowane jest dla High Energy Transient Experiment (HETE), który będzie miał CCD kamerę czułą w zakresie UV. Dla płaskich widm w zakresie optycznym i UV Optyczna Kamera będzie jednak wielokrotnie czulsza niż kamera UV na HETE.

Zasadnicza strategia obserwacyjna wygląda następująco: obserwacje obejmować będą wybrane znane wcześniej źródła promieniowania gamma, a także wykonany będzie systematyczny przegląd emisji gamma z okolic płaszczyzny Galaktyki.

Program obserwacyjny opierać się będzie o propozycje obserwacyjne przygotowywane przez zespoły instrumentalne jak i indywidualnych naukowców. Część czasu obserwacyjnego będzie bezpośrednio zarezerwowana dla instytucji biorących udział w pracach nad instrumentami (pierwszy miesiąc: 100%; pierwszy rok: 35%; drugi rok: 30%), oraz dla Centrum Danych w Genewie (15% ogółu danych).

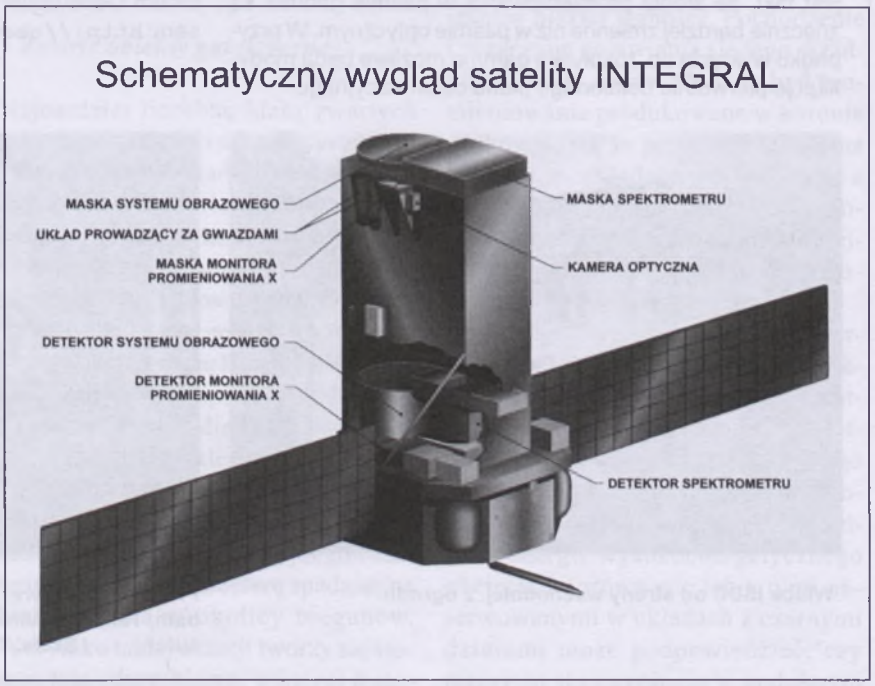
Całkowity koszt misji nie jest jeszcze precyzyjnie określony, choć oczywiście są ustalone ramowe kosztorysy dla poszczególnych instrumentów, a całość mieści się w granicach 600 milionów dolarów. Przy przygotowaniu urządzeń pomiarowych współpracować będzie 17 krajów, co wymaga starannej koordynacji wysiłków. Zgodnie z zasadniczym planem, laboratorium ma zostać wyniesione na orbitę 2 kwietnia 2001 roku przy pomocy rosyjskiej rakiety nośnej Proton, która ma bardzo duży stopień niezawodności. Niestety, odpowiednie umowy nie zostały jednak jeszcze podpisane. Jeśli ten wariant nie dojdzie do skutku, to przewiduje się użycie rakiety Ariane 5, a wystrzelenie satelity opóźni się o rok.

3. Zadania Polski w ramach misji INTEGRAL

W przygotowaniu misji INTEGRAL bierze udział także Polska. Polscy astronomowie mają znaczący dorobek w zakresie astrofizyki wysokich energii i fizyki kosmicznej. Wyrazem uznania tego było stowarzyszenie Polski z Europejską Agencją Kosmiczną w roku 1994.

Doświadczenie polskich naukowców obejmuje zarówno interpretację danych obserwacyjnych od strony teoretycznej, jak i wcześniejszy współudział w różnych programach kosmicznych.

Koordynatorem udziału strony polskiej jest Andrzej Zdziarski z Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika, autor szeroko znanych prac na temat teo-



rii promieniowania aktywnych jąder galaktyk i galaktycznych czarnych dziur. Urządzenia techniczne z kolei zostaną wykonane w Centrum Badań Kosmicznych, która to instytucja współpracowała przy konstrukcji ponad 40 urządzeń wyniesionych w kosmos w ramach programu INTERKOSMOS, a następnie przygotowywała urządzenia dla takich misji jak CASSINI, MARS-96 i CESAR.

Wkład Polski w przygotowanie misji INTEGRAL obejmuje trzy odrębne zadania:

- ***udział w organizacji Komputerowego Centrum Danych w Genewie***

Dane z satelity INTEGRAL kierowane będą do Centrum Danych (Integral Science Data Center) w Genewie. Do obowiązków Centrum Danych należy

Centrum Danych Naukowych INTEGRAL

Centrum Danych Naukowych INTEGRAL (nazywane dalej ISDC od angielskiej nazwy INTEGRAL Science Data Center) będące częścią projektu INTEGRAL, w założeniu ma zbierać dane otrzymywane z satelity, przetwarzać je i udostępniać astronomom w formie wygodnej do analizy. ISDC jest finansowane przez kilkanaście ośrodków astronomicznych z wielu krajów.

Obecnie w ISDC pracuje 10 osób, lecz docelowo, w momencie wystrzelenia satelity w 2001 roku, zespół ma liczyć około 30 osób. Wspomniane 10 osób pracuje w dwu zespołach: „informatyków", których głównym zadaniem jest napisanie oprogramowania zarządzającego głównym archiwum danych (tj. zbieraniem, porządkowaniem i udostępnianiem danych użytkownikom) oraz „astronomów", opracowujących algorytmy redukcji danych, kalibracji instrumentów, detekcji np. rozbłysków promieniowania gamma. Autor niniejszego tekstu znajduje się w grupie „informatyków".

Jakie zadania stoją przed ISDC ?

Najpierw należy sobie zdać sprawę, że dane z satelity zaczną napływać w 2001 roku nieprzerwanym strumieniem 24 godziny na dobę z szybkością 70 kbit/s, co jak łatwo obliczyć daje niewiele mniej niż 1 GB dziennie. Zakładając 5 lat pracy satelity i co najmniej 2 kopie danych otrzymujemy 3 TB (3000 GB) danych, jakie ISDC musi przechowywać i szybko przeszukiwać. Osobnym problemem jest zapewnienie niezawodnego łącza cyfrowego pomiędzy Darmstadt, gdzie znajduje się naziemna stacja odbiorcza, a Genewą. Co więcej, ISDC musi w czasie rzeczywistym (na bieżąco) monitorować dane napływające z satelity. Powodem tego jest fakt, że źródła promieniowania w paśmie gamma są znacznie bardziej zmienne niż w paśmie optycznym. W przypadku wykrycia np. rozbłysku gamma możliwe będą modyfikacje pierwotnie ustalonego planu obserwacyjnego.

Aparatura mierząca promieniowanie gamma jest bardzo skomplikowana. Dotyczy to przede wszystkim pomiaru kierunku promieniowania. Prawidłowa redukcja danych i kalibracja instrumentów wymaga dokładnej znajomości budowy aparatury i przewiduje się, że algorytmy redukcji danych dla poszczególnych instrumentów pokładowych zostaną opracowane przy współpracy z zespołami budującymi te instrumenty. Po wystrzeleniu satelity ISDC będzie również przeprowadzać zdalną okresową kalibrację instrumentów.

Głównym zadaniem ISDC będzie tzw. standardowe przetwarzanie danych w trybie „off-line". Dane z każdej sesji obserwacyjnej będą przetwarzane za pomocą opracowywanych obecnie programów. Jako wyniki otrzymywać się będzie obrazy nieba, widma energetyczne źródeł oraz profile czasowe. Archiwizowane będą oryginalne dane wejściowe, dane wynikowe oraz informacja umożliwiająca ich identyfikację, np. stan instrumentu, czas, parametry orbity. Umożliwi to w przyszłości ponowne przetworzenie danych przy użyciu ulepszonych algorytmów. Dane wynikowe będą udostępniane obserwatorowi bezpośrednio po przetworzeniu, natomiast po roku będą dostępne dla wszystkich. Zdalny dostęp do danych będzie możliwy poprzez internet przy użyciu protokołów telnet, ftp i WWW (programy Netscape/Mosaic). W przypadku bardzo dużych ilości danych z danej sesji będzie możliwe otrzymanie tych danych na taśmie wraz z oprogramowaniem służącym do ich analizy.

ISDC jest zarządzany przez Obserwatorium Genewskie. Zlokalizowany jest w zabytkowym kompleksie budynków „Ecogia" w Versoix pod Genewą, około 3 km od samego Obserwatorium. Dodatkowe informacje o ISDC i Obserwatorium Genewskim można znaleźć w internecie pod adresem: `http://obswww.unige.ch/isdc/`

Jerzy Borkowski

Widok ISDC od strony wschodniej, z ogrodu.

Praca w ISDC wre! Od lewej do prawej siedzą: Pierre Dubath, Roland Walter, Don Jennings, Hans Mueschenborn i autor. Szefa, Thierry Courvoisier, nie ma...

zbieranie i archiwizowanie danych oraz opracowanie odpowiednich programów do analizy danych. Ze względu na planowane wstępne analizowanie danych na bieżąco, naukowcy z Centrum Danych będą też mieli możliwość proponowania obiektów do obserwacji w przypadku niespodziewanego pojawienia się ciekawego źródła zmiennego (target of opportunity). Polska ma swój udział w organizacji genewskiego Centrum Danych poprzez wydelegowanie do pracy w Genewie jednego specjalisty – programisty poczynając od lipca 1996 roku, celem przygotowywania programów do analizy danych. Jest nim Jerzy Borkowski z Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika w Toruniu.

- zaprojektowanie i wykonanie układu elektronicznego systemu antykoincydencyjnego dla Detektora Obrazowego

Przygotowanie Detektora Obrazowego, jednego z dwóch podstawowych urządzeń misji, odbywa się pod kierunkiem P. Ubertiniego z Instituto di Astrofisica Spaziale we Frascati, Włochy. Udział Polski w budowie tego instrumentu polega na opracowaniu i wykonaniu części układu elektronicznego tego detektora. Prace prowadzone są w Warszawie, w Zakładzie Teledetekcji CBK PAN i wymagają „kosmicznej" technologii, m.in. powstania pomieszczenia o wysokiej czystości technicznej (clean room) w którym montowane będą elementy elektroniczne posiadające atesty ESA. Gotowość powierzenia Polsce wykonania tego urządzenia świadczy o dużym zaufaniu ESA do Polski jako partnera. Kierownikiem tego projektu jest Piotr Orleański.

- zaprojektowanie i wykonanie podsystemu elektrycznego wspomagania dla Monitora Rentgenowskiego

Przygotowanie Monitora Rentgenowskiego koordynuje H.W. Schnopper z Danish Space Research Institute, Dania. W ramach tego projektu strona polska przygotowuje zespół aparatury kontrolno-testującej wspomagającej badania i precyzyjną kalibrację Monitora przed jego wystrzeleniem. Konstrukcją urządzenia zajmuje się Zakład Technik Kosmicznych CBK PAN. Kierownikiem tego projektu jest Marek Morawski.

4. Spodziewane korzyści naukowe z misji INTEGRAL

Głównym celem naukowym programu INTEGRAL jest badanie zwartych obiektów kosmicznych i ośrodka międzygwiezdnego w zakresie promieniowania rentgenowskiego i gamma.

Do zwartych obiektów kosmicznych zaliczane są białe karły, gwiazdy neutronowe, galaktyczne czarne dziury, źródła błysków gamma i aktywne jądra galaktyk. Aktywność tych obiektów wiąże się na ogół z akrecją materii, czemu towarzyszy silna produkcja promieniowania rentgenowskiego i gamma. W przypadku galaktycznych obiektów źródłem akreowanej materii mogą być normalne gwiazdy tworzące z nimi ciasne układy podwójne, bądź gęste obłoki molekularne. Ponadto obiekty te mogą świecić kosztem własnej energii rotacyjnej, jak to ma miejsce w przypadku pulsarów radiowych będących szybko wirującymi gwiazdami neutronowymi. Z energią rotacyjną może być również związana produkcja relatywistycznych strug materii, obserwowanych w wielu aktywnych galaktykach a ostatnio odkrytych również w niektórych źródłach galaktycznych. Wszystkie te zjawiska w dalszym ciągu nie mają jednoznacznej interpretacji i INTEGRAL może odegrać dużą rolę w lepszym ich poznaniu i zrozumieniu.

– Zwarte obiekty galaktyczne

Najbardziej liczebną klasą zwartych obiektów są białe karły, a występujące w ciasnych układach podwójnych tworzą klasę obiektów zwanych zmiennymi kataklizmicznymi. Spośród nich te z najsilniejszymi polami magnetycznymi, tzw. polary, produkują na tyle silne promieniowanie rentgenowskie, że może być ono obserwowane za pomocą współczesnych detektorów i służyć do diagnozy procesów akrecyjnych na białego karła.

Teoria przewiduje, że w polarach pole magnetyczne uniemożliwia uformowanie się dysku akrecyjnego i materia opływa magnetosferę spadając na białego karła w okolicy biegunów. W wyniku takiej akrecji tworzy się stojąca fala uderzeniowa, w której materia nagrzewa się do kilkudziesięciu milionów stopni i produkuje promieniowanie rentgenowskie o widmie rozciągającym się do 10 – 30 keV. Takie promieniowanie udało się już stwierdzić w kilku polarach i niewątpliwie przy udziale INTEGRALA można będzie obserwować ich znacznie więcej.

Ponieważ w fali uderzeniowej oprócz grzania plazmy przewiduje się również przyspieszanie cząstek do relatywistycznych prędkości, konsekwencją tego powinno być promieniowanie nietermiczne tworzące wysokoenergetyczny ogon w widmie promieniowania termicznego. Mając na uwadze zakres energii i czułość, INTEGRAL dysponuje wyjątkowymi możliwościami do testowania tej hipotezy.

Intensywnymi źródłami wysokoenergetycznego promieniowania są ciasne układy podwójne z gwiazdami neutronowymi. W zależności od tego, czy towarzysząca gwieździe neutronowej gwiazda zwykła jest mało-masywna czy jest dużo masywniejsza od Słońca, układy podwójne nazywają się mało-masywnymi lub masywnymi. W układach mało-masywnych akrecja materii odbywa się poprzez dysk i, jeśli pole magnetyczne gwiazdy neutronowej jest słabe, to taki dysk sięga samej gwiazdy neutronowej. W kilku takich układach SIGMA zaobserwowała ostatnio obecność twardego składnika widma rentgenowskiego rozciągającego się przynajmniej do kilkuset keV. Pojawia się on w czasie stanów niskiej jasności. Pochodzenie i przyczyna pojawiania się tego składnika nie jest znana. Może to być promieniowanie produkowane w koronie dyskowej, jak to przypuszczalnie ma miejsce w układach podwójnych z czarną dziurą, jak również promieniowanie produkowane w warstwie przejściowej pomiędzy dyskiem a powierzchnią gwiazdy neutronowej.

Szczegółowe i jednoczesne obserwacje INTEGRALA w zakresie miękkiego i twardego promieniowania rentgenowskiego mogą dostarczyć istotnych wskazówek odnośnie natury tego promieniowania. W szczególności dokładniejsze określenie nachylenia widma i energii wysokoenergetycznego obcięcia i porównanie ich z tymi obserwowanymi w układach z czarnymi dziurami może podpowiedzieć, czy mamy tu do czynienia z podobnym

mechanizmem produkcji twardego składnika rentgenowskiego.

Materia akreująca na gwiazdy neutronowe produkuje nie tylko widmo ciągłe, ale również różnego typu linie. W szczególności w układach z gwiazdami posiadającymi silne pola magnetyczne (pulsarach rentgenowskich) produkowane są linie cyklotronowe, które mogą służyć do badań natężenia i rozkładu pola magnetycznego. Doskonała czułość spektroskopowa INTEGRALA pozwoli na detekcję linii cyklotronowych w większej liczbie obiektów niż dotychczas, a w jaśniejszych obiektach umożliwi dodatkowo detekcję wyższych harmonik tych linii, co pozwoli na bezpośrednie badania geometrii pola magnetycznego.

Podobne własności co układy podwójne z gwiazdami neutronowymi mają ciasne układy podwójne z czarnymi dziurami, do których należą m.in. rentgenowskie źródła przejściowe. Układy podwójne z czarnymi dziurami różnią się rentgenowsko tym od innych, że oprócz miękkiego składnika rentgenowskiego, produkowanego przypuszczalnie przez gruby optycznie dysk w pobliżu czarnej dziury, posiadają bardzo silny twardy składnik rentgenowski. Składnik ten rozciąga się do kilkuset keV, a jego strumień promieniowania opisywany jest funkcją potęgową o indeksie widmowym odpowiadającym dominacji emisji na najwyższych energiach.

Odróżnianie układów z centralną czarną dziurą od tych z gwiazdą neutronową stanowi jeden z podstawowych problemów. W szczególności wymagane są dalsze obserwacje, by

Blok elektroniki systemu antykoincydencji (VEB)

Detektor Obrazowy (IBIS) składa się przede wszystkim z dwóch matryc detektorów: 16 tysięcy kryształów CdTe oraz 4 tysięcy kryształów CsI, pełniących rolę właściwego detektora promieni gamma. Interesujące z punktu widzenia eksperymentu promieniowanie jest ogniskowane na tych warstwach przez odpowiednie układy maski i kolimatora. Sytuację komplikuje fakt, że promieniowanie gamma dochodzi do warstw kryształów zarówno z kierunku na wprost, jak i ze wszystkich innych, niepożądanych kierunków, tworząc szum uniemożliwiający utworzenie obrazu. Impulsy wywoływane przez fotony z niepożądanych kierunków muszą być wyeliminowane. Zadanie to ma spełniać układ aktywnego VETa (antykoincydencji), budowany wspólnie przez Włochy, Norwegię i Polskę.

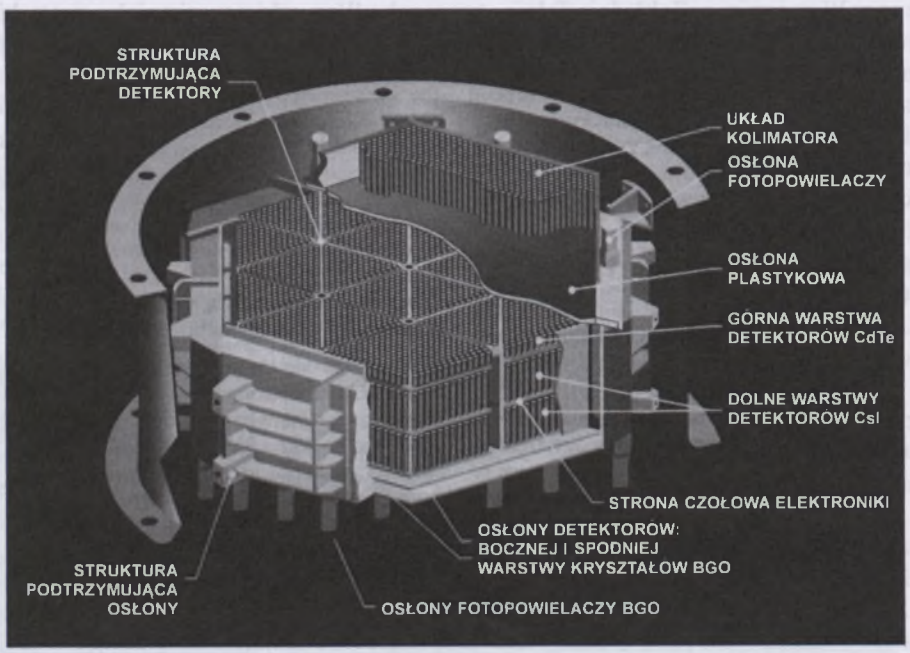
VETo to dodatkowa osłona z kryształu BGO, otaczająca właściwe matryce detektorów ze wszystkich stron oprócz czołowej. Ta osłona wyposażona jest w układ fotopowielaczy i elektronikę przetwarzającą impulsy z fotopowielaczy na na właściwe sygnały VETa. W Centrum Badań Kosmicznych budowana jest główna część elektroniki VETa – blok nazwany VEB służący do zasilania, sterowania, cyfrowej obróbka sygnałów i połączenia z pozostałymi blokami IBISa.

VEB jest połączony z jednej strony z 16 blokami fotopowielaczy, z drugiej strony z układami detektorów, komputerem pokładowym i systemem pokładowego zasilania. Masa urządzenia nie może przekraczać 7 kg. Wszystkie układy VEB są dublowane na wypadek awarii. Podobnie środki ostrożności są podejmowane w przypadku wszystkich istotnych urządzeń. Próg czułości urządzenia będzie regulowany za pośrednictwem komputera pokładowego. Podobnie będzie mogła być regulowana długość trwania wyjściowego impulsu blokującego detektor.

Harmonogram prac obejmuje przygotowanie najpierw modeli wstępnych, a następnie modelu lotnego (do końca 1998) i modelu zapasowego (do końca 1999). Urządzenie musi być zaprojektowane i wykonane z elementów elektronicznych i materiałów, posiadających specyfikację kosmiczną. W szczególności, w celu montażu urządzenia w odpowiednich warunkach, gwarantujących jego niezawodność, przygotowano już w Centrum Badań Kosmicznych specjalne pomieszczenie, zwane «clean room», które poprzez odpowiednie wyposażenie i izolację od pozostałych pomieszczeń zapewnia brak w powietrzu kurzu, mogącego osiadać na montowanych elementach.

Nad projektem w obecnej fazie pracuje zespół 4 osób pod kierunkiem autora, w przyszłości grupa ta powiększy się do 6 – 7 wykonawców.

Piotr Orleański



Zamieszczone zdjęcie pokazuje schematyczny przekrój przez podstawową część IBIS-a, a więc: układ kolimatora, dwie warstwy detektorów: górną CdTe oraz dolną CsI i osłaniający detektory układ VETO: boczne i spodnią warstwy kryształów BGO wraz z układami fotopowielaczy. Budowany w CBK blok elektroniki (nie pokazany na rysunku) będzie właśnie zbierał sygnały z tych ostatnich.

można było stwierdzić, że indeks widmowy twardego składnika jest jednoznacznym wyróżnikiem obecności czarnych dziur w jasnych układach podwójnych. Obserwacji takich niewątpliwie dostarczy INTEGRAL, którego czułość pozwoli dokładniej badać kształt widma na wyższych energiach niż pozwalały na to poprzednie detektory. Dzięki doskonałej kątowej zdolności rozdzielczej będzie też można obserwować znacznie większą liczbę źródeł przejściowych, których zagęszczenie występuje w centralnych obszarach naszej galaktyki.

Obserwacjom widma ciągłego towarzyszyć będą obserwacje spektroskopowe nastawione na poszukiwanie linii anihilacyjnych. Obecność takich linii w niektórych źródłach rentgenowskich stwierdzona była przez SIGMĘ, ale nie została potwierdzona przez CGRO. Dzięki INTEGRALOWI kontrowersja ta zostanie rozwiązana.

Jednym z bardziej interesujących aspektów zmienności galaktycznych źródeł rentgenowskich jest quasi-okresowość, którą wcześniej obserwowano tylko w układach z gwiazdami neutronowymi, a ostatnio zaobserwowano ją również w szeregu układów z czarnymi dziurami. Okres tej zmienności wydaje się być średnio znacznie krótszy w układach z czarną dziurą niż w układach z gwiazdą neutronową, a modele opisujące taką okresowość dla układów z gwiazdą neutronową bazują na obecności magnetosfer i w związku z tym nie mogą być zastosowane do układów z czarnymi dziurami. Co więc jest źródłem quasi-okresowości w układach z czarną dziurą? Bardziej systematyczne badania większej liczby obiektów za pomocą INTEGRALA stwarzają szansę przynajmniej częściowej odpowiedzi na to pytanie i ewentualne potwierdzenie systematycznych różnic pomiędzy quasi-okresami w układach z gwiazdami neutronowymi i czarnymi dziurami może dostarczyć dodatkowego i niezależnego wyróżnika typu zwartego składnika.

Ciekawą klasę źródeł stanowią obiekty galaktyczne z relatywistycznymi strugami materii. Wiele źródeł rentgenowskich w naszej galaktyce wykazuje silną aktywność nietermiczną polegającą na wyrzucie obłoków produkujących promieniowanie synchrotronowe w zakresie radiowym.

Aktywność tego typu związana jest prawdopodobnie z superkrytyczną akrecją i obserwowana była zarówno w układach z gwiazdą neutronową, jak i w układach z czarną dziurą. W dwóch obiektach tego typu stwierdzono ostatnio, że struktury radiowe są silnie skolimowane i propagują się z relatywistycznymi prędkościami. Oba obiekty są silnymi źródłami rentgenowskimi z widmami rozciągającymi się do kilkuset keV. Stwierdzona silna korelacja pomiędzy rozbłyskami radiowymi a rentgenowskimi sugeruje silny związek pomiędzy aktywnością akrecyjną a wyrzutem relatywistycznej plazmy. Bardziej dokładne obserwacje rentgenowskie prowadzone jednocześnie z radiowymi mogą pomóc zrozumieć ten związek. Związek taki już od wielu lat jest bezskutecznie poszukiwany dla aktywnych galaktyk, spośród których ok. 10% wykazuje bardzo silną aktywność radiową.

Również pulsary radiowe mogą być silnymi źródłami promieniowania rentgenowskiego i gamma. Dotychczas zarejestrowano w zakresie gamma pięć pulsarów, a razem z nieobserwowaną radiowo Gemingą, jest ich sześć. Stanowią one bardzo niejednolitą klasę obiektów, co utrudnia bardzo interpretację teoretyczną mechanizmu promieniowania i jego lokalizacji. Detekcja większej liczby pulsarów w zakresie gamma dzięki lepszej czułości INTEGRALA od CGRO niewątpliwie przyczyni się do wyłowienia istotnych związków pomiędzy własnościami promieniowania a takimi cechami pulsarów, jak spin, tempo spowalniania spinu, wiek pulsara i natężenie pola magnetycznego.

– *Aktywne jądra galaktyk*

Świecenie większości aktywnych jąder galaktyk odbywa się kosztem energii grawitacyjnej materii akreującej na supermasywną czarną dziurę, której obecność w centrum wielu jasnych galaktyk dowodzi szereg niezależnych obserwacji. Aktywne galaktyki mogą świecić też kosztem energii rotacyjnej supermasywnej czarnej dziury. W szczególności rotacja może być źródłem energii dla relatywistycznych strug materii, które świecą promieniowaniem nietermicznym.

W typowej aktywnej galaktyce wyróżnić można trzy składniki promieniowania: składnik podczerwony charakteryzujący się ostrym obcięciem na częstości $\sim 3 \times 10^{14}$ Hz; dominujący pod względem jasności składnik ultrafioletowy; i składnik rentgenowski który rozciąga się przynajmniej do 100 keV. Składnik ultrafioletowy jest prawdopodobnie produkowany przez gruby optycznie dysk akrecyjny w pobliżu supermasywnej czarnej dziury, promieniowanie podczerwone jest wynikiem reprocesowania promieniowania ultrafioletowego przez pył znajdujący się w torusie molekularnym otaczającym supermasywną czarną dziurę w odległości rzędu kilku lat świetlnych, a promieniowanie rentgenowskie produkowane jest przypuszczalnie w koronie dysku akrecyjnego.

Do tej pory nie ma jednoznacznego modelu promieniowania rentgenowskiego, aczkolwiek nie brakuje mechanizmów promieniowania, w wyniku których produkowane byłyby widma rentgenowskie o obserwowanym widmie potęgowym, modyfikowanym częściowo przez odbicia od dysku akrecyjnego.

Ostatnie obserwacje rentgenowskie OSSE/CGRO najjaśniejszej na niebie aktywnej galaktyki, NGC 4151, pokazują, że widmo rentgenowskie ma silne załamanie w okolicy 100 keV, i dają silne ograniczenie na intensywność linii anihilacyjnej. Ponieważ modele nietermiczne przewidują produkcję silnej linii anihilacyjnej, obserwacje NGC 4151 wydają się faworyzować model termiczny emisji rentgenowskiej. W modelu takim promieniowanie rentgenowskie byłoby rezultatem termicznej komptonizacji promieniowania dysku przez gorącą rozrzedzoną plazmę w koronie.

Jednakże obserwacje drugiej najlepiej zbadanej rentgenowsko aktywnej galaktyki, IC 4329A, która pod wieloma względami jest bardziej typową aktywną galaktyką niż NGC 4151 wydają się dopuszczać istnienie promieniowania ciągłego z widmem rozciągającym się do wyższych energii niż w NGC 4151, i w granicach błędów dopuszczają istotny udział relatywistycznej plazmy w produkcji promieniowania rentgenowskiego.

Znacznie większa czułość detektora obrazowego INTEGRALA niż poprzednich detektorów gamma (von Montigny i inni 1995) stwarza szansę lepszego rozpoznania dominujących

procesów promienistych w koronach dyskowych. Ponadto jednoczesne obserwacje zmienności rentgenowskiej w unikalnie szerokim zakresie widma, jaki pokrywają wspólnie Monitor Rentgenowski i Detektor Obrazowy pozwolą lepiej określić geometrię aktywnych obszarów w koronie, jak i warunki fizyczne tych obszarów.

Aktywność centralna galaktyk przejawia się nie tylko poprzez promieniowanie akreującej materii na czarną dziurę, ale również poprzez produkcję wąskich, relatywistycznych strug materii. Strugi takie transportują energię na odległości setek tysięcy lat świetlnych, gdzie tworzą synchrotronowo świecące obłoki radiowe. W najjaśniejszych radiowo aktywnych galaktykach udział strug w całkowitym bilansie energetycznym szacowany jest na 10% i znaczna część tej energii wypromieniowana zostaje na odległościach mniejszych niż jeden rok świetlny. Ale ponieważ strugi są relatywistyczne, ich promieniowanie jest silnie skupiane w kierunku ich ruchu i może być obserwowane jedynie z obiektów, których strugi tworzą mały kąt z linią widzenia.

Takimi obiektami są blazary, podklasa aktywnych galaktyk wyróżniająca się silnie zmiennym promieniowaniem, które w zakresie od radia do ultrafioletu, a często nawet do rentgenów zdominowane jest promieniowaniem

Podsystem elektrycznego wspomagania dla Monitora Rentgenowskiego (EGSE)

Konstrukcji każdego elementu wchodzącego w skład satelity towarzyszy równolegle konstrukcja odpowiednich zespołów testujących. Terminem „Podsystem elektrycznego wspomagania" (**EGSE** - ang. Electrical Ground Support Equiment) określa się zespół aparatury elektronicznej i narzędzi programowych wymaganych w czasie kolejnych etapów konstrukcji, montażu i integracji poszczególnych elementów aparatury badawczej i podsystemów satelity. Projektowaniem i konstrukcją takiego urządzenia dla Monitora Rentgenowskiego zajmuje się Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie.

Monitor rentgenowski JEM-X składa się z kilku oddzielnych bloków, takich jak: maski , blok detektorów, moduł zasilaczy wysokiego napięcia, blok cyfrowego przetwarzania i interfejs systemu telemetrycznego. Każdy z tych bloków jest konstruowany przez oddzielny zespół konstruktorów. Dla sprawnego prowadzenia prac niezbędne jest więc dostarczenie poszczególnym grupom konstruktorskim symulatorów czy imitatorów pozostałych (jeszcze nie wykonanych) bloków współpracujących z wykonywanym podsystemem. Podstawowe funkcje EGSE na tym etapie to:

- symulacja lub imitacja brakujących bloków,
- przygotowanie i wykonanie testów częściowych,
- symulacja interfejsów satelity,
- funkcje niestandardowe, zależne od rodzaju bloku (np. pomiary napięć, kalibracja detektorów itp.).

Podczas integracji przyrządu rola EGSE będzie polegała głównie na

- symulacji systemów satelity z punktu widzenia przyrządu (z uwzględnieniem wyłączeń, zakłóceń itp.),
- przygotowaniu i wykonaniu wymaganych sekwencji testujących,
- przeprowadzeniu kalibracji instrumentu,
- archiwizacji danych uzyskanych podczas testów.

Z kolei w końcowej fazie przygotowania Monitora do lotu dojdą jeszcze takie funkcje jak

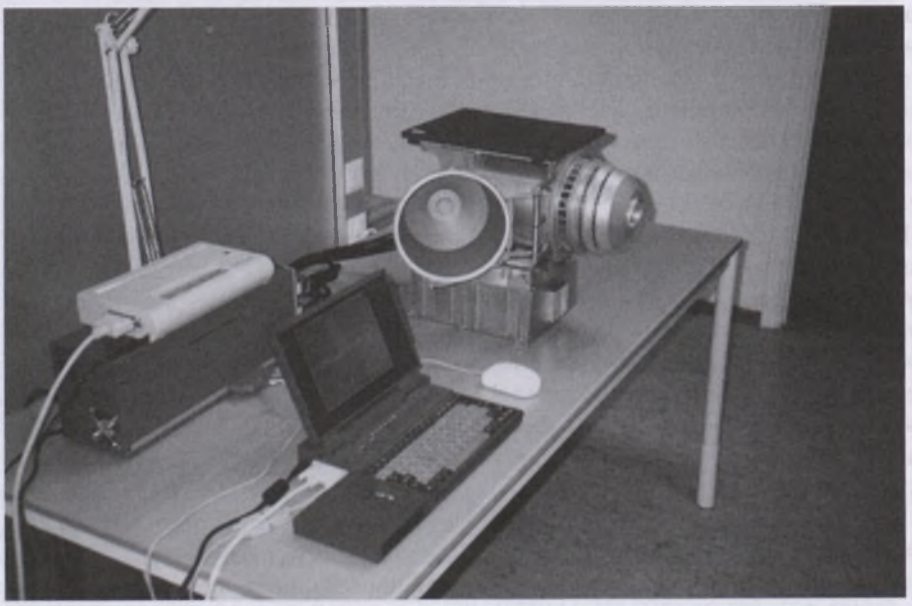
- przygotowanie i wysyłanie komend sterujących,
- przyjmowanie i analiza danych z systemu telemetrycznego.

Zadanie będzie realizowane w trzech etapach. Etap pierwszy, wykonywany obecnie, obejmuje prace w zakresie studiów i wyboru koncepcji rozwiązania. Drugi etap to aplikacja wybranych rozwiązań, weryfikacja i ewentualne korekty (budowa prototypu). Ostatnim etapem będzie wykonanie i przetestowanie kolejnych egzemplarzy EGSE.

Projekt wykorzystywał będzie możliwie jak najwięcej standardowych, produkowanych fabrycznie podzespołów, ale w niektórych przypadkach niezbędne będzie indywidualne konstruowanie odpowiedniego urządzenia ze względu na jego unikalność, jak na przykład symulatora zasilania. Trzy egzemplarze EGSE zgodnie z planem powinny być sukcesywnie oddawane do użytku na przestrzeni lat 1998 – 1999.

Obecnie nad projektem pracują cztery osoby, pod kierunkiem autora, ale w końcowej fazie przewidywany jest udział 8 – 10 osób.

Marek Morawski



Fotografia przedstawia gotową aparaturę kontrolno-testującą przygotowaną przez zespół M. Morawskiego na użytek innej, wcześniejszej misji. Po prawej stronie widzimy szwedzki przyrząd pomiarowy ASPERA-C dla misji Mars 1994, a po prawej dwuczęściową aparaturę testującą. Zapewne nieco podobnie będzie wyglądać EGSE...

synchrotronowym produkowanym w strudze przez relatywistyczne elektrony.

Takimi obiektami są blazary, podklasa aktywnych galaktyk wyróżniająca się silnie zmiennym promieniowaniem, które w zakresie od radia do ultrafioletu, a często nawet do rentgenów zdominowane jest promieniowaniem synchrotronowym produkowanym w strudze przez relatywistyczne elektrony.

W wielu blazarach obserwuje się widma rentgenowskie, które nie mogą być interpretowane jako wysokoenergetyczna część promieniowania synchrotronowego. Standardowo interpretuje się to promieniowanie jako wynik komptonizacji promieniowania synchrotronowego. Jednakże niedawne odkrycie przez EGRET/CGRO, że duża część blazarów świeci najsilniej w zakresie promieniowania gamma, postawiła pod znakiem zapytania taką interpretację. Liczne analizy pokazują, że łatwiej uzyskać ogromne jasności promieniowania gamma w wyniku komptonizacji promieniowania pochodzącego z poza strugi, np. z dysku akrecyjnego bądź otaczających obłoków, niż w wyniku komptonizacji promieniowania synchrotronowego.

Czy taki mechanizm jest odpowiedzialny również za promieniowanie rentgenowskie? Odpowiedzi należy szukać przede wszystkim w zakresie kilku MeV, gdzie widma blazarów mają często maximum jasności, oraz w jednoczesnych obserwacjach zmienności w zakresie rentgenowskim i gamma. Czułość Detektora Obrazowego w zakresie gamma oraz jednoczesne obserwacje zmienności z Monitora Rentgenowskiego dostarczają wyjątkowych możliwości przeprowadzenia takich badań, a ich rezultaty pomogą nie tylko w określeniu mechanizmu produkcji wysokoenergetycznego promieniowania w blazarach, ale również w lepszym poznaniu fizyki relatywistycznych strug, warunków ich formowania się, propagacji oraz mechanizmów dyssypacji ich energii. Za pomocą Detektora Obrazowego będzie też można stwierdzić, czy niezidentyfikowane źródła gamma, obserwowane na dużych szerokościach galaktycznych w ilości ok. 20 przez CGRO, są blazarami. Taka perspektywa wiąże się z faktem, że detektor obrazowy INTEGRALA posiada 20-krotnie lepszą kątową zdolność rozdzielczą niż instrumenty na CGRO.

– Błyski gamma

Wciąż nieznana jest natura źródeł błysków gamma. Mogą być nimi eksplozje związane z łączeniem się gwiazd neutronowych lub gwiazdy neutronowej z czarną dziurą w ciasnych układach podwójnych, w wyniku których wyzwalane są energie rzędu energii wiązania gwiazdy neutronowej. Jeżeli energie te efektywnie zamieniane są na promieniowanie elektromagnetyczne, wtedy błyski gamma mogą być obserwowane z odległości kosmologicznych. Częstość występowania błysku, średnio jeden na dzień, jest konsystentna z oszacowaniami częstości „kolapsu" układu podwójnego (raz na sto milionów lat na galaktykę). W dalszym ciągu nie można jednak wykluczyć lokalnego pochodzenia błysków gamma, np. w gwiazdach neutronowych wypełniających halo naszej galaktyki.

Źródłem energii dla błysków produkowanych w halo galaktycznym mogłaby być dyssypacja wewnętrznej energii rotacyjnej i potencjalnej, towarzysząca np. przejściom fazowym supergęstej materii.

Silna izotropia rozkładu błysków gamma na niebie przy jednoczesnej niejednorodności rozkładu przestrzennego wydają się faworyzować mocno modele z błyskami produkowanymi na kosmologicznych odległościach lub w bardzo rozległym halo galaktycznym.

Z drugiej strony zaobserwowane przez GINGĘ w kilku błyskach gamma linie cyklotronowe wskazują na produkcję błysków w magnetosferach gwiazd neutronowych znajdujących się blisko nas. Jak do tej pory BATSE/CGRO w żadnym błysku gamma nie zarejestrował linii cyklotronowej. Z doskonałą planowaną czułością spektralną, duże szanse rozwiązania kontrowersji obecności lub nieobecności linii cyklotronowych w błyskach gamma posiada INTEGRAL.

Użycie Detektora Obrazowego i Monitora Rentgenowskiego daje szansę pierwszych jednoczesnych detekcji błysków gamma w zakresie od 3 keV do 10 MeV. Obserwacje ewolucji czasowej widma w tak dużym zakresie energii mogą okazać się decydującymi w określeniu dynamiki źródeł błysku i identyfikacji dominujących procesów promienistych. Ponadto, obecność Kamery Optycznej stwarza szanse jednoczesnej detekcji błysków gamma w zakresie optycznym. Taka detekcja oprócz dodatkowych informacji na temat warunków fizycznych w źródłach błysków gamma pozwoliłaby na lokalizację tych źródeł z dokładnością 20 sekund łuku.

Na zakończenie wypada jednak wspomnieć, że te wszystkie atuty INTEGRALA odnosić się będą do obserwacji raczej skromnej liczby błysków, około 8 na rok, a wynika to z ograniczonego pola widzenia Detektora Obrazowego.

– Promieniowanie ośrodka międzygwiazdowego

Rozciągłe promieniowanie w ośrodku międzygwiazdowym w zakresie gamma jest wynikiem oddziaływania promieniowania kosmicznego z termiczną plazmą i mikrofalowym promieniowaniem tła. W ośrodku międzygwiezdnym produkowane są również linie, emitowane w wyniku rozpadów promieniotwórczych izotopów wyrzucanych w przestrzeń międzygwiezdną przez wiatry i wybuchy gwiazd, oraz linia anihilacyjna par pozytonowo-elektronowych.

Obserwacje INTEGRALA umożliwią opracowanie szczegółowej mapy wysoko-energetycznego promieniowania ośrodka międzygwiazdowego w naszej galaktyce. Promieniowanie to w zakresie od kilku keV do kilku MeV jest wynikiem oddziaływania elektronów promieniowania kosmicznego z cząsteczkami termicznej plazmy, jak również komptonizacji przez te elektrony mikrofalowego promieniowania tła. Szczegółowy rozkład natężenia tego promieniowania pozwoli określić ogniska produkcji promieniowania kosmicznego i efektywność jego transportu. W szczególności zaobserwowanie nadwyżek promieniowania gamma w obłokach molekularnych oznaczać będzie, że źródła promieniowania kosmicznego znajdują się wewnątrz obłoków.

Oddziaływanie promieniowania kosmicznego z materią międzygwiezdną prowadzi nie tylko do promieniowania ciągłego, ale również do emisji linii w wyniku pobudzenia jąder atomowych. Najsilniejszymi przewidywany-

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w TORUNIU

mi liniami powinny być linia węgla na energii 4.44 MeV i linia tlenu na energii 6.13 MeV.

W przypadku oddziaływania promieniowania kosmicznego z ziarnami pyłu linie takie powinny być wąskie z powodu znikomego efektu odrzutu. Detekcja takiego składnika może więc służyć badaniom rozkładu pyłu w materii międzygwiezdnej.

Nie tylko promieniowanie kosmiczne jest źródłem produkcji linii gamma w dysku galaktycznym, źródłem linii jest również anihilacja pozytonów z elektronami oraz pierwiastki promieniotwórcze. Linia anihilacyjna widoczna jest w całym dysku galaktycznym, ale 80% jej jasności pochodzi z obszarów centralnych Galaktyki. Źródłem pozytonów może być rozpad pewnych pierwiastków promieniotwórczych, jak również zwarte źródła produkujące strugi materii pozytonowo-elektronowej. Przy użyciu INTEGRALA opracowane zostaną szczegółowe mapy rozkładu emisji linii anihilacyjnej i zapewne zidentyfikowane zostaną główne źródła pozytonów.

Pierwiastki promieniotwórcze, wyrzucane do materii międzygwiezdnej przez wybuchy supernowych, nowych, oraz przez intensywne wiatry masywnych gwiazd, emitują nie tylko pozytony, ale również linie jądrowe. Najsilniejszą, o długim czasie życia linią jest linia aluminium o energii 1.809 MeV, której obecność w materii międzygwiezdnej stwierdzona została przy użyciu CGRO. Badanie rozkładu przestrzennego tej linii za pomocą spektrografu pozwoli zapewne znaleźć korelacje pomiędzy zagęszczeniami produkcji tej linii a rozkładem różnego typu obiektów, a tym samym będzie można określić główne pochodzenie aluminium w przestrzeni międzygwiezdnej. Ponadto obserwacje linii jądrowych pozwolą wykryć wszystkie wybuchy supernowych z okresu ostatnich 500 lat oraz określić historię aktywności nowych w Galaktyce w ostatnich dziesiątkach lat.

INTEGRAL będzie obserwował również promieniowanie ośrodka międzygwiezdnego w sąsiednich galaktykach. Takie promieniowanie obserwował już w Wielkim Obłoku Magellana CGRO, co pozwoliło ocenić ilość promieniowania kosmicznego w Obłoku. Dzięki INTEGRALOWI obserwacje te będzie można rozszerzyć na galaktyki M31, M32, M87 i M82. Szczególnie interesujące mogą się okazać obserwacje M82, gdzie zachodzą intensywne procesy gwiazdotwórcze, a wybuchy Supernowych występują z częstością rzędu jednego na 10 lat. Można więc spodziewać się detekcji silnych linii izotopów promieniotwórczych, a z jasności widma ciągłego dowiemy się, czy procesom gwiazdotwórczym towarzyszy silna produkcja promieniowania kosmicznego.

I w końcu, INTEGRAL będzie mógł obserwować gromady galaktyk. Dzięki tym obserwacjom być może uda się rozpoznać pochodzenie promieniowania gromad na energiach wyższych niż 20 keV. Promieniowanie takie może pochodzić od aktywnych galaktyk, ale również może być wynikiem komptonizacji promieniowania mikrofalowego przez ultrarelatywistyczne elektrony promieniowania kosmicznego. W obserwacjach bliskich i dużych gromad będzie można oddzielić promieniowanie aktywnych galaktyk od reszty i tym samym oszacować jasność promieniowania relatywistycznych elektronów. Porównanie tej jasności z jasnością promieniowania synchrotronowego umożliwi ocenę natężenia pól magnetycznych i gęstości energii promieniowania kosmicznego w gromadach.

5. Znaczenie udziału Polski w misji INTEGRAL

Bezpośredni udział Polski w misji INTEGRAL dawałby wielorakie korzyści, które można podsumować w trzech zasadniczych punktach:

- stanowiłby zasadniczy krok na drodze do pełnego włączenia się Polski w działalność ESA
- dzięki wysokim wymaganiom stawianym projektowi INTEGRAL stanowiłby znaczący krok w opanowaniu technologii kosmicznych i bazę dla dalszej szerszej współpracy międzynarodowej
- dawałby polskim astronomom uprzywilejowany i bezpośredni dostęp do najnowszych danych obserwacyjnych, co z pewnością zaowocowałoby licznymi odkryciami i publikacjami

Pierwszy z poruszonych punktów odzwierciedla ogólny trend w badaniach kosmicznych. Ze względu na olbrzymie koszty, obserwatoria satelitarne nie są obecnie przygotowywane przez poszczególne kraje, ale przez międzynarodowe organizacje, takie jak ESA. Pełne włączenie się naszego kraju w działalność tej organizacji jest niezbędnym elementem rozwoju polskich badań w kosmosie.

Nasza obecność w kosmosie z kolei wiąże się z problemem ogólnego poziomu technicznego w kraju. We wszystkich państwach technika kosmiczna jest wyraźnie jednym z motorów ogólnego postępu i dlatego powinna być rozwijana. Udział w misji INTEGRAL stanowić będzie naturalny krok na tej drodze.

Natomiast, w aspekcie naukowym, formalny udział Polski w projekcie umożliwi polskim astronomom wpływ na projektowany zakres obserwacji, oraz uprzywilejowany i bezpośredni dostęp do otrzymywanych danych, które z pewnością będą zawierać ekscytujące informacje astronomiczne.

Trzeba też podkreślić, że część kosztów misji INTEGRAL pokrywana przez Polskę jest niewspółmiernie mała do spodziewanej części danych przekazywanych do Polski. Koszt satelity będzie wynosić około 600 milionów dolarów, a koszt udziału Polski wyniesie poniżej jednego miliona dolarów. Natomiast część wszystkich danych przekazywanych Polsce będzie wynosić co najmniej kilka procent (a faktycznie dużo więcej, jeżeli uwzględniać nasz udział w projektach międzynarodowych).

Udział Polski w misji INTEGRAL zapowiada się w sumie bardzo atrakcyjnie. Należy tylko mieć nadzieję, że wszystkie etapy przygotowania misji, łącznie z fazą umieszczenia satelity na orbicie i uruchomienia wszystkich urządzeń pomiarowych i telekomunikacyjnych pójdą dobrze. Najmniejszy błąd czy pech może zniweczyć pracę wielu ludzi...

Autorzy artykułu są znakomitymi astrofizykami, którzy od lat pasjonują się astrofizyką wysokich energii. Wszyscy pracują w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika w Warszawie. Panią docent Bożenę Czerny czytelnicy „Postępów" znają jako główną reformatorkę i redaktora naszego pisma sprzed kilku lat.

Koniec pracy najbardziej efektywnego obserwatorium!

Żegnaj IUE!

Gdy w połowie lat 70-tych powstawała stosunkowo niewielka sonda do badań spektroskopowych w ultrafiolecie, jej czas pracy planowano na 3 lata. Optymiści liczyli na jego przedłużenie o rok lub nawet dwa. Nikt jednak nie przypuszczał, że satelita IUE dożyje niemal 20 lat, stając się jednym z najaktywniejszych obserwatoriów astronomicznych. Uhonorowany został m.in. nagrodą prezydenta USA jako przykład sukcesu w dziedzinie techniki kosmicznej. Dla ekip pracujących przy jego obsłudze maskotką satelity stal się królik – bohater reklam baterii alkalicznych, który również bez przerwy działa i działa... Zaś całemu pokoleniu astronomów IUE oddał nieocenione usługi jako jedno z podstawowych narzędzi współczesnych badań astrofizycznych.

Projekt wysłania na orbitę kosmicznego obserwatorium ultrafioletowego był wspólnym przedsięwzięciem agencji NASA i ESA oraz brytyjskiej Rady Badań Naukowych (SERC, obecnie PPARC). W przeciwieństwie do wcześniejszych satelitów, IUE był kierowany i wykorzystywany przez obserwatorów w czasie rzeczywistym. Łączność zapewniały dwie naziemne stacje kontroli: amerykańska GSFC (Godard Space Flight Center) i europejska stacja ESA-VILSPA – w Villafranca koło Madrytu.

Satelita IUE (International Ultraviolet Explorer) został wystrzelony dnia 26 stycznia 1978 roku i umieszczony na geosynchronicznej orbicie nad Zatoką Meksykańską. Powierzono mu zadanie rejestrowania widm obiektów astronomicznych. Na oprzyrządowanie naukowe złożyły się: teleskop, spektrografy i kamery.

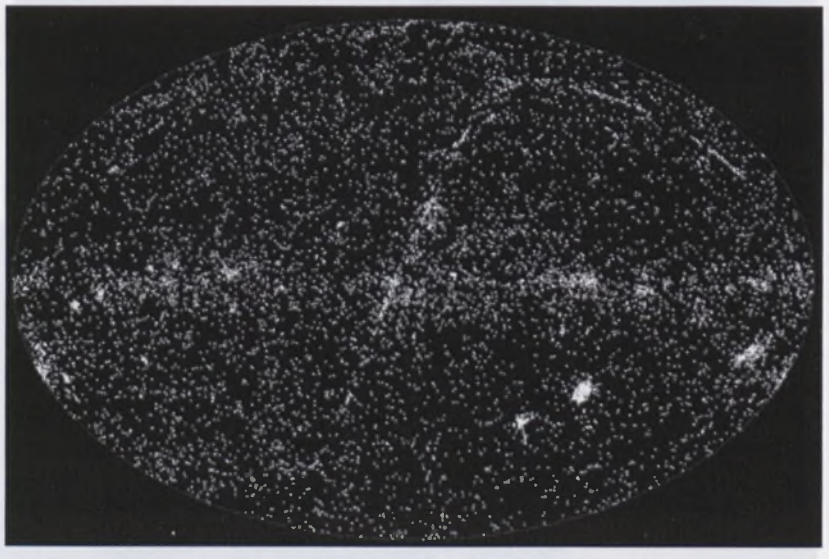
Teleskop zbudowany został w systemie Cassegraina, w konfiguracji Ritchey-Chretien; zwierciadło główne o średnicy 45 cm i światłosile F/15 dawało pole widzenia o średnicy 16'. Zbierane promieniowanie kierowane było do jednego z dwóch spektrografów: krótkofalowego (pracującego w zakresie 115-195 nm) bądź długofalowego (zakres 190-325 nm). Każdy spektrograf miał dwie diafragmy: mniejszą o średnicy 3″ i większą, zbliżoną kształtem do elipsy o wymiarach 10″× 20″, ponadto każdy mógł pracować w systemie małej i dużej zdolności rozdzielczej (0.6 i 0.01 nm odpowiednio), w zależności od użytej siatki dyfrakcyjnej. Obraz integrowany był przez kamery telewizyjne i przekształcany w sygnał wideo, transmitowany na Ziemię.

Udostępnienie czasu obserwacji odbywało się na drodze konkursu. Obserwator zachowywał prawo wyłączności do wyników przez 6 miesięcy. Po upływie tego czasu uzyskane materiały mogły być dostarczone na prośbę wszystkich zainteresowanych astronomów.

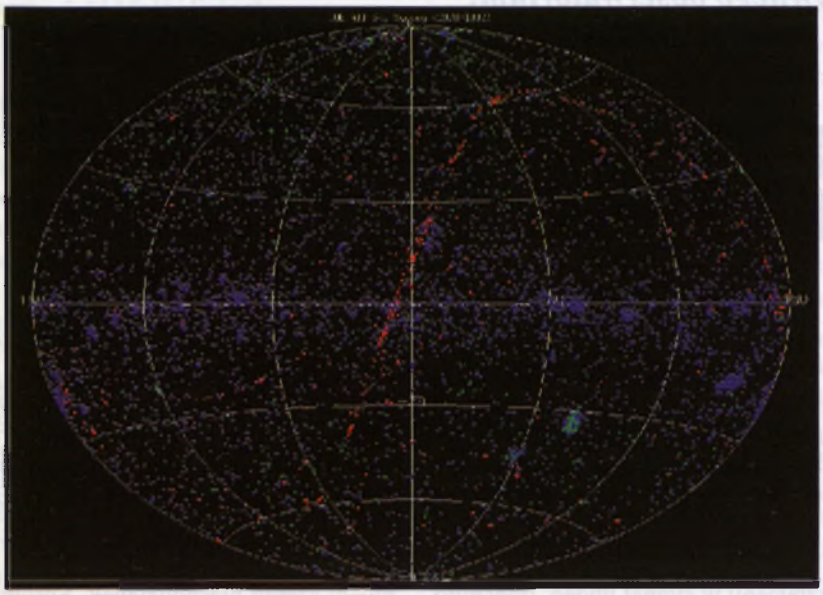
Analizy prowadzone za pośrednictwem satelity IUE objęły swym zasięgiem ciała naszego Układu Słonecznego, gwiazdy różnych typów oraz odległe galaktyki. Rutynowe obserwacje, rozpoczęte w połowie 1978 roku, przyniosły szereg niespodzianek. Spróbujmy poczuć dreszcz emocji, towarzyszący ówczesnym odkryciom.

W cieniu olbrzymów

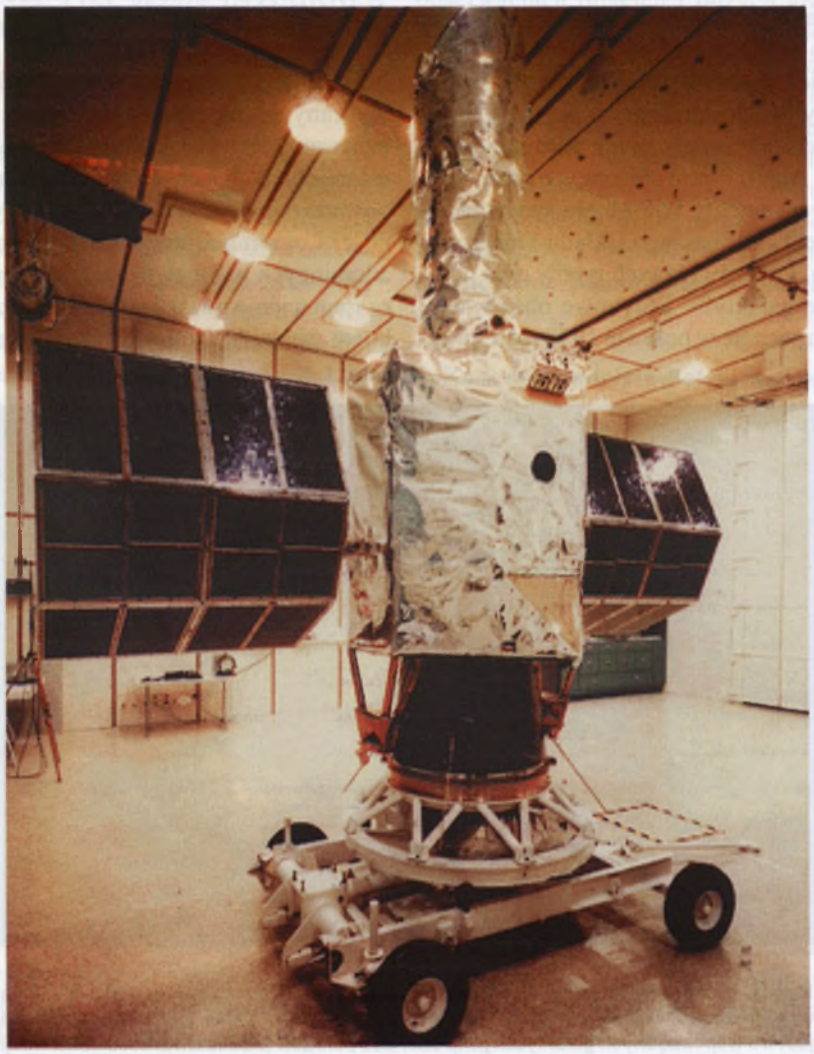
Na jeden z pierwszych obiektów badań wybrany został nadolbrzym typu G, oznaczony jako HR 8752 – jedna z najjaśniejszych gwiazd w Galaktyce. Próbowano odnaleźć przyczyny jej aktywności i ogromnej utraty masy. Oczom zdumionych badaczy ukazało się tymczasem widmo gwiazdy typu O. Początkowo wzbudziło to lekki niepokój ob-



Rys. 1. Schematyczne zestawienie obserwacji wykonanych za pomocą IUE. Badania objęły ponad 8 tysięcy obiektów rozrzuconych po całym niebie (siatka sporządzona jest we współrzędnych galaktycznych). Jasność punktów przedstawia ilość obserwacji wykonanych w danym kierunku. Za poszczególnymi źródłami kryją się galaktyki i kwazary, gwiazdy „zwykłe", nowe i supernowe, mgławice i gromady gwiazd. Wyróżnia się pozioma płaszczyzna Galaktyki i biegnąca ukośnie płaszczyzna ekliptyki, wokół której koncentrowały się obserwacje obiektów Układu Słonecznego.



Rys. 2. Podobne zestawienie jak na rys. 1, dokonane z podziałem na ciała Układu Słonecznego (zaznaczone kolorem czerwonym), obiekty galaktyczne (kolor niebieski) i pozagalaktyczne (kolor zielony).



Rys. 3. Satelita IUE oczekujący na start w styczniu 1978 roku. Górna, cylindryczna część zawiera teleskop o średnicy 45 cm, ośmiokątny segment poniżej kryje dwa spektrografy oraz kamery telewizyjne do rejestrowania widm.

sługi, gdyż rozważano awarię systemu naprowadzania teleskopu. Na szczęście zagadka miała prostsze wyjaśnienie: odkryto gorący składnik, tworzący układ podwójny z nadolbrzymem. Jego istnienia nawet nie podejrzewano, w widzialnej części widma składnik typu O ginął bowiem w blasku nadolbrzyma.

Nie był to odosobniony przypadek odkrycia podwójności gwiazd. Szczególne znaczenie miało zaobserwowanie gorących składników towarzyszących niektórym cefeidom, dzięki nim bowiem można było poprawić kalibrację zależności okres – jasność absolutna. Równie spektakularnym przykładem korzyści, jakie przyniosło rozszerzenie badanego zakresu widm o ultrafiolet, było odkrycie białych karłów wokół gwiazd bogatych w bar. Stało się jasne, że za „zaśmiecanie" atmosfer chłodnych olbrzymów, nie wyróżniających się w jakiś szczególny sposób pod innymi względami, odpowiedzialna jest materia towarzyszących im przeewoluowanych gwiazd.

Dzięki IUE astronomowie byli w stanie nie tylko odkryć niewidzialne składniki gwiazd podwójnych. W pewnych wypadkach mogli wykorzystać je w charakterze „próbników" badających zewnętrzne warstwy towarzyszących im olbrzymów. W układach typu ζ Aurigae niewielki gorący składnik, przechodząc przez rozległą otoczkę olbrzyma, zostaje wzbogacony w jego materię. Śledzenie takich zjawisk pozwalało uzyskać informacje o gęstości i strukturze atmosfer olbrzymów.

Błysk na niebie

Jednym z najważniejszych obiektów badanych przez IUE była Supernowa 1987A z Wielkiego Obłoku Magellana. Za pomocą satelity wykonano jej pierwsze profesjonalne obserwacje (naziemne teleskopy mogły się włączyć dopiero po kilku godzinach). Wprawdzie pierwsze widmo zostało prześwietlone (supernowa okazała się tak jasnym obiektem w ultrafiolecie), ale tę drobną usterkę natychmiast skorygowano. Dzięki dużej jasności SN 1987A mogła być obserwowana w wysokiej dyspersji, przyczyniając się m.in. do stworzenia pierwszego ultrafioletowego atlasu materii międzygwiazdowej w Wielkim Obłoku Magellana i w naszej Galaktyce. Już po czterech dniach ultrafioleto-

wa jasność supernowej zmniejszyła się ponad tysiąc razy. Znalazła się tym samym poza zasięgiem detekcji IUE, jednak w jej bezpośrednim sąsiedztwie satelita nadal rejestrował widma dwóch innych gwiazd; na fotografii uzyskanej przed wybuchem widoczne były w tym obszarze nieba trzy gwiazdy. Jak się okazało, to eksplozja niebieskiego nadolbrzyma przez cztery dni przykuwała uwagę kamer IUE. Tak oto po raz pierwszy dokonano identyfikacji gwiazdy – poprzedniczki supernowej.

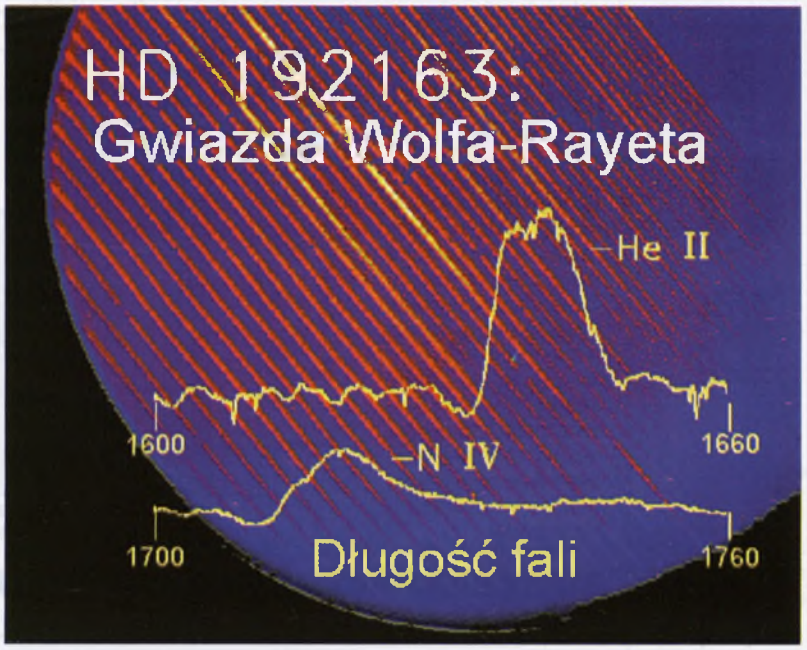
Niespokojne serca galaktyk

Jednym z pierwszych odkryć dokonanych przez IUE podczas penetrowania głębin Wszechświata było odkrycie silnej zmienności linii emisyjnych w widmach galaktyk Seyferta. Można ją było skorelować ze zmianami całkowitej jasności tych obiektów. W roku 1988 grupa kilkunastu uczonych, uświadamiających sobie rolę satelity w badaniach aktywnych jąder galaktyk, utworzyła nieformalną organizację (AGN Watch) celem złożenia wspólnego projektu. Uzyskał on poparcie komitetu rozpatrującego wnioski o przyznanie czasu obserwacji i w ten oto sposób ponad 700 godzin w ciągu kilku miesięcy poświęcono badaniom galaktyki NGC 5548. Rezultaty zrewolucjonizowały spojrzenie na jądra aktywnych galaktyk, choć modelowanie niezwykle burzliwych procesów w nich zachodzących pozostanie jednym z ulubionych zajęć kolejnego pokolenia badaczy.

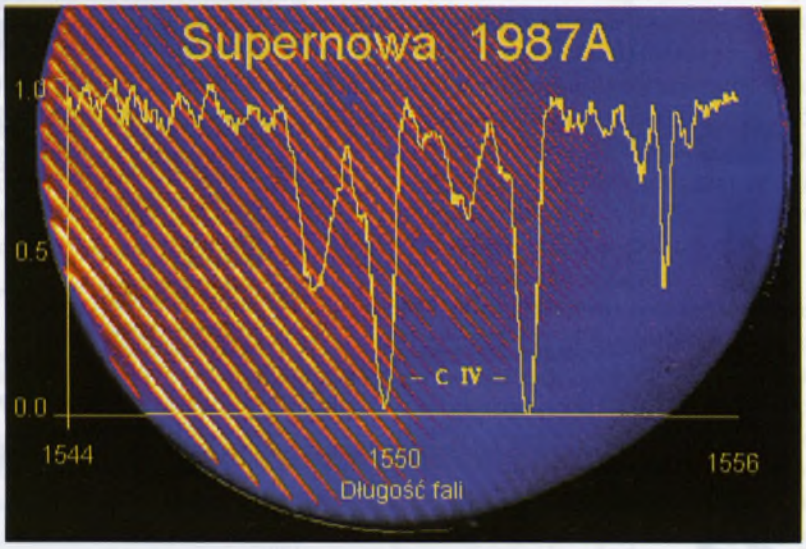
Śladami wspomnianej grupy specjalistów, która rozrosła się w międzyczasie do kilkudziesięciu osób, podążyli inni astronomowie, zgłaszając wspólne projekty obserwacji (tzw. megakampanie), m.in. przy pomocy IUE.

Na własnym podwórku

Satelitę IUE postawiono w stan gotowości gdy tragedia statku kosmicznego „Challenger" spowodowała odroczenie ultrafioletowej misji Astro (eksperyment ten miał być częścią międzynarodowych badań kosmicznych przygotowywanych w związku z wizytą komety Halleya w 1986 r.). Obserwacje komety prowadzono za jego pomocą od września 1985 do lipca 1986. W pobliżu peryhelium, na podstawie zarejestrowanej przez IUE emisji hydroksylu (OH), „zu-



Rys. 4. Ilustracja przedstawia surowe i zredukowane widmo wysokiej dyspersji uzyskane dla gwiazdy Wolfa-Rayeta HD 192163. Linie emisyjne He II oraz N IV wykazują profil typu P Cygni, świadczący o silnej utracie materii przez gwiazdę.

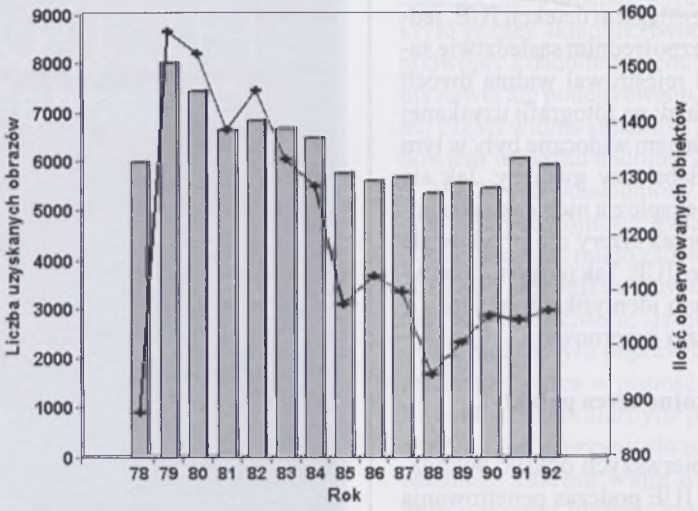


Rys. 5. Kilka składników absorpcyjnych rezonansowej linii C IV na tle surowego obrazu widmowego wysokiej dyspersji SN 1987A z Wielkiego Obłoku Magellana. Pierwsze widma supernowej , uzyskane dzięki IUE w kilkanaście godzin po jej odkryciu, wskazywały na prędkość ekspansji wyrzuconej materii sięgającą 36 tys. km/s.

Rys. 6. Sekwencja 59 widm galaktyki Seyferta NGC 5548 uzyskanych przez IUE w 4-dniowych odstępach pomiędzy grudniem 1988 a sierpniem 1989. Zmiany natężeń linii emisyjnych Lymana oraz C IV są wyraźnie skorelowane.

IUE W LICZBACH

Histogram przedstawia liczbę obrazów uzyskanych za pomocą IUE w kolejnych latach. Zaznaczono również ilość obiektów obserwowanych każdego roku (skala po prawej stronie). Ta druga liczba systematycznie maleje od 1979 r., świadcząc o podejmowaniu monitorowania kolejnych źródeł.



Całkowita liczba obserwacji IUE w pierwszych 15 latach aktywności z uwzględnieniem różnych klas obiektów.

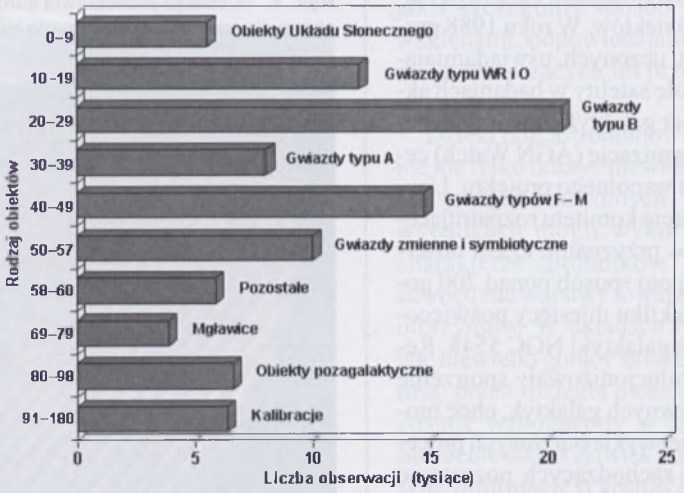
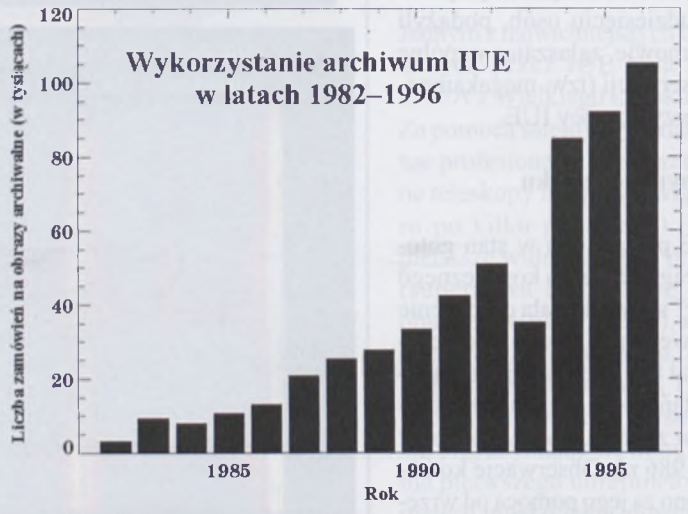


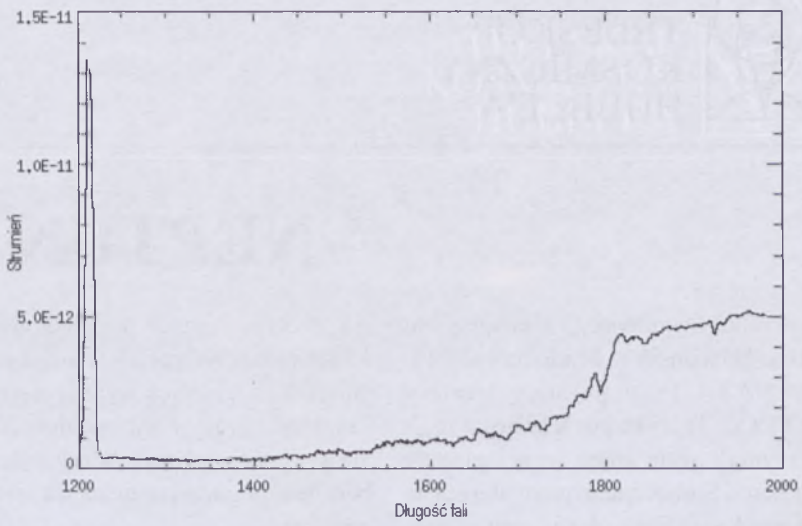
Diagram ilustrujący liczbę napływających w kolejnych latach zamówień na archiwalne obrazy IUE. Jego przebieg uzasadnia potrzebę stworzenia jednorodnej bazy danych, która służyć będzie astronomom na całym świecie.



życie wody" przez kometę oszacowano na milion metrów sześciennych dziennie. Podobne tempo „odwadniania" wykazywała w marcu ubiegłego roku kometa Hyakutake, którą IUE obserwował intensywnie przez kilka dni. To m.in. jego wielogodzinne ekspozycje umożliwiły wniknięcie w naturę zjawisk zachodzących we wnętrzach komet.

Satelita obserwował nie tylko świadectwa śmierci czekającej komety w przyszłości. Inny tego rodzaju obiekt przestał bowiem istnieć na naszych oczach. W lipcu 1994 roku szlagierem prowadzonych na całym świecie obserwacji, również za pomocą teleskopu IUE, był Jowisz, którego bombardowały odłamki komety Shoemaker-Levy9.

Jowisz był też obiektem, na który w ostatnich miesiącach funkcjonowania IUE zwracano jego kamery częściej niż zazwyczaj. Tym razem pozostał on w cieniu głównego bohatera: sondy Galileo, stanowił jednak istotny element w koordynacji prowadzonych in situ badań.



Rys. 8. Krótkofalowa część ultrafioletowego widma obszaru równikowego Jowisza. Satelita IUE wraz z Voyagerem badał koncentrację wodoru zjonizowanego w tym właśnie obszarze. IUE obserwował też m.in. księżyc Io, wyrzucony przezeń pierścień materii otaczający Jowisza oraz zorze w atmosferze samej planety.

Scheda

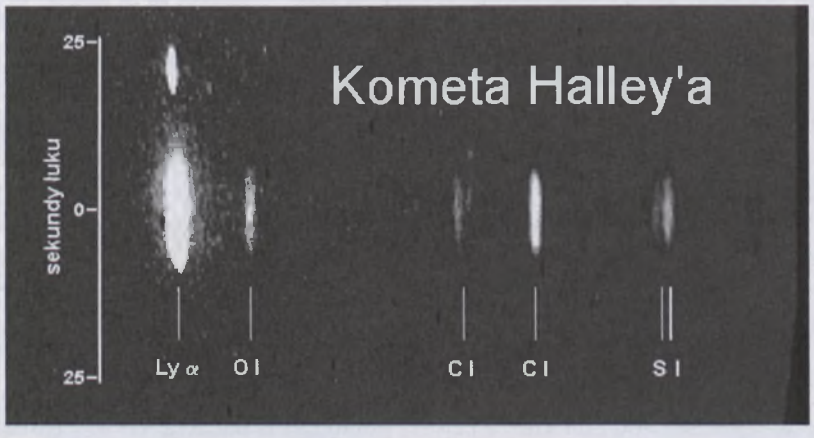
Ostatnie pół roku aktywności IUE zajęły specjalne programy obserwacyjne. Komitet Naukowy ESA postanowił bowiem uzupełnić dotychczasowe dane w najbardziej niezbędnym zakresie, by opracować swoiste opus magnum, do którego powstania przyczyniły się ekipy techniczne i rzesze astronomów z całego świata: końcowe archiwum satelity (IUE Final Archive). Zgodnie ze specjalnie przygotowanym sytemem redukcji planuje się przetworzyć od nowa ponad sto tysięcy obrazów uzyskanych przez prawie 20 lat dla ok. 9300 obiektów. Nowa procedura w większości przypadków podnosi stosunek sygnału do szumu w porównaniu z wcześniej stosowanymi metodami kalibracji. Do końca 1997 roku stworzona zostanie jednorodna baza danych, z której będą korzystać następne pokolenia astronomów.

Krótki bilans

Satelita IUE przyniósł olbrzymi postęp w dziedzinie astrofizycznych badań kosmicznych. Z jego usług skorzystało ponad dwa tysiące astronomów z całego świata, realizując własne projekty obserwacyjne. Na łamach wiodących czasopism ukazało się około 3500 artykułów bazujących na materiale zebranym przez satelitę. O znaczeniu projektu dla edukacji nowej generacji astrofizyków świadczy również fakt, że ponad 500 rozpraw doktorskich w znacznym stopniu oparto na danych uzyskanych dzięki IUE (do czego przyznaje się również autor niniejszej notatki).

Nie sposób wyobrazić sobie dziś poznawanie Wszechświata ograniczone do zakresu widzialnego. Badania satelitarne stworzyły perspektywę, z której uzyskaliśmy jeszcze bardziej fascynujący obraz zjawisk rozgrywających się w otaczającym nas świecie. IUE ma na swym koncie szereg eksperymentów realizowanych przy współudziale innych sond kosmicznych (m.in. Voyager, HST, ROSAT, Compton, EUVE, ASCA) oraz licznych obserwatoriów naziemnych. Pozostanie w naszej pamięci jako mały statek kosmiczny, który dla astronomii zdziałał tak wiele.

Krzysztof Rochowicz



Rys. 7. Ultrafioletowe widmo komety Halleya, na którym dokonano identyfikacji podstawowych struktur emisyjnych.

Dr Krzysztof Rochowicz pracuje w Centrum Astronomicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Pasjonuje się gwiazdami typu W-R. Badał widma tych gwiazd uzyskane przy pomocy opisywanego tu satelity IUE.

NEPTUN

Lawrence Sromovsky z Uniwersytetu stanu Wisconsin w Madison i technicy NASA przy pomocy kamery WFPC2 Teleskopu Kosmicznego otrzymali serię zdjęć ósmej planety Systemu Słonecznego pozwalającą na sporządzenie filmu ukazującego pełen, ponad 16 godzinny obrót Neptuna wokół osi. Tą drogą naukowcy pragną lepiej poznać dynamikę atmosfery tej planety i uwarunkowania pogodowe tam panujące. Tu przytaczamy 2 zdjęcia przeciwstawnych półkul uzyskane 13 sierpnia 1996 roku. Obróbka komputerowa tych zdjęć wykorzystywała uzyskane obrazy z wielu długości fali dla ukazania cech charakteryzujących burzliwą pogodę panującą na tej planecie.

Dominujący kolor niebieski planety jest rezultatem absorpcji światła czerwonego i podczerwonego przez metanową atmosferę Neptuna. Chmury wznoszące się tuż ponad głównymi warstwami metanu są białe, podczas gdy bardzo wysokie chmury są raczej żółto-czerwone, jak widać na górze (północy) prawego obrazu.

Silny dżet równikowy, gdzie wiatry wieją z szybkością prawie 1500 km/godz. jest scentrowany na ciemnoniebieskim pasie tuż na południe od równika Neptuna. Dalej na południe zielony pas wskazuje obszar, gdzie atmosfera absorbuje światło niebieskie.

BURZA PIASKOWA NA MARSIE

Phil James z Toledo i Steve Lee z Kolorado,współpracując z NASA sfotografowali jako pierwsi olbrzymią burzę piaskową w okolicach północnej czaszy polarnej Marsa. Zdjęcia zostały zrobione przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a kamerą WFPC2, wiosną na północnej półkuli Marsa, w odstępie około miesiąca (18 września i 15 października 1996). Ta burza polarna jest prawdopodobnie konsekwencją dużych różnic temperatury między lodami czaszy polarnej, a ciemniejszymi obszarami położonymi bardziej na południe, powstającymi w wyniku intensywnego wiosennego nasłonecznienia. Słońce powoduje wtedy sublimację suchego lodu czaszy polarnej i jej kurczenie się.

Mars znany jest z podobnych zjawisk. Burze piaskowe obejmują nawet całą planetę. Podobna, do obecnie obserwowanej wystąpiła w czasie obserwacji Marsa przez orbitujące stacje kosmiczne Viking w połowie lat siedemdziesiątych .Działo się to na innych obszarach planety. Tym razem odkryto takie zjawisko nad kurczącą się czaszą polarną i daje to nowy przyczynek do poznania dynamiki atmosfery Marsa. Są to zjawiska poza zasięgiem obserwacji teleskopów naziemnych. Zebranie większych ilości informacji na ten temat planowane jest w programach badawczych stacji Mars Pathfinder i Mars Global Surveyer znajdujących się w drodze do Czerwonej Planety.

Na górnym obrazie (z 18 września 1996), nad białą północną czaszą polarną widzimy nieregularną plamę koloru łososiowatego – to właśnie chmura piaskowa. Jej szerokość jest większa niż 1000 km (a więc obejmuje swym zasięgiem obszar prawie 2 razy większy niż Polska). Jasne chmury piaskowe są też widoczne nad ciemnymi obszarami otaczającymi czaszę. Jasne chmury na niższych szerokościach planetograficznych są na ogół związane z największymi marsjańskimi wulkanami, takimi jak Góra Olimp (Olympus Mons). Obraz przedstawiony na fotografii został uzyskany w czasie, gdy odległość Marsa od Ziemi wynosiła 300 mln km , a kątowy rozmiar planety był mniejszy niż rozmiar Wielkiej Czerwonej Plamy na Jowiszu.

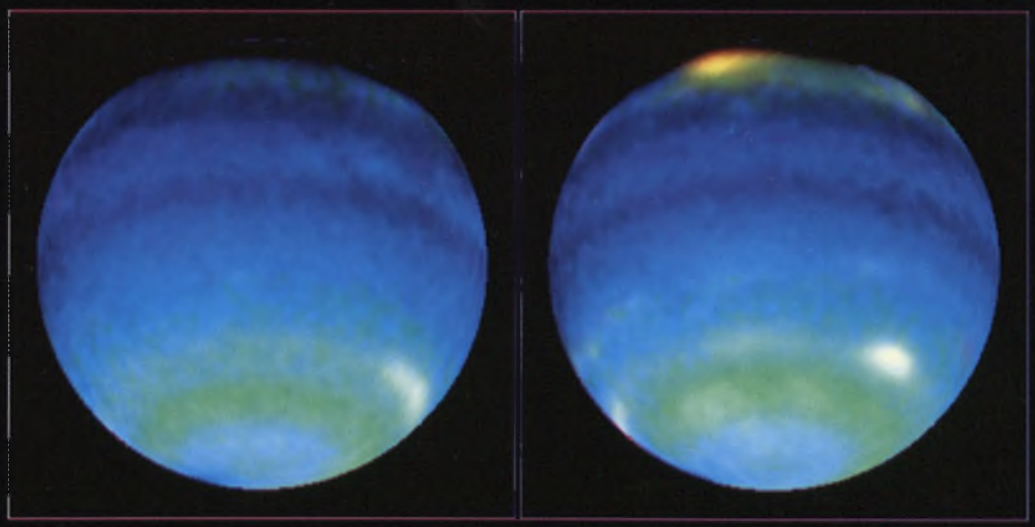
Obraz dolny to zdjęcie z 15 października 1996. Chmura pyłowa została w zasadzie rozproszona, ale na tle lodowej czapy polarnej widać strukturę w kształcie przecinka. Kształt jest podobny do zimnych frontów atmosferycznych na Ziemi. Podobne zjawisko nie było dotychczas obserwowane na Marsie ani przy pomocy naziemnych, ani kosmicznych teleskopów. Linia śniegowa określająca zasięg czaszy polarnej cofnęła się (przesunęła ku północy) o ok. 200 km w czasie miesiąca dzielącego obie obserwacje. W tym czasie odległość z Ziemi do Marsa zmniejszyła się do 275 mln km.

Dla lepszej oceny lokalizacji i wielkości obserwowanego zjawiska burzowego, po prawej stronie każdego z omówionych wyżej obrazów Marsa, przedstawiono obrazy północnej półkuli tej planety w biegunowej projekcji kartograficznej. Mapy są zorientowane w ten sposób, że południk 0° długości jest skierowany ku górze, a inne południki oznaczone co 45° rosną w kierunku ruchu wskazówek zegara. Równoleżniki są nakreślone dla 40, 60 i 80 stopni szerokości północnej. (aw)

obserwuje

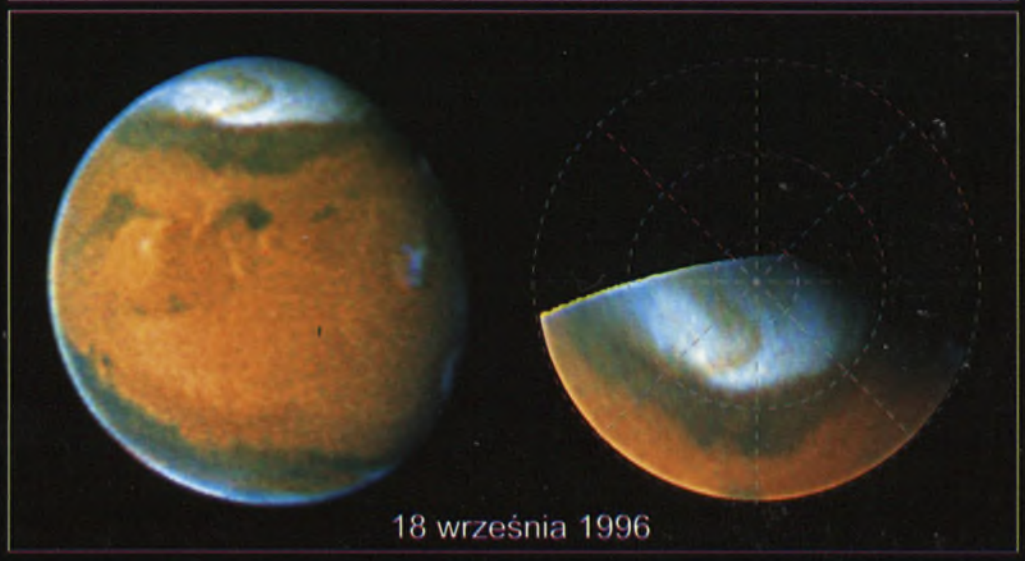
TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

Neptun



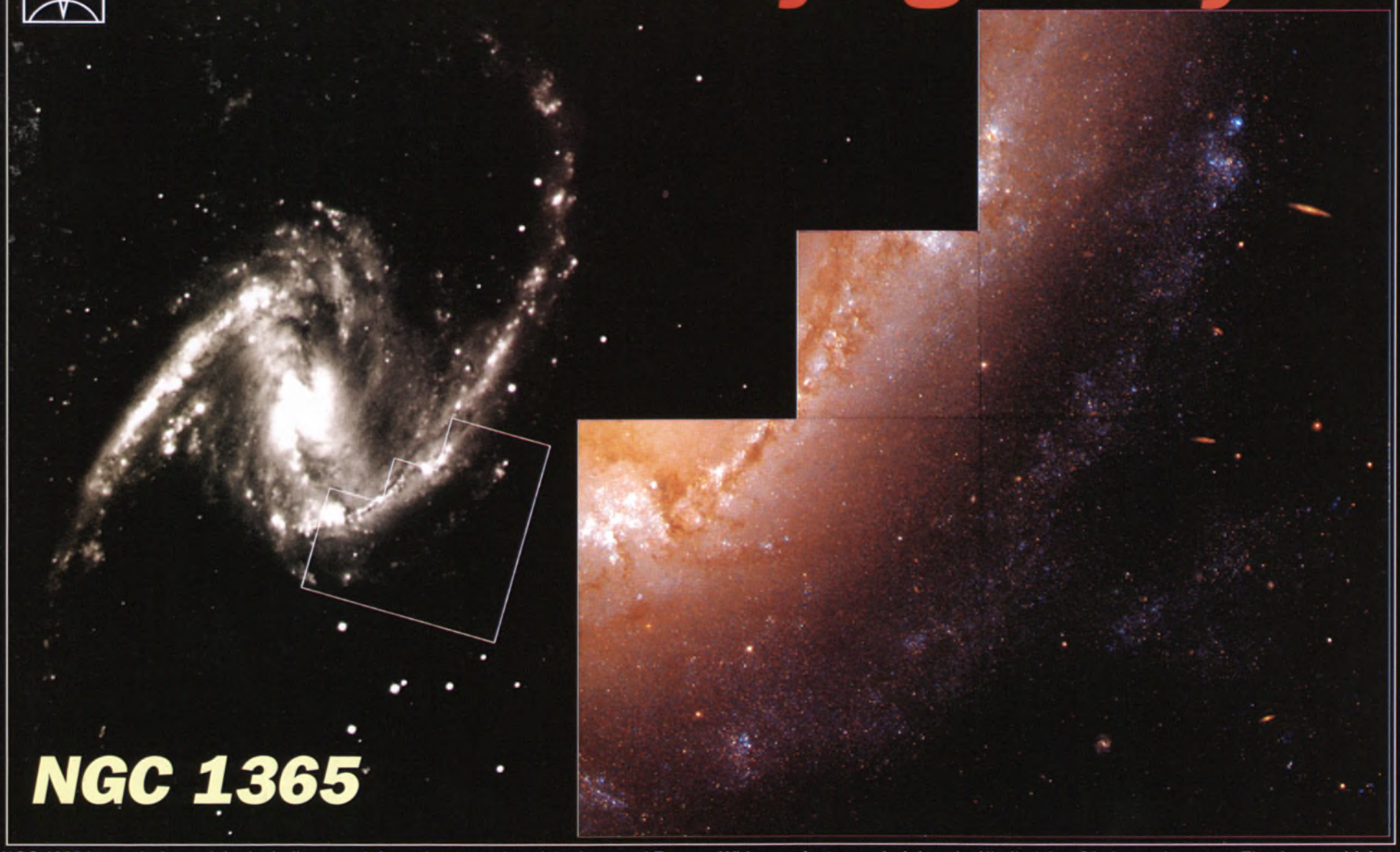
Burza piaskowa na Marsie

15 października 1996

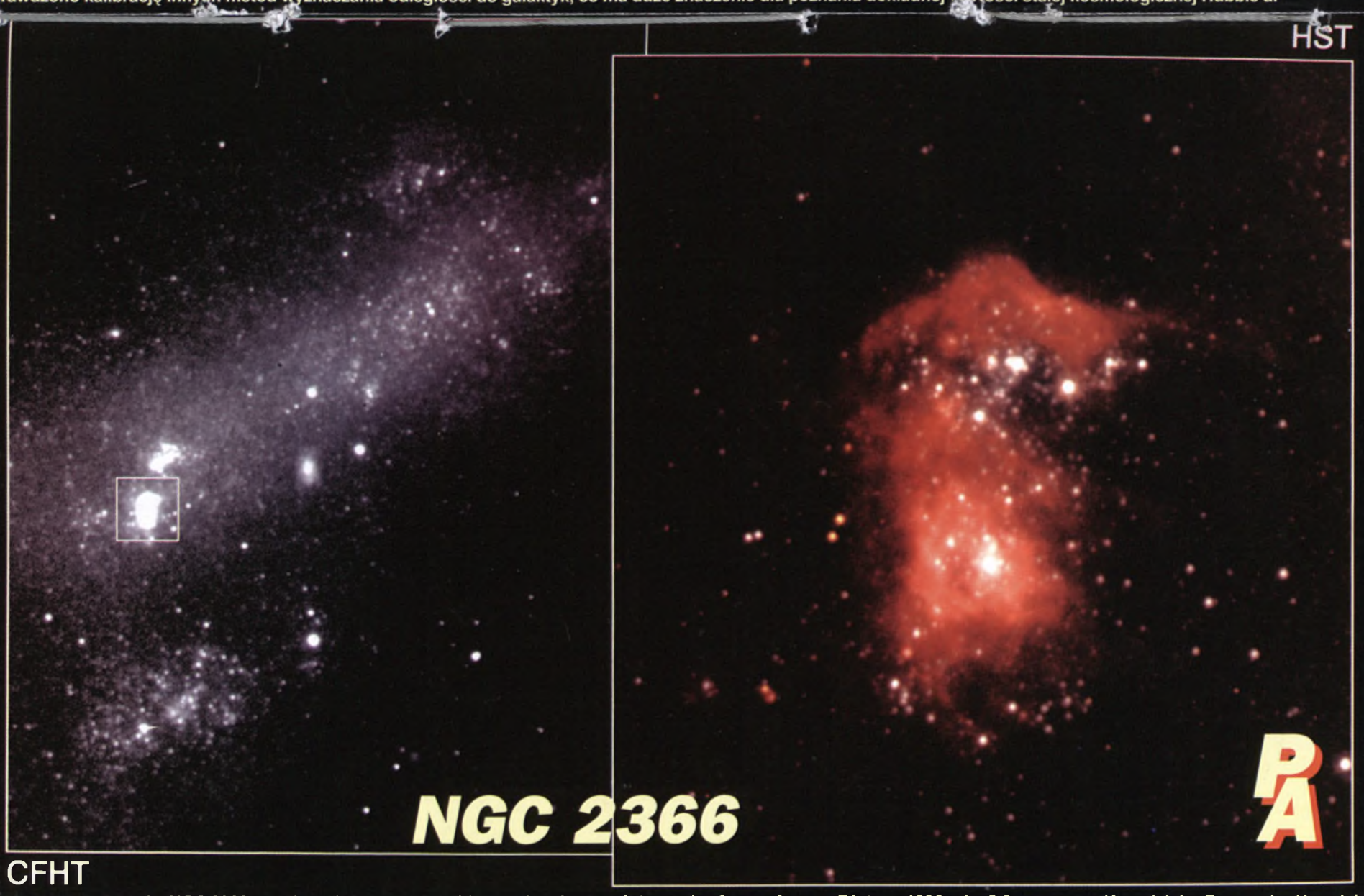


18 września 1996

HST obserwuje galaktyki



NGC 1365 jest spiralną galaktyką belkową należącą do gromady galaktyk zwanej Fornax. Widoczna jest na południowej półkuli nieba. Obok uzyskanego z Ziemi czarnobiałego obrazu galaktyki widzimy jej fragment uzyskany teleskopem Kosmicznym Hubble'a w naturalnych barwach. Serie małych niebieskich kropek na tym obrazie pokazują obszary tworzenia się gwiazd w ramionach spiralnych tej galaktyki. W tych obszarach autorzy zdjęć (W.Freedman z Pasadeny i zespół „projektów kluczowych HST" z NASA) odkryli około 50 cefeid, które stanowią „kamienie milowe" przestrzeni pozagalaktycznych. Wyznaczona odległość tej galaktyki od Ziemi wynosi 60 milionów lat świetlnych. Przy okazji niejako sprawdzono kalibrację innych metod wyznaczania odległości do galaktyk, co ma duże znaczenie dla poznania dokładnej wartości stałej kosmologicznej Hubble'a.



Nieregularna galaktyka NGC 2366 przedstawiona na czarno-białym obrazie powyżej została sfotografowana 7 lutego 1996 roku 3.6 metrowym Kanadyjsko-Francusko-Hawajskim teleskopem CFHT na Mauna Kea przez L. Drissena i Y. Dutila. Mały biały kwadracik pokazuje obszar, którego kolorowy obraz uzyskał teleskop kosmiczny (kamera WFPC2, autorzy: L. Drissen, J-R. Roy i C. Robert z Uniwersytetu Laval w Kanadzie) w styczniu 1996 r. Jest to w istocie potężny matecznik gwiazdowy. Najjaśniejsze gwiazdy widoczne na tym obrazie są to gwiazdy rzadkiej klasy wybuchających jasnych niebieskich zmiennych zwanej LBV. Gwiazdy te znajdują się w bardzo niestabilnej, wybuchowej fazie swego życia. Ich masy są 30 – 60 razy większe od masy Słońca. Tu obecne gwiazdy zwiększyły swój blask blisko 40-krotnie w ciągu ostatnich 3 lat (średnio z 21.5 do 17.8 magnitudo). W naszej Galaktyce zanotowano dotychczas tylko 4 wybuchy gwiazd LBV. Najsłynniejsze to Eta Carinae (wybuchy w latach 1837 – 1860) i P Cygni (1600).

Przytoczone tu zdjęcie pokazuje również dwie gęste chmury gwiazd masywnych, które są w różnych fazach ewolucji. Wiatry gwiazdowe i wybuchy supernowych wymiotły gaz z najstarszej gromady (liczącej 4 – 5 mld. lat) widocznej w górnej części obrazu HST. To spowodowało powstanie jamy w mgławicy. Natomiast najjaśniejsza gromada (na dole, w środku) ma prawdopodobnie niespełna 2 miliony lat i jest wciąż zanurzona w pozostałościach gazu i pyłu z którego powstała.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Galaktyka na horyzoncie Wszechświata

Oto najgłębsze wniknięcie teleskopu Hubble'a w bezkresy Wszechświata – strzałka wskazuje najbardziej odległą galaktykę. Inne galaktyki na tym obrazie znajdują się w znacznie mniejszych odległościach od Ziemi.

Seria 4 małych obrazków ilustruje technikę identyfikacyjną odległej galaktyki. Zostały one uzyskane w barwach od ultrafioletu do podczerwieni – interesująca nas galaktyka jest doskonale widoczna na zdjęciu w podczerwieni (najbardziej na prawo), a praktycznie niewidoczna w innych zakresach fal.

Zdjęcie zostało wykonane 26 czerwca 1996 roku przez K.Lanzetta i A.Yahil'a z NASA.

Alan W. Harris

Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię przed zderzeniami z kometami i małymi planetoidami?

Niestety nie. Odkrywanie tych ciał jest zbyt drogie, a środek zaradczy – broń jądrowa utrzymywana w ciągłej gotowości – jest sam w sobie większym zagrożeniem.

Ziemia porusza się wśród mrowia małych ciał Układu Słonecznego. Zderzenia z nimi są nieuchronne. Dla tych najmniejszych ciał możemy to widzieć każdej nocy – to meteory. Powalony w 1908 roku las w rejonie rzeki *Podkamiennaja Tunguska* na Syberii i *Krater Meteorowy* w Arizonie świadczą o rzadszych ale znacznie większych spotkaniach, które przenikają atmosferę i powodują zniszczenia na powierzchni Ziemi.

Z drugiej strony, sądzi się, że uderzenie planetoidy lub komety o średnicy 10 km spowodowało kataklizm, który doprowadził do wyginięcia dinozaurów 65 mln lat temu. Dzisiaj takie wydarzenie mogłoby spowodować śmierć większości, jeśli nie wszystkich, ludzi na świecie.

Z obserwacji teleskopowych i zliczeń kraterów księżycowych astronomowie wiedzą, ile w przybliżeniu takich ciał, od największych (o średnicy 10 km) do stumetrowych (patrz wykres na str. 27), porusza się po orbitach krzyżujących się z orbitą Ziemi. Z prostych praw dotyczących teorii orbit można obliczyć, że każde ciało na takiej orbicie uderzy w Ziemię w ciągu 100 mln lat. Tak więc, prawdopodobny czas między kolejnymi zderzeniami N ciał jest po prostu $10^8/N$.

Wczuwając się w rolę światowego agenta ubezpieczeniowego, chcielibyśmy znać jakie jest ryzyko wynikające z takich zderzeń i ile powinniśmy zapłacić za ubezpieczenie. Zderzenie podobne do *Meteorytu Tunguskiego* niszczy obszar o średnicy 50 km raz na 300 lat. Przy obecnej światowej populacji odpowiada to śmierci około 80 osób w ciągu roku. Ponieważ takie „średnie" zderzenie pojawia się także w oddalonych rejonach lub na oceanach, tylko niewiele z nich – prawdopodobnie raz na 10 tys. lat – może doprowadzić do śmierci znacznej liczby ludzi.

Meteoroidy o średnicach mniejszych niż 50 metrów eksplodują zbyt wysoko w atmosferze aby mogły spowodować znaczące zniszczenia na powierzchni Ziemi. Rachunki dla ciała o średnicy 10 km są proste choć ponure: raz na 100 mln lat zginą wszyscy, co równa się śmierci około 60 ludzi na rok. Jak widzimy, wynik jest podobny jak w przypadku zderzeń typu *Meteoryt Tunguski.*

Jednak największe niebezpieczeństwo pochodzi od ciał o pośrednich rozmiarach. W 1994 roku w artykule w *Nature* Clarck Chapman i David Morrison oszacowali, że zderzenie z planetoidą o średnicy 1 km może spowodować oziębienie klimatu podobne do tzw. „zimy nuklearnej", doprowadzając do śmierci 1/4 całej ludzkości. Ponieważ blisko Ziemi krąży prawdopodobnie ponad 1000 planetoid o średnicach większych niż 1 km, więc takie zderzenie może pojawić się raz na 100 tys. lat – sugerując śmierć 10 tys. ludzi na rok, czyli około 100 razy więcej niż powodowane zarówno przez najmniejsze jak i największe zderzenia.

Koszty bezpieczeństwa

Jaka jest cena złagodzenia tego niebezpieczeństwa? Powszechnie przyjęta relacja to 1 mln $ za jedno uratowane życie – większość społeczeństw powinna teraz lub w przyszłości zapłacić taką sumę aby zmniejszyć wszelkie ryzyko. Tylko bogate kraje będą mogły zapłacić ten rachunek, aby odwrócić groźbę zderzenia. Jak na razie płacą tylko pięknie brzmiącymi frazesami o ratowaniu każdego życia w każdym miejscu, więc realnie ta suma może być zastosowana tylko do około 10% liczby wszystkich ludzi. Polityka ubezpieczenia od bardzo dużych lub małych zderzeń jest warta około 10 mln $ na rok, a od zderzeń z ciałami o średnich rozmiarach około 1 mld $ na rok.

Sądzi się, że 100 mln $ wydawanych przez około 10 lat całkowicie rozwiąże większość problemów pochodzących od zderzeń z ciałami o rozmiarach większych niż 1 km. Pozostałe ryzyko, pochodzące od mniejszych zderzeń i nieodkrytych dużych obiektów – w większości długookresowych komet – nie może być istotnie zmniejszone, nawet kosztem 1 mld $ na rok.

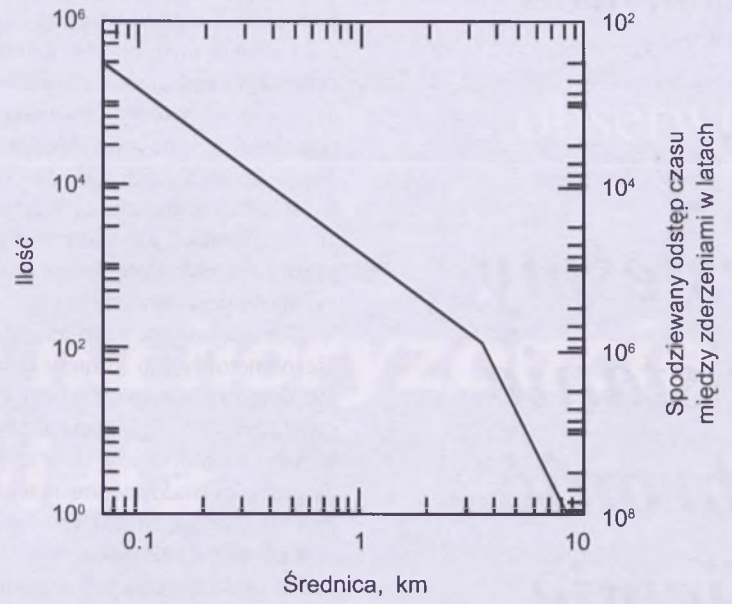
W 1992 roku NASA opublikowała raport pt. *Kosmiczny Strażnik* przygotowany przez Morrisona. Był to plan, nazwany zgodnie z planem w powieści *Spotkanie z Ramą* Artura C. Clarka, osiągnięcia prawie kompletnej inwentaryzacji planetoid bliskich Ziemi z minimalnymi średnicami około 1 km. Ten plan wymagałby kilku 1-metrowych teleskopów przeznaczonych tylko do tego zadania.

Rezultat takiego planu jest łatwy do przewidzenia – to odpowiedź na pytanie czy planetoida jest czy nie jest na orbicie powodującej zderzenie z Ziemią w ciągu najbliższych 100 lat. Koszt takiego przedsięwzięcia wynosiłby około 100 mln $ na dekadę. Mogłoby ono rozwiązać większość zagrożeń związa-

nych z dużymi zderzeniami ale mierzone podanymi powyżej wartościami wydaje się bardzo kosztowne. Oczywiście w przypadku mniej prawdopodobnej sytuacji, że zostanie odkryty obiekt na orbicie kolizyjnej, koszty zapobieżenia zderzeniu byłyby jeszcze większe.

Typowa krytyka *Kosmicznego Strażnika* polega na tym, że mógłby on zostawić bez odpowiedzi znaczny odsetek zagrożeń: pewną część nieodkrytych planetoid, obiekty odkryte na orbitach kolizyjnych z mniejszym wyprzedzeniem niż 10 lat, małe planetoidy o rozmiarach 0.1 do 1 km i długookresowe komety.

Ryzyko pochodzące od nieodkrytych planetoid lub tych odkrytych zbyt późno stanowi 10 do 20 procent całkowitego niebezpieczeństwa najbliższych 100 lat. Niebezpieczeństwo małych zderzeń jest mniejsze niż 10% wszystkich. Długookresowe komety stanowią 10 do 30 procent strumienia dużych ciał. Sumując, *Kosmiczny Strażnik* jest rozwiązaniem tylko połowy problemów.



Spodziewana populacja asteroidów, których orbity zbliżają się do Ziemi. Skala po lewej stronie jest liczbą asteroidów NEA większych niż określona średnica. Skala po prawej stronie jest średnim okresem czasu pomiędzy spotkaniami ciał o danej średnicy. Astronomowie dokładnie nie wiedzą ile takich spadających asteroidów może być, ale mogą oceniać ich liczbę na podstawie stu znanych już przypadków. Jak oceniają, ilość planetoid o średnicy większej niż 1 km i przechodzących blisko Ziemi wynosi ok. 1500, lecz tylko 20 z nich ma rozmiary większe niż 5 km. Te asteroidy przelatują tak blisko Ziemi, że prędzej czy później w nią uderzą. Statystycznie, planetka o rozmiarach ok. 1km spada na Ziemię raz na 100 tys. lat, podczas gdy planetka 5-kilometrowa raz na 5 mln lat.

Czarny Scenariusz

Co należy zrobić z drugą połową? Dwa pytania powinny być wzięte pod uwagę. Po pierwsze, czy będziemy w stanie zarejestrować długookresowe komety i przewidzieć zderzenie wystarczająco wcześnie, aby zapewnić czas (powiedzmy 10 lat) potrzebny do przygotowania obrony? Drugie pytanie, które może być zastosowane do wszystkich klas obiektów, czy potrafimy zarejestrować je w końcowym zbliżeniu przed zderzeniem (powiedzmy z wyprzedzeniem od kilku dni do kilku tygodni. Taki system ostrzegania byłby bezużyteczny jeśli nie zbudujemy i nie utrzymamy w stałej gotowości systemu obrony (prawdopodobnie byłaby to broń jądrowa) oraz satysfakcjonujących środków obrony cywilnej, takich jak ewakuacja.

Aby odpowiedzieć na pierwsze pytanie musimy przełożyć czas oczekiwania na odległość rejestracji. Czas spadku komety po orbicie parabolicznej jest niespodzianie krótki: $0.075r^{3/2}$ lat, gdzie r jest jej początkową odległością od Słońca wyrażoną w jednostkach astronomicznych (j.a.).10-letni okres wyprzedzenia wymagałby detekcji i precyzyjnych pomiarów orbity, zanim kometa znajdzie się w odległości 26 j.a. od Słońca – prawie poza orbitą Neptuna. Nawet jednoroczny okres wyprzedzenia oznacza detekcję i precyzyjne pomiary wtedy, gdy kometa jest ciągle poza orbitą Jowisza. W odległości 26 j.a. kometa musiałaby być śledzona przez kilka lat z dokładnością 0.005 sekundy łuku w określeniu pozycji, aby przewidzieć jej zderzenie z Ziemią z dokładnością kilku średnic Ziemi.

Jest to bardzo duże wymaganie. Kometa o średnicy 1 km i albedo 4%, tak jak zdolność odbijająca jądra komety Halley'a, jest bardzo słaba – tylko 33^m w odległości 26 j.a. Nawet 10-km jądro ma jasność tylko 28 magnitudo. *Kosmiczny Teleskop Hubble'a* może – z trudem – osiągnąć ten poziom detekcji i precyzję pomiaru, ale i tak należało by mieć ich tysiące, aby obserwować całe niebo.

Czy teleskopy do obserwacji w podczerwieni mogłyby być lepsze? Odległa kometa jest jaśniejsza w podczerwieni niż w świetle widzialnym. Niestety ta korzyść jest zbalansowana przez fundamentalny problem teleskopów do podczerwieni – ich zdolność rozdzielcza jest gorsza. W podczerwieni kometa byłaby jaśniejsza lecz bardziej niewyraźna i rozmyta na tle nieba. Należy dodać do tego fakt, że nie mamy jeszcze wystarczająco dużych detektorów do podczerwieni, co sprawia, że obecnie takie obserwacje nie są jeszcze możliwe.

Podsumowując, wystarczająco wczesna rejestracja komet długookresowych, aby pozostał czas na zbudowanie i zastosowanie systemu obronnego, jest poza możliwościami współczesnej techniki.

Jedyną alternatywą byłby system wczesnego ostrzegania zaprojektowany po to, aby zapewnić czas – prawdopodobnie kilka tygodni – do zastosowania gotowego systemu obrony lub do ewakuacji milionów ludzi z obszaru zagrożonego zderzeniem. Komety – nawet te mniejsze, takie jak dwie ostatnio widziane z Ziemi: IRAS-Araki-Alcock i Hyakutake – są zwykle odkrywane bardzo późno, ale ciągle tydzień lub więcej przed największym zbliżeniem. Można sądzić, że nie musimy robić nic więcej niż to, co jest do tej pory – poszukiwania amatorskie i *Kosmiczny Strażnik,* jeśli będzie działał – aby zapewnić system wczesnego ostrzegania przeciwko kometom.

Za Pięć Dwunasta

Czy optyczny system wczesnego ostrzegania mógłby dać tygodniowe wyprzedzenie dla zderzeń z ciałami o rozmiarach *Meteorytu Tunguskiego?* Pierwszy krok ponownie polega na wyrażeniu cza-

su przez odległość. Średnia prędkość planetoidy przelatującej blisko Ziemi wynosi 10 km/s, więc rejestracja z 10-dniowym wyprzedzeniem oznacza odległość 8.6 mln km – około 23 odległości do Księżyca. W takiej odległości planetoida z albedo 10% i średnicy 100 metrów miałaby jasność 18^m gdy jest widziana w opozycji, lub 21^m jeśli jest w kwadrze (90° od Słońca). Ta granica jasności jest osiągalna przez system kilku dwumetrowych teleskopów przeglądających niebo parę razy w miesiącu.

Kłopot polega na tym, że planetoida nadlatująca prosto na nas nie porusza się wiele na niebie w ciągu tych ostatnich 10 dni przed zderzeniem. System wczesnego ostrzegania ma również znaczne „martwe" pola: w kierunku na Słońce, wzdłuż płaszczyzny Galaktyki, gdzie duża gęstość gwiazd uniemożliwia poszukiwania i w kierunku do Księżyca przez połowę miesiąca. Z tych powodów optyczny system wczesnego ostrzegania pokryje prawdopodobnie mniej niż połowę nieba, gdy wymagany czas wynosi tylko kilka dni.

Podczerwony system wczesnego ostrzegania dla bliskich obiektów ma te same wady jak dla dalekich komet. Inną możliwością byłby radar, lecz dla niego prawo zależności natężenia odebranego sygnału jest odwrotnie proporcjonalne do czwartej potęgi odległości – sygnał musi osiągnąć cel i wrócić do odbiornika. Megawatowe radary wojskowe, które mogą znaleźć obiekt o rozmiarach piłki tenisowej z odległości 10 tys. km, nie są w stanie zarejestrować 100-metrowego ciała w odległości Księżyca. Nawet z naszą najlepszą techniką, pierwszym sygnałem o zderzeniu mogą być odczuwane drgania gruntu.

Oczywiste jest, że możemy zarejestrować długookresowe komety z wystarczającym wyprzedzeniem aby mieć czas na użycie przygotowanego wcześniej przeciwdziałania. Tak więc następnym krokiem – poza prosty przegląd *Kosmicznego Strażnika* – mogłoby być zbudowanie i utrzymywanie arsenału nuklearnego tak aby był gotowy do użycia w bardzo krótkim czasie. Mógłby on być użyty raz na 100 tys. lat.

W czasie mniejszym niż półwiecze nuklearnie uzbrojony świat doszedłby do krawędzi „końca świata" więcej niż jeden raz. Czy nie jest prawdopodobne, że ryzyko niewłaściwego obchodzenia się z arsenałem nuklearnym, będącym w gotowości przez 100 tys. lat jest większe niż niebezpieczeństwo, które miało być uśmierzone? Rząd chiński dostarczył wspaniałego przykładu kilka miesięcy temu, gdy odmówił kontynuowania rozmów rozbrojeniowych. Powód? Mogą potrzebować kilku bomb nuklearnych, aby obronić się przed planetoidą. Czy naukowcy niezamierzenie dostarczyli politycznego wytłumaczenia na zachowanie broni jądrowej?

Stajemy teraz wobec dylematu. Niebezpieczeństwo zderzenia istnieje i może być zniwelowane przez utrzymywanie potężnego arsenału jądrowego. Jednak istnienie takiego arsenału posiada swoje własne ryzyko. W mojej opinii kuracja jest gorsza niż choroba.

tłumaczył *Tadeusz Michałowski*

Powyższy artykuł ukazał się pierwotnie w czasopiśmie Towarzystwa Astronomicznego Pacyfiku MERCURY tom 25 nr 6 z listopada-grudnia 1996 r.

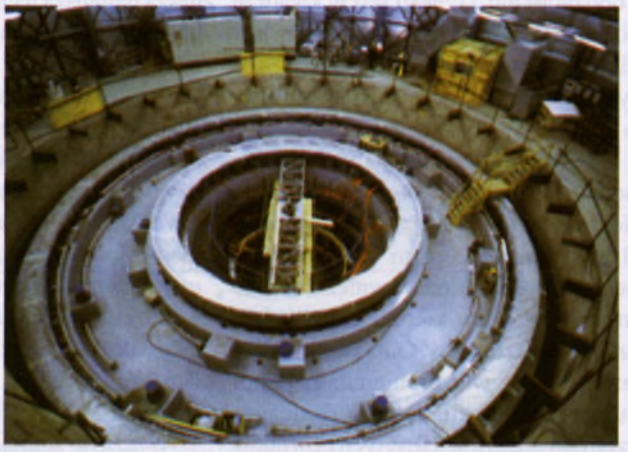
Więcej informacji o niebezpieczeństwie zderzeń można znaleźć na stronie WWW Davida Morrisona:
`http://ccf.arc.nasa.gov/sst`.

Alan W. Harris jest pracownikiem naukowym Jet Propulsion Laboratory w Pasadenie (Kalifornia). Jego naukowe zainteresowania dotyczą ewolucji orbitalnej i procesów fizycznych zachodzących w obrębie małych ciał Układu Słonecznego.

Krater Meteorytowy w Arizonie jest jednym z najmłodszych kraterów uderzeniowych na powierzchni Ziemi. Powstał jakieś 50 tysięcy lat temu w wyniku upadku z prędkością ok. 11 km/s żelaznej bryły o średnicy około 25 m i masie szacowanej na 65 ton. Wybuch o mocy 15 – 20 Mt TNT utworzył zagłębienie o średnicy prawie 1.5 km i głębokości 200 m.

ESO – prace nad VLT postępują ...

W grudniu 1996 roku Europejskie Obserwatorium Południowe (ESO) w Chile przeżywało podniosłe chwile. Najpierw rząd Chilijski i ESO wymieniły dokumenty ratyfikacyjne nowej umowy w sprawie pobytu i statusu instytucji międzynarodowej, jaką jest ESO, na Ziemi Chilijskiej. Później, w obecności przedstawicieli najwyższych władz chilijskich, gości honorowych i Rady ESO odbyła się uroczystość wmurowania aktu erekcyjnego Bardzo Dużego Teleskopu (VLT) na Cerro Paranal. „Kapsuła czasu" została umieszczona w ścianie budynku teleskopu nr 1. Po tych uroczystościach Rada ESO uchwaliła program naukowy i budżet na najbliższy rok. Potrzeba zawarcia nowej umowy wynikła ze względu na problemy własnościowe terenów na których budowany jest teleskop VLT oraz konieczności uregulowania sytuacji prawnej personelu chilijskiego pracującego w ESO i praw dostępu astronomów chilijskich do instrumentów tego obserwatorium. Problem przybierał chwilami tak ostrą formę, że wkraczała policja i władze sądowe Chile, a kraje członkowskie ESO nie wykluczały przeniesienia całego teleskopu VLT na inny kontynent. Pisaliśmy o tych sprawach w „Postępach Astronomii" nr 1 na str. 36 i w nr 3 na str. 112 w 1995 roku. W wielu trudnych negocjacjach zaangażowani byli politycy wielu krajów. Wypracowano porozumienie, które we wrześniu 1996 roku ratyfikowane zostało przez parlament chilijski i przez rządy krajów członków ESO. Porozumienie to nosi tytuł „The Interpretative, Supplementary and Modifying Agreement to the Convention of 1963". Daje ono Europejskiemu Obserwatorium Południowemu na wiele dziesiątków lat gwarancję stabilności warunków istnienia i aktywności (naukowej i inwestycyjnej) w Chile, w tym i wszystkich operacji związanych z budową i użytkowaniem Bardzo Dużego Teleskopu. Równocześnie astronomowie chilijscy będą mieli bezpośredni gwarantowany dostęp do wszystkich instrumentów obserwacyjnych ESO aż do 10% przyznawanego przez Komitet Programowy ESO czasu obserwacyjnego. Budowa teleskopu VLT postępuje bardzo sprawnie, zarówno pod względem rzeczowym, jak i finansowym. Kieruje nią profesor Massimo Tarenghi. Zakłady Schotta, po 8 latach pracy, wywiązały się w terminie ze swego zobowiązania dostarczenia 4 ośmiometrowych bloków „szkła" mających stanowić lustra 4 wielkich teleskopów. Materiałem z którego odlano lustra jest ceramiczne szkło zwane Zerodur. Charakteryzuje się on niezwykle niskim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej, na ogół mniejszym niż 0.05×10^{-6} m·K^{-1}, i bardzo dużą jednorodnością. Wszystkie bloki zostały odlane w latach 1991 – 1993. Przez cały ten okres około 60 ton masy szklanej było utrzymywane w temperaturze 1400°C. Proces formowania lustra odbywał się najpierw w rotującej formie. Około 50 tonom masy szklanej należało nadać odpowiednią prędkość rotacji, aby siła odśrodkowa nadała jej planowaną, paraboloidalną powierzchnię i w tym samym czasie jednorodnie i w sposób kontrolowany studzić. Teraz dwa z tych bloków stanowią gotowe już lustra i oczekują na transport do Chile. Trzecie lustro jest w trakcie końcowej obróbki,

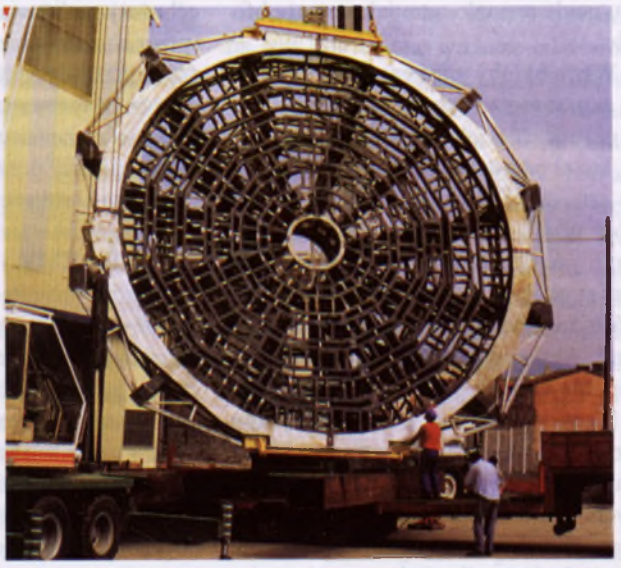


Fot. 2. Torowisko azymutalne teleskopu nr 1 czekające na przyjęcie teleskopu. W środku widać zwoje kabli, wskazujące, że trwa praca nad okablowaniem instrumentu.

Fot. 1. Bardzo Duży Teleskop VLT na Cerro Paranal – stan w połowie października 1996 roku. Po lewej całkowicie ukończony pawilon teleskopu nr 1, dalej bliski ukończenia pawilon nr 2 i inne budynki z widocznymi zaawansowanymi konstrukcjami stalowymi ich części ruchomych. Dźwig widoczny między budynkami 3 i 4 ma udźwig 350 ton.

a nad czwartym zakłady REOSC pod Paryżem, gdzie polerowano wszystkie lustra i gdzie teraz się one znajdują, będą pracowały aż do 1998 roku. Parametry tych luster są z dokładnością do ułamków milimetra identyczne i wynoszą: średnica – 8201 mm, grubość – 177 mm, a promień krzywizny – 28977 mm. Wszystkie mają cassegrainowski otwór centralny o średnicy 1000 mm. Budynek teleskopu nr 1 jest gotowy do przyjęcia teleskopu i rozpoczęto już montaż pierwszych gigantycznych elementów jego konstrukcji mechanicznej. Sama konstrukcja znajduje się jeszcze w Zakładach Mechanicznych w Mediolanie. Została już próbnie złożona i przetestowana wraz z całym oprzyrządowaniem i wyposażeniem elektronicznym niezbędnym do sterowania teleskopem. Pozostałe budynki i konstrukcje teleskopów są również realizowane zgodnie z pierwotnym harmonogramem prac. Podobnie jest z takimi elementami jak lustra wtórne, które wraz z częściami mechanicznymi dla teleskopu nr 1 zostały przekazane przez wykonawców inwestorowi. Obecnie są poddawane testom i adjustacjom. Proces montażu wszystkich elementów pierwszego 8 m teleskopu na Cerro Paranal trwał będzie do połowy roku 1997, a później nastąpi okres testów technicznych i optycznych. Wszyscy będziemy niecierpliwie oczekiwali na raporty o pierwszym spojrzeniu tego teleskopu na gwiazdy. Finalizowanie budowy pierwszego z wielkich teleskopów VLT jest radosną okolicznością, ale pociąga za sobą konieczność regulowania rachunków za wykonane prace i usługi. A z finansami ESO nie jest najlepiej. W szczególności decyzja rządu RFN z połowy 1996 roku o zmniejszeniu swego udziału finansowego we wszystkich organizacjach międzynarodowych do których należą Niemcy, pociągnęła znaczną redukcję budżetu ESO. Inne państwa, członkowie organizacji, nie chciały proporcjonalnie płacić więcej i na lata 1997 – 2003 budżet ESO będzie o 7.4% niższy od spodziewanego jeszcze rok temu. W tej sytuacji Komitet Wykonawczy ESO musiał podjąć cały szereg decyzji oszczędnościowych. Decyzje te chronią realizację podstawowych urządzeń VLT i funkcjonowanie obserwatorium na La Silla, ale odsuwają w czasie plany modernizacji istniejących mniejszych teleskopów i ograniczają program aktywności naukowej realizowany dotychczas w siedzibie ESO w Garching (Niemcy). Proporcjonalnie największe oszczędności poczynione będą w wydatkach osobowych: planuje się pewne redukcje stanu zatrudnienia i znaczne ograniczenie wzrostu uposażeń pracowników wszystkich kategorii. Panuje przekonanie, że są to tylko okresowe trudności i trzeba zrobić wszystko, żeby ten okres trwał jak najkrócej. Komitet Wykonawczy ostrzega, że przedłużające się tak znaczne ograniczenia finansowe spowodować mogą nieodwracalne szkody dla ESO i VLT. Odbijać się też będą na realizacji podstawowych celów istnienia Europejskiego Obserwatorium Południowego i postępie wiedzy o otaczającym nas Kosmosie. (aw)

Fot. 3. Teleskop nr 1 w czasie testów w Zakładach Mechanicznych w Mediolanie. Lustro zastępuje konstrukcja stalowo-betonowa.



Fot. 4. Pojemnik lustra teleskopu. Zewnętrzne rozmiary sięgają 10 m średnicy i 2.8 m grubości. Struktura tego pojemnika ma zapewnić sztywność i stałość kształtu lustra. Samo lustro będzie spoczywało na 150 sterowanych komputerowo hydraulicznych wspornikach, które będą odpowiednio doginały wiotką płytę lustra dla zachowania możliwie najlepszej jakości obrazu obserwowanej gwiazdy. Przypomnijmy, że zwykłe lustra, zachowujące swój kształt dzięki sztywności bryły z której są zbudowane, mają stosunek grubości do średnicy równy ok. 1/6. Lustra teleskopu VLT są bardzo cienkie i ten stosunek wynosi 1/46 i wobec tego można aktywnie wpływać na ich kształt. To właśnie kryje się pod nazwą „teleskopu nowej technologii", albo teleskopu z „aktywną optyką".

Salamandry, Memnonidesy i Znaleziska, czyli powstawanie planet wokół pulsarów

Wojciech Lewandowski

WSTĘP

Żyjemy w czasach, gdy kilka razy do roku dochodzą nas informacje o odkryciu nowego układu planetarnego wokół normalnej gwiazdy. Na razie jest osiem takich doniesień, wszystkie z ostatnich dwóch lat. Jeszcze w poprzednim dziesięcioleciu byłoby to nie do pomyślenia, a tu nagle sypnęło nam jak z rogu obfitości.

Warto byłoby więc zapytać – dlaczego akurat teraz? Odpowiedź nie powinna nastręczać większych trudności. Każdy, kto choć trochę zna najnowszą historię astronomii zauważy, że kamykiem, który uruchomił tę lawinę było odkrycie, a później potwierdzenie, istnienia planet wokół pulsara PSR1257+12, które to oba dokonania są dziełem prof. Aleksandra Wolszczana i jego współpracowników.

Po tych ostatnich odkryciach jakby przygasła kwestia tworzenia się układów planetarnych wokół gwiazd neutronowych. Jest to w miarę zrozumiałe – pomimo iż jest to pierwszy odkryty układ, aktualnie jest tylko jednym z dziewięciu, a do ludzkiej wyobraźni bardziej uderza istnienie planet wokół gwiazd podobnych Słońcu, niż wokół takiego dziwoląga, jakim jest pulsar. Nic więc dziwnego, że teoria formacji planet wokół pulsarów zeszła na dalszy plan. Niemniej jednak, teorie próbujące wytłumaczyć istnienie planet wokół gwiazdy neutronowej są wielce interesujące. Pamiętajmy bowiem, że problemy związane z tworzeniem układów planetarnych zwykłych gwiazd są w aspekcie planet „pulsarowych" tylko jednym (i to wcale nie najtrudniejszym do rozwiązania) ogniwem prowadzącym do powstania wiarygodnej teorii tłumaczącej fakt ich istnienia. Pozostaje jeszcze wiele innych, z którymi hipotezy powstawania układów planetarnych wokół zwykłych gwiazd w ogóle nie muszą się borykać. Niniejsza praca ma na celu zasygnalizowanie niektórych z nich (przez co chcę sobie zastrzec, że nie poruszę na pewno wszystkich zagadnień związanych z formacją okołopulsarowych układów planetarnych), oraz podanie kilku najbardziej prawdopodobnych odpowiedzi na nurtujące pytanie – jak?

PROBLEMY

Jakież są to więc problemy, z którymi nie mamy do czynienia w wypadku układów planetarnych otaczających normalne gwiazdy? Wystarczy zadać sobie pytanie – czym właściwie są pulsary i odpowiedź sama ciśnie się na usta. Jak się bowiem powszechnie uważa pulsary, czyli szybko rotujące i promieniujące gwiazdy neutronowe powstają (w bardzo znacznej części) jako pozostałość po wybuchu supernowej typu drugiego (SN II). Ocenia się, że pre-supernowa musi mieć w tym wypadku masę około $8\,M_{\odot}$, czyli, że tylko tak masywne gwiazdy kończą swą ewolucję efektownym, ale również bardzo niebezpiecznym dla najbliższego otoczenia wybuchem. Jeśli więc założyć, że gwiazda taka miała przed eksplozją układ planetarny, to czy ma on szansę przeżyć coś tak gwałtownego? A jeśli nie – to czy jest sposób na stworzenie planet, inny od tego jaki przyjmuje się w wypadku chociażby naszego Słońca – z dysku protoplanetarnego powstałego wokół dopiero co rodzącej się gwiazdy.

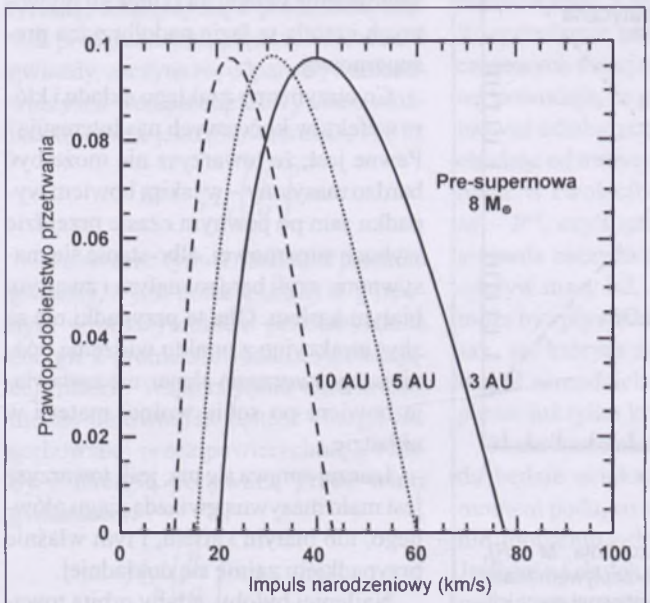
Odpowiedź na te pytania nie jest prosta, a na pewno nie jednoznaczna. Uważa się bowiem, że prawdopodobne są oba przypadki. Oznacza to, że w pewnych warunkach planeta może przeżyć wybuch supernowej, i pozostać związaną z powstałą na skutek wybuchu gwiazdą neutronową, lub też powstać po wybuchu – co jednoznacznie likwiduje problem przeżycia tej niebezpiecznej fazy. Jest też i inna możliwość Czy planety musza się stworzyć w otoczeniu pulsara, lub wcześniej pre-supernowej? A co z możliwością przechwytu przez gwiazdę neutronową jakiejś zabłąkanej w ogromie Wszechświata planety? Tak więc są trzy zasadnicze możliwości – w wypadku pulsarowych układów planetarnych mamy do czynienia z Salamandrami, Memnonidesami lub Znaleziskami.

SALAMANDRY

Nazwa tej teorii (nomenklatura pochodzi z pracy Phinney'a i Kulkarni'ego, 1994) jest może nieco dziwna, ale już wyjaśniam skąd się wzięła. Chodzi rzeczywiście o pięknie ubarwionego i powszechnie znanego płaza, ale raczej w aspekcie mitów i wierzeń – cech jakie mu nasi przodkowie przypisywali. Uważano bowiem niegdyś, że salamandry są demonicznymi istotami nie bojącymi się

ognia, zdolnymi wręcz do przejścia przez niego. Czyż nie jest to trafna nazwa dla planet, które przeżyły najbardziej piekielny ogień jaki jesteśmy sobie w stanie wyobrazić – wybuch supernowej, a jeszcze wcześniej kąpiel w otoczce czerwonego nadolbrzyma, który tą supernową się staje.

Właśnie – przeżyć, jak to łatwo powiedzieć. Ogólnie znana jest chyba ewolucja gwiazdy o masie 8 $M_\odot$ – gdyż jak wcześniej nadmieniłem jest to krytyczna (najmniejsza) masa gwiazdy, przy której jej żywot skończy się eksplozją supernowej. Po krótkim czasie życia na ciągu głównym gwiazda taka zaczyna ewoluować aż do stadium nadolbrzyma. Wiadomo, że rozmiary tego typu gwiazd w tym stadium należy liczyć raczej w jednostkach astronomicznych, niż jak to zwyczajowo ma miejsce w promieniach Słońca (1 AU = 218 $R_\odot$). Jeśli więc wokół takiej gwiazdy we wczesnych fazach ewolucji powstały planety, to losy przynajmniej tych położonych najbliżej są nieciekawe. Planeta taka pogrąży się w rzadkiej (z punktu widzenia teorii atmosfer gwiazdowych), ale za to dla planety bardzo gorącej otoczce. Dalsze losy są praktycznie przesądzone. nawet w tak rozrzedzonej otoczce siły tarcia spowodują dość szybkie zacieśnianie się orbity (z angielskiego można by powiedzieć „spiralowanie") z charakterystyczną skalą czasową rzędu 10^4 lat. Jest to mimo wszystko czas wielokrotnie krótszy od czasu życia otoczki pre-supernowej w tym stadium(Thorsett & Dewey, 1993) . Na dodatek wysoka temperatura powoduje, iż znaczącą możliwością jest odparowanie planety w tej fazie, np. masy jowiszowej w czasie nieco tylko dłuższym od skali czasowej „spiralowania". W tych warunkach bezpiecznie przeżyć mogą tylko planety na orbitach o dużych półosiach (dokładniejsze obliczenia wskazują na granicę około 3 AU dla gwiazdy 8 $M_\odot$), czyli takie, które co najwyżej pławią się w najbardziej zewnętrznych warstwach otoczki. Jeśli planecie uda się przetrwać to stadium, to wcale nie koniec jej mąk. Wtedy bowiem następuje wybuch SN II. I tu o dziwo największym problemem nie jest przeżycie oddziaływania z falą uderzeniową, ale czysto teoretyczne rozważania mechaniczne, które zdolny byłby przeprowadzić każdy uczeń liceum (jeśli nie wcześniej). Warunek, który musi zostać spełniony jest prosty – aby układ planeta-gwiazda pozostał związany całkowita jego energia mechaniczna musi mieć wartość ujemną. łatwo policzyć, że dla orbity kołowej, dla której energia kinetyczna jest połową wartości bezwzględnej energii potencjalnej (ujemnej) warunek na związanie układu implikuje fakt, że układ jako całość nie może stracić więcej niż połowę masy. Oczywiście dla gwiazdy nas interesującej z układem planetarnym zawsze tracimy ponad połowę masy. W wybuchu supernowej gwiazda stracić musi (jeśli założymy, że miała masę krytyczną) około 6.5 $M_\odot$ – z masy początkowej zostaje tylko pozostałość w postaci gwiazdy neutronowej. Całkowita zaś masa początkowa będzie 8 $M_\odot$ gdyż masy planet są pomijalnie małe. Ergo – układ straci grubo licząc 2/3 swej masy, czyli planety opuszczą swego odmienionego towarzysza.



Rys.1. Prawdopodobieństwo pozostania planety po wybuchu supernowej, jako funkcja prędkości impulsu narodzeniowego. Trzy krzywe reprezentują jego przebieg dla trzech różnych półosi w chwili wybuchu.

Na szczęście nie jest to zupełnie pewne. Obserwacje pulsarów, a szczególnie wyznaczenia ich prędkości tangencjalnych dają pewną szansę. Otóż wszystkie pulsary poruszają się z dużymi prędkościami, liczonymi w setkach kilometrów na sekundę. Jedynym źródłem takich prędkości może być tzw. impuls narodzeniowy (ang. natal kick), powstały na skutek niesymetryczności wybuchu supernowej. Łatwo sobie wyobrazić, że impuls taki może dopomóc w zachowaniu układu. W szczególności, jeżeli przez θ oznaczymy kąt pomiędzy kierunkiem impulsu, a chwilowym kierunkiem prędkości w momencie wybuchu, to warunek na ten kąt, zapewniający przetrwanie układu przedstawia się w sposób następujący:

$$\theta < \theta_c = \arccos\left(\frac{1 - \frac{2\Delta m}{m_0} - \left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)^2}{2\left(\frac{\Delta V}{V_0}\right)}\right)$$

gdzie:

Δm – masa utracona w wyniku wybuchu,

m_0 – masa początkowa,

ΔV – prędkość pulsara po impulsie narodzeniowym,

V_0 – prędkość towarzysza w ruchu orbitalnym w momencie wybuchu,

θ_c – kąt krytyczny.

Jeśli wyrażenie w nawiasie będzie mniejsze od –1 planeta jest zawsze odrzucona, zaś gdy będzie większe od 1 – zawsze pozostanie związana. Wyniki symulacji Monte Carlo dla takiego układu przedstawia **Rys.1.** Na osi pionowej odłożone jest prawdopodobieństwo zachowania układu, na poziomej zaś prędkość impulsu narodzeniowego. Trzy krzywe reprezentują trzy wartości wielkich półosi planety przed wybuchem. Obliczenia całkowitego prawdopodobieństwa zachowania układu pulsar -planeta dają zaś następujące wyniki:

a (AU)	3	5	10
%	2.9	1.6	0.7

„a" oznacza oczywiście półoś wielką, dolny wiersz – wyrażone w procentach prawdopodobieństwo przetrwania planety w stanie związanym z gwiazdą neutronową. W obliczeniach przyjęto masę pre-supernowej równą masie krytycznej, zaś dla impulsów narodzeniowych założony został Maxwell'owski rozkład prędkości, ze średnią wartością <90 km/s>.

Można się teraz zastanowić jak będzie wyglądała orbita takiej planety po przeżyciu eksplozji. Jak nie trudno zgadnąć będzie ona bardzo eliptyczna i „wycią-

gnięta". Korzystając również z mechanizmu symulacji M-C daje się wyliczyć, że dla masy krytycznej pre-supernowej, półosi przed wybuchem równej 5 AU (co odpowiada okresowi obiegu planety około czterech lat) z największym prawdopodobieństwem powstanie układ o mimośrodzie $e = 0.76$ i okresie orbitalnym 17 lat. Byłoby wszystko wspaniale, gdyby nie fakt, że w jedynym znanym nam układzie planetarnym wokół pulsara mamy dwie planety (prawdopodobieństwo, że obie przetrwały wybuch jest infinitezymalnie małe), na kołowych orbitach (e=0.02″), i z okresami obiegu 67 i 99 dni. Widać zatem w sposób oczywisty, że wymaganie, iż tego typu układ przeżył eksplozje SN II graniczy z oczekiwaniem cudu. A cudów, jak wiadomo, nie można się spodziewać na zamówienie.

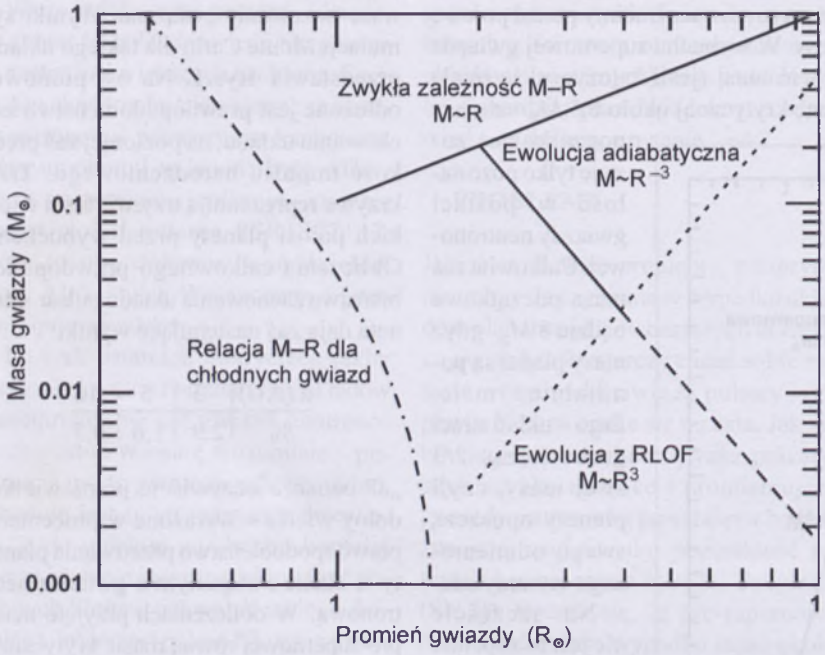
Istnieją co prawda zjawiska astrofizyczne zdolne ukołowić orbitę i odpowiednio ją zacieśnić, ale po pierwsze w wypadku planet są one mało efektywne, a po drugie dalej zostaje problem utrzymania dwóch planet wokół wybuchającej supernowej. Nietrudno sobie wyobrazić jak wąski jest przedział wzajemnej konfiguracji planet w momencie eksplozji i impulsu narodzeniowego, które prowadziłyby do takiego wyniku.

Niemniej jednak taka możliwość nie może być negowana. Nie tyczy się ona zapewne do PSR1257+12, ale można pokazać, że wśród siedmiuset aktualnie znanych pulsarów co najmniej dwa powinny mieć planety na szerokich i eliptycznych orbitach. Na razie (poza nie potwierdzonym odkryciem planety wokół jednego z najsilniejszych pulsarów – PSR0329+54, Shabanova, 1995) się ich nie obserwuje.

Dodatkowo sprawę pogarsza kwestia, którą zupełnie pominąłem, przyjmując milczące założenie, że układy planetarne tworzą się wokół bardzo masywnych gwiazd równie często i chętnie, co na przykład wokół Słońca. Nie jest to wcale takie pewne.

MEMNONIDESY

Nazwa tej klasy teorii (również zaczerpnięta z pracy Phinney'a i Kulkarni'ego) pochodzi od imienia etiopskiego księcia, którego wuj Priam poprosił o pomoc w obronie Troi. Po dokonaniu wielu walecznych czynów Memnonides został jednak zabity. Na szczęście jego matka, Eos, grecka bogini jutrzenki uprosiła u Zeusa nieśmiertelność dla swego syna. Memnonides narodził się więc po śmierci. Ale wróćmy do sedna sprawy.



Rys.2. Wykres zależności masy i promienia dla normalnych gwiazd (linia $M \sim R$), w ewolucji adiabatycznej (linia $M \sim R^{-3}$), linia ewolucji w układzie z przepływem masy przez L_1 (RLOF – Roche Lobe OverFlow), przy założeniu konserwatywnej ewolucji. Gwiazda – towarzysz pulsara zaczyna na linii $M \sim R$, adiabatyczna ewolucja w czasie oświetlania promieniowaniem pulsara spycha ją na prawo w dół (po linii $M \sim R^{-3}$). Jeśli gwiazda po rozpoczęciu oddawania masy przez L_1 ustabilizuje się – ewoluuje po linii $M \sim R^3$. W przeciwnym razie zostanie po pewnym czasie pływowo rozerwana.

Problemów, wspomnianych w poprzednim rozdziale nie ma z drugą klasą teorii. Głoszą one bowiem, że planety tworzą się po powstaniu pulsara, niemal w ten sam sposób co w naszym układzie – czyli z dysku protoplanetarnego. Pojawia się jednak inny problem – skąd taki dysk wziąć? Materia odrzucona w wyniku eksplozji SN II nie wchodzi w rachubę, gdyż nie ma sposobu na jej utrzymanie w sąsiedztwie pulsara (pamiętajmy, że fala uderzeniowa rozchodzi się z prędkościami rzędu dziesiątek tysięcy km/s). Jest więc tylko jeden sposób – dostarczycielem materii do dysku protoplanetarnego może być gwiazda, towarzysz pre-supernowej, któremu udało się utrzymać związek.

Nie jest to takie proste – dla mało masywnych towarzyszy musimy się odwołać znowu do pomocy impulsu narodzeniowego. Prawdopodobieństwa są o rząd wielkości większe niż w wypadku planet, i tak dla układu pre-supernowej z gwiazdą o masie $1.2 M_\odot$ mamy 33% przy okresie orbitalnym 1 dzień i prędkości z impulsu narodzeniowego 200 km/s, oraz 10%, przy okresie orbitalnym 200 dni i prędkości 100 km/s.

Inne zjawiska, które dopomóc mogą w utrzymaniu układu (porównaj artykuł w PA 1/96) jako całości to ewolucja w ciasnym układzie podwójnym ze znacznym przepływem masy (gwiazda eksplodująca w momencie wybuchu może być lżejsza od towarzysza, więc układ jako całość straci mniej niż połowę masy), lub zacieśnienie układu na skutek sił pływowych i tarcia w fazie nadolbrzyma pre-supernowej.

Co otrzymamy z takiego układu i które z efektów końcowych nas interesują? Pewne jest, że towarzysz nie może być bardzo masywny – w takim bowiem wypadku sam po pewnym czasie przejdzie wybuch supernowej, albo stanie się masywnym, czyli bardzo małym i zwartym białym karłem. Oba te przypadki nie są zbyt atrakcyjne z punktu widzenia późniejszego tworzenia planet, nie zostawiają bowiem po sobie wolnej materii w układzie.

Inaczej sprawa się ma, jeśli towarzysz jest mało masywną gwiazdą ciągu głównego, lub białym karłem, i tym właśnie przypadkiem zajmę się dokładniej.

Najlepiej byłoby, gdyby orbita towarzysza była kołowa. Można to uzyskać nawet dla bardzo szerokich orbit, powołując się na przykład na ewolucję układów potrójnych. W takim hierarchicz-

nym układzie (dwie gwiazdy bardzo blisko siebie, trzecia na dość rozległej orbicie wokół wewnętrznej pary), jeśli jako supernowa wybuchnie jeden ze składników wewnętrznej pary jest szansa, ze pulsar zostanie wchłonięty przez swego bliskiego sąsiada. Jeśli dojdzie do tego, obiekt taki może przejść fazę obiektu Thorne–Żytkow. Obiekty takie przypominają czerwone nadolbrzymy i czerpią energię z palenia na powierzchni znajdującej się we wnętrzu gwiazdy neutronowej. Oddziaływanie obiektu T–Ż z trzecim składnikiem prowadzi do zacieśnienia i ukołowienia jego orbity, a także do rozrzucenia otoczki obiektu T–Ż. Efekt – gwiazda neutronowa w układzie podwójnym z normalną gwiazdą na dość ciasnej, kołowej orbicie.

Powstaje oczywiście pytanie: co dalej?

Pulsar oczywiście promieniuje, i to całkiem silnie. Moc promieniowania pulsara daje sie wyrazić poprzez jego parametry obserwacyjne wzorem:

$$L_p = 4\pi^2 I \frac{\dot{P}}{P^3}$$

gdzie :
$\dot{P}$ – spowolnienie obrotu pulsara,
P – jego okres,
I – jego moment bezwładności ($I = 10^{45}$ g·cm^2).

Tak promieniujący pulsar oświetla oczywiście swego towarzysza powodując rozgrzanie jego powierzchni, a po przekroczeniu pewnej temperatury krytycznej, wiążącej się z prędkością cząstek przekraczającą prędkość ucieczki z gwiazdy, zaczyna się odparowywanie towarzysza. Tempo odparowywania można oszacować jako (Stevens et al., 1991):

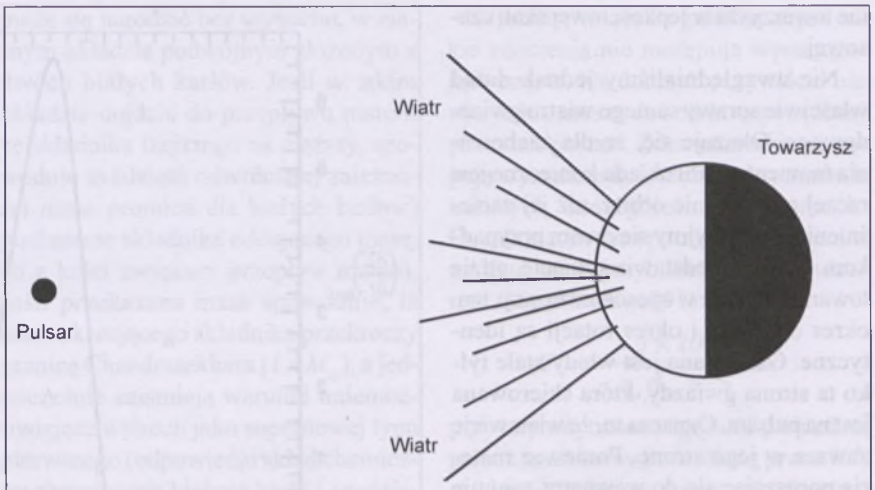
$$\dot{M} = \zeta L_p \left(\frac{R_2}{a}\right)^2$$

We wzorze tym R_2 oznacza promień gwiazdy, a jest półosią orbity a ζ pewnym współczynnikiem przekazywania energii z promieniowania do uciekającej materii. Współczynnik ten określić można porównując gęstość energii absorbowanej przez powierzchnię gwiazdy z energią porywaną przez wiatr gwiazdowy:

$$f L_p \left(\frac{R_2}{a}\right)^2 = 0.5\, \dot{M} v_{esc}^2$$

skąd:

$$\zeta = 0.5 \frac{f}{v_{esc}^2}$$



Rys.3. Wiatr wywołany oświetlaniem w wypadku rotacji związanej.

W powyższych wzorach f oznacza ułamek energii przekazywany materii na powierzchni gwiazdy, a v_{esc} prędkość ucieczki z tej powierzchni.

Aby odpływ nasy miał jakiekolwiek znaczenie dla układu skala czasowa utraty masy musi być większa od termicznej skali Kelvina–Helmholza, co implikuje

$$\dot{M} \gg \frac{R_2 L_2}{G M_2}$$

Dla gwiazdy o masie 0.5 $M_\odot$ oznacza to $\dot{M} \gg 4 \times 10^{-9}\, M_\odot$/rok. Jeśli mamy do czynienia z naprawdę ciasnym układem podwójnym (okres orbitalny rzędu 1-ego dnia) to takie warunki spełniają nawet słabe „pulsary z odzysku" (czyli milisekundowe, o mniejszej mocy promieniowania; z ang. recycled pulsars). Rozgrzewanie powierzchni w skalach czasowych mniejszych od skali termicznej powoduje, że gwiazda zaczyna ewoluować adiabatycznie (patrz **Rys.2**), odchodząc od tradycyjnej relacji masa-promień. W ewolucji adiabatycznej , wtedy $M \sim R^{-3}$, czyli wraz z odpływem masy gwiazda zaczyna puchnąć, co zwiększa odpływ masy itd... Końcowym efektem może być pływowe rozerwanie towarzysza, po którym zostanie dysk materii wokół samodzielnego pulsara. Stąd do planet już tylko krok...

Rozerwanie nastąpi wtedy, gdy z układu będzie uciekać materia, odbierając moment pędu, co spowoduje zmniejszenie momentu orbitalnego towarzysza. Jeśli zaś na skutek ekspansji gwiazda wypełni swoją powierzchnię Roche'a – przepływ materii przez wewnętrzny punkt Lagrange'a (L_1) powstrzyma puchnięcie. Stanie się tak dlatego, że w wypadku zachowania masy całkowitej układu, oddawanie masy przez składnik lżejszy powoduje poszerzenie orbity. Promień powierzchni Roche'a będzie rósł wtedy szybciej od promienia towarzysza, co pomoże mu odzyskać równowagę. Powstrzyma to jednocześnie przepływ materii do pulsara, i ten znowu będzie mógł bez kłopotu oświetlać zwykłą gwiazdę, co spowoduje jej odparowywanie, zacieśnianie orbity, puchnięcie i kolejne wejście w fazę LMXB (z ang. Mało Masywny Układ Rentgenowski, identyfikowany z gwiazdą neutronową akreującą materię). W rzeczywistości oczywiście przejścia pomiędzy kolejnymi etapami będą bardziej płynne.

Taka sytuacja może się ciągnąć praktycznie w nieskończoność, i to niekoniecznie prowadząc do zniszczenia normalnej gwiazdy. Jak się uważa obiekt 4U1820-30 (LMXB o okresie orbitalnym 11 minut) przeszedł wielokrotnie przez tę fazę, unikając zniszczenia.

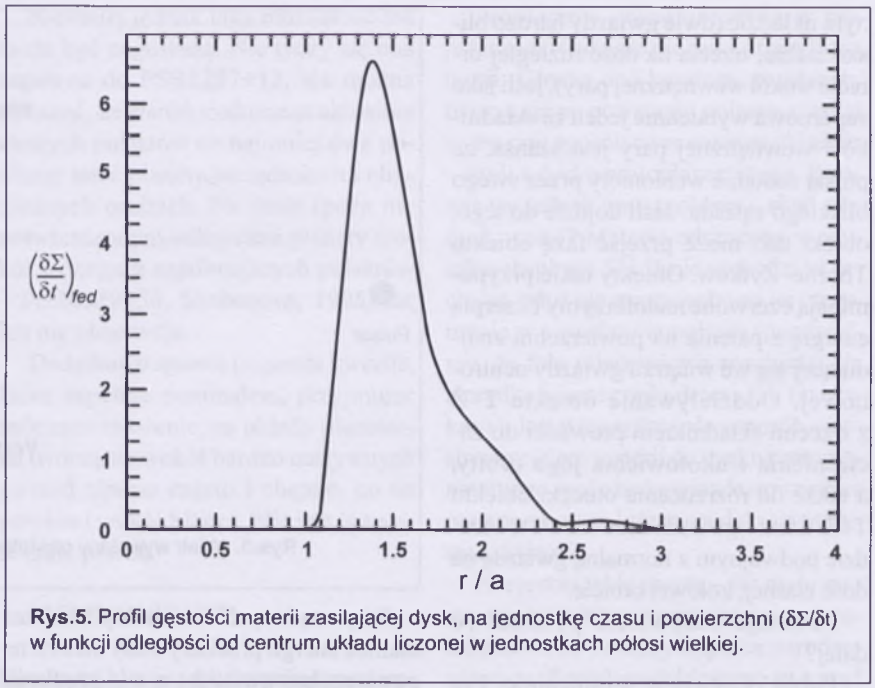
Nieco inaczej przedstawia się sytuacja, gdy mamy bardzo młodego pulsara (czyli silniej świecącego), którego promieniowanie zapobiega akrecji. Jeżeli na dodatek towarzysz jest chłodną gwiazdą ciągu głównego, o głębokiej i konwektywnej otoczce, to jego nagrzewanie spowoduje puchnięcie w termicznej skali czasowej (10^5 lat dla masy 0.5 $M_\odot$). Prowadzi to oczywiście prędzej, czy później do wypełnienia powierzchni Roche'a i przepływu materii przez L_1 Na skutek bardzo silnego promieniowania pulsara nie dojdzie jednak do stworzenia się dysku akrecyjnego; utworzy się raczej pierścień bardzo wolno oddający moment pędu. Z tego względu orbita towarzysza nie może zostać ustabilizowana dostatecznie szybko, co spowoduje zniszcze-

nie towarzysza w lepkościowej skali czasowej.

Nie uwzględnialiśmy jednak dotąd właściwie sprawy samego wiatru gwiazdowego. Okazuje się, że dla zachowania momentu pędu układu konieczne jest raczej poszerzenie orbity, niż jej zacieśnienie. Przyjrzyjmy się dwóm przypadkom. **Rys.3** przedstawia sytuację, gdzie towarzysz rotuje w sposób związany, tzn. okres orbitalny i okres rotacji są identyczne. Oświetlana jest wtedy stale tylko ta strona gwiazdy, która skierowana jest na pulsara. Oznacza to, że wiatr wieje zawsze w jego stronę. Ponieważ materia poruszając się do wewnątrz zajmuje orbity o mniejszym promieniu, niż będąc na powierzchni gwiazdy, to traci moment pędu. Musi go przechwycić sama gwiazda, a wiadomo, że większy moment pędu oznacza większą orbitę.

Jeśli towarzysz będzie miał okres rotacji różny od okresu orbitalnego, to dla prostej rotacji oznacza to, że obszar „wiejący", czyli najbardziej rozgrzany będzie się spóźniał w stosunku do kierunku na pulsara (patrz **Rys.4**). Powodować to będzie, że wiejący w tym kierunku wiatr zwiększał będzie orbitalny moment pędu gwiazdy, gdyż dla zachowania pędu towarzysz musi uzyskać większą prędkość orbitalną, co zaowocuje poszerzeniem orbity. Widać więc, że może to dopomóc w dłuższym przetrwaniu towarzysza. Skąd więc w takim wypadku dysk protoplanetarny?

Odpowiedź jest jednoznaczna – wystarczy materii z wiatru gwiazdowego. Materia taka może uformować dysk wokół układu podwójnego – w dysku tym zgromadzony będzie niezerowy moment pędu, a to oznacza, ze towarzysz musi go jednak tracić. Dysk taki obserwuje się wokół pulsara podwójnego PSR1957+20, który zacieśnia swą orbitę, tak, że okres orbitalny maleje w skali czasowej 3×10^7 lat.



Rys.5. Profil gęstości materii zasilającej dysk, na jednostkę czasu i powierzchni ($\delta\Sigma/\delta t$) w funkcji odległości od centrum układu liczonej w jednostkach półosi wielkiej.

Przyjrzyjmy się więc temu wiatrowi.

Po osiągnięciu przez powierzchnie gwiazdy pewnej temperatury t_{esc}, wiążącej się z prędkością ucieczki v_{esc} cząstki zaczynają uciekać z powierzchni gwiazdy, powodując zresztą jej chłodzenie. Dalej, unosząc z układu moment pędu (co powoduje zacieśnianie orbity) podąża w przestwór wszechświata. Cały problem z utrzymaniem tej materii jako dysku wokół układu podwójnego sprowadza się więc do spełnienia jednego warunku dotyczącego prędkości cząstek:

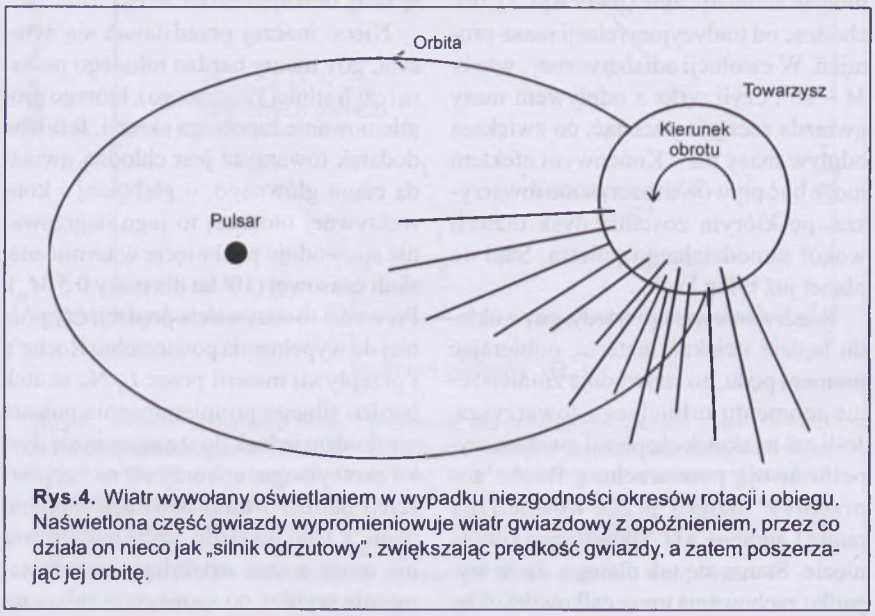
$$v_{esc} < v < v_{esc.bin}$$

czyli, prędkość cząstek musi się zawierać pomiędzy prędkością ucieczki z powierzchni gwiazdy a prędkością ucieczki z układu podwójnego. Nie jest to tak mały przedział, dla przykładu we wspomnianym już układzie pulsara milisekundowego PSR1957+20 mamy v_{esc} = 140 km/s, $v_{esc.bin}$ = 360 km/s, a dla porównania prędkość orbitalna towarzysza (odparowany biały karzeł o masie $0.02\,M_{\odot}$) wynosi 220 km/s.

Materia uwięziona w polu grawitacyjnym układu uformuje dysk ekskrecyjny, gdyż orbity cząstek zostaną ukołowione przez wzajemne zderzenia. **Rys.5** pokazuje pokazuje gestość powierzchniową takiego dysku (jednostka na osi poziomej równa jest półosi układu), a **Rys.6** – widok takiego dysku z boku.

Dysk taki jest oczywiście grzany przez pulsara i jego towarzysza. Jego optycznie gruba, płaska składowa jest cały czas podgrzewana dyfundując do grubego, lecz optycznie cienkiego dysku, skąd przez ciśnienie promieniowania wymiata cząstki poza układ. Dopóki jednak dysk jest stale zasilany przez wiatr gwiazdowy, nie grozi mu rozpad, układ osiąga pewien stan równowagi.

W takim dysku może już spokojnie zachodzić proces formacji planet. W odległości 10^7 km od ciasnego układu podwójnego temperatura materii w dysku wynosi tylko 100K (w osłoniętych od promieniowania częściach jeszcze mniej). Odparowanie ziaren stałej materii następuje przy ok. 200K (H_2O i CO_2)



Rys.4. Wiatr wywołany oświetlaniem w wypadku niezgodności okresów rotacji i obiegu. Naświetlona część gwiazdy wypromieniowuje wiatr gwiazdowy z opóźnieniem, przez co działa on nieco jak „silnik odrzutowy", zwiększając prędkość gwiazdy, a zatem poszerzając jej orbitę.

i aż 2000K dla skał (C+Si+Fe). Można więc określić minimalną odległość od pulsara, w jakiej tworzyć się mogą ziarna. Wyraża się ona wzorem (Sigurdsson, 1992):

$$r_{min} = \alpha \left(\frac{L_{psr}}{L_{\odot}} \right)^{0.5}$$

Współczynnik α równy jest 0.02 dla skał i 2 dla lodu. W dyskach takich mogą się spokojnie tworzyć ziarna, czy raczej już planetozymale o masach rzędu 10^{20}g. Dalsza ewolucja takiego obiektu przebiega w łatwy do przewidzenia sposób. Gwiazda-towarzysz pulsara na skutek znacznego odparowania zostaje rozerwana przez siły pływowe. Dysk na krótko zostaje zasilony przez duże ilości materii, później zaś rozdmuchany przez wysoko energetyczne promieniowanie pulsara. Istniejące w nim planetozymale, zderzając się już tylko ze sobą zaczynają przybierać na masie, a po przekroczeniu pewnej masy krytycznej przyrost jest wręcz lawinowy, aż do mas takich, jakie są obserwowane, czyli rzędu kilku mas Ziemi.

Opisany wyżej sposób powstawania planet ma rację bytu również wtedy, gdy całość materii dysku pochodzi z pływowego rozerwania towarzysza gwiazdy neutronowej. Jedynym warunkiem, jaki musi być spełniony jest zapewnienie, że materia z dysku nie zostanie zbyt prędko usunięta przez silne pole promieniowania pulsara. Jest to warunek dość dobrze spełniany przez pulsary z odzysku, o małych dzielnościach promieniowania.

Inną teorią, która przewiduje powstanie wokół pulsara dysku jest teoria powstania pulsarów przez kolaps wywołany akrecją (ang. Accretion Induced Collapse, AIC). Przewiduje ona, że pulsar może się narodzić bez wybuchu, w ciasnym układzie podwójnym złożonym z dwóch białych karłów. Jesli w takim układzie dojdzie do przepływu materii ze składnika lżejszego na cięższy, spowoduje to (dzięki odwróconej zależności masa–promień dla białych karłow) puchnięcie składnika oddającego masę, co z kolei zwiększy przepływ materii. Jeśli przekazana masa spowoduje, iż masa akreującego składnika przekroczy granicę Chandrasekhara ($1.4\,M_{\odot}$), a jednocześnie zaistnieją warunki uniemożliwiające wybuch jako supernowej typu pierwszego (odpowiedni skład chemiczny akreującego białego karła i spadającej materii, oraz właściwe tempo akrecji) nastąpi w miarę łagodna implozja do gwiazdy neutronowej. W zależności od tego, co zostanie z towarzysza, efektem będzie układ taki jak PSR1957+20, czyli pulsar z ekstremalnie mało masywnym białym karłem, lub, jeśli lawinowy przepływ masy nie ustał dostatecznie szybko – pulsar z dyskiem, jako pozostałością po pływowo rozerwanym dostarczycielu materii. W tym drugim wypadku, dla zachowania momentu pędu konieczne jest założenie, że dysk oddali się od nowo narodzonej gwiazdy neutronowej, co jednocześnie ułatwia tworzenie się w nim planet.

ZNALEZISKA

Trzecia możliwość zaistnienia planet wokół pulsara omija wszystkie dotychczas poruszone problemy. Chodzi bowiem o przechwycenie przez pulsara planety, która zrodziła się w zupełnie innym miejscu i czasie. Przechwyt taki nastąpić może w wyniku zderzenia pulsara z gwiazdą mającą swój układ planetarny.

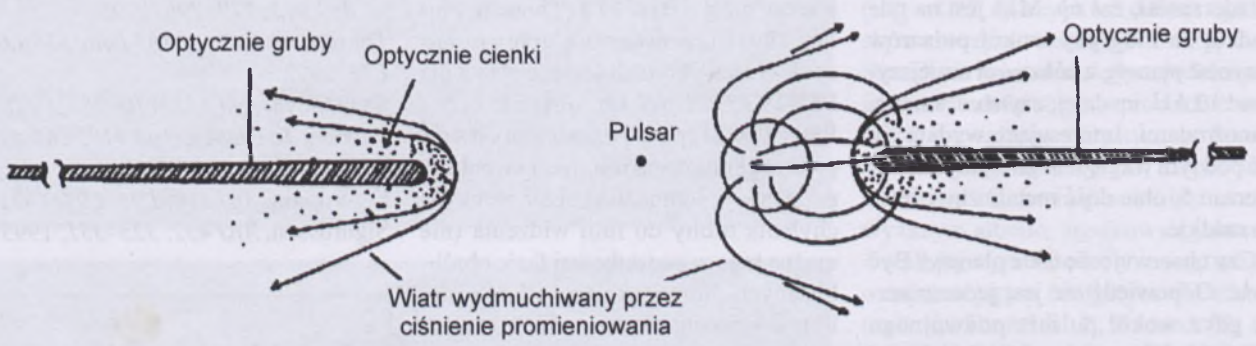
Niestety, w dysku galaktycznym takie zderzenia nie następują wystarczająco często. Na dodatek oczywiście nie wszystkie muszą dać efekt w pożądanej przez nas postaci. Zderzenia takie następują wystarczająco często w gromadach kulistych, szczególnie w ich jądrach. Ocenia się, że czas pomiędzy zderzeniami daje się w przybliżeniu opisać wzorem (Sigurdsson, 1991):

$$T = \frac{3 \times 10^9}{< n_4 \sigma_{AU} v_{10} >} \; lat$$

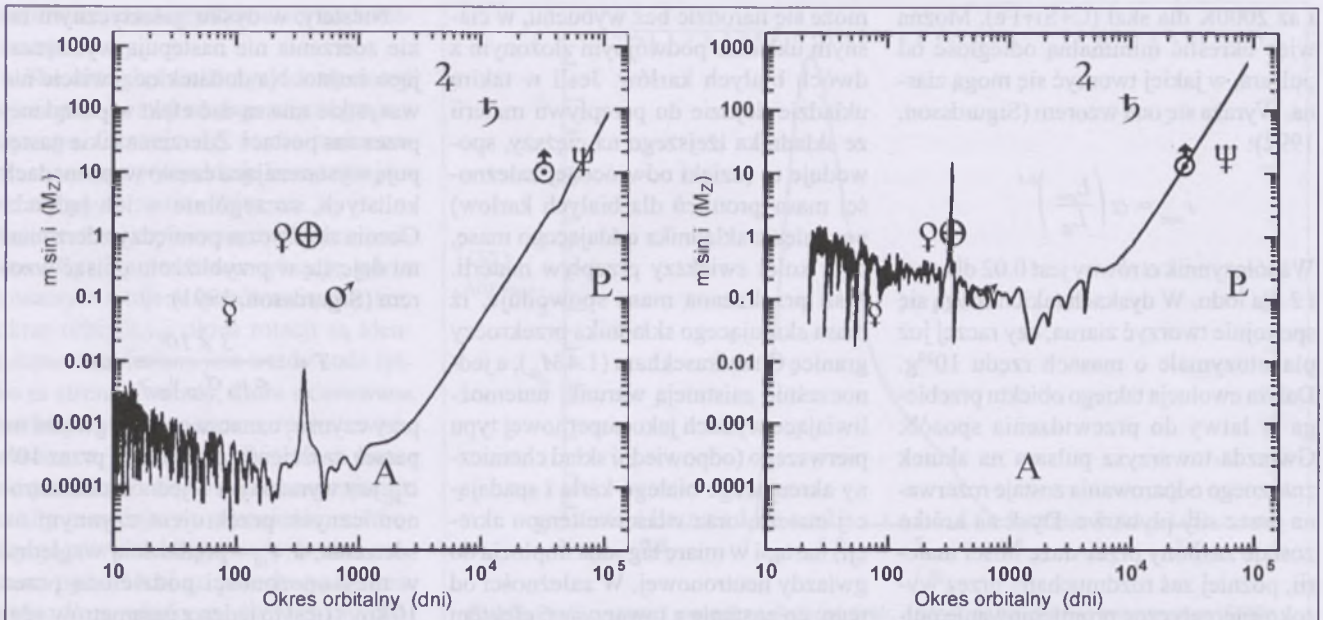
przy czym n_4 oznacza gęstość gwiazd na parsek sześcienny podzieloną przez 10^4, σ_{AU} jest wyrażonym w jednostkach astronomicznych przekrojem czynnym na zderzenie, a v_{10} – prędkością względną w nieskończoności podzieloną przez 10 km/s (jest to jeden z parametrów zderzenia).

Niestety, to samo zjawisko częstych zderzeń powoduje, że złapaną lub stworzoną planetę bardzo trudno utrzymać. Ocenia się, że zachować się dłużej mogą tylko planety na orbitach kołowych z półosiami $a < 1$ AU, lub na orbitach bardzo ekscentrycznych o półosiach $a >> 1$ AU. Aby więc pulsar po przechwyceniu miał szansę dłużej utrzymać planetę, najlepiej byłoby, gdyby nastąpiło zjawisko zacieśnienia i ukołowienia orbity. Zapewnić to tylko mogą pozostałości po ewentualnie zniszczonej w czasie zderzenia gwieździe. W dysku utworzonym z resztek hamowanie planety powinno w dość efektywny sposób ukołowić i zacieśnić jej orbitę.

Jest niestety jeszcze inna cecha gromad kulistych, która utrudnia powstawanie planet. Jest nią mała metaliczność materii w gromadach – Z waha się od 10^{-1} do 10^{-3} metaliczności słonecznej.



Rys.6. Dysk ekskrecyjny widziany z boku. W centrum – pulsar, na prawo jego oświetlany, tracący materię towarzysz i dwuskładnikowy dysk: część płaska optycznie gruba, część szeroka – optycznie cienka. Z niej to materia wywiewana jest poza dysk przez ciśnienie promieniowania.



Rys. 7 i 8. Granice mas i półosi dla ewentualnych planet wokół PSR1937+21 (Rys.7) i PSR1919+21 (Rys.8). Ewentualne niewykryte planety mogą leżeć tylko poniżej linii ciągłej. Symbole oznaczają lokacje planet naszego układu planetarnego, literą „A" oznaczone są największe z asteroid w naszym układzie. Pik około okresu orbitalnego 1-go roku wynika z trudności odróżnienia efektów związanych z niedokładnością zadanego położenia pulsara. Jeśli nie jest ono wystarczająco dobrze znane możemy w danych chronometrażowych zobaczyć cień ruchu Ziemi wokół Słońca.

Oznacza to, że na jedną masę Słońca przypada w gromadach zaledwie 6 mas Ziemi lodu i 1.5 masy Ziemi skał. Biorąc pod uwagę, że masa dysku protoplanetarnego to około 0.05 masy gwiazdy centralnej (tak to się ocenia dla Słońca) tworzenie planet jest niebywale trudne. Bardziej uprawnione są wtedy mechanizmy powstawania według scenariusza opisanego w poprzednim rozdziale. Szczególnie atrakcyjna wydaje się tu teoria AIC – dysk tworzy się z białego karła, czyli obiektu już samego z siebie bardzo metalicznego (w najgorszym razie węglowo – tlenowego).

Patrząc na znane nam gromady możemy nieco powiedzieć o tym, w których spodziewać się można planet. I tak M15 jest zbyt masywna i zbyt gęsta (czyli częste zderzenia), zaś np. M13 jest na tyle rzadka, że mogłyby wokół pulsarów utrzymać planety, z półosiami mniejszymi od 10 AU, im dalej, z tym większymi mimośrodami. Interesujące wydają się być pod tym względem gromady 47 Tuc i Terzan 5, obie dość metaliczne i średnio rzadkie.

Czy obserwuje się takie planety? Być może. Odpowiedź nie jest jednoznaczna, gdyż wokół pulsara podwójnego PSR1620–25 w gromadzie M4 krąży trzeci obiekt (Sigurdsson, 1994). Na podstawie aktualnych danych chronometrażowych nie daje się jednak rozstrzygnąć, czy trzeci składnik to planeta o masie jowiszowej i wielkiej półosi 10 AU, czy gwiazda o masie Słońca na orbicie o półosi 50 AU. Jeśli byłaby to planeta, to fakt, iż powstała w tak niesprzyjających warunkach jak w gromadzie kulistej implikowałby twierdzenie, że w Galaktyce tworzenie się planet musi być zjawiskiem zupełnie powszechnym.

PODSUMOWANIE – IMPLIKACJE OBSERWACYJNE

Jak odkrywać takie układy? Odpowiedź jest prosta – tak jak ten pierwszy, z chronomertażu pulsarów. Już w 1976 roku dla około 50-ciu ówcześnie znanych wykluczono istnienie planet o masach większych od 30 mas Ziemi, z okresami kilku dni do kilku lat. Obecnie sięgamy jeszcze niżej – **Rys. 7 i 8** (Thorsett, Philips,1991) przedstawiają granicę mas i półosi niewykrytych jeszcze planet dla PSR1937+21 (6 lat obserwacji) i PSR1919+21 (ponad dziesięć lat). Na osi pionowej odłożona jest masa ewentualnej planety, pomnożona przez sinus nachylenia orbity do linii widzenia (nie można tego w początkowej fazie obróbki danych chronometrażowych rozdzielić), w jednostkach masy Ziemi, zaś na poziomej – półoś wielka. Cały obszar ponad linią ciągła jest już wykluczony – planety tam się lokujące zostałyby na podstawie tych danych wykryte. Symbole oznaczają lokację na tego typu wykresie planet naszego układu, literą A oznaczone zaś są największe planetoidy.

Planety tworzą się na pewno (skoro widzimy już dwie), co rokuje nadzieje na ich odkrywanie. Nie dla wszystkich oczywiście pulsarów, powyższe wykresy są tak „ładne", ale do ich ewentualnego poprawienia potrzeba tylko i wyłącznie czasu. Jedyne więc co nam pozostaje, to szukać, szukać, szukać...

Bibliografia

Phinney, Kulkarni, Annu.Rev.Astron.Astroph. 32, 1994

Srevens, Rees & Podsiadlowski, *MNRAS 254, 19p–22p*, 1992

Banit, Ruderman, Shaham & Applegate, *ApJ 415, 779–796*, 1993

Thorsett & Philips, *ApJ Lett. 378 L69–L71*, 1992

Shabanova, *ApJ 435, 779–782*, 1995

Thorsett & Dewey, *ApJ 419, L65–L68*, 1993

Sigurdsson, *ApJ 399, L95–L97*, 1991

Sigurdsson, *ApJ 452, 323–331*, 1995

Wojciech Lewandowski jest magistrantem w Centrum Astronomicznym UMK w Toruniu. Artykuł powstał jako jego praca seminaryjna.

O REGULE TITIUSA-BODEGO INACZEJ

T. Zbigniew Dworak, Marek Kopacz

Kazimierz Schilling w artykule *Niezwykła historia pewnej reguły* („Postępy Astronomii", t. 43, z. 2/1995) w zasadzie wyczerpująco opisał historię Reguły (RT-B), jej warianty, a także wyjątki od niej i niektóre osobliwości tej prawidłowości. Niemniej jednak pozostają jeszcze pewne kwestie wymagające wyjaśnienia bądź odmiennej interpretacji, ponieważ do dziś trwa spór, czy RT-B to przypadek, czy konieczność.

Przedstawiając rozważania o harmonii w świecie planet i ich księżyców – czyli prawidłowości rozmieszczenia w przestrzeni orbit ciał względem obiektu centralnego (i masywnego) – należy przypomnieć jeszcze jeden wzór. Otto Szmidt wychodząc ze swej teorii powstawania planet doszedł teoretycznie do innej od RT-B zależności między średnimi odległościami R_n planet od Słońca, która usuwa wszelkie osobliwości-nieskończoności:

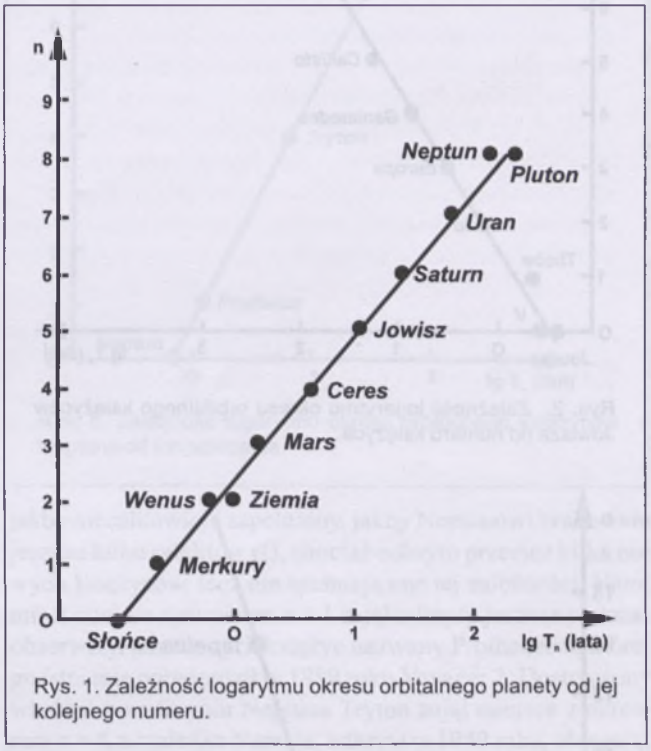
$$\sqrt{R_n} = a + bn,$$

gdzie R_n jest przeciętną odległością n-tej planety, natomiast a i b to pewne stałe.

Tak „porządne" wyrażenie ma jednak pewną wadę – stałe a i b są inne dla planet wewnętrznych (grupy ziemskiej), inne dla planet zewnętrznych (grupy jowiszowej i Plutona).

Dla planet wewnętrznych $a = \sqrt{R_0} = 0.62$, $b = 0.20$ i numerację zaczynamy od zera (dla Merkurego $n = 0$, Wenus $n = 1$, Ziemi $n = 2$, Marsa $n = 3$, ale dla średniej odległości czterech największych planetoid: Ceres, Pallas, Juno i Vesta, $n = 5$).

Dla planet zewnętrznych $a = \sqrt{R_4} = 2.28$, $b = 1$ i znowu zaczynamy numerację od zera (dla Jowisza $n = 0$, Saturna $n = 1$, Urana $n = 2$, Neptuna $n = 3$ i dla Plutona $n = 4$), przy czym oczywiście w obu przypadkach R_n jest wyrażone w jednostkach astronomicznych. Zamieszczone poniżej tabelki przedstawiają wartości z pierwiastków przeciętnych odległości planet od Słońca obliczone według reguły Szmidta oraz ich rzeczywiste średnie odległości (a raczej pierwiastki z tych wartości).



Rys. 1. Zależność logarytmu okresu orbitalnego planety od jej kolejnego numeru.

Dodatkową niespodzianką jest to, że dla przeciętnej odległości planetoid należy brać $n = 5$. Czyżby pas planetoid należało traktować jako złożony z trzech pasów? Wtedy dla wewnętrznego pasa $n = 4$, ($\sqrt{R_4} = 1.42$, co dość dobrze zgadza się z rzeczywistością), dla pasa środkowego $n = 5$ (patrz tabelka), a dla pasa zewnętrznego $n = 6$ ($\sqrt{R_6} = 1.82$, co chyba też dobrze zgadza się z rzeczywistością). Niestety, Otto Szmidt nie zajmował się tym problemem i obecnie należałoby przeprowadzić wnikliwe rozważania statystyczne. Pewną wskazówką może być to, iż pas wewnętrzny stanowią planetoidy o najwyższym albedo, środkowy (główny) – o mniejszym albedo, a zewnętrzny – o najmniejszym (statystycznie) albedo (zob. np. Binzel R. P., Banucci M. A., Fulchignoni M., *Planetoidy*, „Świat Nauki" nr 12/1991).

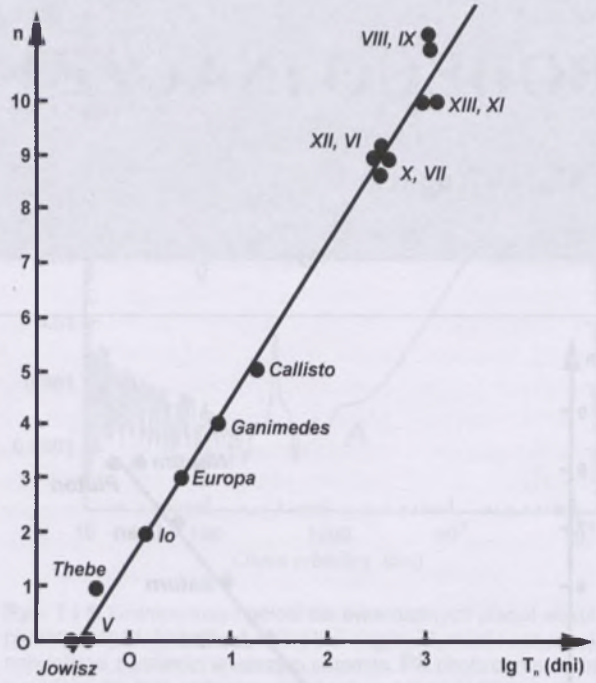
Inną modyfikację RT-B przedstawił S. F. Dermott, którą przytaczamy tu za podsumowaniem zawartym w książce

Tab. 1.

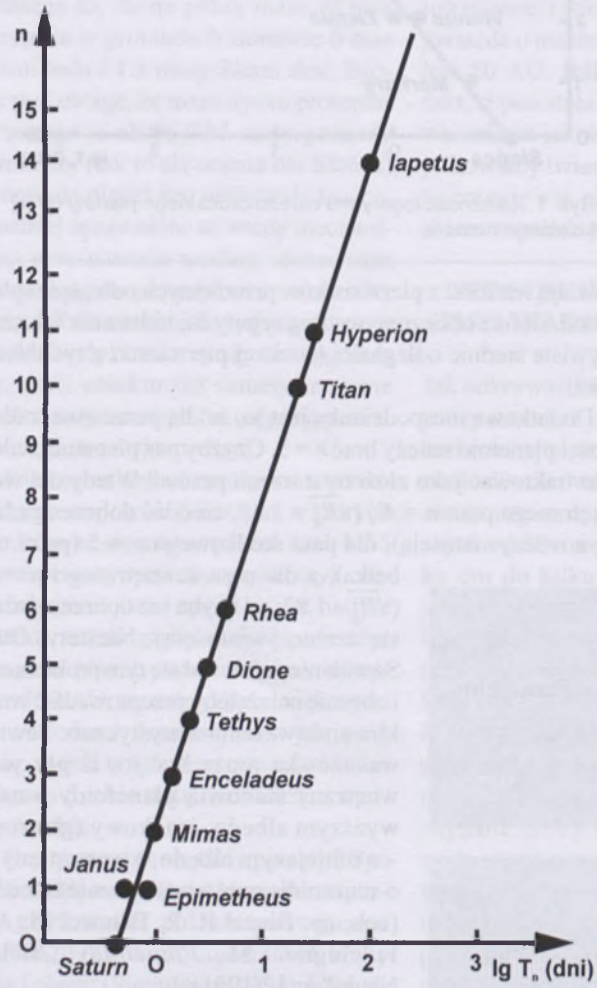
Planety:	Merkury	Wenus	Ziemia	Mars	Planetoidy
$\sqrt{R}_{teor.}$	0.62	0.82	1.02	1.22	1.62
$\sqrt{R}_{obs.}$	0.62	0.85	1.00	1.23	1.62

Tab. 2.

Planety:	Jowisz	Saturn	Uran	Neptun	Pluton
$\sqrt{R}_{teor.}$	2.28	3.28	4.28	5.28	6.28
$\sqrt{R}_{obs.}$	2.28	3.09	4.38	5.48	6.29



Rys. 2. Zależność logarytmu okresu orbitalnego księżyców Jowisza od numeru księżyca.



Rys. 3. Zależność logarytmu okresu orbitalnego księżyców Saturna od numeru orbity księżyca.

The Solar System Franka W. Cousinsa (Pica Press, New York 1972), uzupełnionym przez nas dzięki najnowszym danym, zwłaszcza dla układów księżyców planet-olbrzymów.

Przede wszystkim okazało się, że jeśli sporządzić wykres zależności kolejnego numeru n planety od wartości $\log T_n$, gdzie T_n jest okresem ruchu orbitalnego planety w latach (rys. 1), to wtedy otrzymamy zadziwiający wynik. Zamiast – jak to sugerowali inni, w tym Kazimierz Schilling – możliwości istnienia podwójnej planety Wenus-Merkury, należałoby raczej rozważać możliwość istnienia układu Ziemia-Wenus!

Matematycznie zależność tę można przedstawić w następującej postaci:

$$T_n = T_o A^n$$

gdzie $A^2 = 6$, $T_o = aT_p$, gdzie T_p jest wartością ruchu wirowego Słońca ($n = 0$) w latach i w pierwszym przybliżeniu (wg Dermotta) $a = 1.442$.

Lecz i w taki sposób zmodyfikowana RT-B nie udzieli nam odpowiedzi na pytanie, czy naprawdę Wenus i Ziemia stanowiły niegdyś podwójną planetę i co spowodowało jej rozpad.

Zwróćmy również uwagę na przypadek Neptuna i Plutona – z wykresu (rys. 1) wydaje się bowiem wynikać, iż i te planety także mogły w przeszłości tworzyć układ „podwójny". I rzeczywiście istnieją hipotezy, które naruszenie RT-B na peryferiach Układu Słonecznego przypisują jakiejś katastrofie kosmicznej, w wyniku której układ uległ rozpadowi i Neptun został przerzucony na swoją obecną orbitę, natomiast proto-Pluton przestał być księżycem Neptuna i rozpadł się na dwa ciała (obecnego Plutona i Charona) pozostając jednak na poprzedniej – mniej więcej orbicie, tyle że znacznie nachylonej do płaszczyzny niezmienniczej Układu Słonecznego oraz o znacznej ekscentryczności. Nie wiadomo, czy tak rzeczywiście się stało, lecz zastanawiające jest to, że Pluton obiega Słońce w rezonansie 2:3 względem Neptuna.

Również dla układu księżyców Jowisza można podać coś w rodzaju zmodyfikowanej RT-B, a raczej wykresu (rys. 2) analogicznego do zależności na rys. 1, przy czym rolę ciała centralnego odgrywa tu Jowisz ($n = 0$).

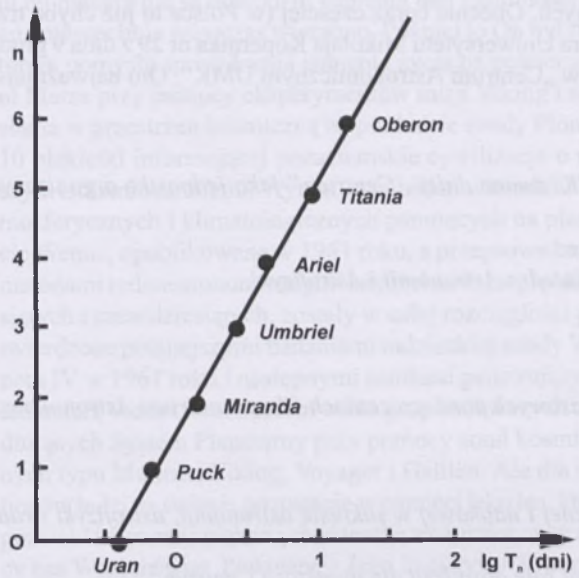
Matematycznie tę zależność dla układu Jowisza można przedstawić w postaci:

$$T_n = T_o A^n$$

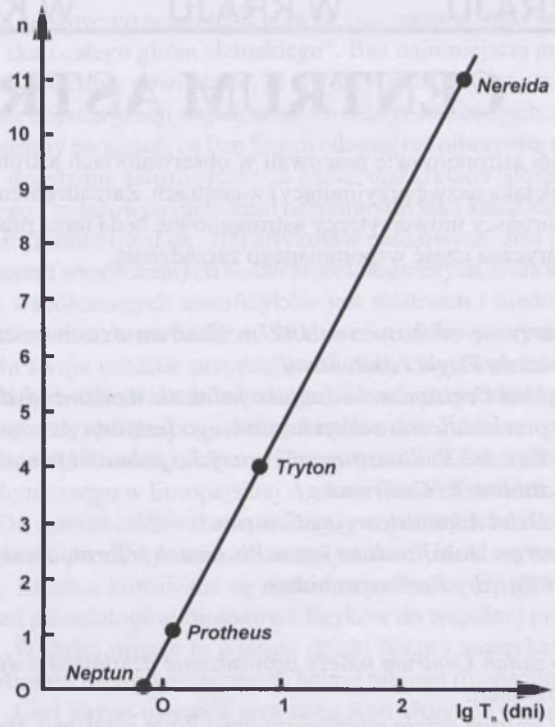
gdzie obecnie T_n jest okresem obiegów księżyców Jowisza wyrażonym w dniach, $A^2 = 4$, $T_o = 1.076T_p$ i T_p jest okresem rotacji Jowisza (w dniach).

Zauważmy, iż zależność ta jest najlepiej spełniona dla księżyców galileuszowych Jowisza. Dzięki odkryciom dokonanym za pomocą sond międzyplanetarnych udało się dla numeru $n = 1$ dopasować poniekąd satelitę Thebe. Z kolei na przedłużeniu prostej przechodzącej przez punkty oznaczające Jowisza i cztery księżyce galileuszowe plasuje się, dla $n = 9$, grupa niewielkich satelitów tej planety: Leda, Himalia, Lysithea i Elara. Jest to dość osobliwa grupa – sprawia wrażenie „jowiszowego pasa planetoid", albo pozostałości po jednym większym satelicie, który rozpadł się na mniejsze księżyce-"planetoidy". Natomiast najbardziej zewnętrzne satelity Jowisza obiegające go ruchem wstecznym nie wydają się spełniać tej zależności. Uważa się je zresztą za przechwycone przez pole grawitacyjne Jowisza drobne ciała z pasa planetoid.

Podobnie dla układu Saturna można sporządzić wykres (rys. 3) obrazujący zależność logarytmu wartości okresu orbi-



Rys. 4. Zależność logarytmu okresu orbitalnego księżyców Urana od kolejnego numeru księżyca.



Rys. 5. Zależność logarytmu okresu orbitalnego księżyców Neptuna od ich położenia.

talnego księżyców od numeru n satelity. Zależność tę można wyrazić następująco:

$$T_n = T_o A^n,$$

gdzie teraz T_n jest okresem obiegów księżyców Saturna wyrażonym w dniach, $n = 0$ dla Saturna, $A^2 = 2$, $T_o = 1.079 T_p$ i T_p jest okresem rotacji Saturna (w dniach).

Jak widać z zamieszczonego wykresu zależność tę spełniają klasyczne księżyce Saturna (a nawet Ianus i Epimetheus), przy czym między Rheą a Tytanem ($n = 10$) występuje znaczna przerwa – i następnie między Hyperionem ($n = 11$) i Iapetusem ($n = 14$). Natomiast Phoebe nie „podporządkowuje się" tej regule, być może dlatego, iż obiega Saturna ruchem wstecznym po bardzo ekscentrycznej i znacznie nachylonej do płaszczyzny równika planety orbicie. Najprawdopodobniej jest to przechwycona przez pole grawitacyjne Saturna ogromna kometa.

Dla układu Urana powiodło się sporządzić najbardziej udany wykres (rys. 4), przy czym miejsce z numerem $n = 1$ zajął odkryty w 1985 roku przez Voyagera 2 niewielki satelita Puck, jednak największy spośród pozostałych wewnętrznych księżyców Urana.

Zależność zobrazowana na wykresie przestawia się dla układu Urana w następujący sposób (analogiczny do dwóch poprzednich):

$$T_n = T_o A^n,$$

i tu $n = 0$ dla Urana, T_n jest wartością okresów obiegów kolejnych satelitów (w dniach), $A^2 = 3$, $T_o = 1.076 T_p$ i T_p jest okresem rotacji Urana (w ułamkach doby).

Układ Urana okazał się zatem bardzo regularny.

Zainspirowani osiągnięciami Dermotta postanowiliśmy wykonać analogiczny do poprzednich wykres dla systemu Neptuna. Wynik tego (rys. 5) okazał się zadziwiający. Układ jest jakby niecałkowicie zapełniony, jakby Neptunowi brakowało jeszcze kilku satelitów (!), chociaż odkryto przecież kilka nowych księżyców, lecz nie spełniają one tej zależności. Natomiast miejsce z numerem $n = 1$ zajął odkryty jeszcze podczas obserwacji naziemnych księżyc nazwany Protheusem, którego istnienie potwierdził w 1989 roku Voyager 2. Dostrzeżony wkrótce po odkryciu Neptuna Tryton zajął miejsce z numerem $n = 4$, a maleńka Nereida, odkryta w 1949 roku, obiegająca Neptuna po silnie ekscentrycznej orbicie, zajęła miejsce z numerem $n = 11$. Pozostałe, odkryte przez Voyagera 2 minisatelity obiegają Neptuna wewnątrz orbity Protheusa. Nie wiadomo, dlaczego system Neptuna jest tak mało regularny w porównaniu z układami księżyców innych planet-olbrzymów. Powstaje też kwestia, czy warto w zaistniałej sytuacji starać się opisać matematycznie tę zależność, ale bez wątpienia wzór byłby podobny do poprzednich.

Podsumowując należy stwierdzić, że problem RT-B pozostaje nadal otwarty, a do wyjaśnienia osobliwości rozmieszczenia orbit w świecie planet i ich księżyców są potrzebne dalsze studia, przy czym najbardziej obiecującym kierunkiem wydają się badania prowadzone nad powstawaniem układów planetarnych oraz nad zjawiskami rezonansu w Układzie Słonecznym, w tym również w układach satelitów planet – chociaż nie brak i tak egzotycznych hipotez, jak domniemanie, iż być może mamy tu do czynienia ze swego rodzaju „kwantowaniem grawitacyjnym", cokolwiek mogłoby to oznaczać.

T. Zbigniew Dworak, z wykształcenia fizyk atmosfery i astronom, habilitowany w dziedzinie inżynierii środowiska, jest profesorem AGH w Krakowie.

Marek Kopacz jest absolwentem AGH i asystentem na Wydziale Geodezji i Inżynierii Środowiska tej uczelni.

CENTRUM ASTRONOMICZNE UMK

Dawniej astronomowie pracowali w obserwatoriach astronomicznych. Obecnie coraz częściej (w Polsce to już chyba trzeci ośrodek taką nazwę przyjmujący) w centrach. Zarządzeniem Rektora Uniwersytetu Mikołaja Kopernika nr 29 z dnia 9 grudnia 1996 toruńscy uniwersyteccy astronomowie będą teraz pracowali w „Centrum Astronomicznym UMK". Oto najważniejsza, merytoryczna część wspomnianego zarządzenia:

§ 1

1. *Tworzy się od 2 stycznia 1997 r. Centrum Astronomiczne UMK, zwane dalej „Centrum" jako jednostkę organizacyjną Wydziału Fizyki i Astronomii.*
2. *W skład Centrum wchodzą jako jednostki naukowo-dydaktyczne:*
   1) *przekształcona z dotychczasowego Instytutu Astronomii – Katedra Astronomii i Astrofizyki,*
   2) *Katedra Radioastronomii oraz jako jednostki pomocnicze:*
   3) *Biblioteka Centrum i*
   4) *Dział Administracyjny Centrum.*
3. *Centrum zlokalizowane jest w Piwnicach k/Torunia w dotychczasowych pomieszczeniach Obserwatorium Astronomicznego i Katedry Radioastronomii.*

§ 2

1. *Do zadań Centrum należy prowadzenie działalności dydaktycznej i naukowej w zakresie astronomii, astrofizyki i radioastronomii.*
2. *W Centrum działa międzynarodowa Rada Naukowa, spełniająca rolę doradczą dla dyrektora Centrum.*
3. *Radę powołuje Rektor na kres trzech lat na wniosek dyrektora Centrum.*

Pozostałe 2 paragrafy Zarządzenia mówią o sprawach formalno-porządkowych związanych ze sprawą wprowadzenia go w życie, a ostatni, § 5 brzmi: *„Zarządzenie wchodzi w życie z dniem 9 grudnia 1996 r."*

Na stanowisko dyrektora Centrum Rektor UMK powołał profesora Aleksandra Wolszczana, którego główne miejsce pracy jest w Uniwersytecie Stanowym w Pensylwanii (USA). Toruńską placówką będzie zdalnie kierował z za oceanu. Pierwszym skutkiem reformy jest od przeszło miesiąca nieczynna biblioteka, przenoszona jak kartofle bez żadnego składu i ładu, z Torunia do Piwnic.

In memoriam

Carl E. SAGAN (1934 – 1996)

Profesor Carl Sagan, najbardziej chyba znany obecnie na świecie amerykański astronom zmarł w wieku 62 lat w piątek 20 grudnia 1996 roku. Przez dwa lata walczył z chorobą nowotworową krwi. Zmarł na zapalenie płuc w klinice w Seattle, gdzie w kwietniu 1995 roku dokonano mu transplantacji szpiku kostnego i gdzie od czasu do czasu powracał na zabiegi.

Carl Sagan był znakomitym uczonym, profesorem „astronomii i nauk kosmicznych" uniwersytetów Harvarda i Cornella oraz dyrektorem (od 1968 roku) Laboratorium Badań Planetarnych Uniwersytetu Cornella w Ithaca w stanie Nowy Jork. Uczestniczył we wszystkich wielkich amerykańskich programach badań planetarnych NASA. Ale na całym świecie znany jest jako niedościgniony popularyzator nauk ścisłych i astronomii. To On przez swoje książki, filmy, pogadanki radiowe, seriale telewizyjne i spotkania z milionowymi audytoriami telewizyjnymi przybliżył setkom milionów ludzi na całym globie ziemskim otaczający nas Kosmos.

Carl Edward Sagan urodził się w Brooklynie w dniu 9 listopada 1934 roku. Wyznał kiedyś, że już w wieku 7 lat odkrył swe astronomiczne powołanie. Wtedy, wspominał, przeglądając książki astronomiczne w bibliotece w Nowym Jorku doznał zawrotu głowy: „jak te gigantyczne ciała mogą pozostawać zawieszone w tej bezkresnej czarnej próżni? To

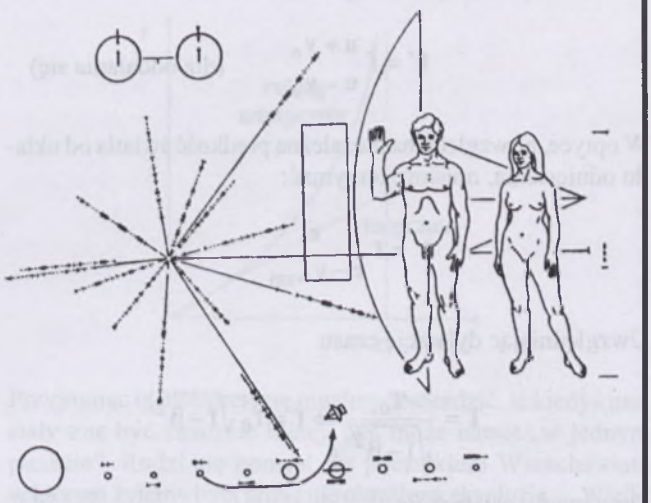
mnie po prostu bulwersowało." W 1956 roku, cztery lata przed doktoratem z astronomii uzyskanym w uniwersytecie w Chicago, publikuje wyniki swych badań Marsa, w których dowodzi, że sezonowe zmiany barwy na powierzchni tej planety nie są dowodem istnienia tam roślinności, w co powszechnie wówczas wierzono. Później to On był Autorem pomysłu sprawdzenia istnienia życia na powierzchni Marsa przy pomocy eksperymentów misji Viking i wysłania w przestrzeń kosmiczną na pokładzie sondy Pionier 10 plakietki informującej pozaziemskie cywilizacje o naszym istnieniu na Ziemi. Wyniki Jego badań warunków atmosferycznych i klimatologicznych panujących na planecie Wenus, opublikowane w 1961 roku, a przeprowadzone metodami radioastronomicznymi na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, zostały w całej rozciągłości potwierdzone późniejszymi badaniami radzieckiej sondy Wenera IV w 1967 roku i następnymi sondami penetrującymi atmosferę Wenus. Jest liderem wielu grup badawczych studiujących System Planetarny przy pomocy sond kosmicznych typu Mariner, Viking, Voyager i Galileo. Ale dla milionów ludzi na świecie pozostanie w pamięci jako ten, który pozwolił im poznać piękno i choć trochę zrozumieć otaczający nas Wszechświat. Powołane z Jego inicjatywy Towarzystwo Planetarne (The Planetary Society) zrzesza dzisiaj przeszło 100 tys. członków i jest największą na świecie organizacją ludzi zainteresowanych badaniami Kosmosu.

Jego, 13-odcinkowy serial telewizyjny „Cosmos" (powstał w początku lat osiemdziesiątych) obejrzało przeszło 500 milionów ludzi w 60 krajach (co zostało uznane, za rekordową oglądalność serialu telewizyjnego w historii telewizji). W poszczególnych odcinkach Carl Sagan pokazuje w nim etapy 15 miliardów lat trwającej historii Wszechświata: od narodzin materii poprzez powstawanie galaktyk i gwiazd do pojawienia się życia. Wierzył w istnienie życia pozaziemskiego i pozaziemskich cywilizacji. „Życie całych cywilizacji musi być powszechne we Wszechświecie, [mawiał], ponieważ gwiazdy są tak liczne, a Słońce jest tak bardzo typową gwiazdą". Zanim zaprowadził Carl Sagan swych widzów do mateczników gwiazdowych i poszybował z nimi poprzez galaktyki przedstawiał otaczający nas świat czytelnikom w swych książkach. Napisał ich przeszło dwadzieścia, w tym kilka w kategorii science-fiction. Pierwszy Jego bestseller „The Cosmic Connection" ukazał się w roku 1973. Inny, „The Dragon of Eden" (1977) w roku 1978 przyniósł Autorowi Nagrodę Pulitzera. Za „Contact" opublikowany w 1985 roku dostał 2 mln dolarów nagrody, a w 1997 roku wejdzie na ekrany pełnometrażowy film (którego wraz z żoną był producentem) oparty na tej noweli. W roku 1996 opublikował „The Domon Haunteg Word: Science as a Candle in the Dark". Książka ta stała się jego kolejnym (ósmym) bestsellerem. To wszystko świadczy o Jego wielkich literackich sukcesach. W roku 1994 Prezes Amerykańskiej Akademii Nauk, profesor Bruce Albert, wręczając Mu najwyższe odznaczenie tej Akademii „the Public Welfare Medal", powiedział: „W publicznym odbiorze nazwisko Carla Sagana jest bardziej związane z naukami przyrodniczymi niż nazwisko jakiegokolwiek innego żyjącego naukowca amerykańskiego". I dalej mówił: „Pan Sagan odegrał kluczową rolę w upowszechnieniu naukowego rozumienia zjawisk otaczającego nas świata w skali całego globu ziemskiego". Bez najmniejszej przesady możemy powiedzieć, że stworzył On klasyczny wzorzec popularyzacji współczesnych odkryć naukowych. Ale musimy pamiętać, że Pan Sagan odegrał też olbrzymią rolę w dziedzinie astrofizycznych badań ciał Układu Słonecznego i to zarówno metodami naziemnymi jak i kosmicznymi. Opublikował ok. 700 artykułów naukowych. Jest pionierem współczesnych badań planetologicznych, a dla wielu współczesnych astrofizyków jest mistrzem i niedoścignionym wzorem badacza. Środowiska naukowe wyraziły Mu swoje uznanie przyznając 22 doktoraty honorowe w różnych dziedzinach: astronomii i nauk przyrodniczych, literatury, edukacji i ochrony środowiska. Zdaniem prof. Marcello Caradini, kierownika programu badań Systemu Słonecznego w Europejskiej Agencji Badań Kosmicznych „On zawsze oddawał swą wiedzę, swój charyzmat i umiejętność przekonywania na usługi nauki... Umiał wykazać, że badania kosmiczne są multidyscyplinarne [i] sprowadził planetologów, biologów i fizyków do wspólnej pracy. ... W dużej mierze to właśnie dzięki Niemu amerykański program badań kosmicznych nabrał takiego rozmachu".

Carl Sagan osierocił swą żonę Ann Druyan (współautorkę kilku Jego dzieł literackich i filmowych), pięcioro dzieci i jednego wnuka.

Autor tej notatki miał zaszczyt cieszyć się przez 28 lat osobistą znajomością i sympatią Carla Sagana. Niech te kilka zdań przybliżających tę postać czytelnikom „Postępów Astronomii" będzie jego hołdem dla Przyjaciela, badacza i popularyzatora Astronomii, a przede wszystkim Wspaniałego Człowieka.

Andrzej Woszczyk



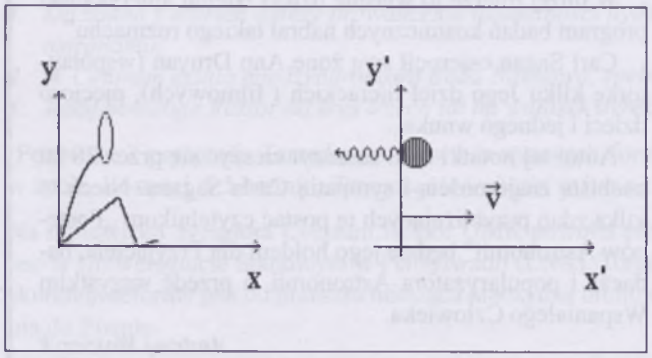
„Tak wyglądamy, jesteśmy do was przyjaźnie nastawieni, nasz pojazd pochodzi z trzeciej planety Systemu Słonecznego, (zmienił trajektorię na skutek oddziaływania piątej planety, wiemy jak promieniuje wodór na fali 21 cm, znamy geometrię..." Plakietkę z taką informacją, wg pomysłu Carla Sagana, narysowała jego żona Ann Druyann. Powędrowała ona w Kosmos na pokładzie sond Pionier 10 i Pionier 11 odpowiednio w marcu 1972 i kwietniu 1973 roku. Położenie Słońca wśród gwiazd jest tu określone względem 14. pulsarów, dla których podane są okresy w kodzie binarnym. Sylwetki ludzi są skalowane na sylwetce pojazdu kosmicznego, na którym ta informacja została zamieszczona.

ELEMENTY KOSMOLOGII W SZKOLE ŚREDNIEJ

Uwagi wstępne

W klasie drugiej uczniowie dowiadują się, że jeśli energia całkowita układu dwu ciał oddziaływujących grawitacyjnie jest ujemna, to nie mogą sie one oddalić od siebie na dowolnie dużą odległość (do nieskończoności).

W klasie trzeciej przedstawiamy im (najlepiej z wyprowadzeniem) wzór na efekt Dopplera w akustyce. Nieco później możemy uogólnić go na optykę (relatywistyczny efekt Dopplera).



W akustyce otrzymaliśmy wzór:

$$f' = f\,\frac{u + v_o}{u - v_z} \qquad \text{(dla oddalania się)}$$

W optyce, ze względu na niezależną prędkość światła od układu odniesienia, musimy otrzymać:

$$f' = f\,\frac{c}{c - v_{wzgl}}$$

Uwzględniając dylatację czasu

$$T = \frac{T_0}{\sqrt{1-\beta^2}} \Rightarrow f = f_0\sqrt{1-\beta^2}$$

Otrzymamy ostatecznie

$$f' = f_0\sqrt{1-\beta^2}\,\frac{c}{c-v} = f_0\sqrt{\frac{c-v}{c+v}}$$

lub po przejściu do długości fali

$$\lambda' = \lambda_0\sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$$

Dla naszych celów wygodniejsza będzie postać:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 = \frac{1-\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

Nieco historii

Oto kluczowe odkrycia, które dały podstawę współczesnej kosmologii.

1912 V. Slipher otrzymuje na tyle dobre widmo galaktyki M31, że może określić w nim położenie znanych z doświadczeń laboratoryjnych linii widmowych. Linie okazują się przesunięte względem linii laboratoryjnych.

1915 A. Einstein publikuje pracę ***Die Feldgleichungen der Gravitation.*** Była to teoria pola grawitacyjnego dziś znana pod nazwą ***Ogólnej Teorii Względności.***

1917 A. Einstein publikuje pracę ***Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativiatstheorie.*** Aby być w zgodzie z utrwalonym poglądem (a może raczej z własnym odczuciem) Einstein chciał uzyskać statyczny model kosmologiczny a niestety z jego własnych równań pola to nie wychodziło. Dla osiągnięcia tego celu dodaje do równań pola niewielkie wyrażenie zwane dziś członem kosmologicznym.

1923 E. Hubble wykorzystując metodę cefeid wyznacza odległości do galaktyk.

1925 V. Slipher ma już 41 widm galaktyk. W większości z nich linie widmowe przesunięte są w stronę fal dłuższych.

1925 E. Hubble publikuje odkrytą przez siebie zależność przesunięcia linii widmowych od odległości galaktyk (***Relation between Distance and Radial Velocity among Extragalactic Nebulae***).

1931 A. Eddington publikuje pracę ***The End of the World: from the Standpoint of Mathematical Physics.***

1931 G. Lemaitre publikuje ***The Beginning of the World from the Point of View of Quantum Theory.***

1933 Praca E.Eddingtona ***The expanding Universe.***

1948 R. Alpher, G.Gamow i R.Herman przedstawiają model tzw Wielkiego Wybuchu (Big Bang) w którym po wybuchu Wszechświat jest bardzo gorący i rozszerza się stygnąc adiabatycznie.

1948 H.Bondi i T.Gold przedstawiają teorię stacjonarnego Wszechświata.

1955 Zapoczątkowanie przez M.Ryle'a zliczeń radioźródeł w funkcji gęstości odbieranego strumienia.

1965 Odkrycie promieniowania reliktowego (tła) przez A.Penziasa i R.Wilsona (Nobel 1978).

1989 Wyniesienie na orbitę satelity COBE ***(Cosmic Background Explorer).***

1992 Satelita COBE wykrywa anizotropię w przestrzennym rozkładzie temperatury promieniowania reliktowego.

Już na wstępie musimy zwrócić uwagę na fakt w zasadzie oczywisty, wynikający ze skończonej prędkości światła: im **dalsze** obiekty oglądamy, tym widzimy je na **wcześniejszym** etapie ewolucyjnym.

Skonstruowanie jakiejkolwiek teorii kosmologicznej nie jest możliwe bez przyjęcia niejako a priori przynajmniej jednego założenia. Rozważane były głównie dwa nazwane później słabą i mocną (doskonałą) zasadą kosmologiczną. Dziś doskonała zasada musi być odrzucona jako sprzeczna z faktami obserwacyjnymi (zliczenia najdalszych obiektów – kwazarów, aktywnych galaktyk, radioźródeł a nawet zwykłych galaktyk). Tym samym musimy porzucić Model Stanu Stacjonarnego tak uparcie broniony przez F.Hoyle'a.

Model stanu stacjonarnego nie mógł wzbudzić entuzjazmu fizyków i astronomów (zakłada bowiem ciągłą kreację materii z niczego, co jest sprzeczne z zasadą zachowa energii), jednak musiał być dyskutowany poważnie ze względu na podstawową zasadę metodologiczną. Mówi ona, że każda hipoteza której prawdziwość może być sprawdzona obserwacyjnie lub doświadczalnie nie może być odrzucona. Chyba warto o tym powiedzieć.

Możliwości weryfikacji dostarcza zliczanie najdalszych obiektów w funkcji gęstości strumienia odbieranego promieniowania. W przypadku jednorodnego rozkładu radioźródeł ich liczba (dla gęstości promieniowania większych niż S) powinna być proporcjonalna do S w potędze –3/2. Dane obserwacyjne isotnie różnią się od przewidywań, co wskazuje, że w przeszłości radioźródła miały odpowiednio większą (niż wynika z ekspansji) gęstość przestrzenną lub większą jasność absolutną. Natomiast model stanu stacjonarnego wymaga, zgodnie z doskonałą zasadą kosmologiczną, aby obie te wielkości miały średnio te same wartości w każdym czasie i w każdym obszarze Wszechświata.

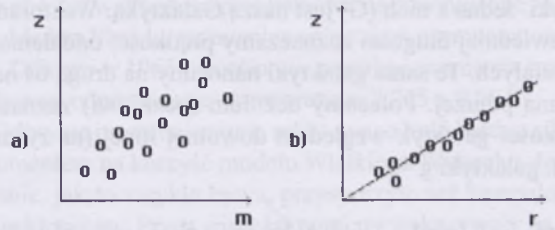
Słaba zasada kosmologiczna

Wszechświat oglądany z każdego punktu i w każdym kierunku wygląda tak samo.

Prawdopodobnie powyższe stwierdzenie będzie wymagało dłuższej dyskusji bowiem na pierwszy rzut oka obserwowany Wszechświat nie wygląda na jednorodny ani anizotropowy. Jeśli dodamy „w dostatecznie dużej skali" zasada będzie niesprzeczna z danymi obserwacyjnymi.

Pomysł Hubble'a

Jeśli badamy liczną klasę obiektów o których wiemy niewiele, bardzo często osiągamy sukces (lub przynajmniej znajdujemy do niego drogę) wprowadzając rozsądną klasyfikację. Pomysł Hubble'a to naniesienie na wykres (a) galaktyk dla których znane było przesunięcie do czerwieni i jasność widoma. Jasność widoma (statystycznie) powinna maleć z odległością. Stąd kolejne działanie to wyznaczenie odległości do możliwie dużej liczby galaktyk i sporządzenie wykresu (b). Tu związek tych wielkości jest już wyraźnie widoczny. Jeśli przesunięcie do czerwieni interpretować jako efekt Dopplera (a nie znamy innej możliwości), to oznacza ono, że galaktyki (za wyjątkiem najbliższych) oddalają się od siebie z prędkością proporcjonalną do odległości.



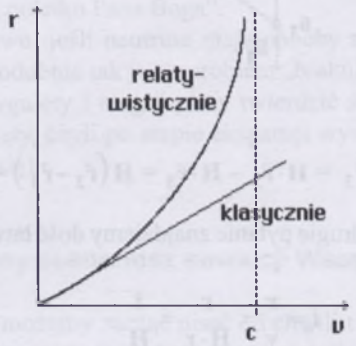
$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 = \frac{1-\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

Dla $v \ll c$ powyższa zależność przechodzi w $z = \frac{v}{c}$

na podstawie wykresu $z = kr = \frac{H}{c} r$

$$\left.\begin{array}{l} z = \frac{v}{c} \\ z = kr = \frac{H}{c} r \end{array}\right\} \quad v = H \cdot r \quad \text{(prawo Hubble'a)}$$

Zależności dla większych prędkości nie będziemy zapisywać, ograniczymy się do przedstawienia jej na wykresie.



Przyjmując tą interpretację musimy stwierdzić, iż kiedyś musiały one być znacznie bliżej, być może nawet „w jednym punkcie". Rodzi się pomysł, że początkiem Wszechświata w którym żyjemy była bliżej nie określona eksplozja – Wielki Wybuch.

Problem 1.

Czy fakt, że galaktyki oddalają się od nas z prędkościami proporcjonalnymi do ich odległości dowodzi, że Wielki Wybuch miał miejsce tu gdzie jesteśmy?

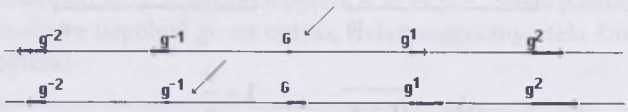
Problem 2.

Czy w oparciu o prawo Hubble'a możemy określić kiedy wystąpił Wielki Wybuch?

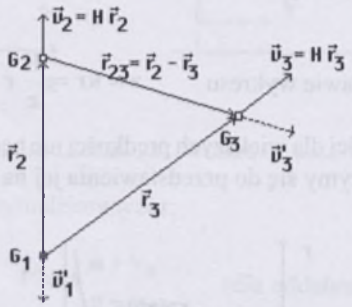
Na dziś o stałej Hubble'a możemy powiedzieć że zawiera się między 50 a 100 km/s/Mpc. Dwa ostatnie wyznaczenia to 85 i 57 km/s/Mpc. Warto w tym miejscu omówić trudności związane z dokładnym wyznaczeniem stałej.

Oprócz ogólnie znanego modelu „balonika" (związanego nieodłącznie z krzywizną przestrzeni) można posłużyć się nieco innym rozumowaniem.

Na dowolnej osi rozmieszczamy w równych odstępach galaktyki. Jedna z nich (G) jest naszą Galaktyką. Wektorami o odpowiedniej długości zaznaczamy prędkości oddalania się pozostałych. Te same galaktyki nanosimy na drugą oś narysowaną poniżej. Polecamy uczniom (uczniowi) zaznaczyć prędkości galaktyk względem dowolnej innej (na rysunku wzgl. galaktyki g^{-1}).



Można też rozmieścić galaktyki dowolnie na płaszczyźnie tablicy. W zasadzie wystarczą trzy. Na rysunku zaznaczono wektory prędkości dla obserwatora z galaktyki G_1. Jeśli przeniesiemy się do galaktyki G_2 wówczas



$$\vec{v}_1 = H \cdot \vec{r}_2$$

$$\vec{v}_3 = \vec{v}_2 - \vec{v}_3 = H \cdot \vec{r}_2 - H \cdot \vec{r}_3 = H\left(\vec{r}_2 - \vec{r}_3\right) = H \cdot \vec{r}_{23}$$

Odpowiedź na drugie pytanie znajdziemy dość łatwo, bowiem

$$t_o = \frac{r}{v} = \frac{r}{H \cdot r} = \frac{1}{H}$$

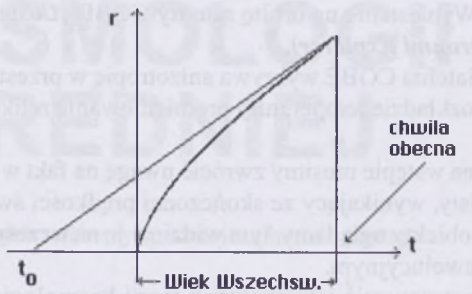
Po podstawieniu H = 85 km/s/Mpc mamy t_o = ok. 11 mld lat, natomiast dla H = 57 km/s/Mpc otrzymamy t_o = ok. 17 mld lat.

Problem 3.

Czy uzyskany wynik można uznać za dobry , czy może wymaga on wprowadzenia pewnej poprawki?

Podpowiedź: uwzględnić oddziaływania grawitacyjne.

Rzeczywiście, oddziaływania grawitacyjne spowalniają tempo ekspansji, stąd poprawny wynik uzyskamy przyjmując zmienne w czasie tempo ekspansji (ilustruje to rysunek poniżej). Wiek Wszechświata jest na pewno mniejszy od obliczonego przez nas.



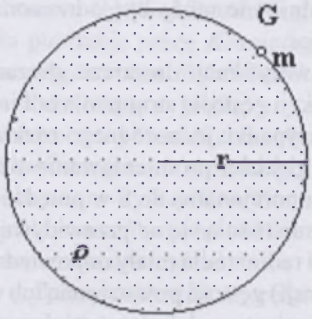
Niezależnie od przyjętego przez nas scenariusza najczęściej w tym miejscu pojawiają się dwa pytania :

1) czy ekspansja będzie trwała wiecznie,

2) czy mamy fakty obserwacyjne potwierdzające słuszność hipotezy.

Oczywiście należy na nie odpowiedzieć w zakresie, w jakim znamy odpowiedź na postawione pytania.

Weźmy pod uwagę ograniczony sferą obszar Wszechświata na tyle duży, aby można było uważać go za jednorodny o gęstości ρ. Weźmy pod uwagę jedną z galaktyk znajdującą się na granicy tego obszaru.



Oczywiście energia wybranej galaktyki $E = E_{kin} + E_{pot}$ czyli

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{4G\pi r^3 \rho m}{3r}$$

Jak wiadomo dla E > 0 galaktyka G może oddalić się do nieskończoności, dla E < 0 układ jest grawitacyjnie związany. Graniczną wartością jest E = 0. Podstawmy v = H·r i przyrównajmy obliczoną energię do zera. Po paru przekształceniach otrzymamy:

$$\rho_{kryt} = \frac{3H^2}{8\pi G} = 8{,}8 \cdot 10^{-27}\,kg/cm^3$$

Niestety, przynajmniej dziś, nie znamy uśrednionej gęstości dostępnego obserwacjom Wszechświata. Inaczej: wiemy jak znaleźć odpowiedź na postawione pytanie, nie mamy jednak wystarczającej liczby danych aby na nie odpowiedzieć.

Według współczesnych oszacowań masy widocznej materii $\rho_{śr} \cong 5 \cdot 10^{-28}$ kg/m^3. Zauważmy, że wartość gęstości krytycznej obliczyliśmy przy niepewnej wartości stałej Hubble'a.

Oszacowanie gęstości średniej, oparte o „policzenie" galaktyk i wskazujące na nieograniczoną ekspansję też nie jest pewne. Mamy nawet bardzo istotne przesłanki pozwalające twierdzić, że gęstość ta jest znacznie większa. Masy galaktyk możemy też oszacować metodami dynamicznymi otrzymując wyniki wyraźnie większe niż wynikające z sumowania mas widocznych składników galaktyk. Brakująca masa może być zawarta w niewielkich, słabo świecących gwiazdach tzw brązowych karłach, (gwiazdach o masach 0,07-0,08 mas słonecznych, nie zapoczątkowujących reakcji termojądrowych), czarnych dziurach, ciemnych obłokach gazowych, neutrinach, a nawet występować w postaci nieznanych nam egzotycznych cząstek.

O neutrinach będziemy mówić w dalszej części opracowania, o poszukiwaniach brązowych karłów (wg projektu przedstawionego przez polskich astronomów) warto powiedzieć w oparciu o artykuł B. Paczyńskiego **Soczewkowanie grawitacyjne** (*Postępy Astronomii* nr 3/1993) oraz K. Stępnia **Wybrane odkrycia astrofizyczne ostatnich lat** (Fizyka w Szkole 3/1995).

Odpowiedź na drugie pytanie jest bardziej złożona. Powinniśmy tu wymienić :

– przesunięcie do czerwieni,
– skład pierwotnej materii (nie przetworzonej w gwiazdach),
– promieniowanie mikrofalowe tła.

Zauważyliśmy już, że mamy obserwacyjny dowód zmienności Wszechświata w czasie, co wyklucza modele stanu stacjonarnego. Nie jest to oczywiście dowód na poprawność teorii Wielkiego Wybuchu ale mocno go uprawdopodabnia.

– trudnością w modelu WW była niemożność wyjaśnienia mechanizmu wytworzenia silnej niejednorodności rozmieszczenia materii wobec obserwowanej anizotropii promieniowania tła. Wyniki uzyskane przez satelitę COBE co prawda nie usuwają ich, ale na pewno je zmniejszają.

– z potwierdzonego obserwacyjnie składu chemicznego pierwotnej materii wynika, że liczba generacji cząstek elementarnych musi być mniejsza lub równa 4. Znamy 3 generacje i wiele wskazuje na to, że zestaw jest kompletny. Model kwarkowy podobnie jak model WW powszechnie uznane są za standardowe (K. Stefański, **Cząstki elementarne i kosmologia – dwa modele standardowe,** ZDN Toruń, 1992).

O przesunięciu do czerwieni już mówiliśmy. Przejdźmy zatem do składu chemicznego pierwotnej materii Wszechświata. Analizując bardzo wczesne etapy jego rozwoju zauważono, że warunki (temperatura i gęstość) w których nukleony mogły łączyć się w jądra helu utrzymywały się stosunkowo krótko. Pierwsze poprawne (i uznawane do dziś) obliczenia ilości helu który mógł wówczas powstać przeprowadził Peebles w 1966 r. Uzyskał na obfitość helu 27% (wagowo). Z obserwacji uzyskujemy również ok. 27%. Zgodność znakomita!

Ok. 300000 lat po Wielkim Wybuchu, gdy temperatura spadła do ok. 30000 K a gęstość do 10^{-18} kg/m^3 droga swobodna fotonów wydłużyła się na tyle, że przestały one praktycznie oddziaływać z materią. Wcześniej, głównie dzięki zderzeniom comptonowskim, wymiana energii między materią a promieniowaniem była na tyle sprawna iż znajdowały się one w równowadze termodynamicznej. Od tego momentu materia i fotony (promieniowanie) ewoluują niezależnie (niejako „obok siebie"). Materia będzie jeszcze podlegać wielu istotnym przemianom, promieniowanie może tylko „stygnąć" zachowując planckowski rozkład widma wytworzony w poprzedniej epoce (promieniowanie zrównoważone). Wg zgodnych oszacowań obecnie widmo tego promieniowania powinno być zgodne z rozkładem Plancka promieniowania c.d.cz. o temperaturze ok. 3 K. Odkryte w 1965 r izotropowe promieniowanie ma rozkład widmowy odpowiadający temperaturze 2,735 ± 0,06 K.

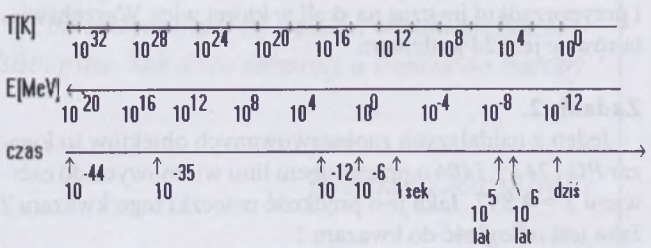
Odkrycie promieniowania reliktowego było bardzo silnym argumentem na korzyść modelu Wielkiego Wybuchu. Jednocześnie, jak to zwykle bywa, przysporzyło też kosmologom wiele kłopotów. Przez wiele lat pomiary wskazywały na jego niemal idealną izotropowość, wskazując iż jeszcze milion lat po wybuchu Wszechświat był jednorodny. Trudno było zrozumieć w jaki sposób (dzięki jakim mechanizmom) nastąpiło przejście do układu tak bardzo niejednorodnego jaki widzimy dzisiaj. Wreszcie w 1992 r pomiary prowadzone przez satelitę COBE wykryły drobną anizotropię. Problem nie znikł ale być może jest łatwiejszy do pokonania.

Jeszcze wcześniej, po ok. 2 s od Big Bangu droga swobodna neutrin wydłużyła się na tyle, że przestały one oddziaływać z innymi formami materii. Odłączone neutrina, dziś już znacznie „ostudzone" powinny tworzyć „neutrinowe promieniowanie tła". Niestety współczesne detektory nie są jeszcze zdolne do ich rejestracji. Gdyby w przyszłości doszło do ich rejestrowania byłoby to wspaniałe potwierdzenie teorii. Ponadto spojrzenie na Wszechświat w wieku 2 sekund to prawie wejście „na poletko Pana Boga".

Dodatkowo, jeśli neutrina mają choćby niewielką masę (a prawdopodobnie tak jest), problem „brakującej masy" byłby rozstrzygnięty i moglibyśmy twierdzić że Wszechświat jest zamknięty, czyli po etapie ekspansji wystąpi kontrakcja (kurczenie się).

Skrócony scenariusz ewolucji Wszechświata

Scenariusz możemy zacząć pisać od chwili $t = 10^{-44}$ s. Jesteśmy przekonani, że to co było wcześniej nie daje się opisać prawami znanej nam fizyki. Podejrzewa się konieczność zastosowania kwantowej teorii grawitacji, ale ona jeszcze nie istnieje. Znane nam prawa prawdopodobnie dość dobrze funkcjonują od chwili $t = 10^{-6}$ s czyli od powstania materii w znanej nam postaci (protonów i neutronów).



10^{-44} s początek „pisanej" historii Wszechświata, pierwsze złamanie symetrii, odłączają się oddziaływania grawitacyjne (do tego czasu istniał tylo jeden typ odziaływań),

10^{-35} s drugie łamanie symetrii, odłączają się oddziaływania jądrowe,

10^{-12} s trzecie łamanie symetrii, oddziaływania elektrosłabe dzielą się na słabe jądrowe i elektromagnetyczne. W CERN-ie koło Genewy udało się odtworzyć warunki jakie panowały w tej epoce i doświadczalnie potwierdzić hipotezę Weinberga,Glashowa i Salama. Od tej chwili mamy do czynienie z 4 rodzajami oddziaływań,

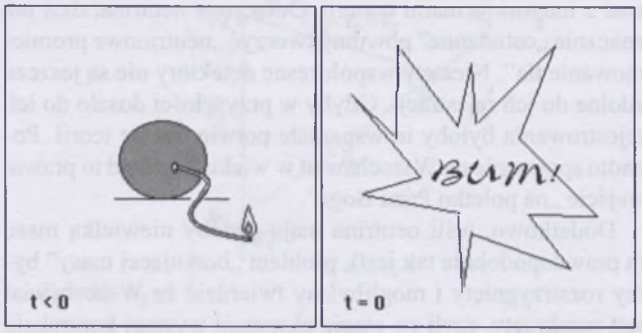
10^{-6} s kwarki łączą się w protony i neutrony,

1 s początek pierwotnej nukleosyntezy, powstaje hel i w minimalnych ilościach parę innych lekkich pierwiastków,oddzielenie neutrin od pozostałych rodzajów materii,

$3 \cdot 10^5$ lat oddzielenie promieniowania od materii, rekombinacja wodoru,

10^6 lat początek tworzenia galaktyk.

Na zakończenie mała przestroga. Bardzo często wyobrażamy sobie początek Wszechświata jak na rysunku poniżej.



Nie mamy żadnych podstaw aby liczyć czas przed chwilą t = 0, więcej, nie wiemy czy wówczas istniał czas i przestrzeń (!). Nie możemy też umiejscowić Wielkiego Wybuchu w określonym punkcie. Lepiej jest powiedzieć: Wielki Wybuch wystąpił wszędzie.

Zadanie 1.

Wybierz z historii Ziemi kilka odległych dat, np.:
- uformowanie się Ziemi – przed około 4.5 mld lat,
- wyginięcie dinozaurów – przed około 65 mln lat,
- pierwszy człowiek – przed około 4 mln lat,
- początki naszej cywilizacji – przed około 6000 lat

i przyporządkuj im czas na skali w której wiek Wszechświata równy jest 24 godzinom.

Zadanie 2.

Jeden z najdalszych zaobserwowanych obiektów to kwazar *PC 1247+ 3406* o przesunięciu linii widmowych do czerwieni z = 4.897. Jaka jest prędkość ucieczki tego kwazara ? Jaka jest odległość do kwazara ?

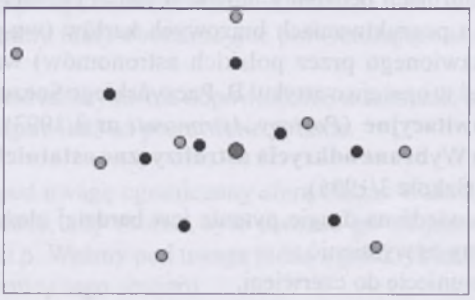
Z przekształcenia wzoru (1) otrzymujemy

$$v = c\frac{(z+1)^2 - 1}{(z-1)^2 - 1} = 0{,}944 \cdot c$$

oraz r = v/H = 4048 Mpc ≅ 13 miliardów lat światła (przy założeniu przestrzeni euklidesowej (płaskiej) i stałej Hubble'a H = 70 km/s/Mpc). A więc kwazar *PC 1247+3046* widzimy takim, jakim był ok. miliard lat po Wielkim Wybuchu!

Propozycja

Na dwóch arkuszach folii do grafoskopu wykonujemy 2 rysunki które po ich nałożeniu wyglądają jak niżej.



Na środku pierwszej folii znajduje się nieco większy obiekt centralny (Galaktyka Drogi Mlecznej) i 15-20 ciemnych kółeczek (galaktyk). Na drugiej folii ten sam obiekt centralny i te same galaktyki (jaśniejsze lub w innym kolorze) po pewnym (raczej długim) czasie. Ich odległości od obiektu centralnego są zwiększone proporcjonalnie do odległości początkowej. Kładziemy na grafoskopie pierwszą folię i objaśniamy rysunek. Nakładamy drugą. Tak wygląda nasze otoczenie np. po 1 miliardzie lat. Przenosimy się do innej galaktyki – przesuwamy górną folię (bez obrotu) tak, aby pokryły się wybrana przez nas galatyka na pierwszej i drugiej folii. Obraz wygląda podobnie – sąsiednie galaktyki oddaliły się od nas również o odcinki proporcjonalne do początkowych odległości.
Uwaga: pokaz jest efektowny pod warunkiem dokładnego wykonania rysunków.

Juliusz Domański

Nieco literatury

Demiański M., Wszechświat jako układ odniesienia, FwSz 1/1993
Bogacz E., Elementy kosmologii w nauczaniu, FwSz 4/1986
Arkuszewski W., Promieniowanie reliktowe FwSz 4/1989
Arkuszewski W., Prędkość rozszerzania się Wszechświata FwSz 3/1988
Mrówczyński S., Całkiem prosta kosmologia, Delta 5/1994
Heller M., Kosmiczna superpanorama, Delta 1/1994
Kwast T., Mikrosoczewkowanie grawitacyjne, Delta 3/1994
Stodółkiewicz J., We wnętrzu Wszechświata, WP 1981
Heller M., Ewolucja kosmosu i kosmologii, PWN 1985
Paczyński B.,Muchotrzeb B.,Granice Wszechświata, WP 1981
Close F., Kosmiczna cebula, PWN 1989
Weinberg S., Pierwsze trzy minuty, Iskry 1980
Demiański M., Astrofizyka relatywistyczna PWN 1978
Sciama D., Kosmologia współczesna PWN 1975

Quo vadis, Oświato?

Oświata polska, jaka jest, każdy widzi. No, nie każdy. Nie widzą np. kolejni ministrowie Edukacji ani inni podobni im rangą decydenci. Trudno zresztą aby było inaczej. Na przestrzeni zaledwie 7 lat było ich też (ministrów) siedmiu. Bardzo różnych zresztą. Byli to fachowcy od prawa rolnego, socjaldemokracji skandynawskiej, wysokich napięć, a ostatnio mamy znawcę ideologii która już dość dawno została skompromitowana. Ot, mało ważna, choć ceniona funkcja, którą można zaspokoić zawsze łasego na stołki koalicjanta.

Możemy płakać nad wyrugowaniem ze szkół astronomii (niewiele tu pomógł minister-astrofizyk) ale nie wiele lepiej jest z wieloma innymi przedmiotami, które ostały się w formie niemal szczątkowej. Jako tako trzymają się jeszcze język polski (i bardzo dobrze, przypomnijmy sobie raport OECD) i matematyka. Pewną szansę dawało astronomii włączenie jej do fizyki. Ale i fizyka już ledwo zipie. W połowie lat sześćdziesiątych w klasach o profilu matematyczno-fizycznym na fizykę przeznaczano w czteroletnim cyklu tj. łącznie w klasach I–IV, tygodniowo, 16 godzin lekcyjnych (i dodatkowo 2 godziny na astronomię). Dziś na fizykę z astronomią (ściślej: fizykę z III prawem Keplera dla orbit kołowych) mamy najczęściej 9–10 godzin (w klasach o profilu ogólnym najczęściej 5, a bywają tylko 4). Bo podobno młodzież była przeciążona (czytaj: na oświacie można zaoszczędzić). Nie są to co prawda astronomiczne sumy, ale zawsze. Dość dobrze pamiętam swoje szkolne lata przypadające na okres lat czterdziestych. Nauczyciele, prawie bez wyjątku przedwojenni, wcale nas nie oszczędzali a mieliśmy czas na sport, czytanie książek, wiele czasu zabierające randki i wiele, wiele innych zajęć. Co prawda, nie było wówczas telewizji ani komputerów (lepiej byłoby napisać – gier komputerowych). I nie narzekaliśmy na przeciążenie. A już na pewno nie robili tego nasi rodzice. Dodajmy do tego częsty brak podziału na grupy, przeładowane klasy, przeładowane szkoły, co często spowodowało faktyczną likwidację pracowni fizycznych. Choć formalnie oczywiście istnieją w wykazach władz oświatowych. O księżycowych pensjach nauczycieli nie warto wspominać, nikt już nie wierzy, że kiedykolwiek zbliżą się przynajmniej do średniej krajowej. O szkołach zawodowych nawet nie warto myśleć. Mówił mi niedawno niezły fizyk, doskonały nauczyciel, kawaler Orderu Uśmiechu: „Nie wiem, po co jeszcze udaję, że uczę. Mając tylko etat „obsługuję" ponad 500 uczniów, mając z nimi kontakt przez 45–90 minut w tygodniu. To całkiem nierozpoznawalny, anonimowy tłum."

A czym to owocuje? Produkcją ludzi z formalnym średnim wykształceniem nie rozumiejących zupełnie otaczającej ich rzeczywistości, nie mówiąc już o nieco dalszym otoczeniu, o Wszechświecie. A tym samym podatnych na majaczenia różnej maści „paranaukowców". W dodatku coraz lepiej wspieranych przez książki, prasę i telewizję.

Za to oświatę permanentnie reformujemy. Właściwie stale działają jakieś komisje, biura reformy, wypowiadają się eksperci. I co? I nic. Jedynym efektem działającego z rozmachem od 1991 do likwidacji w 1996 roku Biura ds. Reformy Szkolnej jest zmarnowanie 20 mld (starych) złotych. Sam słyszałem, jak były dyrektor Biura, dr Sławiński przekonywał: „Na reformie nie stracimy ani grosza, jeszcze Ministerstwo na tym dobrze zarobi. Europa będzie się od nas uczyć!" Podobno działają już nowe komisje... Czy znowu z podobnym efektem? Z drugiej strony konieczności rozsądnych reform nikt przecież nie neguje.

A tymczasem widać już wyraźnie oznaki zapaści cywilizacyjnej. Reanimacja (jeśli do niej dojdzie) to proces na wiele dziesięcioleci. A nawet może być gorzej – wiadomo, że od pewnego stadium choroba działa znacznie szybciej niż lekarstwo. To katastrofa, śmiem twierdzić, gorsza od utrzymującej się inflacji, wysokiego bezrobocia, stale jeszcze „socjalistycznego" stylu pracy wielu przedsiębiorstw. Tak dużo mówimy o wejściu do Europy. Z czym, z niedouczoną, tanią siłą roboczą?

A no, kto sieje wiatr...

Juliusz Domański

Astronomia na lekcjach geografii

W drugim numerze „Postępów" z 1995 roku pani Ewa Kuczawska opublikowała recenzję podręcznika geografii do drugiej i pierwszej klasy liceum autorstwa pana Wojciecha Stankowskiego. Trzeba przyznać, że to nie lada wyczyn przemycić w podręczniku szkolnym, sprawdzonym i bądź co bądź zatwierdzonym przez ministerstwo, taką ilość błędów. Palmę pierwszeństwa trzeba jednak przyznać autorkom innego podręcznika geografii, również przeznaczonego dla pierwszej i drugiej klasy, zatytułowanego: „Podstawy geografii fizycznej i geologii"(Stowarzyszenie Oświatowców Polskich, Toruń 1996r). Paniom: Barbarze Modzelewskiej i Elżbiecie Piełowskiej udało się niepostrzeżenie na 19 stronach rozdziału „Ziemia jako planeta w Układzie Słonecznym" umieścić nieporównanie więcej (naliczyłem ich około 50) błędów i „koszmarków językowych". Gratulacje! Zastanawia tylko celowość takiej konkurencji. Trochę to smutne, że teraz tysiące polskich uczniów będą łamać sobie głowy zadając pytanie – o co w tym wszystkim chodzi?

Z przyczyn oczywistych nie jest możliwe wymienienie tu wszystkich „osiągnięć" autorek, a szkoda, bowiem ich ilość i różnorodność jest wprost wyborna.

Zdecydowanie najwięcej błędów wynika po prostu z beznadziejnych sformułowań. Na przykład:

„Każdy *południk w ciągu doby odbywa drogę* 360°. *Moment, w którym znajduje się najbliżej Słońca, jest dla niego południem słonecznym,"* (str. 21), *„Wszystkie miejsca na kuli ziemskiej z wyjątkiem biegunów zakreślają w ciągu doby koła równe obwodom kół równoleżników, na których się znajdują."* (str. 20), „(...) Ziemia *obraca się o 1° w ciągu 4 minut. Oznacza to, że co 4 minuty moment górowania ma miejsce nad innym, koleinym południkiem."* (str. 21), *„Wychylenie osi ziemskiej do płaszczyzny orbity jest stałe - wynosi obecnie* 66°33'"! (str. 24). Do dziś nie mogę wyjść z podziwu nad logiką tego ostatniego zdania.

W tekst książki wkradło się oczywiście mnóstwo nieścisłości. Według autorek wokół Neptuna krążą tylko dwa księżyce, ale Saturn ma ich mieć aż 25 (str. 17). Okazuje się więc, że takie zdarzenia, jak odkrycie przez Voyagery sześciu kolejnych satelitów Neptuna mogą pozostać zupełnie nie zauważone. Skąd natomiast wzięło się 25 księżyców Saturna zupełnie nie wiadomo. Przecież tak naprawdę „pewnych jest ich tylko 18.

„W ciągu dnia widać tylko jedno ciało niebieskie (...) Słońce" (str. 20). Chciało by się zadać pytanie, czy jest możliwe, żeby osoba żyjąca na Ziemi (jaką jest niewątpliwie autorka tego podręcznika) nigdy w dzień nie widziała Księżyca.

Z kolei na stronie 31 czytamy: (mowa o kalendarzu gregoriańskim) *„Jest to stosunkowo dokładny system liczenia lat. Różnica o jeden dzień powstaje dopiero po 3333* latach". O tym tylko z pozoru słusznym stwierdzeniu pisał ostatnio dr Jan Mietelski (Pa 2/ 1996).

Można odnieść wrażenie, że autorki podręcznika nie pojęły nawet różnicy między meteoroidem, a meteorytem. Na stronie 16 można przeczytać następujące zdanie: (mowa o centralnej gwieździe Układu Słonecznego – Słońcu) *„Wokół niej wskutek* działania sił *grawitacji* krążą: *9 odkrytych dotąd planet wraz z 62 obiegającymi je księżycami, liczne planetoidy, komety, meteoryty i materia miedzygwiezdna."*

Ale to wszystko jest „czepianiem" się drobiazgów. Nasuwają się nawet słowa genialnego fizyka L. Boltzmanna, by troskę o elegancję pozostawić krawcom i szewcom. Błędy tego podręcznika bywają dużo poważniejsze. Na stronie 19 znajdziemy akapit usiłujący przybliżyć uczniowi takie pojęcia jak geoida i elipsoida obrotowa, w którym jego autorka wykazuje się całkowitą nieznajomością problemu. Dalej na stronie 20 czytamy: „Czas *pełnego obrotu Ziemi wokół własnej osi trwa w przybliżeniu 23 godziny 56 min 4.1 sek., czyli dobę. Dobą nazywamy okres czasu, jaki upływa między dwoma kolejnymi górowaniami Słońca nad danym południkiem*". Natomiast od strony 24 zaczyna się część dotycząca zależności wysokości Słońca nad horyzontem od szerokości geograficznej miejsca i czasu obserwacji. Bez żadnego wyprowadzenia podane zostają uczniowi do wiadomości (lub raczej do zapamiętania) odpowiednie wzory. Autorka nie zauważa przy tym żadnej różnicy między datami: 21 III, 22 VI, 23 IX i 22 XII, a momentami początków astronomicznych pór roku, jak również tego, że w ciągu całego dnia słońce nie może mieć stałej wysokości nad horyzontem, którą zresztą woli nazywać kątem padania promieni słonecznych. Żeby było jeszcze zabawniej kąt padania promieni słonecznych, między innymi 21 III w Warszawie, podaje z dokładnością jednej minuty łuku (str. 29).

Na dodatek, chyba tylko po to by uczeń stwierdził, że nie rozumie już kompletnie nic, na końcu rozdziału znajdują się testy sprawdzające, z których bardzo wiele nie ma poprawnej odpowiedzi. Dla przykładu:

„14. Najmniejszy kąt padania promieni słonecznych na równiku wynosi dnia 22 VI: A) 85°25', B) 47° C) 66°33', D) 23°50'."

Inne pytania są wręcz humorystyczne:

„16. Zenit to położenie Słońca pod kątem: A) 0° B) 66° C) 47° D) 90°."

Kończąc chciałbym poradzić szanownym paniom autorkom zaznajomienie się z niektórymi z wymienionych przez nie w „Literaturze dla uczniów zainteresowanych" (str.18) pozycjami. Na przykład z „Astronomią w geografii" pana Jana Mietelskiego lub z książką pana T. Zbigniewa Dworaka „Z astronomią, za pan brat" oraz kilkoma innymi równie znakomitymi pracami.

Jest to już IV wydanie tego podręcznika, podobno uzupełnione i poprawione. Czy nie warto by mu się przyjrzeć trochę dogłębniej zanim się napisze: wydanie V uzupełnione i poprawione?

Patryk Mach
(uczeń I klasy liceum)

★★★

Szanowna Redakcjo PA!

W numerze 3/1996 PA wydrukowany został list dr. Andrzeja Marksa dotyczący bałaganu panującego w kosmonautycznym nazewnictwie. Bałagan ten rzeczywiście istnieje i z niektórymi uwagami dr. Marksa zgadzam się w zupełności. Rzeczywiście nazywanie „stanu nieważkości" „mikrograwitacją" jest nieporozumieniem. Nawiasem mówiąc mam nadzieje, że „stan nieważkości" jest ogólnie uznanym terminem. Równie niefortunne są sformułowana typu „na orbicie Ziemi". Swoją drogą ciekawa jest niechęć (autorów, tłumaczy?) do krótkiego słowa „wokół", które likwidowałoby cały problem.

Termin „sztuczna grawitacja" nie wydaje mi się natomiast specjalnie naciągany, nawet jeśli tę „namiastkę grawitacji" dla załogi przyszłego statku kosmicznego będzie się otrzymywać wprawiając w ruch obrotowy wymieniony pojazd. Chyba wolno mi założyć, że większość czytelników i tak nie pomyśli, że znaleziony został sposób generowania pola grawitacyjnego, natomiast dla ludzi pracujących na takim statku to właśnie będzie „sztuczna grawitacja".

Przyznam się natomiast, że nieco zirytowały mnie uwagi dr. Marksa, jak należy nazywać „samoloty kosmiczne". O ile nazwa „samoloty kosmiczne" jest do przyjęcia (choć są to mimo wszystko raczej szybowce, niż samoloty – na to by to były rzeczywiście samoloty, trzeba jeszcze nieco poczekać) , o tyle kosmoplan kojarzy mi się z aeroplanem – fuj! To jednak tylko estetyka, daleko bardziej ważniejsze jest to, że zarówno termin „wahadłowiec" jak i „prom kosmiczny" są używane chyba od początków startów tego typu pojazdów kosmicznych, czyli od ładnych kilkunastu lat. Cóż z tego, ze nie są one tłumaczeniami nazw angielskich (kosmoplan zresztą tez nie). Podejrzewam, że większość ludzi, nawet z tzw. branży, używa właśnie tych nazw. Mam wrażenie, że powstały one wtedy, gdy wydawało się, że oto powstaje statek kosmiczny, który będzie często latał w kosmos, że właśnie będzie takim „promem kosmicznym" tudzież „wahadłowcem". Rzeczywistość okazała się dużo mniej optymistyczna, ale to jeszcze nie powód, by z tych nazw rezygnować Cała sprawa z „wahadłowcem" przypomina mi nieco problemy z nazwaniem urządzenia nieastronomicznego, choć także przez astronomów używanego, a mianowicie „odtwarzacza CD". Próbowano wymyślać temu nazwy – „dyskofon", „płytofon" to tylko niektóre z przykładów. Język rządzi się jednak własnymi prawami, w efekcie czego pozostał „odtwarzacz CD" bądź „odtwarzacz płyt kompaktowych" (rzadziej używane).

Z poważaniem,

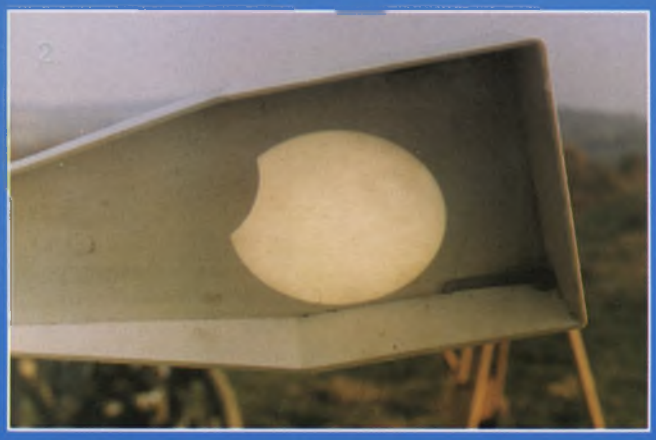
mgr Mirosław Należyty
(Obserw. Astronomiczne UW)

PS. Owa irytacja, o której wspominam w moim liście nie przeszkadza mi dalej uważać dr. Andrzeja Marksa za znakomitego popularyzatora, nie tylko kosmonautyki, którego osobiście bardzo cenię.

FOTObserwacje

Publikowane w poprzednim numerze *PA* zdjęcia z październikowego zaćmienia Słońca sprowokowały jeszcze jednego naszego czytelnika, pana Piotra Matysa z Biecza, do podzielenia się z nami rezultatami swoich (i uczniów) *fotoobserwacji* – a ma czym się pochwalić. Chociaż chmury nie pozwoliły obejrzeć fazy maksymalnego zaćmienia, to korzystna zmiana pogody pozwoliła nacieszyć oczy widokiem zachodzącej, wyszczerbionej tarczy słonecznej, aż do ostatniej chwili. Kilka spośród nadesanych zdjęć prezentujemy niżej.

Przy okazji zapraszamy wszystkich fotografujących obiekty i zjawiska astronomiczne do nadsyłania swoich zdjęć – najciekawsze i najładniejsze chętnie opublikujemy, a na koniec roku zaprosimy wszystkich czytelników do wybrania *Zdjęcia Roku*, które odpowiednio uhonorujemy!



1. Częściowe zaćmienie Słońca przez Księżyc i chmury. Zdjęcie wykonane z pomocą obiektywu MTO-11CA 10/1000 oraz prowizorycznego filtru z folii metalizowanej (używanej w kwiaciarniach do pakowania kwiatów) na filmie Fuji SHG100.

2. Projekcja okularowa z teleskopu Mizar ∅ 110 mm, f=900 mm.

3. Widowiskowy finał zaćmienia w Bieczu. Autorem tego, jak i wyżej wspomnianych zdjęć jest pan Piotr M. Matys.

4. To zdjęcie przedstawiające mgławice M42 i M43 w Orionie przysłał już rok temu pan Michał Siwak, ale nie było okazji do zamieszczenia go w „Postępach". Wykonane zostało teleskopem firmy „Uniwersał" ∅ 150 mm, f=900 mm, na filmie Konica SR-G 3200 z czasem eksp. 23 min.

Supernowa SN 1987A

Supernowa SN1987A jest ciągle wdzięcznym obiektem obserwacji. Znajduje się w Wielkim Obłoku Magellana w odległości 167 tys. lat świetlnych od Ziemi. Rozmiary wyrzuconej 10 lat temu bipolarnej mgławicy sięgają już ok. 1/6 roku świetlnego i ciągle ulegają ekspansji z szybkością ok. 10 mln. km/godz.

Zdjęcia zostały wykonane kamerą WFPC2 teleskopu Kosmicznego Hubble'a. Obraz centralny został uzyskany 24 września 1994 roku w linii widmowej λ 658 nanometrów neutralnego azotu. Na serii zdjęć na dole widzimy ewolucję SN 1987A w ciągu 2 lat. Obrazy zostały uzyskane w świetle widzialnym (λ 550 nanometrów) w dniach 4 lutego 1994, 24 września 1994, 5 marca 1995 i 6 lutego 1996.

Dwa wielkie pierścienie są rzutem na sferę niebieską dwóch wielkich, pustych w środku, „bąbli" powstałych na skutek oddziaływania promieniowania wybuchającej gwiazdy ze znajdującą się w jej pobliżu materią. Wewnętrzny, jaśniejszy pierścień jest prawdopodobnie utworzony z materii utraconej przez pre-supernową w ostatnich etapach jej ewolucji.

Na tych obrazach możemy szukać powiązań między geometrią eksplozji i wielkich świecących systemów pierścieni. Dostarczają też kluczowych informacji o dynamice eksplozji i strukturze progenitora. Pisaliśmy o tym w PA 4/94.

Prezentowane tu zdjęcia zostały uzyskane przez Roberta Kirshnera z Centrum Astrofizyki w Cambridge i Jasona Puna z NASA.

Na rozkładówce

Postępy Astronomii

2/97

tom 45

kwiecień – czerwiec

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

Kometa Hale'a-Boppa (na zdjęciach)

W numerze:

- **Kosmolog z Petersburga**
- **pochodzenie pierwiastków**
- **radioźródła w gromadach galaktyk**

TELESKOP
KOSMICZNY
HUBBLE'A

obserwuje

Mgławica Laguna (M8)

Czerwona poświata mgławicy M8 zwanej Laguną jest wdzięcznym obiektem dla fotografii astronomicznej. Na powyższym zdjęciu widzimy jej fragment uzyskany kamerą WFPC2 teleskopu kosmicznego Hubble'a przez J. Jeffa Hestera wraz z kolegami z Arizony jesienią 1995 roku. Autorzy prowadzą przy pomocy HST badania różnych obszarów naszej Galaktyki gdzie rodzą się gwiazdy i, zapewne, planety. Interesują ich przede wszystkim obszary graniczne między obłokami molekularnymi gdzie chmury gęstego gazu zapadając się tworzą protogwiazdy i obszarami H II, gdzie najgorętsze nowopowstałe gwiazdy jonizują i rozpraszają materię, z której są uformowane. Jasny obszar na powyższym zdjęciu to prawdopodobnie obszar zjonizowany przez leżącą w pobliżu gorącą gwiazdę Herschel 36 (typ widmowy O, jasność 9.5 magnitudo). Na tej mozaice kolor czerwony przedstawia emisję zjonizowanej siarki, niebieski — dwukrotnie zjonizowanego tlenu, a zielony emisję linii wodoru Hα.

Mgławica M8 leży na skraju Drogi Mlecznej w gwiazdozbiorze Strzelca i jest odległa od nas o 5 tysięcy lat świetlnych.

Drodzy Czytelnicy,

Ponownie otwieramy nasz zeszyt artykułem Księdza Profesora Michała HELLERA. Tym razem nasz znakomity Ksiądz–Kosmolog opowiada o Aleksandrze Aleksandrowiczu FRIEDMANIE, (już) radzieckim kosmologu, „już nie z Petersburga a jeszcze nie z Leningradu, na razie z Piotrogradu". Tak, to ten sam Friedman, który zauważył, że krzywizna przestrzeni może zmieniać się w czasie. Ten sam, który wskazał, że Wszechświat nie musi być stacjonarny, jak chciał Einstein, a może podlegać wielkoskalowym zmianom, może być ewolucyjny, a nawet może mieć początek (osobliwość początkową). I Friedman określił już w swej pracy z 1922 roku „czas, jaki upłynął od początku świata", czyli wiek Wszechświata, na 10 mld lat. Myślę, że Czytelników „Postępów Astronomii" zainteresuje fascynująca opowieść o tym Wielkim Uczonym i Jego (na szczęście) krótkim życiu w radzieckim dobrobycie.

Kolejnym znakomitym Autorem w bieżącym zeszycie PA jest Profesor Kazimierz GROTOWSKI, fizyk jądrowy z Krakowa. Publikujemy tu tekst Jego ciekawego „Wykładu im. Aleksandra Jabłońskiego", jaki wygłosił w Toruniu 27 lutego 1997 roku. Treścią tego wykładu jest zagadnienie pochodzenia pierwiastków we Wszechświecie. Profesor rozważa procesy przemian jądrowych w gwiazdach oraz ziemskie eksperymenty jądrowe i pointuje to zagadnienie stwierdzeniem „z kosmicznego pyłu powstałeś i w kosmiczny pył się obrócisz". Gorąco polecam lekturę tego wykładu.

Doktor Steven J. OSTRO z Laboratorium Napędów Odrzutowych (JPL) w Pasadenie zaszczycił nas prawem przedstawienia naszym Czytelnikom swego referatu przedstawionego na poznańskiej (patrz s. 12) konferencji naukowej Międzynarodowej Unii Astronomicznej. Autor jest nie koronowanym królem radarowych badaczy planet i planetoid. Jego artykuł „Obserwacje radarowe planetoid" daje przegląd współczesnych metod i osiągnięć badawczych w tej dziedzinie.

Zagadnienie radioźródeł w gromadach galaktyk jest przedmiotem artykułu Pani doktor Janiny KREMPEĆ-KRYGIER z Torunia. Bliskie kwazary występują w grupach galaktyk, natomiast odległe kwazary leżą głównie w bogatych gromadach galaktyk. Jakie jest oddziaływanie wzajemne „plazmy radiowej" z sąsiednią materią międzygalaktyczną i wewnątrzgromadnym „termicznym" gazem? O tym wszystkim w artykule Pani Doktor.

Grzegorz HRYNEK z Torunia pragnie zapoznać Czytelników „Postępów Astronomii" z nowo zaobserwowanym zjawiskiem dżetów i bąbli molekularnych w otoczeniu najmłodszych gwiazd. Czy mielibyśmy tutaj do czynienia z nową zagadką życia gwiazd i galaktyk?

W dziale ROZMAITOŚCI pragnę zwrócić uwagę Szanownych Czytelników przede wszystkim na problemy z planetą wokół 51 Peg, prawdopodobne wyjaśnienie zagadki supernowej SN1987A, koziołkowanie małych planet i rodzący się wielki teleskop o kryptonimie HET.

Niestety odchodzą Wielcy Astronomowie XX wieku. In memoriam przedstawiamy pokrótce sylwetkę Wiktora AMBARCUMIANA.

Prawie nieprzerwany, tysięczny, przeszło 60-letni cykl protokołowanych zebrań naukowych Obserwatorium Krakowskiego przedstawia doktor Krzysztof MAŚLANKA z Krakowa. Dla mnie była to fascynująca lektura i raz jeszcze wspomnienie „kolorytu" tamtych starych dni polskiej astronomii. Podobny charakter ma felieton doktora Jana MIETELSKIEGO, w którym przywołuje pamięć umiejętności (czytaj: wyczynów) wokalnych swego krakowskiego Mistrza.

W naszym szkolnym kąciku przedstawiamy zadania kolejnej, XLI, Olimpiady Astronomicznej, sprawozdanie z grudziądzkiego młodzieżowego Seminarium Astronomicznego oraz odpowiadamy na pytanie, dlaczego astronomowie budują duże teleskopy.

Nie zabrakło też w tym zeszycie zdjęć wykonanych teleskopem kosmicznym Hublle'a, a przede wszystkim zdjęć komety Hale'a-Boppa i to wykonanych głównie przez naszych Czytelników.

Serdecznie zapraszam do lektury

Toruń, w maju 1997 roku.

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w Toruniu

Polskie Towarzystwo Astronomiczne i Redakcja „Postępów Astronomii" otrzymało kopię listu adresowanego do Prezesa Telewizji Polskiej SA, p. Ryszarda Miazka, który poniżej przytaczamy.

Szanowny Panie Prezesie!

Niżej podpisani uczestnicy Seminarium Astronomicznego dla Nauczycieli Fizyki, zgromadzeni w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie dnia 17 listopada 1996 r., wyrażamy głębokie zaniepokojenie prezentowanymi pseudonaukowymi treściami propagowanymi przez publiczną telewizję, także w programach edukacyjnych.

Spotkania dzieci i młodzieży w programach typu „5, 10, 15" z astrologami, ufologami itp. są szkodliwe społecznie. Świadome kształtowanie ludzi nie odróżniających prawdy od bajek i fantazji, a często wręcz hochsztaplerstwa, może mieć daleko idące konsekwencje. Wydaje się, że przynajmniej programy dla młodych powinny być przed dopuszczeniem do emisji rzetelnie oceniane przez rzeczoznawców z listy Ministerstwa Edukacji Narodowej. Po każdym programie pt. „Godzina szczerości" puszczany jest horoskop zaproszonego gościa — to też jest ogłupianiem widzów, ale oglądają to na ogół dorośli i przynajmniej część rozumie, że jest to wątpliwego gatunku zabawa. Natomiast zaśmiecanie młodych umysłów za pieniądze wszystkich podatników uważamy za wysoce niemoralne.

Łączymy wyrazy szacunku

(40 podpisów)
Warszawa 17 listopada 1996

* * *

Dopiero w styczniu przeczytałem trzeci numer „Postępów" z 1996 roku i dlatego moja uwaga jest nieco spóźniona. Jednak ponieważ w czwartym numerze „Postępów" nie znalazłem żadnego wyjaśnienia problemu, więc postanowiłem napisać do Redakcji.

Otóż w artykule R. E. Siody możemy przeczytać, że temperatura powierzchniowa Jowisza wynosi 129 K do 425 K i jednocześnie, że fakt istnienia wewnętrznego źródła energii powoduje prawdopodobnie wzrost jasności planety. Podane są wartości dotyczące jasności wizualnych, należy więc sądzić, że i jasność wzrasta wizualnie. Informacje te są w standardowym rozumieniu ze sobą sprzeczne. Każdy człowiek bowiem codziennie, czy chce czy też nie, widzi, że otaczające go ciała nie świecą światłem widzialnym w tych temperaturach — ciała emitują światło widzialne w poważniejszych ilościach dopiero w temperaturze tzw. Wiśniowego żaru, to jest ok. 900 K (600°C).

Oczywiście możliwa jest intensywna emisja promieniowania widzialnego nawet w dużo niższych temperaturach, jednak wówczas mamy do czynienia ze zjawiskami nietermicznymi, takimi jak np. w zorzach polarnych.

Zjawiska nietermiczne, w tym i zorze na Jowiszu, występują, a wiec rzecz jest zdecydowanie możliwa, niemniej nigdy o istotnym wpływie zjawisk tego typu na jasność wizualną nie słyszałem, ani o tym nie czytałem. Dr hab. Sioda sugeruje przy tym, że chodzi o kolosalny efekt rzędu całego magnitudo (w braku efektu spadek jasności z -2.4^m do -1.43^m). W takim przypadku Jowisz świeciłby przede wszystkim światłem pochodzącym z tego zjawiska, marginalnie jedynie wzmocnionym odbitym światłem słonecznym. Oczywiście, zjawisko, jeżeli jest prawdziwe (w co trudno uwierzyć), wymaga omówienia w dużym artykule w "Postępach Astronomii", jako że całkowicie zmienia obraz tej największej planety naszego układu planetarnego. Myślę, że wyjaśnienie tej sprawy powinno jak najszybciej ukazać się w „Postępach Astronomii".

Jerzy Kuczyński
Planetarium Śląskie
Chorzów

* * *

(...) Ludwig Oster w swoim podręczniku („Astronomia Współczesna" Wyd. III W-wa 1986 PWN) na s. 121 pisał: „Obecnie potrafimy dość dobrze wyobrazić sobie powstawanie gwiazd takich jak Słońce Znacznie mniej jednak wiemy o powstawaniu planet, a niemal zupełnie nic o powstaniu ich satelitów". Według moich wyobrażeń — jeżeli nie wie się „niemal nic" o narodzinach księżyców i niewiele więcej o genezie planet — nie wie się także niczego o powstaniu Układu. Trzeba wreszcie zawołać „król jest nagi" i zrobił to wspomniany autor, czym dał dowód swojej naukowej uczciwości. Ale, jak się okazuje, Redakcja PA jest poinformowana lepiej. Poklepując bowiem protekcjonalnie po plecach odsyła mnie do publikacji, z których ma wynikać, że „Proces formowania się Układu jest w ogólnym zarysie (uwaga! eufemizm!) znany, chociaż wiedza ta na pewno jest zbyt mało spopularyzowana".

Jeżeli jednak jest tak dobrze, to dlaczego jest tak źle? Dlaczego utytułowani popularyzatorzy nie chwytają za pióra i nie nauczają maluczkich? [...] Ze wskazanej mi przez Redakcję literatury nie skorzystam. Ta bowiem lansuje mechanizm planetotwórczy, którym nie można by tłumaczyć nawet utworzenia planet Wolszczana, a tym bardziej — tak pięknego i pełnego zaskakujących zjawisk Układu Słonecznego. Mam do tego swoje wyobrażenia o genezie Układu Konfrontuję je ze znanymi mi faktami od półwiecza i wydaje mi się, że tłumaczą je one nie tylko „w ogólnym zarysie", ale także i często w szczegółach. Są to jednak wyobrażenia wyrosłe na gruncie nauk o Ziemi. Chętnie jednak poczytam o tym, jak wyobrażają sobie powstanie Ziemi kosmogoniści urzędowi. Sądzę przy tym, że podobnych do mnie osób spragnionych wiedzy o powstaniu Układu byłoby więcej. Wydaje mi się więc, że Redakcja PA zamiast wodzić czytelników po bezdrożach Wszechświata, różnego rodzaju mgławicach i czarnych dziurach — mogłaby znaleźć trochę miejsca „na łamach" dla popularyzacji tego fundamentalnego przecież zagadnienia. [...]

Jerzy Tyszka, *Kalisz*

UWAGA, MIŁOŚNICY ASTRONOMII !

Prywatne Wydawnictwo Naukowe „VEGA", ul. Lotnicza 4A, 95-035 Ozorków, tel. (0-42) 18-86-82, oferuje w sprzedaży wysyłkowej szeroki asortyment literatury astronomicznej oraz sprzętu obserwacyjnego (książki, mapy i atlasy nieba, kalendarze, teleskopy zwierciadlane itp.).

Spośród wielu pozycji wydawniczych polecamy szczególnie nasz kwartalnik **„VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII"**, który zawiera m.in.:

- kalendarzyk astronomiczny, informujący o najważniejszych zjawiskach astronomicznych i aktualnym położeniu planet na niebie,
- przewodnik po gwiazdozbiorach, ułatwiający rozpoznanie poszczególnych konstelacji oraz ciekawych obiektów typu mgławic, galaktyk itp.,
- praktyczne porady z zakresu prowadzenia obserwacji, fotografowania nieba oraz konstrukcji sprzętu obserwacyjnego,
- ogłoszenia, konkursy, recenzje książek itp.

UWAGA! W każdym numerze naszego kwartalnika znajduje się kompletny wykaz literatury astronomicznej oraz sprzętu obserwacyjnego, który posiadamy w sprzedaży.

Najkorzystniejszą formą zakupu „VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII" jest prenumerata. Cena pojedynczego egz. razem z wysyłką wynosi 3,40 zł (koszt prenumeraty całorocznej — 13,60 zł). Czasopismo wysyłamy po otrzymaniu listownego lub telefonicznego zamówienia (płatne po odbiorze przesyłki).

ZAPRASZAMY DO PRENUMERATY „VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII"

Postępy Astronomii

(PL ISSN 0032-5414)

są kwartalnikiem poświęconym popularyzacji astronomii. Pismo jest oficjalnym organem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, założonego w roku 1923. *POSTĘPY ASTRONOMII* ukazują się od 1953 roku, a od 1991 roku w zmienionej formie i nowej szacie graficznej.

Redaktor naczelny:
Andrzej Woszczyk (CA UMK Toruń)

Kolegium redakcyjne:
Roman Schreiber (CAMK Toruń)
Andrzej Sołtan (CAMK Warszawa)

Opracowanie graficzne i skład komputerowy:
Jacek Drążkowski

Korekta: Agnieszka Bojarska

Redakcja w Toruniu:
ul. Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. (0-56) 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail adress):
aw@astri.uni.torun.pl

Redakcja w Warszawie:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Adres WWW:
http://postepy.camk.edu.pl

Druk:
Zakład Poligraficzno-Wydawniczy *POZKAL*, Inowrocław

Dystrybucja:
Barbara Gertner, UMK,
ul. Chopina 12/18, 87-100 Toruń
tel. (0-56) 65 40 676 wewn. 14
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

Numer zamknięto w maju 1997 r.

*** Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca * Przedruk materiałów i zdjęć tylko za zgodą Redakcji * Opinie i poglądy formułowane przez Redakcję i autorów nie reprezentują oficjalnego stanowiska Towarzystwa ***

© POSTĘPY ASTRONOMII 1997

Materiały dotyczące wyników obserwacji teleskopu kosmicznego Hubble'a uzyskano dzięki uprzejmości doktora F. Duccio Macchetto, przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w *Space Telescope Science Institute* w Baltimore (USA)

W NUMERZE

4 **KOSMOLOG Z PETERSBURGA**
Michał Heller

Wcale nie należy wymuszać na równaniach, by przedstawiały Wszechświat niezmienny, statyczny. „Krzywizna przestrzeni może zmieniać się w czasie" — zauważa Friedman. Wszechświat może podlegać wielkoskalowym zmianom, może być ewolucyjny.

8 **O POCHODZENIU PIERWIASTKÓW**
Kazimierz Grotowski

Wybuchy supernowych uważa się dzisiaj za jedyne źródło pierwiastków cięższych od żelaza. Jądra tych pierwiastków powstają przez wielokrotne przyłączanie neutronów. Z atomów tych pierwiastków, rozproszonych po wybuchu w przestrzeni kosmicznej, powstała nasza Ziemia. Mogę Państwa zapewnić, że każdy atom naszego ciała, cięższy od wodoru i helu, powstał we wnętrzu gwiazdy, a cięższe od żelaza atomy, jak np. jod, pochodzą z eksplozji supernowych.

12 **RADAROWE OBSERWACJE PLANETOID**
Steven J. Ostro

Prawie wszystkie obserwacje radarowe podają charakterystykę rozkładu echa odbitego od planetki w postaci opóźnienia czasowego (odległości) i częstotliwości dopplerowskiej (prędkości radialnej). Takie pomiary są przeprowadzane często z precyzją lepszą niż osiągana w innych naziemnych obserwacjach. W związku z tym mogą one znacząco poprawić orbity i efemerydy.

17 **RADIOŹRÓDŁA W GROMADACH GALAKTYK**
Janina Krempeć-Krygier

Badania stopnia gromadzenia się galaktyk wokół kwazarów wykazały, że odległe radiowo głośne kwazary leżą w bogatych gromadach galaktyk. Natomiast wydawało się, że bliskie kwazary unikają tak bogatych otoczeń. Fisher i inni postanowili to sprawdzić kamerą WFPC2 kosmicznego teleskopu Hubble'a...

22 **DŻETY I WYPŁYWY MOLEKULARNE — NOWA ZAGADKA** *Grzegorz Hrynek*

Wypływy są głównym zjawiskiem towarzyszącym procesowi formowania się nowych gwiazd — mogą zmieniać gęstość gazu wewnątrz jądra, gdzie gwiazda się rodzi i determinować ewolucję gęstości jądra powstającej gwiazdy.

Teleskop Kosmiczny Hubble'a obserwuje
Ewolucja głowy komety Hale'a-Boppa widziana z kosmosu (okł. II); Mgławica Laguna M8 (wkł. I)

25 **rozmaitości**
Ganimedes widziany z bliska (25); HET — nowy gigantyczny teleskop w Teksasie (27); Rotacja małych planet (28); Koniec misji Pioniera 10 (29); Zagadka SN1987A rozwiązana? (30); Pożegnanie z planetą 51 Peg? (32)

36 **W kraju...**
Tysiąc zebrań naukowych OA UJ (36); Konferencja MUA w Poznaniu (41)

34 **In memoriam: Wiktor A. Ambarcumian 1908 -1996**

42 **Astronomia w szkole:**
Dlaczego budujemy duże teleskopy? (42); XLI Olimpiada Astronomiczna (43); XIII Ogólnopolskie Seminarium Astronomiczne (45)

46 **Felieton:** STENTOR LUNARIS CRACOVIENSIS

48 **Konkurs o kometach — rozstrzygnięcie**

NA OKŁADCE

Niewątpliwa atrakcja na niebie AD 1997 — kometa Hale'a-Boppa — na zdjęciu wykonanym przez p. Janusza Wilanda z Warszawy.

Prezentowane zdjęcie zostało uzyskane 1 kwietnia b.r. o godz. 21:40 CWE (kometa znajdowała się w peryhelium) na terenie Puszczy Kampinoskiej. Ekspozycja 5-minutowa na filmie Fuji Super G 400 ASA przy pomocy teleobiektywu 135 mm.

KOSMOLOG Z PETERSBURGA

Michał Heller

Świat Einsteina i światy Friedmana

Po opublikowaniu prac Einsteina i de Sittera w kosmologii zapanował impas. Kosmologiczny model Einsteina przedstawia świat statyczny z gęstością materii różną od zera; wszechświat de Sittera jest pusty (ściślej: gęstość materii w modelu de Sittera jest równa zeru) i ma dość zaskakujące własności geometryczne. Pomiędzy Einsteinem a de Sitterem nawiązała się polemika, w której każdy z tych uczonych starał się przekonać przeciwnika o wyższości swojego rozwiązania.

Tymczasem w dalekim — już nie Petersburgu, a jeszcze nie Leningradzie, na razie więc w Piotrogrodzie — matematyk i meteorolog, Aleksander Aleksandrowicz Friedman, zainteresował się kosmologicznymi równaniami Einsteina. W 1922 r., w 11. tomie jednego z najbardziej prestiżowych czasopism fizycznych lat międzywojennych, *Zeitschrift für Physik*, ukazała się praca Friedmana zatytułowana *O krzywiźnie przestrzeni*. Dziś często mówi się o kosmologii Friedmana, a praca ta weszła do naukowej klasyki XX w. Ale nie stało się to od razu. Droga do sukcesu bywa trudna, a niekiedy sława przychodzi za późno.

Friedman potraktował równania Einsteina jak matematyk. Zanim podał interpretację, wniknął w ich strukturę; zanim zaczął szukać rozwiązania, zapytał, jakie najbardziej ogólne założenia można by przyjąć. I wówczas natychmiast okazało się, że wcale nie należy wymuszać na równaniach, by przedstawiały Wszechświat niezmienny, statyczny. „Krzywizna przestrzeni może zmieniać się w czasie" — zauważa Friedman. Wszechświat może podlegać wielkoskalowym zmianom, może być ewolucyjny.

Z chwilą gdy założenia zostały sformułowane, rozwiązanie równań było już tylko kwestią rachunkowej techniki, którą Friedman władał doskonale. Pamiętamy, że Einstein dodał do swoich równań człon ze stałą kosmologiczną, by w ten sposób wymusić na równaniach rozwiązanie przedstawiające niezmienny, statyczny Wszechświat. Friedman zachował człon ze stałą kosmologiczną (gdyż jako matematyk cenił sobie ogólność, a równania z członem kosmologicznym są bardziej ogólne niż bez niego), a mimo to znalazł wiele rozwiązań przedstawiających światy niestatyczne, rozszerzające się. Okazało się, że rozwiązanie statyczne jest tylko jedno, dokładnie to, które znalazł Einstein w 1917 r. Wszystkie inne rozwiązania przedstawiają światy ewolucyjne. Wśród rozwiązań Friedmana znalazł się także pusty świat de Sittera. I przy okazji wyjaśnił się paradoks jego pustki. Wyobraźmy sobie Wszechświat, który zawiera materię i rozszerza się. Ponieważ materii w nim nie przybywa, a objętość rośnie, gęstość materii musi się zmniejszać. Jeżeli rozszerzanie się Wszechświata trwa nieograniczenie, gęstość materii dąży do zera, Wszechświat zmierza do stanu pustki. Pusty Wszechświat de Sittera jest więc niczym innym, jak tylko końcowym (granicznym) stadium każdego rozszerzającego się modelu kosmologicznego.

Uwagę Friedmana zwróciła jeszcze jedna własność znalezionych rozwiązań. Rozszerzanie się Wszechświata oznacza, że wszystkie galaktyki wypełniające ten Wszechświat uciekają od siebie i jeżeli spojrzymy na ten proces w odwróconym czasie, tzn. jeżeli rozszerzanie zamienimy na kurczenie, to w skończonym czasie cała materia Wszechświata musi się znaleźć w jednym punkcie. Punkt ten nazywa się dziś osobliwością początkową. Niektóre światy Friedmana mają także osobliwości końcowe: po fazie rozszerzania następuje faza kurczenia i wszystko zapada się do stanu z nieskończoną gęstością.

Friedman był wyraźnie zafascynowany tymi cechami swoich modeli. Ślady tego zafascynowania widać w bardzo subtelnych analizach, jakim poddał on zagadnienie osobliwości. Wiele lat trzeba będzie czekać, aż inni kosmologowie podejmą ten wątek rozważań Friedmana. Okres dzielący nas od początkowej osobliwości Friedman nie zawahał się nazwać „czasem, jaki upłynął od początku świata". Niewykluczone, że ta krótka uwaga przyczyniła się do wrogości, jaką władze radzieckie wkrótce zaczęły darzyć kosmologię relatywistyczną.

Od roku 1912 astronomowie mierzyli przesunięcia ku czerwieni w widmach tak zwanych podówczas mgławic spiralnych. Od roku 1923 wiedzieli już, że mgławice te są w istocie odległymi galaktykami i zaczęli podejrzewać, że wszystkie galaktyki oddalają się od siebie. Rzecz ciekawa, że Einstein, gdy tworzył swój pierwszy model kosmologiczny i gdy potem dyskutował z de Sitterem, nie miał pojęcia o tych odkryciach. Tym dziwniejsze, że de Sitter jako wybitny astronom był o tym wszystkim doskonale poinformowany. W dalekim Piotrogrodzie Friedman miał prawo „nie być na bieżąco" w najnowszych odkryciach astronomicznych. W swoim artykule wyraził on przekonanie, że nauka nie dysponuje jeszcze wystarczającymi danymi astronomicznymi, by zawyrokować, któremu ze znalezionych przez niego modeli odpowiada rzeczywisty Wszechświat. Odważył się jednak na pewne oszacowania, w wyniku których jako przypuszczalny wiek Wszechświata (licząc od początkowej osobliwości) otrzymał ok. 10 miliardów lat. Friedman miał dobre wyczucie. Liczba ta co do rzędu wielkości zgadza się z naszymi obecnymi oszacowaniami wieku Wszechświata.

Polemika z Einsteinem

Einstein przeczytał pracę Friedmana, ale nie był z niej zadowolony. Nie podobała mu się idea ewolucyjnego świata i jego początku. Napisał więc krótką notkę do *Zeitschrift für Physik*, w której zarzucił Friedmanowi błąd, a jego wyniki nazwał „podejrzanymi".

Friedman dowiedział się o tej notce jeszcze przed jej opublikowaniem z listu jednego ze swoich przyjaciół, nazwiskiem Krutkow, który znał Einsteina i akurat był za granicą. Można przypuszczać, jak bardzo Friedman przeżył negatywną opinię cieszącego się podówczas ogromną sławą Einsteina. Napisał do niego dość długi list, w którym wykazywał, że to nie on, Friedman, popełnił błąd w obliczeniach i zapewne niecierpliwie czekał na odpowiedź.

List Friedmana nie zastał Einsteina w Berlinie. Einstein w tym czasie podróżował po Szwajcarii, Francji i Japonii. Podczas podróży dowiedział się, że została mu przyznana nagroda Nobla. Dopiero po kilku miesiącach powrócił do Berlina, ale prawdopodobnie listu Friedmana nie przeczytał. Można sobie wyobrazić wielką stertę listów, prac do oceny i próśb o rekomendacje, jaka na Einsteina czekała w Berlinie. Wielcy ludzie często nie są w stanie czytać całej korespondencji nadsyłanej pod ich adresem.

Dwa miesiące po powrocie do Berlina Einstein udał się do Lejdy na uroczystości związane z przejściem na emeryturę swojego przyjaciela, znanego fizyka Hendricha Antona Lorentza. Tam zastał go Krutkow i w długiej dyskusji przekonał go o poprawności pracy Friedmana. W liście do swojej siostry, Tatiany Aleksandrownej, Krutkow napisał, że zwyciężył Einsteina w sporze o Friedmana: „Honor Piotrogrodu został ocalony".

Po tej dyskusji Einstein poczuł się w obowiązku napisania nowej notki do *Zeitschrift für Physik*. Brzmi ona: „W poprzedniej notce poddałem krytyce wyżej wymienioną [w tytule notki] pracę. Jednakże moja krytyka, jak przekonałem się z listu Friedmana, przedstawionego mi przez p. Krutkowa [widocznie Krutkow dysponował kopią tego listu], opierała się na błędzie w obliczeniach. Uważam wyniki p. Friedmana za poprawne i rzucające nowe światło. Okazuje się, że równania pola dopuszczają dla struktury przestrzeni na równi ze statycznymi także i dynamiczne (tj. zmieniające się w czasie) rozwiązania".

W 1924 r. Friedman opublikował w *Zeitschrift für Physik* drugą pracę kosmologiczną, w której znalazł wiele nowych rozwiązań równań Einsteina. W swoim pierwszym artykule Friedman rozważał tylko takie modele kosmologiczne, w których przestrzeń ma dodatnią krzywiznę; teraz znalazł rozwiązania przedstawiające światy z ujemną krzywizną przestrzeni. Ciekawe, że nigdy nie przebadał jeszcze trzeciej możliwej, i w pewnym sensie najprostszej, klasy rozwiązań, a mianowicie rozwiązań przedstawiających światy płaskie, z zerową krzywizną przestrzeni.

Mimo uznania swojej „porażki" Einstein jeszcze ciągle z nieufnością odnosił się do idei ewoluującego Wszechświata. Dopiero po r. 1930, gdy dowiedział się o pomiarach przesunięcia ku czerwieni w widmach galaktyk i gdy było już ich tyle, że nie dało się podważać ich wiarygodności, poddał się całkowicie i uznał, że świat, w którym żyjemy, naprawdę się rozszerza i że odkryte przez niego równania pola grawitacyjnego wiedziały o tym wcześniej niż on sam. Friedman już wtedy nie żył. W przeciwieństwie do Einsteina sławę zyskał długo po śmierci.

Kosmologia i polityka

W historii nauki jest dość częstym zjawiskiem, że to samo odkrycie bywa dokonywane niezależnie i prawie równocześnie przez dwu uczonych. Świadczy to o pewnego rodzaju logice rozwoju nauki: rozwiązania znajduje się, gdy sytuacja problemowa dojrzewa do rozwiązania. Tak było w przypadku Aleksandra Friedmana. Miał on swojego „odpowiednika" na Zachodzie; był nim belgijski ksiądz, Georges Lemaître. Paralelizm pierwszych prac Friedmana i Lemaître'a jest uderzający, ale Lemaître żył znacznie dłużej niż Friedman i miał okazję brać czynny udział w dalszych dziejach bujnie rozwijającej się kosmologii.

Kosmologię powstałą w okresie międzywojennym często nazywa się kosmologią Friedmana-Lemaître'a. Nic więc dziwnego, że kosmologowie dzisiejsi są zainteresowani postaciami tych dwu uczonych. Informacje na temat Lemaître'a można łatwo uzyskać. Był on całe swoje naukowe życie profesorem w Louvain. Tam też dziś znajduje się małe muzeum poświęcone jemu i archiwum pism, jakie pozostawił.[1] Natomiast do niedawna informacje, jakie krążyły na Zachodzie o życiu Friedmana, były fragmentaryczne i niepełne.

Kiedyś na międzynarodowej konferencji spotkałem, nieżyjącego już dziś, wybitnego rosyjskiego kosmologa, Jakowa Zeldowicza. W trakcie rozmowy, która wkrótce zeszła na Friedmana i Lemaître'a, wręcz go zapytałem o losy tego pierwszego. Zeldowicz odpowiedział: „Lemaître nigdy nie był głodny". A potem dodał: „Friedman miał szczęście, że umarł w 1925 r." Wtedy mogłem się tylko domyślać, co Zeldowicz miał na myśli.

W 1988 r. ukazała się wreszcie w języku rosyjskim biografia Friedmana pióra autorów, którym można zaufać. Byli nimi E. A. Tropp, W Ya. Frenkel i A. D. Czernin.[2] Istotnie, Friedman często bywał głodny. W Piotrogrodzie w okresie po rewolucji życie było bardzo trudne. Były profesor Friedmana, Władimir Andriejewicz Stieklow, sam wybitny uczony - matematyk i fizyk, w swoich prowadzonych z dnia na dzień pamiętnikach pod datą 29 czerwca 1920 r. napisał: „Zjawili się u mnie Tamarkin, Friedman i Gawriłow... Zasiedzieli się prawie do pierwszej godziny w nocy, wypili cały samowar wody. Przynieśli więcej niż jeden funt soli! Dobrze zrobili!"

Podczas wojny Friedman był na froncie, służył w lotnictwie, prowadził badania dotyczące torów bomb zrzucanych z samolotów, wykładał aeronawigację w szkole lotniczej (w Kijowie). Po wojnie dwa lata pracował na uniwersytecie w Permie (na Uralu). Następnie powrócił do Piotrogrodu i jakiś czas potem został zatrudniony w Głównym Obserwatorium Fizycznym, gdzie organizował Oddział Teoretycznej Meteorologii, którego potem został dyrektorem. Friedman był niewątpliwie predysponowany do tej funkcji. Od dawna dobrze znał problemy fizyki atmosfery, a jego lotnicza praktyka wojenna w nowej pracy okazywała się bardzo pomocna.

Dnia 18 lipca 1925 r. Friedman, razem z pilotem P. F. Fiedosiejenką, odbył lot balonem w celach badawczych. Obaj aeronauci pobili rekord wysokości, osiągając pułap 7400 m. Z naukowego punktu widzenia lot był sukcesem, ale dla Friedmana, nie cieszącego się silnym zdrowiem, wysiłek fizyczny, a zwłaszcza trudności z oddychaniem na dużej wysokości, okazały się fatalne. Wyczerpany pracą i trudnymi warunkami życia organizm uległ panoszącej się wówczas w mieście epidemii tyfusu brzusznego. Friedman zmarł 16 września 1925 r.

Dlaczego „miał szczęście", że umarł na tyfus? W latach dwudziestych zaczęła się ustalać w kosmologii idea rozszerzającego się Wszechświata, a wraz z nią idea jego początku. Ale nowi władcy Związku Radzieckiego głosili doktrynę materializmu dialektycznego, który utrzymywał, że świat jest wieczny. Partyjni ideologowie dostrzegli w kosmologii zagrożenie dla swojej doktryny. Kosmologia w Związku Radzieckim najpierw była niemile widziana, a potem została zakazana. Ogłoszono ją nauką burżuazyjną i „klechowstwem" („popowszczina") — niedwuznaczna aluzja do Lemaître'a, który — jak wiadomo — był księdzem.

[1] Po podziale uniwersytetu na flamandzkie Leuven i walońskie Louvain-la-Neuve, muzeum i archiwum Lemaître'a znalazło się w tym drugim.

[2] *Aleksandr Aleksandrowicz Fridman - żizn' i diejatielnost'*, Nauka, Moskwa 1988.

Znamienne pod tym względem są dzieje innego radzieckiego kosmologa George'a Gamowa. Zapoznał się on z teorią względności, słuchając wykładów Friedmana i, jak wielu innych, został urzeczony jej pięknem. Pewnego dnia Gamow przeczytał w *Encyklopedii radzieckiej* artykuł podpisany przez niejakiego Gessena. Autor ten utrzymywał, że teoria względności jest fałszywa, ponieważ sprzeciwia się materializmowi. Gamow wysłał do Gessena telegram, wyśmiewający takie postawienie sprawy. Telegram podpisał także Landau (późniejszy laureat nagrody Nobla) i trzech innych fizyków. Szykany administracyjne wkrótce przekonały młodych uczonych, że tu nie ma żartów. Gamow postanowił uciec ze Związku Radzieckiego. Wraz z żoną podjął dość szaleńczą próbę ucieczki łódką z Krymu do Turcji. Wiosłując, trzeba było pokonać 270 km Morza Czarnego. Próba nie powiodła się. Burza wyrzuciła desperatów z powrotem na brzeg rosyjski. Na szczęście straż graniczna tego nie zauważyła. Dopiero w 1933 r. udało się Gamowowi wraz z małżonką pozostać na Zachodzie. Dzięki pomocy przyjaciół otrzymał od władz pozwolenie wyjazdu na międzynarodowy zjazd fizyków do Brukseli. Nigdy już potem nie wrócił do Rosji.

Po śmierci Friedmana próbowano kontynuować w Leningradzie (bo tak wkrótce przezwano Piotrogród) tradycję badań nad teorią względności. W mieście pozostał były współpracownik Friedmana Wsiewołod Konstantinowicz Frederiks. Razem z Friedmanem zamierzał on napisać monografię o teorii względności. Ukazał się jedynie pierwszy tom w 1924 r., pt. *Podstawy teorii względności. Część I: Rachunek tensorowy*. Ważne prace dotyczące teorii względności wyszły także spod pióra M. P. Bronsztajna. M.in. był on autorem pracy o kwantowej naturze fal grawitacyjnych.

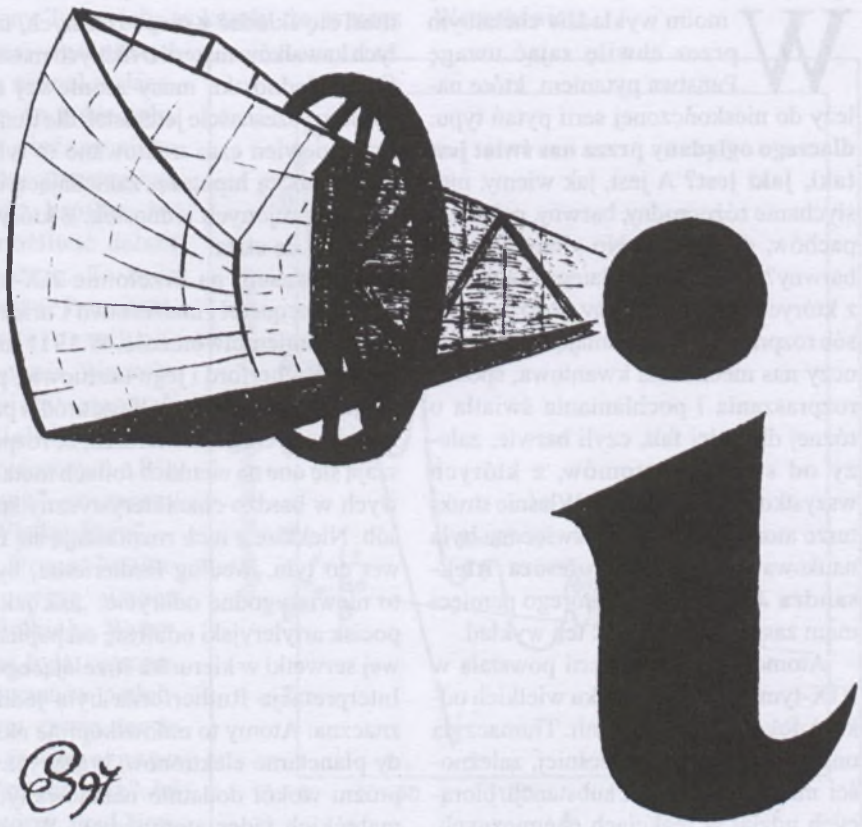
Autorzy wspomnianej wyżej biografii Friedmana piszą, że „Frederiks i Bronsztajn byli bezpośrednimi spadkobiercami kosmologicznych tradycji", ale „ani jednemu, ani drugiemu nie było sądzonym przeżyć tragicznej bariery 1937 roku". Los tych dwu uczonych staje się jasny, jeżeli pamiętać, że był to rok, w którym Stalin „likwidował" swoich ideowych przeciwników. Istotnie, miał rację Zeldowicz, kiedy powiedział, że Friedman miał szczęście, iż umarł na tyfus w 1925 r.

Przyszły lata, w których pseudouczony, Łysenko, dyktował, co jest dopuszczalną nauką, a co „burżuazyjną propagandą". Oprócz kosmologii na banicję została skazana logika formalna, genetyka i potem cybernetyka. Dopiero w latach sześćdziesiątych nastąpiła zmiana na lepsze. Jak mówił mi jeden z rosyjskich uczonych, bynajmniej nie dlatego, że na Kremlu zrozumiano, iż nie można „prikazami" dyktować nauce, które teorie jej wolno uznawać, a które z góry muszą być uznane za niedozwolone, lecz dlatego, że do władzy doszła klika osobistych przeciwników Łysenki i jego szkoły.

Kosmologia zaczęła wracać do łask trochę wcześniej dzięki sprytnemu zabiegowi fizyka A. L. Zelmanowa. Zelmanow mianowicie wymyślił określenie *Metagalaktyka* na obserwowalną część Wszechświata. Wszechświat jest wszystkim, co istnieje i nim zajmuje się filozofia, oczywiście filozofia marksistowska. Metagalaktyka natomiast to tylko ta część Wszechświata, którą można obserwować. I tylko ten wycinek Wszechświata bada kosmologia. Wnioski kosmologii nie mogą więc obalać twierdzeń filozofii. Władze jakoś przełknęły ten wybieg i kosmologia w Rosji stopniowo zaczęła odżywać. Z czasem w Moskwie powstał jeden z najsilniejszych światowych ośrodków uprawiających kosmologię relatywistyczną.

Jak widzimy, historia kosmologii ma także swoje ciemne karty. Ale i z nich można się czegoś nauczyć: właśnie w takich dramatycznych okresach najlepiej ujawnia się ludzkie dążenie do prawdy. Bo chyba tak to trzeba nazwać. Zakłamanie jest bardzo kruchym fundamentem. Łatwiej doprowadzić do upadku imperium niż siłą zatamować rozwój naukowej teorii.

Ksiądz Profesor Michał Heller jest kosmologiem, autorem wielu książek o narodzinach i rozwoju Wszechświata, wykładowcą na Wydziale Filozofii Papieskiej Akademii Teologicznej w Krakowie oraz członkiem Papieskiej Akademii Nauk.



A jednak szumi...

O POCHODZENIU PIERWIASTKÓW

Jak gwiazdy żyją i umierają

Kazimierz Grotowski

Toruńscy Fizycy postanowili w roku 1988 uczcić dziewięćdziesiątą rocznicę urodzin profesora Aleksandra Jabłońskiego, twórcy ośrodka badań fizycznych Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, specjalnym wykładem Jego imienia. Od tego czasu w kolejne rocznice urodzin odbywają się wykłady imienia Aleksandra Jabłońskiego, wygłaszane przez znakomitych fizyków i astronomów polskich, które skupiają liczne grono słuchaczy. Ostatni taki wykład wygłosił 27 lutego 1997 r. prof Kazimierz Grotowski z Krakowa. Jesteśmy bardzo wdzięczni Panu Profesorowi, że zgodził się przedstawić ten wykład również na łamach „Postępów Astronomii". Pewne fragmenty tego opracowania stanowiły wykład inauguracyjny wygłoszony w Uniwersytecie Jagiellońskim 1 października 1996 r.

W moim wykładzie chciałbym przez chwilę zająć uwagę Państwa pytaniem, które należy do nieskończonej serii pytań typu: **dlaczego oglądany przez nas świat jest taki, jaki jest?** A jest, jak wiemy, niesłychanie różnorodny, barwny, pełen zapachów, dźwięków. Np. dlaczego jest barwny? Oczywiście dlatego, że atomy, z których jest zbudowany, w różny sposób rozpraszają i pochłaniają światło. Jak uczy nas mechanika kwantowa, sposób rozpraszania i pochłaniania światła o różnej długości fali, czyli barwie, zależy od struktury atomów, z których wszystko jest zbudowane. Właśnie strukturze atomów i drobin poświęcona była naukowa działalność **Profesora Aleksandra Jabłońskiego**, którego pamięci mam zaszczyt poświęcić ten wykład.

Atomowa teoria materii powstała w XIX-tym wieku, w wyniku wielkich odkryć dokonanych w chemii. Tłumaczyła ona, niezrozumiałe wcześniej, zależności między ciężarami substancji biorących udział w reakcjach chemicznych. Powiedzmy, dlaczego potrzeba około 2 gramów wodoru i 16 gramów tlenu, aby otrzymać 18 gramów wody? Aby to wyjaśnić, należy przyjąć, że substancja musi się składać z niepodzielnych, małych kawałków materii o różnych masach (jedna jednostka masy atomowej dla wodoru i szesnaście jednostek dla tlenu). Przez pewien czas traktowano to tylko jako roboczą hipotezę, zakładającą istnienie „urojonych jednostek, z których składają się ciała".

Tymczasem na przełomie XX-ego wieku Becquerel i małżeństwo Curie odkryli promieniotwórczość. W 1911 roku Ernest Rutherford i jego uczniowie, posługując się cząstkami alfa ze źródła promieniotwórczego, stwierdzili, że rozpraszają się one na cienkich foliach metalowych w bardzo charakterystyczny sposób. Niektóre z nich rozpraszają się nawet do tyłu. Według Rutherforda, było to niewiarygodne odkrycie: „tak jakby pocisk artyleryjski odbił się od papierowej serwetki w kierunku strzelającego". Interpretacja Rutherforda była jednoznaczna: Atomy to mikroskopijne układy planetarne elektronów, krążących w próżni wokół dodatnio naładowanych, maleńkich jąder atomowych. W tych właśnie jądrach atomowych skupiona jest niemal cała masa substancji. Na nich rozpraszają się cząstki alfa podobnie do kul bilardowych. Ten obraz maleńkich układów planetarnych zgadzał się z zadziwiającą intuicją Demokryta z Abdery, który już w V-tym wieku przed narodzeniem Chrystusa mówił, że *„nie istnieje nic oprócz atomów i pustej przestrzeni; wszystko poza tym jest opinią"*. Zarówno starożytnym Grekom, jak i współczesnym Rutherforda trudno się było z tym pogodzić. Bo przeczyło to świadectwu zmysłów.

Przyrodnicy mieli zawsze problemy z przekonywaniem opinii publicznej do naukowej interpretacji zjawisk tego Świata. Nie wszyscy wiedzą, że oprócz znanego sporu Galileusza o obrót Ziemi wokół Słońca, miał on wcześniej kłopoty, związane z wynalezieniem lunety i odkryciem księżyców Jowisza. Uważano, że jeśli luneta pokazuje wokół Jowisza więcej ciał niż gołe oko, to luneta musi kłamać. Pewien kolega Galileusza powiedział wręcz, że on też mógłby odkryć te cztery księżyce, gdyby wbudował je w jakieś szkła. Było to wręcz oskarżenie o fałszerstwo i to ze strony ówczesnego środowiska naukowego.

Struktura atomu zmienia się z liczbą jego elektronów i od niej zależy nie tylko sposób oddziaływania z fotonami światła, ale również własności chemicz-

ne. A właśnie własności chemiczne atomów i rodzaj tworzonych z nich drobin chemicznych decydują o różnorodności otaczającego nas Świata. W jakiś nie znany jeszcze dzisiaj sposób zadecydowały one kiedyś o pojawieniu się życia.

Jak nas uczyli w szkole, istnieją 92 pierwiastki, czyli rodzaje materii zbudowane z atomów o tej samej liczbie elektronów. Dlaczego tylko 92? Wynika to z warunków stabilności ich jąder atomowych. Jądro atomowe zbudowane jest z protonów i neutronów, związanych siłami jądrowymi. Ale odpychające siły elektryczne pomiędzy dodatnio naładowanymi protonami dążą do rozerwania jądra atomowego. Jeśli ich liczba przekroczy 92, jądro atomowe rozpada się. Ciężkie jądra atomowe łatwiej się rozpadają również ze względu na stosunkowo dużą powierzchnię. A na powierzchni nukleony są słabiej wiązane. Charakter sił jądrowych jest bardzo skomplikowany. Jest on konsekwencją zupełnie ogólnych zasad symetrii, które rządzą Wszechświatem.

Rozpowszechnienie pierwiastków jest bardzo zróżnicowane. Okazuje się, że skład materii (tzw. krzywa rozpowszechnienia pierwiastków naszej Galaktyki, **rys.1**) wykazuje olbrzymią liczebną przewagę najlżejszych atomów, wodoru i helu. Udział atomów pozostałych pierwiastków stanowi mniej niż 1 procent. Prawie 90 procent tej reszty to atomy węgla, tlenu, azotu i neonu. Na krzywej rozpowszechnienia pierwiastków występują charakterystyczne maksima, których nie będę oczywiście omawiać.

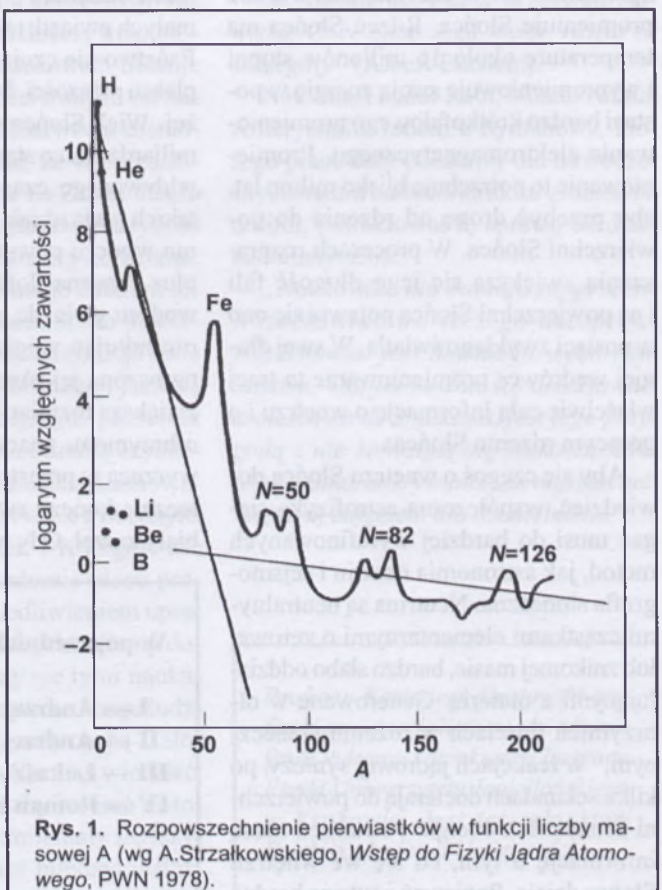
Wielkie odkrycia astronomii i radioastronomii, dokonane w tym kończącym się stuleciu, pokazały, że Wszechświat się rozszerza i że wypełniony jest mikrofalowym promieniowaniem, które, jak dzisiaj wiemy, jest pozostałością Wielkiego Wybuchu. Ten Wielki Wybuch ok. 10 do 15 miliardów lat temu utworzył materię i przestrzeń, w której żyjemy.

Przez znaczną część naszego stulecia trwał spór o pochodzenie Wszechświata. Pokażę Państwu, że jego tłem był spór o pochodzenie pierwiastków. Ścierały się tutaj dwie teorie, lub nawet dwie filozofie.

Pierwsza z nich, teoria Wielkiego Wybuchu, łatwo tłumaczyła zjawisko rozszerzania się Wszechświata. Jej źródeł szukać można w pracach belgijskiego księdza i kosmologa, Georgesa-Henri Lemaître'a, opublikowanych ok. 1930 r. Ostateczne jej sformułowanie podali pod koniec lat 40-tych Gamow, Alpher i Herman. Dwaj ostatni przewidzieli, że Wielki Wybuch zostawił po sobie resztkowe promieniowanie mikrofalowe, ale ówczesne środki techniczne nie pozwalały na ich wykrycie. Teoria Wielkiego Wybuchu była od początku atakowana za postulowanie „początku" Wszechświata, przed którym nie istniało nic, nawet prawa fizyki. Wielki autorytet i nauczyciel Lemaître'a, Arthur Eddington, krytykował go mówiąc, że wolałby teorię, wg której początek „nie byłby tak gwałtowny". Potępiał on koncepcję początku kosmosu również ze względów filozoficznych, bo „pojęcie początku Natury było dla niego odpychające". Twórcy teorii Wielkiego Wybuchu uważali, że w pierwszych kilku minutach musiała panować bardzo wysoka temperatura i ciśnienie, a więc warunki, w których pierwotne protony i neutrony, poprzez kolejne reakcje syntezy, mogły tworzyć atomy wszystkich pierwiastków. Wysoka temperatura (prędkość cząstek) była niezbędna, by pokonać barierę kulombowskiego odpychania protonów, a wysokie ciśnienie zwiększało prawdopodobieństwo łączenia się jąder atomowych. Niestety, eksperymenty wykonane w Chicago w 1950 r. przez Enrico Fermi i Anthony Turkevicha pokazały, że synteza musi ograniczyć się niemal wyłącznie do jąder helu, bo cięższe nieco jądra atomowe żyją zbyt krótko, by umożliwić dalszą syntezę. To była klęska. Przeciwnicy tej teorii powstania Wszechświata nazwali Wielki Wybuch szyderczym „Big Bang", co znaczy „Wielkie Bum".

Drugą, konkurencyjną wobec Wielkiego Wybuchu, była, zaproponowana w podobnym czasie, teoria „stacjonarnego Wszechświata". Jej autorzy, Fred Hoyle, Thomas Gold i Hermann Bondi twierdzili, że Wszechświat zawsze istniał i zawsze istnieć będzie. Jego rozszerzanie się tłumaczyli ciągłym wytwarzaniem nowej materii we Wszechświecie z szybkością około jednego atomu na sekundę, w każdym sześcianie przestrzeni o boku 160 km. Autorzy tej teorii woleli pogodzić się z pogwałceniem zasady zachowania energii i masy, aby tylko Wszechświat zawsze istniał wraz z prawami fizyki.

Teoria „stacjonarnego Wszechświata" upadła po zaobserwowaniu w 1964 r., przez Penziasa i Wilsona, promieniowania mikrofalowego — pozostałości Wielkiego Wybuchu. Penzias i Wilson pracowali w laboratorium Bella, prowadząc pomiary, których celem było sprawdzenie możliwości komunikacji satelitarnej. Za pomocą specjalnej anteny, mającej kształt rogu, o rozmiarach sporego domu, odbierali sygnały radiowe nadane z ziemi i odbite od satelity Echo 1, który był olbrzymim balonem. Okazało się, że oprócz tych sygnałów antena odbiera dziwny szum, promieniowanie mikrofalowe o długości fali 7.36 cm. Było to resztkowe promieniowanie, przewidziane przez Alphera i Hermana. Odpowiada ono temperaturze zaledwie 3.5 stopnia powyżej zera bezwzględnego. Taka jest średnia temperatura dzisiejszego Wszechświata.



Rys. 1. Rozpowszechnienie pierwiastków w funkcji liczby masowej A (wg A.Strzałkowskiego, *Wstęp do Fizyki Jądra Atomowego*, PWN 1978).

Ostateczną kropkę nad „i" postawił satelita COBE, który przed 4 laty, krążąc naokoło Ziemi, bardzo precyzyjnie, z dokładnością do jednej stutysięcznej, zmierzył przewidywane przez teorię maleńkie fluktuacje temperatury promieniowania resztkowego. Są one obrazem pierwotnych zaburzeń czasoprzestrzeni po Wielkim Wybuchu.

Niestety, jak wiemy, Wielki Wybuch nie rozwiązuje problemu powstania pierwiastków. Należało znaleźć inne rozwiązanie. Wielkie zasługi położył tutaj jeden z autorów upadłej teorii „stacjonarnego Wszechświata" Fred Hoyle. Wraz z Williamem Fowlerem oraz Geoffreyem i Margaret Burbridge'mi pokazali oni, że pierwiastki cięższe od helu są produkowane w gwiazdach. I tutaj dochodzę do ostatniej części mojej krótkiej opowieści o powstawaniu pierwiastków.

Gwiazdy rodzą się z gazu kosmicznego, którym jest głównie wodór i hel. Mgławica takiego gazu kurczy się pod wpływem grawitacji i rozgrzewa się, zamieniając energię potencjalną swych cząstek na energię kinetyczną. Jeśli masa tak powstającej protogwiazdy jest dostatecznie duża, temperatura i ciśnienie w jej centrum wystarczają do zapoczątkowania reakcji jądrowej syntezy. Reakcjom tym towarzyszy wydzielanie ogromnych ilości energii. Tak właśnie promieniuje Słońce. Rdzeń Słońca ma temperaturę około 16 milionów stopni i wypromieniowuje swoją energię w postaci bardzo krótkofalowego promieniowania elektromagnetycznego. Promieniowanie to potrzebuje blisko milion lat, aby przebyć drogę od rdzenia do powierzchni Słońca. W procesach rozpraszania zwiększa się jego długość fali i na powierzchni Słońca pojawia się ono w postaci zwykłego światła. W swej długiej wędrówce promieniowanie to traci właściwie całą informację o wnętrzu i o gorącym rdzeniu Słońca.

Aby się czegoś o wnętrzu Słońca dowiedzieć, współczesna astrofizyka sięgać musi do bardziej wyrafinowanych metod, jak astronomia neutrin i sejsmografia słoneczna. Neutrina są neutralnymi cząstkami elementarnymi o zerowej lub znikomej masie, bardzo słabo oddziałującymi z materią. Generowane w olbrzymich ilościach w rdzeniu słonecznym, w reakcjach jądrowej syntezy, po kilku sekundach docierają do powierzchni Słońca. Ich energia i strumień niosą informację o tym, co się we wnętrzu Słońca dzieje. Ponieważ neutrina bardzo słabo oddziałują z materią, dla ich detekcji niezbędne są olbrzymie detektory, umieszczane głęboko pod ziemią, aby zredukować tło od innych procesów, generowanych przez promienie kosmiczne. Jeden z nich, zwany GALLEX pracuje w tunelu, pod przełęczą Gran Sasso, niedaleko Rzymu. Moi koledzy z Instytutu Fizyki UJ biorą czynny udział w tym przedsięwzięciu naukowym. Okazuje się, że zmierzony strumień neutrin jest około 30 % mniejszy od przewidywanego przez standardowy model gwiazd (Słońca). Jak zawsze w nauce ta niezgodność może być interesującym sygnałem nowych zjawisk, tym razem w astrofizyce lub fizyce cząstek elementarnych.

Sejsmografia słoneczna polega na obserwacji drgań powierzchni Słońca. Drgania te sprzężone są z falami akustycznymi, które się we wnętrzu Słońca rozchodzą. Niosą one informację o rozkładzie gęstości i ruchach materii w Słońcu.

Powierzchnia Słońca ma temperaturę kilku tysięcy stopni. Stamtąd pochodzi cała energia podtrzymująca życie na Ziemi. Chaotyczne zmiany temperatury i pola magnetycznego na powierzchni Słońca prowadzą do erupcji materii, wpływając na klimat naszej planety.

Gwiazdy naszego Wszechświata mają różne rozmiary i masy. Najwięcej jest małych gwiazd, takich jak Słońce. Niech Państwo nie czują z tego powodu kompleksu niższości. Małe gwiazdy żyją dłużej. Wiek Słońca szacuje się na ok. 4.5 miliarda lat, co stanowi ok. połowę przewidywanego czasu życia. We wnętrzu takich gwiazd jak Słońce, z 4 jąder atomu wodoru powstaje jądro atomu helu plus znaczna ilość energii. Po zużyciu wodoru gwiazda zaczyna „spalać" hel, produkując węgiel. Zostaje przy tym naruszona jej równowaga. Gwałtownie zwiększa rozmiary, staje się czerwonym olbrzymem, znaczną część swej masy wyrzuca w przestrzeń kosmiczną i ostatecznie kończy swój żywot jako zimny biały karzeł. Gdy nasze Słońce stanie się czerwonym olbrzymem, cały nasz układ planetarny znajdzie się w jego wnętrzu.

Gwiazdy dużo cięższe od Słońca w reakcjach łączenia się jąder atomowych produkują kolejno cięższe od węgla pierwiastki, ale kończy się to w okolicy żelaza, bo tutaj reakcje syntezy zamiast dostarczać energii, zaczynają energię zużywać. Końcowa faza tego procesu przebiega niesłychanie gwałtownie i kończy się eksplozją, którą nazywamy wybuchem supernowej. Jest to bardzo spektakularne zjawisko. Gwiazda zwiększa swą jasność nawet 100 milionów razy i czasem może być widziana gołym okiem jako nowa gwiazda, której jasność w czasie zanika. Pozostaje po niej rozszerzająca się mgławica. Taką właśnie jest mgławica Krab w gwiazdozbiorze Byka. Jak można sądzić z kronik chińskich, japońskich i arabskich, w tym miejscu w 1054 r. po narodzeniu Chrystusa zajaśniała gwiazda, widoczna w dzień przez 23 dni, a w nocy przez 2 lata. Ostatni bliski wybuch supernowej zauważono 10 lat temu w Wielkim Obłoku Magellana i obserwowano wszystkimi, dostępnymi obecnie, metodami.

Wybuchy supernowych uważa się dzisiaj za jedyne źródło pierwiastków cięższych od żelaza. Jądra tych pierwiastków powstają przez wielokrotne przyłączanie neutronów, których potężne strumienie towarzyszą temu zjawisku. Z atomów tych pierwiastków, rozproszonych po wybuchu w przestrzeni kosmicznej, powstała nasza Ziemia. Mogę Państwa zapewnić, że każdy atom naszego ciała, cięższy od wodoru i helu, powstał we wnętrzu gwiazdy, a cięższe od żelaza atomy, jak np. jod, pochodzą z eksplozji supernowych.

Fale uderzeniowe i potężne pola elektromagnetyczne, które towarzyszą eksplozjom supernowych, przyspieszają niektóre atomy pierwiastków, powstałych w wybuchu, do bardzo wysokich energii. Pod postacią promieni kosmicznych docierają one do górnych warstw naszej atmosfery. Wiemy o nich z pomia-

W poprzednich latach Wykłady im. Aleksandra Jabłońskiego wygłosili:

I — Andrzej Trautman (1988)
II — Andrzej Hrynkiewicz (1989)
III — Łukasz A. Turski (1990)
IV — Roman S. Ingarden (1991)
V — Janusz Zakrzewski (1992)
VI — Andrzej Białas (1993)
VII — Włodzimierz Kolos (1994)
VIII — Kacper Zalewski (1995)
IX — Józef Smak (1995)

rów, prowadzonych z pokładów sztucznych satelitów, jak również z pomiarów prowadzonych na ziemi, za pomocą układów detekcyjnych o powierzchniach porównywalnych do kilometrów kwadratowych. Skład materii tego promieniowania odpowiada w przybliżeniu krzywej rozpowszechnienia pierwiastków naszej Galaktyki — w zgodzie z hipotezą produkcji pierwiastków w gwiazdach.

W tym miejscu warto powiedzieć, że wprawdzie występujące w naturalny sposób pierwiastki mają maksymalnie 92 elektrony (liczba atomowa 92), to jednak potrafimy, w reakcjach jądrowych, wytwarzać pierwiastki o wyższej liczbie atomowej, tyle tylko, że będą one krótko żyły. Adam Sobiczewski, fizyk z Warszawy, zasugerował możliwość wytworzenia pierwiastków supercięższych z liczbą atomową 110 i 111. Zostały one znalezione ostatnio przez grupę Armbrustera w Darmstadt.

Istnieje specjalny program wykrywania eksplozji supernowych. Oczywiście nie wszystkie następują tak blisko, by można je było obserwować gołym okiem. Znaczną rolę odgrywają tutaj amatorzy, którzy na różnych kontynentach, za pomocą mniejszych teleskopów, dla przyjemności, poświęcają noce dla obserwacji nieba.

Wybuchy supernowych są bardzo ciekawym zjawiskiem, którego natura jest pilnie badana. W niektórych takich wybuchach rodzą się gwiazdy neutronowe oraz prawdopodobnie czarne dziury. Wszędzie tam materia jądrowa występuje w makroskopowych ilościach. Dla zrozumienia tych zjawisk powinniśmy znać makroskopowe jej własności, jak rozszerzalność cieplną, ściśliwość, ciepło właściwe, entropię czy wykładniki krytyczne przejść fazowych. Ich pomiary są bardzo trudne, bo na Ziemi materia ta występuje tylko w postaci niewyobrażalnie małych kropelek, które nazywamy jądrami atomowymi. Nie da się kontrolować ich ciśnienia i temperatury, zamykając w cylindrach pod tłokiem, lub w termostatach, jak to się robi w klasycznej termodynamice. Termodynamiczne własności tych kropelek badamy zderzając ciężkie jony, rozpędzone do wysokich energii, i obserwując eksplozje powstających tak gorących jąder atomowych, za pomocą układów setek detektorów. Moi koledzy spędzają całe dnie przy monitorach komputerów, analizując takie zdarzenia.

Mam przyjemność wygłaszać mój odczyt w Toruniu, gdzie zgodnie z wielką tradycją Mikołaja Kopernika astronomia uprawiana jest na światowym poziomie. W ostatnich dziesięcioleciach nastąpił niesłychany rozwój tej gałęzi nauki i ogólniej — astrofizyki. Korzysta ona z osiągnięć fizyki cząstek elementarnych, teorii względności, fizyki jądrowej, optyki, fizyki fazy skondensowanej. Zaangażowano tutaj najnowocześniejsze metody pomiarowe i rozwiązania techniczne. Podobną sytuację mamy w biologii, która wykorzystuje nowoczesne metody chemii i fizyki. Jak to zawsze było, postęp w naukach przyrodniczych odbywa się na tle wielkich osiągnięć matematyki.

Szanowni Państwo. Mam nadzieję, że stwierdzenie, iż „z kosmicznego pyłu powstałeś i w kosmiczny pył się obrócisz" nie nastroi nikogo pesymistycznie w tym tak uroczystym dniu poświęconym pamięci Profesora Aleksandra Jabłońskiego. Nie to było moim zamierzeniem. Chciałem natomiast przedstawić Państwu przykład badań, które prowadzone są dzisiaj w tzw. naukach podstawowych, którym Profesor Jabłoński poświecił swoje życie. Możecie Państwo postawić pytanie: po co to robicie? Oczywiście mam prawo powiedzieć, że badania podstawowe dnia dzisiejszego zawsze były i będą przyszłością technologii i praktycznych zastosowań. Stosuje się to nawet dla tak oderwanych od naszej Ziemi badań jak obserwacja kosmosu. Wiemy na przykład, że w przeszłości, kilkakrotnie, życie na Ziemi uległo niemal całkowitej zagładzie w wyniku zderzenia z planetoidami czy kometami. Wiemy również, że istnieje całkiem realna możliwość, że może się to powtórzyć. Coraz więcej wiadomo, skąd takie planetoidy i komety pochodzą i jakie są ich ruchy. Przy dzisiejszym poziomie techniki zaczynamy mieć szansę czynnego zapobieżenia takiemu kataklizmowi.

Nie zdziwię się, jeśli wiele z obecnych tutaj moich Koleżanek i Kolegów nie zgodzi się z tym świadomie nieco prowokacyjnym usprawiedliwieniem uprawiania nauk podstawowych. Wiemy doskonale, że zajmujemy się tymi naukami, bo wymaga tego natura rodzaju ludzkiego. Charakterystyczną cechą Człowieka jest ciekawość. Chcemy wiedzieć, skąd pochodzimy, jaka była nasza historia, jak powstawały i zmieniały się języki, zwyczaje, stosunki międzyludzkie. Chcemy wiedzieć, kim naprawdę jest Człowiek i jaki jest Wszechświat, w którym żyjemy. Oprócz literatury i sztuki nauka jest istotną częścią kultury każdego narodu.

Nie znaczy to bynajmniej, że ciekawość poznawcza prześladuje w jednakowym stopniu wszystkich ludzi. Wystarczy przytoczyć wypowiedź znanego reżysera filmowego Bunuela: Ten „szał rozumienia — całe życie zadręczano mnie kretyńskimi pytaniami: dlaczego to? Dlaczego tamto? — to jedno z nieszczęść naszej natury. Gdybyśmy byli zdolni do oddania własnych losów przypadkowi i uznania bez wahań, że życie jest tajemnicą, bylibyśmy bliscy swego rodzaju szczęścia, dość podobnego do niewinności".

Niektórzy traktują problem poznania Świata z większym humorem, jak np. Lawrence, pisarz angielski, nieco starszego pokolenia: „Lubię teorię względności i kwantową, bo ich nie rozumiem i przez nie mam wrażenie, jak gdyby przestrzeń wierciła się ciągle jak niespokojny łabędź, co nie usiedzi w miejscu i nie pozwala się zmierzyć; i jak gdyby atom był czymś impulsywnym, ciągle zmieniającym swe zamiary".

Oczywiście innego zdania są ludzie z branży.

„Chcę wiedzieć, jak Bóg stworzył ten świat. Nie interesuje mnie to czy inne zjawisko. Chcę znać Jego myśli, reszta to szczegóły" (Albert Einstein).

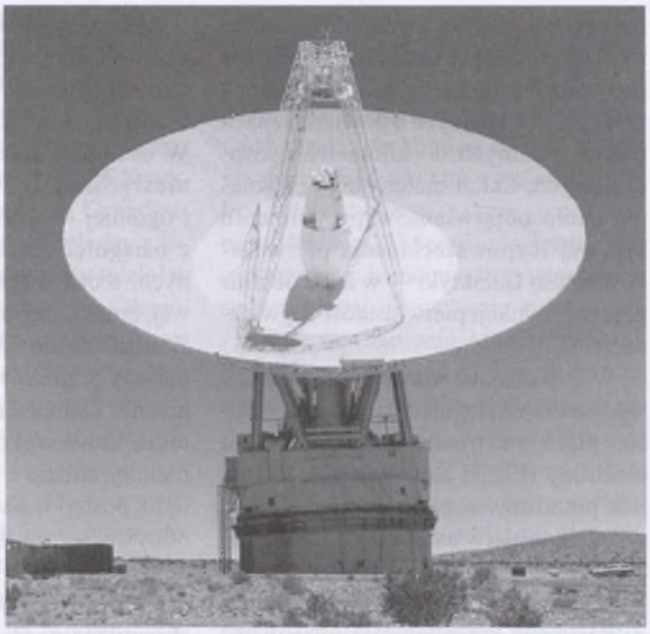
Natomiast Isidor Rabi, laureat Nobla, Amerykanin, rodem z Rymanowa, którego prace dały podstawy dla nowoczesnych metod badania struktur złożonych drobin, potraktował tę sprawę bardziej hedonistycznie:

„Naukowiec nie buntuje się przeciw Wszechświatowi, lecz go akceptuje. Wszechświat jest dla niego wybornym daniem, którym można się delektować, królestwem do zbadania, jest jego przygodą i nie kończącą się rozkoszą. Mówiąc krótko, odkrywanie jest najszlachetniejszym zajęciem dla dżentelmena".

Profesor Kazimierz Grotowski jest fizykiem, specjalistą w dziedzinie fizyki jądrowej i dyrektorem Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Jest też członkiem Polskiej Akademii Umiejętności.

RADAROWE OBSERWACJE PLANETOID

Steven J. Ostro



Na zdjęciu: 70 metrowa antena Goldstone w Kaliforni (DSS-14) najczęściej używana do obserwacji radarowych planetoid i planet.

Wstęp

Prawie wszystkie obserwacje radarowe podają charakterystykę rozkładu echa odbitego od planetki w postaci opóźnienia czasowego (odległości) i częstotliwości dopplerowskiej (prędkości radialnej). Takie pomiary, ortogonalne do tradycyjnych kątowych pomiarów astrometrycznych na niebie, są przeprowadzane w dobrze znanym układzie „absolutnym" efemeryd planetarnych, często z precyzją dużo lepszą niż osiągana w innych naziemnych obserwacjach. W związku z tym mogą one znacząco poprawić orbity i efemerydy. Takie podejście jest jeszcze bardziej prawdziwe dla planetek zbliżających się do Ziemi (Near Earth Asteroids — NEA's), które są najbardziej obiecującymi celami obserwacji radarowych, a obserwowane są w coraz większej ilości dzięki intensyfikacji programów poszukiwawczych opierających się na technice CCD. Dodatkowym ułatwieniem w badaniu planetek przechodzących bardzo blisko Ziemi jest charakter zależności natężenia odbitego sygnału od odległości obiektu. Energia odbitej fali radiowej jest bowiem odwrotnie proporcjonalna do czwartej potęgi odległości odbijającego obiektu. Z tych właśnie powodów chciałbym poświęcić większość tego artykułu planetoidom zbliżającym się do Ziemi (NEAs).

Systemy i techniki

Większość opublikowanych dotychczas obserwacji radarowych przeprowadzono przy użyciu systemów radarowych w Arecibo i Goldstone, najbardziej czułych na Ziemi. Astronomia radarowa ma długą historię również w Rosji i przez ostatnie kilka lat dwuantenowe obserwacje radarowe przeprowadzano przy użyciu kombinacji anten rosyjskich, niemieckich, japońskich i amerykańskich. Unowocześniony 305 m system radarowy Arecibo, który rozpoczął obserwacje pod koniec 1996 roku, będzie prawie 40 razy czulszy od 70 m anteny Goldstone (DSS-14), która z kolei jest wielokrotnie czulsza od innych dostępnych systemów radarowych. System Arecibo ma dwukrotnie większy zasięg i obejmuje trzykrotnie więcej przestrzeni niż system Goldstone. System Goldstone, w pełni sterowalny, będzie widział dwukrotnie więcej nieba i pokryje trzykrotnie większy zakres w kącie godzinnym niż Arecibo, który może obserwować tylko do około 20 stopni odległości zenitalnej.

Czułość jest podstawowym, ale nie jedynym, czynnikiem ograniczającym możliwości systemów radarowych. Okazuje się, że dwuantenowe systemy radarowe mogą przewyższać pojedyncze w przypadku obserwacji bliskich lub szybko poruszających się obiektów (NEA's). Pełna sterowalność teleskopu jest generalnie zaletą nawet w przypadku dalekich obiektów (np. z systemu Saturna). Podwójne układy np. 70 m anteny Goldstone, jako nadawczej i drugiej 34 m anteny Goldstone (DSS-13) lub układu 27 anten Very Large Array (VLA) w Nowym Meksyku jako odbiorczych, dały wyjątkowe rezultaty. Na przykład interferometryczne obserwacje układu Goldstone-VLA dają rozdzielczość obrazu rzędu 0.″25 (odpowiednio 2′ dla pojedynczego teleskopu) i astrometrię z dokładnością 0.″01 w radiowym układzie odniesienia. Przyszłe dwuantenowe eksperymenty mają połączyć Arecibo lub Goldstone ze 100 m teleskopem Greenbank (GBT, na razie w budowie).

W najprostszych eksperymentach radarowych emitowany jest wysoko monochromatyczny, ciągły sygnał (2380 MHz, 13 cm dla Arecibo; 8510 MHz, 3.5 cm dla Goldstone). Odbiornik ustawia się tak, aby odebrać odbitą od obiektu falę o częstotliwości zmienionej przez zjawisko Dopplera, używając przewidywanej efemerydy obliczonej wstępnie na podstawie optycznej astrometrii. Następnie mierzy się poprawkę do efemerydy i wprowadza się ją do obliczeń orbitalnych otrzymując poprawioną efemerydę dopplerowską. Podobnie pomiary odległości dają zmienioną w czasie falę i poprawkę do przewidywanego opóźnienia sygnału odbitego od planetki. (Mój przegląd planetarnej astronomii radarowej z 1993 roku opisuje dokładniej techniki obserwacji).

W celu uniknięcia znaczącego spadku siły echa wskazane jest ustawianie teleskopu z dokładnością około 20 sekund łuku. Aby system rejestracji danych mógł używać wąskiego pasma dla częstotliwości, potrzebne są małe niepewności częstotliwości sygnału. W ogólności echo odbite od planetki należy rejestrować odpowiednio długo, aby zniwelować szum.

Tempo zmian błędu przewidywanego opóźnienia jest równe przewidywanemu błędowi częstotliwości pomnożo-

nemu przez odwrotność emitowanej częstotliwości. Błąd częstotliwości równy 1 Hz (połowa długości fali na sekundę) odpowiada błędowi opóźnienia rzędu 36 i 10 μs na dzień dla częstotliwości emitowanych w Arecibo i Goldstone. W praktyce używa się dobrej rozdzielczości radarowej astrometrii do udokładniania orbit, w celu otrzymania bardzo dokładnej pozycji obiektu.

Astrometria

Relacjonując radarowe obserwacje astrometryczne wyszczególnia się następujące punkty odniesienia: antenę nadawczą, antenę odbiorczą oraz obiekt. Wyznaczenie orbity odnosi się do centrum masy obiektu (COM — center of mass), a echo odbijane jest przez jego powierzchnię, więc ostatecznie niepewność kształtu i rozmiarów może być głównym źródłem błędów astrometrycznych. Stąd poprawianie orbit jest ściśle związane z wyznaczaniem fizycznych własności obiektu. Pomiary radarowe dające nowe informacje o rozmiarach, kształcie, rotacji i własności powierzchni mogą dostarczać precyzyjniejszych danych astrometrycznych i odwrotnie. Względna użyteczność różnych rodzajów informacji zależy od skali danych radarowch, informacji dostępnych wcześniej oraz wysublimowania techniki analizy danych. Pomiary odległości mogą dać lepszą precyzję niż same pomiary częstotliwości, przez to są bardziej użyteczne, ale wymagają silniejszego echa.

Obserwacje radarowe planetoid rozpoczęto w 1968 roku, ale dopiero Yeomans *i inni* (1987) dwadzieścia lat później przeprowadzili systematyczne badania użyteczności danych z obserwacji radarowych do poprawiania orbit i przewidywanych efemeryd komet i planetek. Pokazali, że pojedynczy pomiar radarowy umożliwia ponowne odszukanie nowo odkrytych planetek, znacznie zmniejszając niepewność wyznaczenia pozycji w porównaniu z optyczną astrometrią. Nawet w przypadku planetek obserwowanych optycznie przez długi czas kilka pomiarów radarowych może zmniejszyć rozmiary elipsoidy błędu pozycji o czynnik dwa w porównaniu z dziesięcioletnim okresem obserwacji optycznych.

Użyteczne pomiary prędkości radialnej zostały przeprowadzone dla 38 NEAs, a pomiary odległości zastosowano do 17 NEAs i 3 planetek z głównego pasa. Wszystkie tego typu obserwacje z lat 1980-1990 zostały opublikowane przez S. Ostro *i innych* w 1991 roku. Praca ta zawiera również informacje o wszystkich obserwacjach radarowych planetoid i komet przeprowadzonych do 1990 roku. Yeomans *i inni* (1992) wyznaczyli orbity dla każdego z tych obiektów. Błędy efemeryd opartych wyłącznie na obserwacjach optycznych wynoszą około 100 000 km dla niedawno odkrytych NEAs, ale rzadko przekraczają kilka promieni obiektu dla planetek z głównego pasa. Tabela 1 prezentuje dane dotyczące obserwacji radarowych dla całkiem dużych planetek podczas ich zbliżenia do Ziemi.

W zasadzie nietrudno jest rozłożyć taki obiekt na 10 000 pikseli. Sekwencja obrazów może być przetworzona w dokładny model fizyczny (Hudson, 1993), a jednocześnie umożliwia wyznaczenie środka masy obiektu z dokładnością porównywalną lub mniejszą od dokładności obserwacji radarowych. Innymi słowy nowoczesne systemy radarowe pozwalają na astrometryczne wyznaczenie środka masy obiektu z kilkucentymetrową dokładnością. Pozwolę sobie teraz przedstawić postęp radarowej astrometrii na podstawie doświadczeń zdobytych podczas obserwacji kilku NEAs.

1862 APOLLO

W 1980 roku w Arecibo po raz pierwszy i to z trudnością udało nam się obserwować planetkę zbliżającą się do Ziemi (Ostro *i inni*, 1991). Krótko po rozpoczęciu obserwacji B. G. Marsden poinformował nas telefonicznie, że nowe optyczne obserwacje astrometryczne ujawniły błąd rzędu kilku minut łuku w efemerydzie naszego obiektu. Po wprowadzeniu poprawki zobaczyliśmy echo znacznie silniejsze od dotychczas obserwowanych w innych planetkowych eksperymentach radarowych.

Osiągana rozdzielczość obrazu była ograniczona przez posiadany sprzęt i oprogramowanie użyte do zapamiętywania danych i wynosiła tylko 10 pikseli dla częstotliwości i 1.5 piksela dla opóźnienia. Początkowe poprawki dla opóźnienia do pierwotnych efemeryd wynosiły około 21 ms.

4769 CASTALIA (1989 PB)

Castalia została odkryta 9 sierpnia 1989 roku przez E. F. Helin. Dwa dni później obliczenia orbitalne pokazały, że obiekt ten zbliża się do Ziemi i przejdzie przez pole widzenia teleskopu Arecibo w dniach 19-22 sierpnia w odległości obiecującej znacznie silniejsze echo niż w przypadku wcześniejszych obserwacji radarowych. Czas ten był już zarezerwowany dla planetki 12 Victoria. 26 sierpnia Castalia przeszła w odległości 0.027 AU od Ziemi (11 odległości Ziemia-Księżyc), w momencie maksymalnego zbliżenia Voyagera 2 do Neptuna. (70-m antena Goldstone używana do komunikacji z Voyagerem była nieosiągalna dla obserwacji radarowych aż do 30 sierpnia 1989). Bardzo wartościowe obserwacje przeprowadzono w Arecibo w dniach 19-22 sierpnia. Dzięki wielu obserwacjom astrometrycznym przeprowadzonym w tygodniu poprzedzającym maksymalne zbliżenie planetki do Ziemi mogliśmy być pewni, że uda nam się trafić w planetkę. Szczególnie ważne obserwacje astrometryczne przeprowadzili: R. McNaught w Siding Springs pomimo niewielkiej odległości planetki od znajdującego się w prawie pełni Księżyca oraz dwóch obserwatorów z Wielkiej Brytanii (J. D. Shankin w Cambridge i B. Manning w Stakenbridge), którzy wykonali pomiary podczas całkowitego zaćmienia Księżyca 17 sierpnia 1989.

Pierwsze obserwacje w Arecibo ujawniły błędy efemerydy rzędu 200 Hz i 60 ms (1.5 promienia Ziemi). Do 22 sierpnia J. F. Chandler z Center for Astrophysics używał astrometrii radarowej do poprawiania dopplerowskich efemeryd, które przesyłał do Arecibo pocztą elektroniczną. (Przed wprowadzeniem pocz-

Tab. 1. Precyzja pomiarów radarowych.

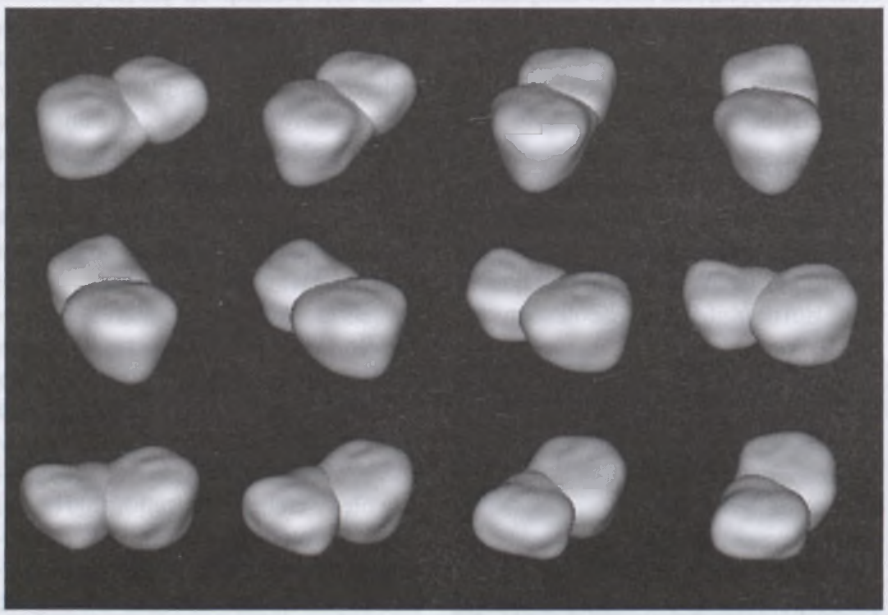
	Zasięg [metry]	Prędkość radialna [m/s]
Rozdzielczość obrazu radarowego	~10	~0.0001
„Rozmiary planetki"	~1000	0.01 do 1
„Położenie planetki"	~10 000 000 000	10 000

ty elektronicznej system opierał się na ekspresowych listach przesyłanych pocztą lotniczą.) Ulepszonej efemerydy użyto do wykonania 64-klatkowego filmu z obserwacji radarowych. Każdy obraz planetki składał się z ok. 30 pikseli, ale rozdzielczość około 150×170 m wystarczyła do ukazania rozkładu echa sugerującego rozczłonkowany kształt planetki. Analiza danych pozwoliła na astrometrię z niepewnością pomiarową spowodowaną przez rozdzielczość obrazu: 2 μs i 1 Hz. Planetka była ponownie obserwowana przez McNaught'a w maju 1990 roku, a jej pozycja wyznaczona na podstawie obserwacji radarowych i optycznych różniła się od przewidywanej zaledwie o 0.4 sekundy łuku, ale o 24 sekundy łuku od pozycji wyznaczonej tylko na podstawie obserwacji optycznych.

Rekonstrukcja kształtu Castalii (Hudson and Ostro 1994) pokazała, że jest to obiekt złożony z dwóch zlepionych ze sobą części, a także poprawiła pozycję środka masy z niepewnością 0.3 μs i 0.1 Hz. Obecne niepewności położenia Castalii podczas jej kolejnego maksymalnego zbliżenia do Ziemi (na odległość 0.025 AU w 2046 roku) wynoszą 3 sekundy łuku i 2000 km (D.K. Yeomans, informacja prywatna).

4179 TOUTATIS (1989 AC = 1934 CT)

Toutatis została odkryta po raz drugi na początku 1989 roku, prawie 4 lata przed jej maksymalnym zbliżeniem do Ziemi na odległość 0.024 AU 8 grudnia 1992 r. Pomimo długiego odstępu czasu dzielącego obserwacje astrometryczne (od 1934 roku do listopada 1992) pierwsze pomiary radarowe poprawiły efemerydy o 2.5 ms. Po udokładnieniu orbit, podczas tygodnia poprzedzającego maksymalne zbliżenie, wszystkie poprawki były mniejsze od szumu związanego z obserwacjami radarowymi (zwykle ok. 2 Hz i ok. 10 ms), tzn. niepewność astrometrii związanej ze środkiem masy Toutatis była spowodowana niepewnością kształtu i rozmiarów planetki. Obrazy ukazały zadziwiający zlepiony z dwóch części obiekt znajdujący się w bardzo niezwykłym stanie rotacji o wielodniowym okresie. Dokładne określenie rotacji (i kształtu) Toutatis wymaga inwersji sekwencji obrazów z założonym modelem (Hudson 1993). Hudson i Ostro (1995) przeprowadzili taki zabieg na obrazach o niskiej rozdzielczości (zwykle 0.5 μs × 0.1 Hz), określając kształt i tensor momentu bezwładności dla tej podwójnej planetki, wzajemną rotację i orientację składników, własności odbijające powierzchni i trajektorię środka masy. Na przykład dla obserwacji w paśmie 8510 MHz przy użyciu DSS14 z 8 grudnia wyliczone opóźnienie i częstotliwość dla środka masy Toutatis otrzymane o 14:40:00 UTC wynosiło 24.202819270 s ± 0.12 μs i 58768.687 ± 0.02 Hz. Rozwiązanie wskazuje, że Toutatis zbliży się do Ziemi na odległość 0.010360 AU (4 odległości Ziemia-Księżyc) 29 września 2004 roku. Będzie to najbliższe przejście przewidziane dla planetoidy czy komety pomiędzy dniem dzisiejszym a rokiem 2060 (Yeomans and Chodas, 1994).



Trójwymiarowy model planetki 4769 Castilia wyprowadzony z obrazów radarowych. Rozdzielczość wynosi ok. 100 m. Ten kontaktowy obiekt podwójny ma „długość" ok. 1.8 km.

Rozmiary Toutatis mierzone wzdłuż osi głównych wynoszą 1.92, 2.40 i 4.6 km. Planetka ta rotuje wokół najdłuższej osi z okresem 5.41 dnia i wykazuje precesję najdłuższej osi wokół wektora momentu pędu z okresem 7.35 dnia. Główne składowe momentu bezwładności są w stosunkach 3.19 i 3.01 z dokładnością 3 procent, a tensor momentu bezwładności jest nierozróżnialny od tensora dla ciała jednorodnego. (Taka informacja powinna być jeszcze wyznaczona dla jakiejkolwiek innej planetki czy komety, a prawdopodobnie jest to niemożliwe do uzyskania w czasie przelotu sondy.) W momencie pisania tego tekstu obrazy o największej rozdzielczości (0.125 μs × 0.008 Hz) są poddawane inwersji. Interesujące będzie jednoczesne dopasowanie kształtu, stanu rotacji i parametrów orbitalnych do obrazów z rozdzielczością kilkuset metrów.

1620 GEOGRAPHOS

Zbliżenie Geographosa do Ziemi 25 sierpnia 1994 roku na odległość 0.0333 AU, najsilniejsze w ciągu najbliższych prawie 200 lat, dało jedyną możliwość obserwacji radarowych tego obiektu w Goldstone. Sonda Clementine nadała szczególnego impetu temu przedsięwzięciu, gdyż miała przelecieć w odległości ok. 100 km od Geographosa z planowaną predkością 10.7 km/s 31 sierpnia 1994 (Nozette and Garret, 1994; niestety błąd komputerowy spowodował utratę łączności z sondą). Mieliśmy zamiar użyć astrometrii radarowej do poprawienia efemerydy tuż przed zbliżeniem oraz chcieliśmy otrzymać obrazy pełnego obrotu planetki w celu zoptymalizowania jej fizycznego modelu.

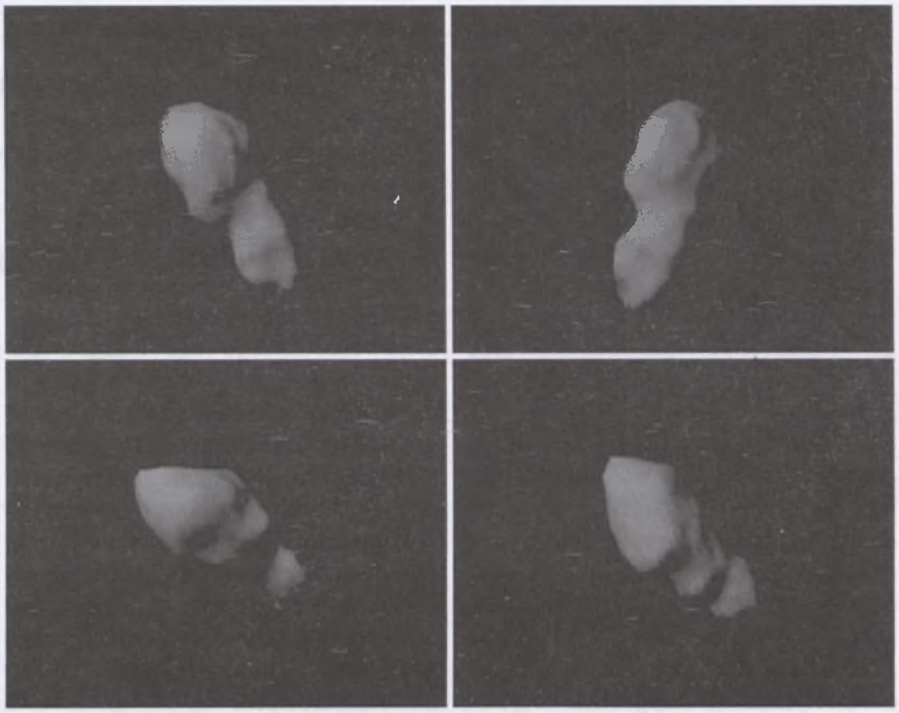
Planetka weszła w okno obserwacyjne systemu radarowego Goldstone 28 sierpnia i Ostro i inni (1996, Icarus) obserwowali ją codziennie przez tydzień, uzyskując ponad 400 obrazów, których liniowa przestrzenna rozdzielczość wahała się pomiędzy 75 i 151 m. Obrazy zawierały wewnętrzną dwuznaczność północ-południe, ale widok równikowy pozwolił na dokładne wyznaczenie kształtu zwróconej do obserwatora sylwetki biegunowej planetki w każdej fazie rotacji. Sumy jednocześnie zarejestrowanych obrazów dały silnie wydłużony kształt tej planetki (Ostro *i in.*,

1995, Nature), ukazując kratery i inne kontrastowe twory na jej powierzchni, a także pokazały niezwykłe wypukłości na końcach planetki, które mogą być związane z miejscami wyrzutu materii. Trajektoria środka masy Geographosa wyznaczona została z obserwacji radarowych z dokładnością ok. 200 m 28 sierpnia i ok. 100 m 31 sierpnia, poprawiło to przedobserwacyjną efemerydę o dwa rzędy wielkości.

Doświadczenia uzyskane z obserwacji radarowych Geographosa sugerują, że możliwe byłoby prowadzenie sondy bez optycznego systemu nawigacyjnego po orbicie wokół planetki, lub spowodowanie zderzenia z nią. W przypadku istnienia odpowiedniego wyposażenia na sondzie radar mógłby znacząco zmniejszyć niepewności nawigacyjne, a może nawet zmniejszyć zużycie paliwa na tyle, aby pozwoliło ono powiększyć masę próbnika przeznaczoną na instrumenty naukowe. Na przykład obserwacje z Goldstone mogły zmniejszyć elipsoidę błędu pozycji Geographosa tuż przed zbliżeniem do niego sondy Clementine 31 sierpnia 1994. Przed obserwacjami z Goldstone przeciętne rozmiary elipsoidy błędu wynosiły ok. 11 km. Pomiary wykonane 28 i 29 sierpnia i wstępna rekonstrukcja kształtu zmniejszają rozmiary elipsoidy wzdłuż linii obserwator — planetka do kilkuset metrów, więc jej rzut w kierunku sondy mógłby wynosić 11× 2 km. Obserwacje astrometryczne przy użyciu układu Goldstone-VLA mogłyby zmniejszyć największy wymiar elipsoidy błędu do ok. 1 km, czyli około połowy najmniejszego wymiaru Geographosa.

6489 GOLEVKA (1991 JX)

Tą planetkę obserwowano z rozdzielczością czasową submikrosekundową w Arecibo i Goldstone, krótko po jej odkryciu przez Helin w 1991 roku. Planetkę odszukano ponownie w marcu 1995, w odległości 5 sekund łuku od pozycji obliczonej na podstawie obserwacji optycznych i radarowych oraz 3600 sekund łuku od pozycji obliczonej na podstawie obserwacji optycznych (D. K. Yeomans, informacja prywatna). Od tego momentu czas potrzebny na poprawianie efemeryd na podstawie danych radarowych został znacznie skrócony dzięki oprogramowaniu OSOD (On-site Orbit Determination Program) D. K. Yeomansa i J. D. Giorginiego z JPL'u. Zainstalowanie tego prostego w obsłudze oprogramowania w Goldstone przed obserwacjami Geographosa umożliwiło nam wprowadzanie radarowych i optycznych poprawek do efemeryd tuż przed obserwacjami. W czerwcu 1995 mieliśmy okazję poznać zalety programu OSOD podczas serii trudnych obserwacji w Goldstone. W czasie od 3 do 8 czerwca przeszliśmy przez 3 generacje rozwiązań dla orbity, aż do momentu kiedy jedynym ograniczeniem była niepewność pozycji środka masy planetki. Na szczęście (dla astrometrii, nie dla obserwacji radarowych) planetka miała tylko kilkaset metrów średnicy, więc opóźnienie czasowe dla wyznaczonego środka masy miało niepewność tylko 2 μs. Do 9 czerwca, kiedy planetka była najbliżej Ziemi (0.034 AU), używaliśmy poprawionych efemeryd, których dokładność, jak się później okazało, wynosiła 0.01 Hz (0.2 mm/s w prędkości radialnej). Przez dwa dni prowadziliśmy radarowe obserwacje używając syntezy apertury anteny nadawczej Goldstone i odbiorczej VLA. Otrzymane obrazy dały kątową pozycję planetki z absolutną niepewnością kilku setnych sekundy łuku (P. Palmer, informacja prywatna). Od 13 do 15 czerwca prowadziliśmy pierwsze międzykontynentalne obserwacje radarowe na podstawie emisji ciągłego sygnału w Goldstone i 70 m antenę w Evpatorii (Ukraina) jako odbiornika echa planetki. Dnia 15 czerwca jako odbiornik echa posłużyła też 34 m antena w Kashimie (Japonia). Pełne dane obserwacyjne radarowe i optyczne z lat 1991-1995 pozwoliły udokładnić całkowanie orbity na następne kilkaset lat (D. K. Yeomans, informacja prywatna).



Komputerowy model planetki 4179 Toutatis otrzymany z obserwacji radarowych. Rozdzielczość obrazu wynosi tu 84 metry.

1996 JG

Planetka ta została odkryta przez Mc Naughta 8 maja 1996 r. 10 minut obserwacji radarowych z 26 maja 1996 ujawniło 580 Hz (20 m/s) poprawkę do optycznych efemeryd. Następnego dnia podczas 5-ciogodzinnego śledzenia planetki wykonaliśmy dwie iteracje przy użyciu programu OSOD, otrzymując efemerydę, dla której przewidywany błąd opóźnienia odbitego sygnału zmniejszył się z ok. 4600 do ok. 20 μs.

Oczekiwania i uwagi końcowe

Unowocześniony teleskop Arecibo powinien rozpocząć pracę za około 6 miesięcy (od momentu pisania tego artykułu). Wkład tego instrumentu do astrometrycznych i fizycznych badań planetoid wydaje się ogromny. Podczas pierwszej dekady jego pracy powinniśmy otrzymać kilkusetpikselowe obrazy dla około 100 planetek z głównego pasa oraz kilkutysięcznopikselowe obrazy dla około 50 planetek zbliżających się do Ziemi. Najlepsze radarowe dane astrometryczne COM powinny mieć dokładność rzędu kilku metrów dla planetek zbliżających się do Ziemi i kilku kilometrów dla planetek głównego pasa. W przeszłości ra-

dar ledwo dosięgał do wewnętrznego krańca głównego pasa planetoid, ale unowocześniony teleskop Arecibo sięgnie głęboko wewnątrz pasa. Instrument powinien być technicznie na tyle sprawny, aby mierzyć średnio jeden obiekt z głównego pasa na tydzień. Krótkookresowe komety, które obecnie zwykle znajdują się na skraju możliwości detekcji, staną się łatwiejsze do obserwacji, a także planetki zbliżające się do Ziemi powinny być obserwowane wielokrotnie częściej.

Poza astrometrią obserwacje radarowe mają wkład do innych dziedzin, np. dynamiki, poprzez dokładne modelowanie kształtu małych ciał zbliżających się do Ziemi. Modele Castalii i Toutatis zostały użyte przez Scheeres'a *i innych.* (1996 i 1995 odpowiednio) do zbadania bliskich orbit wokół tych obiektów. Naszym zadaniem jest zbadanie krótkookresowych zmian i długookresowej stabilności takich orbit w celu zastosowania ich do automatycznych lub pilotowanych sond, naturalnych satelitów i orbitujących odłamków ze zderzeń planetoid. Niemal we wszystkich obliczeniach korzysta się z potencjału grawitacyjnego podanego przez Wernera (1994), w którym kształt ciała opisany jest wielomianem z założeniem jednorodnej gęstości. Stabilne i niestabilne okresowe orbity istnieją wokół każdego ciała i los materiału wyrzuconego z jego powierzchni jest silną funkcją początkowej prędkości i położenia na powierzchni.

Model Castalii jest obecnie używany przez E. Ausphaug'a *i innych* (1996) do symulowania efektów zderzeń o różnych energiach. Jednym z efektów jest wyrzut materiału na orbity powrotne, symulacje dostarczają warunków początkowych do badań dynamicznych dla systemów wielocząstkowych.

Podziękowania

Praca ta była realizowana w Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology w ramach kontraktu z NASA.

Tłumaczyła Agnieszka Kruszczyńska

Dr Steve Ostro jest najwyższym na świecie autorytetem w dziedzinie obserwacji radarowych małych planet. Powyższy artykuł jest tłumaczeniem Jego referatu na Kolokwium MUA nr 165 w Poznaniu. Ma on być opublikowany w materiałach tej Konferencji. Dziękujemy Kluwer Academii Publishers i Autorowi za uprzejmą zgodę na wcześniejsze opublikowanie tych materiałów w PA.

XXVIII Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego

Zarząd Główny
Polskiego Towarzystwa Astronomicznego zaprasza
swych członków i sympatyków
na XXVIII Zjazd
Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, który odbędzie się w Zielonej Górze w dniach od 9 do 12 września 1997 roku.
Gospodarzem Zjazdu będzie Wyższa Szkoła Pedagogiczna, a przewodniczącym Lokalnego Komitetu Organizacyjnego jest prof. Janusz Gil.

Otwarcie Zjazdu nastąpi we wtorek 9 września 1997 r o godz. 12-tej.

W czasie Zjazdu referaty przeglądowe wygłoszą:

J. Gil - Promieniowanie pulsarów

A.Kułak — Kosmiczne uwarunkowania jonosferycznego rezonansu Schumanna

B.Paczyński — Śledzenie zmienności całego nieba

A.Udalski — OGLE-2: warszawski teleskop fotometryczny w Obserwatorium Las Campanas w Chile

R.Wielebiński — Zimny pył w galaktykach

E.Wnuk — Śmieci kosmiczne

A.Wolszczan — Astronomia planet poza Układem Słonecznym

A.Zdziarski — Czarne dziury — promieniowanie rentgenowskie i gamma

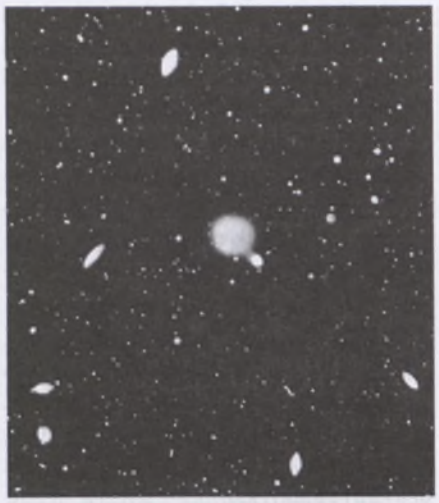
Walne Zebranie członków PTA odbędzie się w dniu 10 września 1997 r. (środa) o godz. 15.00. Tego samego dnia w godzinach rannych odbędzie się „Sesja Dydaktyczna", której organizatorem jest prof. J.Kreiner.

W czwartek 11 września 97 od godz. 14.00 odbędzie się wycieczka „Śladami Keplera".

Wpisowe na Zjazd będzie wynosiło 20.00 zł.

RADIOŹRÓDŁA W GROMADACH GALAKTYK

Janina Krempeć-Krygier



Gromada galaktyk w sensie Abella jest skupiskiem co najmniej 30 galaktyk w sferze o promieniu 1.5 Mpc. Przez bogate gromady galaktyk będziemy rozumieli gromady galaktyk zawierające ponad 80 członkiń. Przestrzenie między galaktykami zapełnione są przez ośrodek międzygalaktyczny (IGM) czy wewnątrzgromadowy (ICM). Gorący gaz o temperaturze (10^7÷10^8) K stanowi główny składnik tego ośrodka. Jedynie 10 % galaktyk pola występuje w gromadach galaktyk, podczas gdy aż 30 % radioźródeł leżących w szerokościach galaktycznych powyżej 25° obserwujemy w bogatych gromadach galaktyk. Często te radioźródła związane są z olbrzymimi centralnymi galaktykami gromad znanymi jako galaktyki cD. Jednakże w wielu gromadach galaktyk spotyka się więcej niż jedno radioźródło. Mogą to być zarówno radiogalaktyki, jak i radiowo głośne kwazary.

Z drugiej strony wykonując rentgenowskie obserwacje odległych radioźródeł możemy w przypadku istnienia rozciągłej rentgenowskiej emisji znaleźć odległe gromady galaktyk. Crawford i Fabian (1993) wykryli pozycyjnym proporcjonalnym licznikiem fotonów (PSPC) umieszczonym na satelicie ROSAT emisję rentgenowską z obszaru jasnej radiogalaktyki 3C356 o przesunięciu ku czerwieni $z = 1.079$. Stwierdzili oni, że wykryta emisja pochodzi z ośrodka ICM rodzimej gromady galaktyk o temperaturze 4 keV, czyli 4.6×10^7 K. Późniejsze obserwacje rentgenowskie o wysokiej rozdzielczości przestrzennej (Crawford i Fabian 1996) potwierdziły, że rentgenowska emisja pochodzi z obszaru o rozmiarach kilkuset kpc, a więc z rentgenowskiego jądra gromady galaktyk i obszaru chłodzenia. Centralne gorętsze obszary gromady galaktyk charakteryzują się wyższą emisją rentgenowską, w wyniku czego szybciej ulegają ochłodzeniu. Pojawia się więc różnica ciśnień między zewnętrznymi i centralnymi obszarami gromady galaktyk, co prowadzi do poddźwiękowego wpływu gazu do chłodniejszych wewnętrznych obszarów. Przepływ ten znany jest jako strumień chłodzenia.

GROMADZENIE SIĘ GALAKTYK WOKÓŁ RADIOŹRÓDEŁ

Najbardziej odległymi radioźródłami są kwazary. W ostatnim dwudziestoleciu wielu autorów dyskutowało stopień gromadzenia się galaktyk wokół kwazarów. Stopień gromadzenia się obiektów we Wszechświecie wokół wybranego źródła opisany jest przez uniwersalną funkcję korelacji ξ. Funkcja korelacji określa nadwyżkę galaktyk w bezpośrednim sąsiedztwie badanego obiektu ponad liczbę galaktyk tła (liczbę galaktyk w dalszych obszarach, gdzie nie ma gromadzenia). Funkcja korelacji galaktyka-kwazar ξ_{qg} zmienia się z przesunięciem ku czerwieni kwazara „z", a więc jego odległością od obserwatora (co równoważne jest czasowi kosmicznemu) oraz odległością galaktyk od kwazara „r". Ma ona postać:

$$\xi_{qg}(r,z) = 1/(1+z)^3 \cdot B_{qg} \cdot r^{-1.77}.$$

B_{qg} jest amplitudą przestrzennej funkcji korelacji. Im wyższa jest ta amplituda tym więcej galaktyk leży w bliskim sąsiedztwie badanego źródła. Amplitudy funkcji korelacji osiągają dla gromad galaktyk Abella następujące wartości:

$B_{gg} \approx 360$ dla gromad zawierających (30 ÷ 49) galaktyk (R=0);

$B_{gg} \approx 645$ dla gromad zawierających (50 ÷ 129) galaktyk (R=1);

$B_{gg} \approx 945$ dla gromad zawierających (130 ÷ 199) galaktyk (R=2);

gdzie „R" oznacza klasy liczebności gromad Abella. Badania stopnia gromadzenia się galaktyk wokół kwazarów wykazały, że odległe radiowo głośne kwazary (RLQSO) leżą w bogatych gromadach galaktyk i dla nich amplitudy funkcji korelacji wynoszą kilkaset. Dla przykładu: $B_{qg}(3C345; z = 0.5928) = 773$. Natomiast wydawało się, że bliskie kwazary unikają tak bogatych otoczeń. Fisher *i inni* (1996, ApJ, 468, 469) postanowili to sprawdzić. Wykonali oni kamerą WFPC2 kosmicznego teleskopu Hubble'a (HST) zdjęcia bezpośredniego otoczenia (bliżej niż 30″) oraz dalszych obszarów (odległych o 101″) wokół 20 bliskich kwazarów. Badana próbka zawierała kwazary posiadające przesunięcia ku czerwieni od 0.086 do 0.29. Porówny-

Tab. 1. Amplitudy gromadzenia

Próbka	$< B_{qg} >$	Zakres 1σ	$< B_{qg} > / < B_{gg} >$
Wszystkie QSO	75	60 – 93	3.8 0.8
RLQSO	84	57 – 117	4.2 1.5
RQQSO	72	53 – 92	3.6 1.0

wano zliczenia galaktyk w bezpośrednim sąsiedztwie kwazarów ze zliczeniami galaktyk tła, czyli liczbą galaktyk w odległych obszarach. Stwierdzono, że w otoczeniu badanych kwazarów istnieje nadwyżka galaktyk jaśniejszych od $12.^m5$. Jednocześnie nie ma różnic w zliczeniach galaktyk wokół RLQSO i radiowo spokojnych kwazarów (RQQSO). Dla rozkładu typowych galaktyk amplitudy przestrzennej funkcji korelacji B_{gg} wynoszą 20, a dla próbki 20 badanych kwazarów są one kilka razy wyższe, jak podano w tabeli. Bliskie kwazary leżą więc w grupach galaktyk zawierających (16÷25) galaktyk.

Ellingson *i inni* (1991) badali dynamikę grup galaktyk związanych z 17 kwazarami o z od 0.15 do 0.6. Dyskutowano globalnie wszystkie grupy galaktyk, gdyż jedynie dla niewielkiej liczby galaktyk wokół każdego z kwazarów wykonano widma i pomierzono ich przesunięcia ku czerwieni. Wykorzystując efekt Dopplera określono średnią prędkość i dyspersję prędkości grup galaktyk związanych z kwazarami. Średnie względne prędkości kwazarów, czyli różnice między prędkością kwazarów i prędkością grupy galaktyk ΔV_r oraz dyspersje prędkości σ dla wszystkich badanych kwazarów wynoszą:

$$\Delta V_r = (51 \pm 45) \text{ km s}^{-1}$$

i $$\sigma = 418^{+48}_{-35} \text{ km s}^{-1}.$$

Tak małe średnie względne prędkości kwazarów wskazują, że leżą one w dynamicznych centrach związanych z nimi grup galaktyk. Zatem zakłócenie ich struktury radiowej nie może być spowodowane przez ruch rodzimej galaktyki przez ICM ośrodek. Jeśli podzielimy kwazary na radiowo spokojne i głośne, to otrzymamy:

a) dla radiowych głośnych kwazarów (RLQSO):

$$\Delta V_r = (-25 \pm 66) \text{ km s}^{-1}$$

i $$\sigma = 475^{+64}_{-48} \text{ km s}^{-1}$$

b) dla radiowo spokojnych kwazarów (RQQSO):

$$\Delta V_r = (132 \pm 62) \text{ km s}^{-1}$$

i $$\sigma = 42^{+64}_{-50} \text{ km s}^{-1}.$$

Niezależnie od rozważanej próbki dyspersje prędkości są niezbyt duże i wynoszą (400÷500) km s^{-1}. Zatem te pośrednio odległe kwazary występują głównie w otoczeniach z dyspersjami prędkości znacznie mniejszymi od typowych dla bliskich bogatych gromad galaktyk (900-1000) km s^{-1}. Zgadza się to z modelem tworzenia się kwazarów inicjowanym przez oddziaływania galaktyka-galaktyka, którego efektywność jest znacznie niższa w gromadach galaktyk z dużymi dyspersjami prędkości. Obserwacje kosmicznym teleskopem Hubble'a (HST) potwierdzają, że wiele kwazarów tworzy się w obszarach zderzających się galaktyk. Niezwykle jasne kwazary powstają z materii spadającej na masywną czarną dziurę.

MORFOLOGIE RADIOŹRÓDEŁ W GROMADACH GALAKTYK

Systematyczne obserwacje VLA na 20 cm gromad galaktyk wykonane w Socorro przez Owena i współpracowników doprowadziły do wykrycia ponad 200 radioźródeł silniejszych od absolutnej światłości radiowej $P_{20} = 3\times10^{23}$ W Hz^{-1}. Ta światłość absolutna odpowiada granicznym strumieniom 500 mJy i 300 mJy odpowiednio dla bliskich i odległych gromad galaktyk. Zhao i inni (1989) poszukiwali dla 106 gromad galaktyk zależności między parametrami fizycznymi. Wykryto jedynie słabą zależność mocy radiowej centralnych dominujących galaktyk-radioźródeł od tempa akrecji masy z rentgenowskich strumieni chłodzenia. Radioźródła te mają mniejsze rozmiary, gdyż ruch wypływającej plazmy hamowany jest przez wpływający gorący gaz w strumieniach chłodzenia. Jednakże struktury radiowe są zakłócone nawet w przypadku braku strumieni chłodzenia wskutek oddziaływania plazmy radiowej z gorącym gazem ICM. Większość radioźródeł w gromadach galaktyk to radioźródła typu Fanaroff-Riley I (FR I) czyli radioźródła o $P_{178\text{MHz}} \leq 5\times10^{25}$ W Hz^{-1}. Rzadko w gromadach galaktyk występują radioźródła typu Fanaroff-Riley II (FR II) o $P_{178\text{MHz}} > 5\times10^{25}$ W Hz^{-1} mające gorące plamy (*hot spots*, miejsca o najwyższej jasności powierzchniowej) na zewnętrznych krawędziach płatów radiowych. Zwykle rozmiary tych radioźródeł są mniejsze od tych występujących poza gromadami galaktyk. Niekiedy są to radioźródła „GPS" (Gigahertz Peaked Spectrum Sources), które zostały omówione w „Postępach Astronomii" nr 4/96. Ograniczymy się do omówienia najczęściej spotykanych radioźródeł w gromadach galaktyk, a mianowicie:

1) szerokokątnych zagiętych radioźródeł (WAT — *wide-angle tailed*);
2) wąskokątnych zagiętych radioźródeł (NAT — *narrow-angle tailed*);
3) amorficznych radioźródeł.

Szerokokątne zagięte radioźródła (WAT)

Radioźródła WAT, które mogą być radiogalaktykami czy też radiowo głośnymi kwazarami (RLQSO), związane są z dominującymi galaktykami w grupach czy gromadach galaktyk. Prędkości rodzimych galaktyk różnią się nieznacznie od prędkości całej grupy czy gromady galaktyk. Mają one struktury radiowe w kształcie litery „C". Zawierają wewnętrzne gorące plamy połączone z jądrami (*cores*) wytryskami (dżetami) oraz rozerwane piórowe struktury lub szerokie ogony. W gorących plamach wytryski (skolimowane wypływy-dżety) są rozrywane i następuje zagięcie struktury radiowej. Rozerwanie to spowodowane jest przez wewnętrzny udar (*shock*) czy dla większych radioźródeł przez zderzenie z chłodnymi chmurami. W radioźródłach tych dominuje pole magnetyczne równoległe do kierunku przepływu plazmy. Dotychczas przebadano w miarę dokładnie około 10 radioźródeł WAT.

Prototypem radioźródeł WAT jest radiogalaktyka 4C20.04A, która szczegółowo była dyskutowana przez Krempeć-Krygier i Krygiera (1995, A&A **296**, 359). Ruch rodzimej galaktyki tego radioźródła względem podgromady A98S następuje wzdłuż linii widzenia. Stąd brak jest widocznego zagięcia w jego rzucie na płaszczyznę nieba. Zagięcie i odchylenie następuje w miejscu wewnętrznych gorących plam, gdzie pojawia się spłaszczenie widma radiowego. Do wytłumaczenia wielkości tego zagięcia nie wystarcza jedynie ruch rodzimej galaktyki względem podgromady A98S z prędkością radialną rzędu 490 km/s, lecz dodaje się względna prędkość przenikania się (około 455 km/s) dynamicznych i rentgenowskich podstruktur A98S i A98N.

Współcześnie Sakelliou i inni (1996, MNRAS **283**, 673) dyskutowali zagięcie struktury radiogalaktyki o stromym widmie 4C34.16 (z = 0.078, odległość ≈ 470 Mpc) leżącej w ubogiej gromadzie galaktyk Zwycky'ego Z0357.9 +3432. Wykonano obserwacje rentgenowskie, optyczne i radiowe tego radioźródła i jego otoczenia. Radioźródło ma bardzo symetryczną zagiętą strukturę radiową i strome widmo radiowe ze wskaźnikiem widmowym $\alpha > 1.2$ w zakresie częstotliwości od 38 MHz do 178 MHz.

Obserwacje VLA na $\lambda = 20$ cm wskazują, że radioźródło ma klasyczną strukturę WAT o gęstościach strumienia $S \approx 590$ mJy w północnym płacie i 535 mJy w południowym płacie.

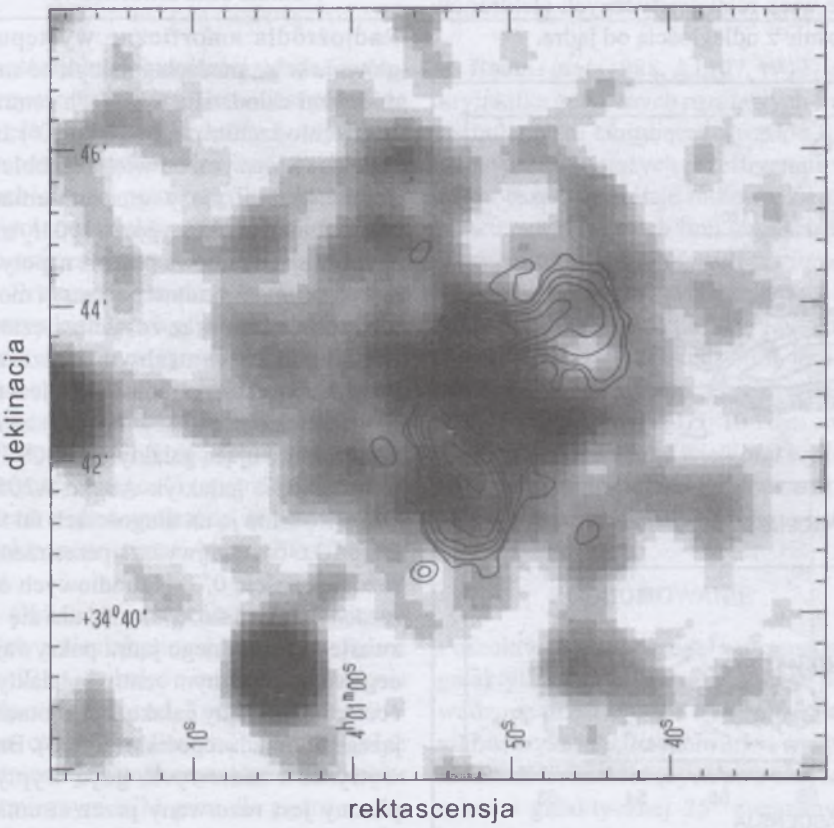
Obserwacje rentgenowskie wykonane PSPC ROSATa w zakresie (0.1÷2.5 keV) wykazały istnienie rozciągłej emisji rentgenowskiej wokół radioźródła aż do odległości $\approx 7.'5$ (około 1 Mpc). Maksimum emisji leży w obszarze między radiowymi płatami i nie pokrywa się z położeniem rodzimej galaktyki (**Rys. 1**).

Dopasowując do obserwowanego rozkładu energii rentgenowskiej termiczne widmo Raymonda-Smitha wyznaczono temperaturę gazu $kT_g \approx 1$ keV, czyli 1.2×10^7 K. Natomiast oszacowana masa zawarta w sferze o promieniu 1.2 Mpc wynosi $1.1\times10^{14}\ M_o$, z czego gaz stanowi zaledwie 1/3.

Zastanowimy się, jakie siły powodują zagięcie struktury radiowej. Rozważymy wytrysk radiowy (jet) jako ciągły wypływ plazmy o gęstości ρ_j z prędkością V_j. Na wypływający strumień plazmy działają następujące siły:

a) Ciśnienie wypychania (hamowania, *ram pressure*) spowodowane przez względny ruch galaktyki przez ICM gaz. Jest ono wprost proporcjonalne do gęstości gazu i kwadratu prędkości galaktyki oraz odwrotnie proporcjonalne do kwadratu skali wysokości wytrysku. Jako skalę wysokości wytrysku przyjmuje się zwykle jego promień.

b) Sprężystość (*buoyancy*) równa jest iloczynowi różnicy gęstości ICM gazu i gęstości wytrysku podzielonej przez potencjał grawitacyjny gromady galaktyk. Kiedy suma tych dwóch sił jest większa od wielkości $\rho_j V_j / R^2$, to wypływ plazmy ulega zagięciu czy odchyleniu. Strumień wypływającej plazmy radiowej 4C34.16 ulega dwukrotnie zagięciu. Pierwszy raz w pobliżu rodzimej galaktyki wytrysk jest zagięty w kierunku centrum gromady galaktyk wskutek ciśnienia wypychania wywołanego ruchem względnym galaktyki przez ośrodek ICM. Po raz drugi wskutek efektów sprężystości wytryski odchylone są od centrum gromady w kierunku niższych gęstości ICM. Do obserwowanego zagięcia wytrysku wystarcza prędkość galaktyki względem ICM mniejsza od 300 km/s.



Rys. 1. Rentgenowski obraz (ROSAT PSPC) pola wokół 4C34.16 nałożony na mapę radiową otrzymaną na 20 cm. Rozmiar piksela na obrazie rentgenowskim wynosi 7.″5. Poziomy konturów mapy radiowej wynoszą 1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0, 40.0 i 80.0 procent maksymalnej wartości (126.83 mJy/wiązkę).

Wąskokątne zagięte radioźródła (NAT)

Wąskokątne zagięte radioźródła (NAT) występują zarówno w ubogich grupach, jak i w gromadach galaktyk. Ich rodzime galaktyki charakteryzują się dużymi ruchami własnymi (prędkości radialne powyżej 1000 km/s, co prowadzi do silnego zagięcia strumienia radiowej plazmy w wyniku ciśnienia wypychania (hamowania, *ram pressure*) wywieranego przez otaczający międzygwiazdowy (ISM) czy ICM gaz. Dla dużych prędkości radialnych rodzimej galaktyki zagięcie wiązek radiowych może być tak silne, że zleją się one w pojedynczy ogon. Zatem zagięcia strumieni plazmy pozwalają na bezpośrednie określenie kierunku ruchu galaktyk. O'Dea *i inni* (1987, ApJ **316**, 113) badali rozkład orientacji ogonów 70 radioźródeł NAT w celu wyznaczenia rozkładu orbit galaktyk w gromadach galaktyk. Stwierdzili oni, że po radialnych orbitach poruszają się głównie galaktyki obszarów centralnych gromad galaktyk. Natomiast bardziej odległe radioźródła NAT poruszają się zwykle po orbitach kołowych. Jednocześnie brak dowodów, że większość galaktyk NAT zbliża się do centrum gromad galaktyk.

Najlepiej znanym przykładem radioźródła NAT jest galaktyka NGC1265 (3C83.1B, 0314+416; z=0.0255; $P_{1\mathrm{GHz}} \approx 10^{25}$ W Hz^{-1}) poruszająca się z prędkością 2300 km/s względem średniej prędkości gromady galaktyk Perseusza. Mapa VLA ukazuje głowę radiogalaktyki i ogon o niskiej jasności powierzchniowej rozciągający się do około 8′ w kierunku północnym.

Mając pomierzone gęstości strumienia radiowego S_ν w zakresie częstotliwości od 100 MHz do 15 GHz oraz wskaźnik widmowy $\alpha = 0.65$ (gdzie $S_\nu \propto \nu^{-\alpha}$) wyznaczono światłość radiową $L_{rad} \approx 1.1\times10^{40}$ erg s^{-1}. Ciśnienie wewnętrzne w radiowych wytryskach jest sumą ciśnienia termicznego nierelatywistycznych cząstek, ciśnienia cząstek relatywistycznych oraz ciśnienia magnetycznego. Zwykle zaniedbuje się wkład ciśnienia nierelatywistycznych cząstek. Z teorii promieniowania synchrotronowego wyznacza się dolne granice na wkłady do ciśnienia przez relatywistyczne cząstki i pola magnetyczne. Otrzymujemy w ten sposób tzw. minimalne ciśnienie opisane wyrażeniem: $P_{min} = 0.2654\ [C_{12} L_{rad} (1 + k)\ (\Phi \cdot V)^{-1}]^{4/7}$ [dyn cm^{-2}]

W powyższych wyrażeniach „k" jest stosunkiem energii relatywistycznych protonów do relatywistycznych elektronów, V — objętością źródła, Φ — czynnikiem wypełnienia objętości (*volume filling factor*), C_{12} — stałą stablicowaną zależnie od wskaźnika widmowego α i częstotliwości obcięcia (Pacholczyk 1970). Zwykle zakłada się, że:

a) energie relatywistycznych protonów i elektronów są równe (k = 1);

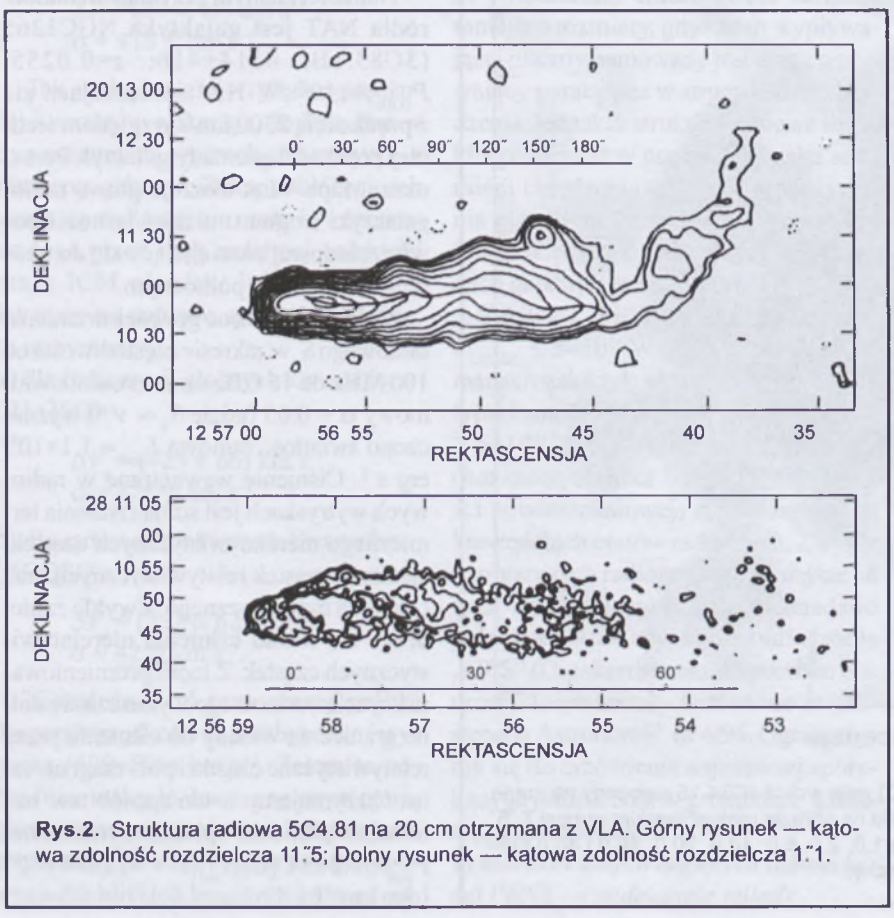
b) wytryski radiowe są cylindrami jednorodnie wypełnionymi relatywistycznymi cząstkami i polami magnetycznymi (Φ = 1).

Wzdłuż przeważającej długości wytrysku $P_{min} \approx (1+3)\times10^{-11}$ dyn cm^{-2}. Natomiast ciśnienie wypychania (*ram pressure*) wywierane przez ICM ośrodek na poruszającą się radiową plazmę wynosi $\rho_{ICM} \cdot V_{gal}^2 = 4 \times 10^{-11}$ dyn cm^{-2} dla $n_{ICM}=\rho_{ICM}/m_p \approx 5 \times 10^{-4}$ cm^{-3} i $V_{gal} \approx 2300$ km s^{-1}. m_p jest masą protonu. Termiczne ciśnienie gazu gromady galaktyk opisane przez $n_{ICM} \cdot kT$ wynosi 5×10^{-12} dyn cm^{-2} dla $T_g = 7\times10^7$ K. Ciśnienie wypychania jest wyższe od ciśnienia minimalnego. Zatem wiązka plazmy radiowej jest utrzymywana przez zewnętrzny ICM ośrodek i silnie z nim oddziałuje. Minimalne pole magnetyczne wynosi (10÷15) μG i rośnie do ≈ (20 ÷ 30) μG w węzłach.

Innym przykładem radioźródła NAT jest 5C4.81 (NGC4869) w gromadzie galaktyk Coma. Na mapach radiowych o wysokiej przestrzennej rozdzielczości 5C4.81 składa się ze słabego jądra i dwóch symetrycznych przeciwnie skierowanych wytrysków radiowych, które nagle zaginają się bardzo blisko jądra (w odległości rzędu 3 kpc od jądra). Jest to więc przykład radioźródła NAT, kiedy wypływające w przeciwnych kierunkach wiązki plazmy ulegają tak silnemu odchyleniu w niewielkiej odległości od jądra, że powstaje pojedynczy ogon emisji radiowej. Ogon o długości około 150 kpc jest utworzony przez północny wypływ plazmy, gdyż południowy wytrysk radiowy szybko zanika (**Rys. 2**).

Widmo radiowe 5C4.81 ulega przegięciu w wysokich częstotliwościach. Częstotliwość przegięcia widma ν_B wiąże się z wiekiem elektronów t_s i natężeniem pola magnetycznego „B" zależnością: $t_s = 1.6\times10^3 \cdot (B\,\mu\text{G})^{-1.5} \cdot (\nu_B\,\text{GHz})^{-0.5}$ milionów lat.

Badania widma 5C4.81 wzdłuż ogona między 327 MHz i 5 GHz wskazują, że przegięcie widma przesuwa się do coraz niższych częstotliwości ze wzrostem odległości od jądra. Oznacza to, że wiek relatywistycznych elektronów rośnie z odległością od jądra.



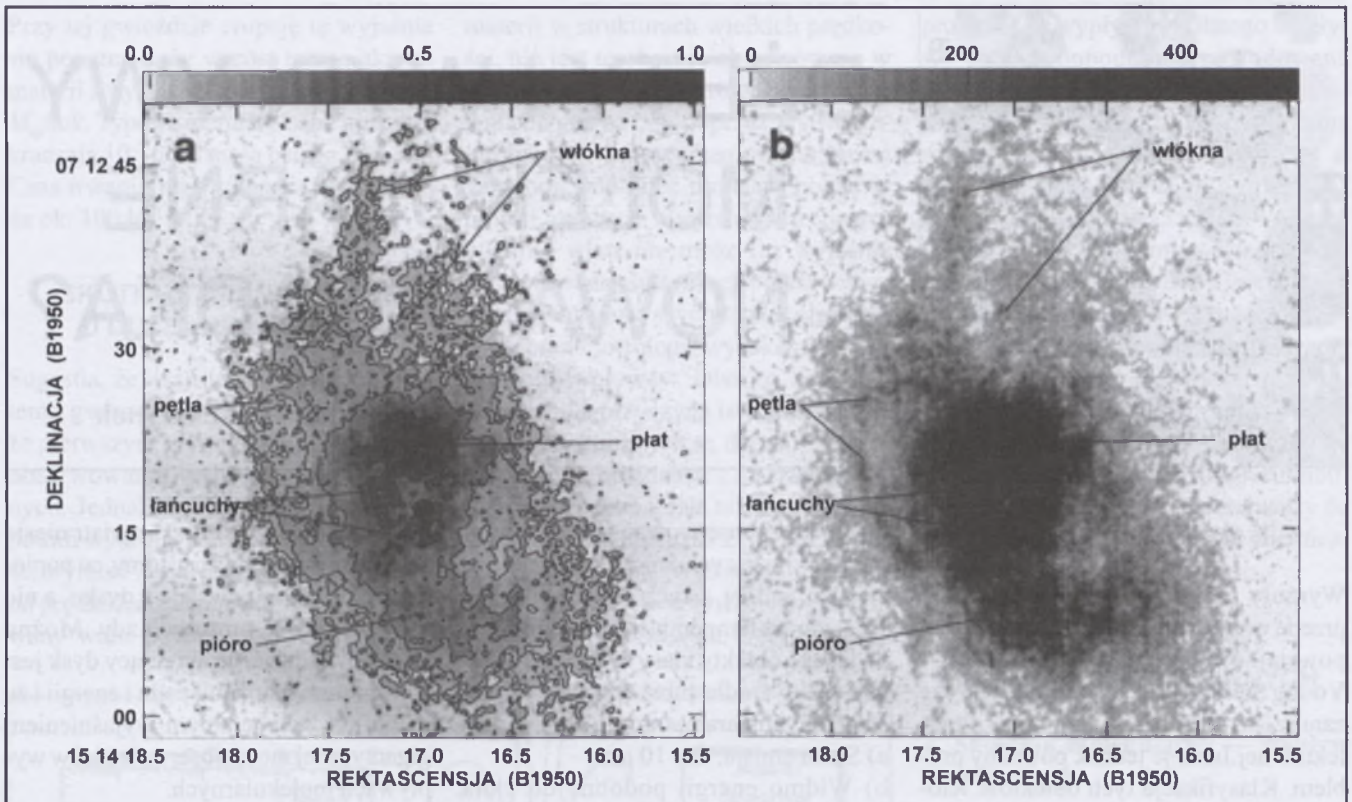
Rys.2. Struktura radiowa 5C4.81 na 20 cm otrzymana z VLA. Górny rysunek — kątowa zdolność rozdzielcza 11.″5; Dolny rysunek — kątowa zdolność rozdzielcza 1.″1.

Badano ruch orbitalny dwóch grup galaktyk w gromadzie Coma, a mianowicie grupy galaktyk związanej z NGC4869 i grupy galaktyk skoncentrowanych wokół NGC4874. Dla masy układu NGC 4869/4874 około $2.7\times10^{13}\,M_\odot$ i prędkości 950 km/s otrzymano orbitę eliptyczną o ekscentryczności 0.26, długości dużej półosi 120 kpc i okresie orbitalnym 7.5×10^8 lat. Takie parametry orbitalne dobrze tłumaczą zagiętą strukturę radiową 5C4.81.

Ponadto gromada Coma jest silnym źródłem promieniowania rentgenowskiego (Hughes J.P. *i inni* 1989, ApJ **329**, 82; Burns J.O. *i inni* 1994, ApJS **68**, 643). Porównanie rozkładu ciśnienia minimalnego wzdłuż ogona radioźródła z rozkładem ciśnienia termicznego ICM gazu wyznaczonym z obserwacji rentgenowskich wskazuje, że w ogonie ciśnienie termiczne jest znacznie wyższe od ciśnienia minimalnego. Jeżeli zagięcie struktury radiowej następuje na granicy ośrodków ISM/ICM, to bliska jego odległość od jądra (3 kpc) świadczy o niewielkiej ilości ISM gazu. Jest to więc pośredni dowód na obdzieranie galaktyk z ISM gazu.

Radioźródła amorficzne

Radioźródła amorficzne występują głównie w gromadach galaktyk ze strumieniami chłodzenia o czasach centralnego chłodzenia rzędu (10^8÷10^9) lat, znacznie krótszymi od wieku Hubble'a. Tempa akrecji masy w strumieniach chłodzenia wynoszą typowo $100M_\odot$/rok. Wypływająca radiowa plazma napotyka na taki strumień akreowanej masy i może ulec rozerwaniu oraz zostać uwięziona w niewielkim centralnym obszarze. Przykładem takiego radioźródła jest radiogalaktyka 3C317 (z = 0.0345) związana z dominującą galaktyką NGC9799 w gromadzie galaktyk Abella-A2052. Obserwowano ją na długościach fal 90, 20, 6 i 3.6 cm z najwyższą przestrzenną rozdzielczością 0.″3. Na radiowych obrazach VLA radioźródło składa się ze zwartego centralnego jądra pokrywającego się z optycznym centrum galaktyki i centrum gromady galaktyk oraz otaczającego dominującego halo (**Rys. 3**). Brak wytrysków radiowych, gdyż wypływ plazmy jest rozerwany przez strumień chłodzenia bardzo blisko jądra. Zamiast tego obserwuje się bipolarną strukturę otaczającą jądro i rozciągniętą w kierunku północno-południowym do maksymalnych rozmiarów 30″. Południowa



Rys.3. Obraz VLA 3C317 ze zdolnością rozdzielczą 0.4. Halo, bipolarna struktura, fragmenty i pętla są dobrze widoczne.
a) zakres gęstości strumienia zmienia się od –0.01 do 1 mJy/wiązkę. Kontury są –0.06, 0.06, 0.12, 0.48, 0.96 i 1.92 mJy/wiązkę.
b) zakres gęstości strumienia zmienia się od –0.01 do 0.5 mJy/wiązkę.Przegięcie widma radiowego pojawia się na 0.5 GHz.

część struktury bipolarnej składa się z zakrzywionego pióra. Natomiast północną część stanowi płat, który w wysokich przestrzennych rozdzielczościach ulega rozbiciu na poszczególne fragmenty. Bipolarna struktura otoczona jest przez amorficzne halo.

Przegięcie widma występuje dla wszystkich rozciągłych składników, jak i dla scałkowanego strumienia 3C317. Stanowi to dowód na dyfuzję elektronów z jądra do halo ze średnią prędkością 200 km/s wzdłuż zakręconych linii pola magnetycznego. Z częstotliwości przegięcia widma wyliczono, że typowy wiek elektronów wynosi około 70 milionów lat.

Obliczone natężenia pól magnetycznych zmieniają się od 200 μG w jądrze do 10 μG w halo, a minimalne ciśnienia odpowiednio od 2×10^{-10} do 2×10^{-11} dyn cm^{-2}. W radiowym halo minimalne ciśnienie jest porównywalne z ciśnieniem termicznym ICM gazu dla gęstości cząstek 0.01 cm^{-3} i temperatury gazu 1×10^{7}K wewnątrz obszaru chłodzenia o promieniu 100 kpc. Ciśnienia gazu we fragmentach są (3÷5) razy wyższe od średniego ciśnienia termicznego gorącego gazu.

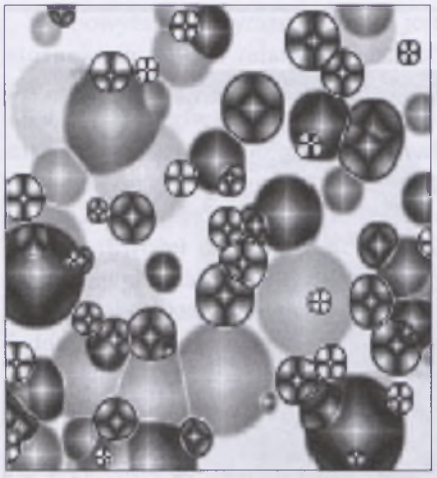
Baum *i inni* (1988, AJ **107**, 1942) wykryli kilka optycznych rozciągłych fragmentów gazu emitującego wąskie linie emisyjne zajmujących przestrzennie ten sam obszar, co emisje radiowe. Ze stosunku natężeń dwóch linii tego samego jonu emitującego z różnych poziomów energetycznych w przybliżeniu o tej samej energii wzbudzenia , np. linii [SII] λ 6717 i 6731 Å, zakładając 50 % jonizację oszacowano wartość ciśnienia w jądrze ($r < 1$ kpc) równą 1.7×10^{-9} dyn cm^{-2}. Ciśnienie to jest o rząd wielkości wyższe od ciśnienia minimalnego, lecz odnosi się do obszaru znacznie bliższego jądra.

PODSUMOWANIE

Poszukiwania radioźródeł w gromadach galaktyk, szczególnie intensywnie prowadzone przez Owena i współpracowników, wykazały, że około 30 % wszystkich radioźródeł leżących powyżej szerokości galaktycznej 25° związanych jest z bogatymi gromadami galaktyk. Bliskie kwazary występują w grupach galaktyk i amplitudy ich przestrzennej funkcji korelacji są kilkakrotnie wyższe od wyliczonych dla galaktyk. Natomiast odległe kwazary leżą w bogatych gromadach galaktyk. Gorący ICM gaz zakłóca struktury radiowe powodując ich zagięcie czy nawet rozerwanie. W gromadach galaktyk ze strumieniami chłodzenia oddziaływanie wpływającego termicznego gazu może uwięzić wyrzucony strumień plazmy w niewielkim obszarze produkując amorficzne radioźródła.

Dalsze szczegółowe badania radioźródeł leżących w odległych gromadach galaktyk, w możliwie szerokim zakresie widma, od zakresu γ aż do najdłuższych fal radiowych, pozwolą lepiej zrozumieć oddziaływanie wypływającej radiowej plazmy z otaczającą materią międzygalaktyczną czy wewnątrzgromadową.

Dr Janina Krempeć-Krygier jest pracownikiem Centrum Astronomicznego PAN w Toruniu. Polem Jej zainteresowań naukowych jest astrofizyka zarówno gwiazd, jak i radioźródeł.



DŻETY I WYPŁYWY MOLEKULARNE – NOWA ZAGADKA?

Grzegorz Hrynek

KLASYFIKACJA

Wyrzuty molekularne obserwuje się przede wszystkim u młodych, dopiero co powstających gwiazd (ang. **YSO** — **Y**oung **S**tellar **O**bjects), które są jeszcze zanurzone w otaczającej je materii molekularnej.Istnieje jednak poważny problem. Klasyfikacja tych obiektów. Kłopot jest w umieszczeniu ich na diagramie Hertzsprunga-Russela, ponieważ nie promieniują one jak pojedyncze ciała doskonale czarne. Ich widmo energii (ang. **SED** — *Spectral Energy Distributions*) jest zazwyczaj dosyć szerokie na skutek dużego zakresu temperatur w ich pyłowej otoczce. Trudny jest także sposób określania typu spektralnego. Jednakże do klasyfikacji możemy użyć właśnie widma energii, które ewoluuje w sposób systematyczny na skutek rozpraszania materii otaczającej YSO przez wypływy molekularne. Utworzono więc trzy grupy tych gwiazd. Klasa **I** ma indeks widma w podczerwieni $\alpha_{IR} > 0$ gdzie α_{IR} zdefiniowane jest jako:

$$\alpha_{IR} = \frac{log\,(\nu * F_\nu)}{log\,(\nu)}$$

oraz widmo energii jest znacznie szersze niż funkcja ciała doskonale czarnego, co może być rezultatem gorącej otoczki pyłowej (300-1000 K) wokół gorącego obiektu gwiazdopodobnego (3000-5000 K). Klasa **II** ma indeks widma w podczerwieni $\alpha_{IR} < 0$ i widmo takie, jak klasa **I**. Pozatym obiekty tej klasy są widoczne w dziedzinie optycznej, a ich widma podobne do widm chłodnych fotosfer. Klasa **III** ma indeks widma w podczerwieni $\alpha_{IR} < 0$, ale widma są podobne do widma ciała doskonale czarnego. Również są widoczne na falach optycznych, ale nie wykazują nadwyżki podczerwieni. Jednak niedawno udało się zaobserwować istnienie jeszcze chłodniejszych źródeł, które nie pasują do żadnej z tych trzech klas. Ze względu na temperaturę, sklasyfikowano je jako obiekty klasy 0, które są określane jako źródła submilimetrowe z następującymi parametrami:

a) Słaba emisja, $\lambda < 10$ μm,

b) Widmo energii podobne do ciała doskonale czarnego przy temperaturze 15-30 K,

c) $L_{submm}/L_{bol} > 5\times10^{-3}$, gdzie L_{submm} jest mocą promieniowania mierzoną przy $\lambda > 350$ μm, a L_{bol} jest bolometryczną mocą promieniowania.

POWSTAWANIE BIPOLARNYCH WYPŁYWÓW MOLEKULARNYCH

Obserwacje linii molekularnych wykazały, że protogwiazdy są otoczone dyskami pyłowo-molekularnymi o rozmiarach ok. 10^2 AU i masie $10^{-3} < M_\odot < 1$. Znając właściwości dysków, możemy wyjaśnić wiele faktów obserwacyjnych. Wzrost faktów obserwacyjnych potwierdza istnienie ścisłego powiązania pomiędzy dżetami a dyskami wokół młodych protogwiazd, w szczególności sądzi się, że emisje linii wzbronionych powstające właśnie na skutek wypływów są widoczne tylko w obiektach pokazujących nadwyżki w bliskiej podczerwieni pochodzących od dysku. Intensywność linii emisyjnych o dużych prędkościach jest dobrze skorelowana z nadwyżką barwy w podczerwieni. Również strumień momentu pędu molekularnych wyrzutów jest dobrze skorelowany z masą otoczki wokół młodych obiektów. Obserwacje relacji pomiędzy własnościami dżetów i dysków sugerują, że do powstawania wypływów materii jest potrzebna obecność dysku. Ponadto obserwacje neutralnych obszarów wokół młodych obiektów sugerują, że wiatr niesie ze sobą niezjonizowane atomy, co popiera tezę, że wiatr powstaje z dysku, a nie z powierzchni protogwiazdy. Można więc powiedzieć, że akreujący dysk jest zbiornikiem momentu pędu i energii i że może być potencjalnym wyjaśnieniem gigantycznej mocy obserwowanej w wypływach molekularnych.

STRUKTURY O EKSTREMALNEJ PRĘDKOŚCI I „BĄBLE" MOLEKULARNE

Wyrzucany gaz molekularny składa się przeważnie z komponentów o różnych prędkościach radialnych. Są to obszary o standardowych prędkościach rzędu 20 km/s (ang. **SHV** — *Standard high velocities*) i o prędkościach dochodzących do 100 km/s (ang. **EHV** — *Extremely high velocities*). W partiach o dużej prędkości moment pędu jest na tyle duży, że jest przekazywany do obszarów o mniejszej prędkości. Maleje więc jego prędkość wraz z odległością liczoną od początku powstania dżetu i równocześnie wzrasta prędkość części o początkowo mniejszych prędkościach. Mamy więc w dżecie miejsca charakteryzujące się punktami szczytowymi, które są dobrze określone zarówno w przestrzeni, jak i w prędkościach. Miejsca takie nazywa się bąblami molekularnymi. Dżet o bardzo dużej prędkości, umiejscowiony wewnątrz płatów o standardowej prędkości, składa się więc z szeregu bąbli połączonych słabą emisją. Bąble grupują się w pary, które są rozmieszczone symetrycznie. Precyzyjne wyjaśnienie powstawania bąbli nie jest do końca znane, ale godne uwagi jest to, że ilość masy i skala czasowa trwania tego zjawiska jest bardzo podobna do optycznego dżetu obserwowanego wokół gwiazdy FU Ori.

Przy tej gwieździe erupcję tę wyjaśnia się poprzez duży wzrost tempa akrecji materii z dysku, który dochodzi do 10^{-4} $M_\odot$/rok. Typowe rozmiary bąbli nie przekraczają 10^{-2} pc, a masa osiąga 10^{-4} $M_\odot$. Czas trwania tego zjawiska szacuje się na ok. 100 lat.

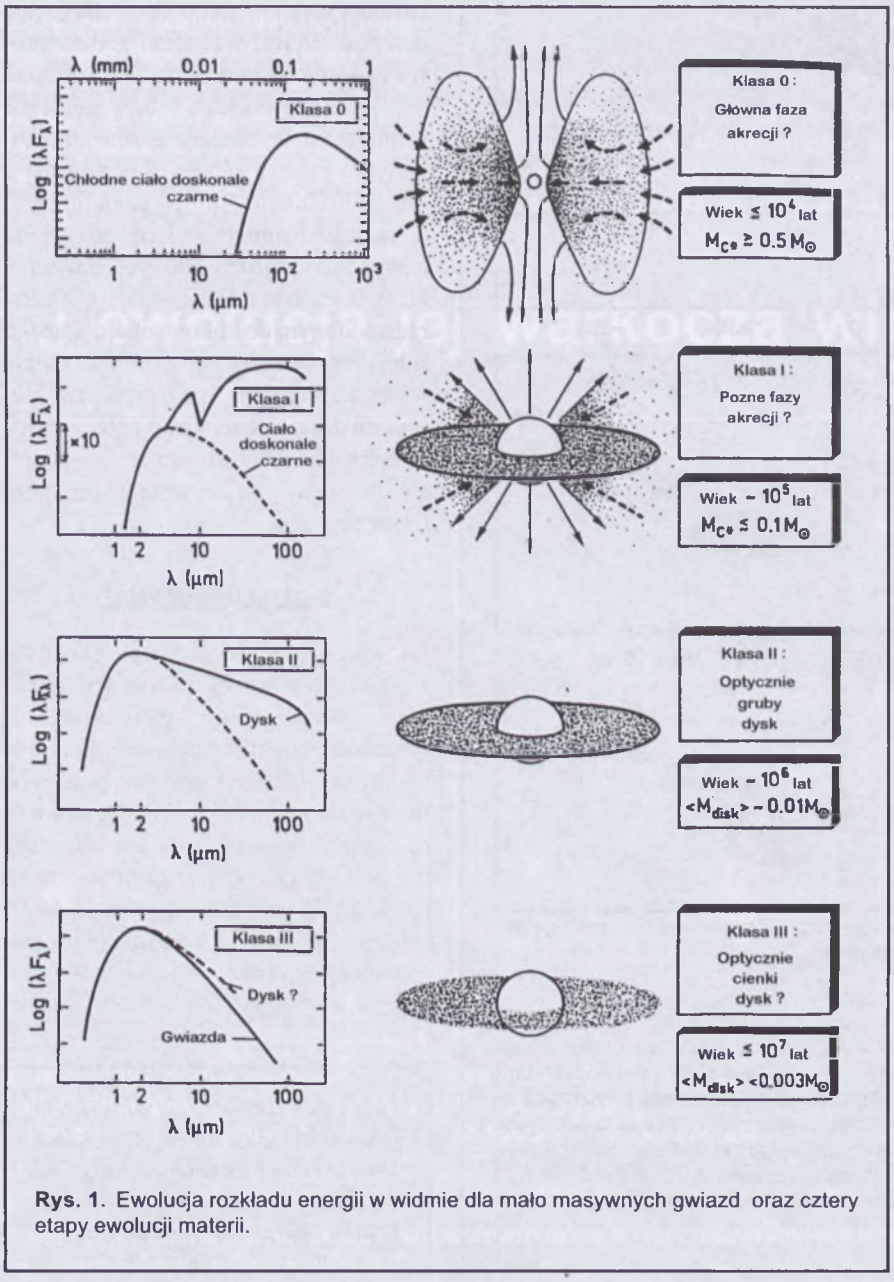
SKUTKI ISTNIENIA GAZU O DUŻEJ PRĘDKOŚCI

Sugestia, że wiatr wydobywa się z systemu gwiazda—dysk, pociąga za sobą, że pierwszym czynnikiem powinno być obserwowanie wypływów molekularnych. Jednakże szerokokątny wiatr nie potrafi wyjaśnić podstawowych własności wyrzutów takich jak zależność masy od prędkości. Zasadniczo słabo skolimowany wiatr powinien zawierać więcej materii w strukturach wielkich prędkości, niż jest to obecnie obserwowane w dżetach. Z drugiej strony, dżet może zmiatać gaz na bok poprzez wytworzenie łukowej fali uderzeniowej i więcej gazu powinno mieć mniejszą prędkość co jest zgodne z obserwacjami. Szerokokątny wiatr nie może też wyjaśnić obserwowanej dystrybucji przestrzennej momentu pędu w wyrzutach molekularnych oraz morfologii wysoko skolimowanych wypływów. Dlatego też prawdopodobnie przyczyną istnienia wypływów molekularnych są dżety.

Jeśli dżet oddziałuje z otaczającą materią molekularną, fala uderzeniowa nie może być adiabatyczna z powodu szybkiego chłodzenia. Wysoka bipolarność obserwowana w wypływach tworzy zachowujący energię wiatr, który nie może produkować wypływów. Dlatego wypływy są prawdopodobnie powodowane przez zachowanie momentu pędu. Transfer momentu pędu z dżetu do otoczenia można uzyskać na kilka sposobów. Z numerycznych symulacji hydrodynamicznych wyodrębnia się dwie metody:

1) metoda natychmiastowego porywania (ang. *prompt entrainment*) — na brzegu fali uderzeniowej dżetu,

2) metoda stacjonarnego porywania (ang. *steady-state entrainment*) — wzdłuż brzegów dżetu poprzez turbulentne mieszanie otaczającej materii na skutek niestabilności Kelvina-Helmholtza. Jednak żadna z nich nie tłumaczy do końca procesów fizycznych i chemicznych zachodzących w dżetach.



Rys. 1. Ewolucja rozkładu energii w widmie dla mało masywnych gwiazd oraz cztery etapy ewolucji materii.

RÓŻNE SKŁADNIKI W DŻETACH BIPOLARNYCH

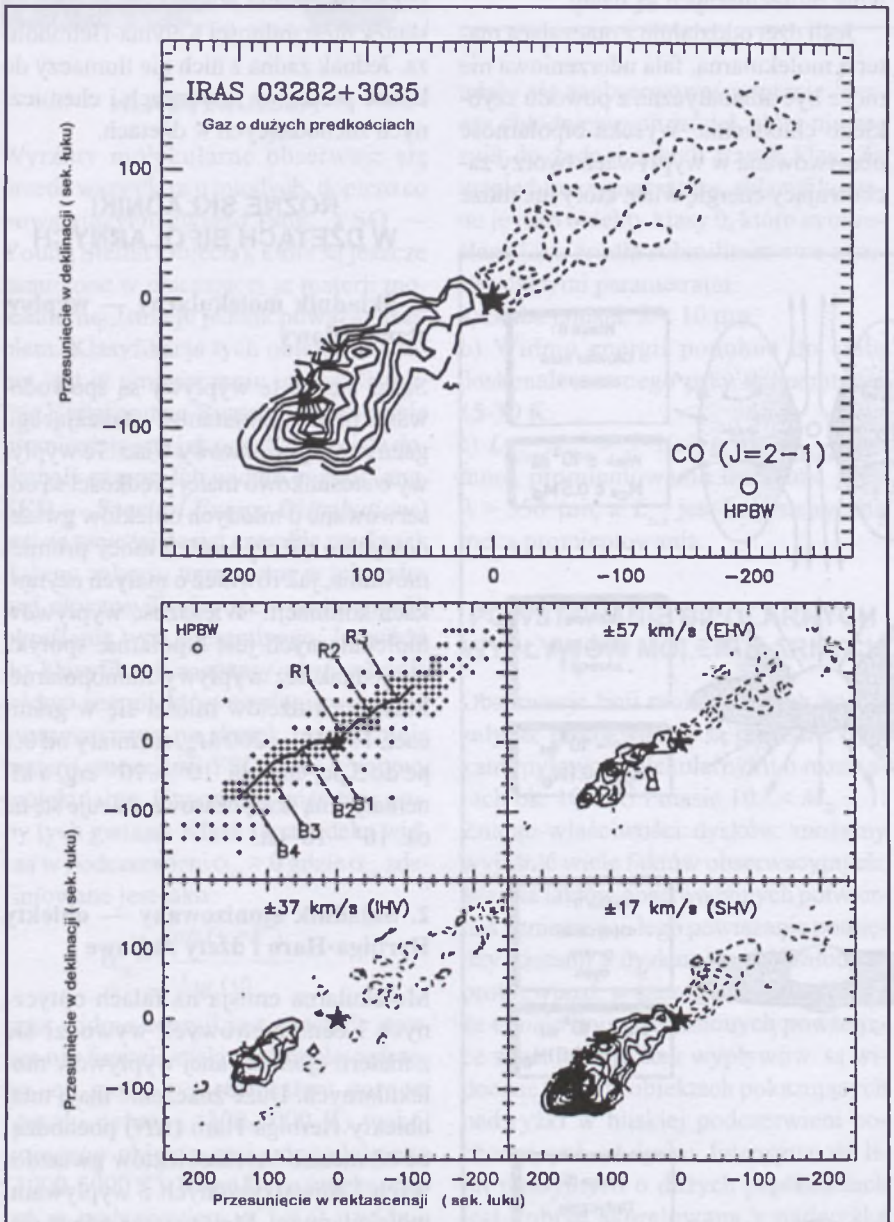
1. Składnik molekularny — wypływ standardowy

Sądzi się, że te wypływy są spowodowane przez „zmiatanie" otaczającego gazu przez podstawowy wiatr. Te wypływy o stosunkowo małej prędkości są obserwowane u młodych obiektów gwiazdowych o różnej masie i mocy promieniowania, jak również o małych czynnikach kolimacji. Większość wypływów molekularnych jest bipolarna, spotyka się jednak też wypływy monopolarne. Masa tych dżetów mieści się w granicach 10^{-2} $M_\odot$ – 200 $M_\odot$, rozmiary od 0.1 pc do 5 pc, energia: 10^{47} – 10^{48} erg, a kinematyczną skalę czasową szacuje się na ok. 10^3 – 10^5 lat.

2. Składnik zjonizowany — obiekty Herbiga-Haro i dżety radiowe

Molekularna emisja na falach optycznych i centymetrowych wywodzi się z materii zjonizowanej wypływów molekularnych. Duże znaczenie mają tutaj obiekty Herbiga-Haro (*HH*) pochodzące od niestabilnych obiektów gwiazdowych i stowarzyszonych z wypływami molekularnymi. Mają tę samą orientację, podobne rozmiary i kinematykę. Obserwacje pokazały, że cała emisja leży w obszarze objętym dżetem *HH*, co wskazuje na to, że „wyciął" on sobie wąski cylinder w otaczającej go chmurze molekularnej. Optyczne obserwacje linii wzbronionych prowadzą do całkowitej diagnostyki bipolarnych wypływów. Pokazały one, że profile linii są przesu-

nięte ku fioletowi w odniesieniu do prędkości gwiazdy. Profile są często podwójne z obszarów o bardzo dużych prędkościach (< –100 km/s) i małych prędkościach (> –30 km/s). Sugeruje to, że obszary z dużymi prędkościami powstają w wysoko skolimowanym dżecie w pobliżu gwiazdy, natomiast obszary o małych prędkościach w wietrze od powierzchni okołogwiazdowego dysku. Emisja na falach centymetrowych jest interpretowana jako emisja swobodno–swobodna z dżetu termicznego. Nietermiczna synchrotronowa emisja powstaje natomiast z płatów usytuowanych wokół młodych obiektów gwiazdowych. Nietermiczna emisja prawdopodobnie powstaje z powodu relatywistycznych elektronów, które mogą być przyspieszane w dyfuzyjnym wybuchu w rejonie oddziaływania między dżetem a otaczającą materią. Czy jednak obserwowane dżety mogą być motorem napędzającym stowarzyszone wypływy molekularne? Znaleziono dosyć dobrą korelację pomiędzy mocą promieniowania z całkowitą mocą i ze stowarzyszonymi wypływami, co może być dowodem na tego typu oddziaływanie. Jednakże moment pędu nie jest na tyle duży, lecz dopasowania momentu pędu są bardzo niepewne, gdyż grubość optycznego dżetu jest różna. Również prędkości wyrzutów mogą być różne w czasie i prawdopodobnie czas życia wypływów molekularnych może być znacznie dłuższy niż jego kinematyczna skala czasowa. Istnieje jeszcze możliwość, że komponenty neutralnych atomów albo molekuł współistnieją z dżetem zjonizowanym, co prowadziłoby do wypływów o standardowej prędkości.



Rys. 2. Rysunek górny: mapa intensywności przejścia CO 2-1 integrowana w skrzydłach linii wypływu w obiekcie IRAS 03282+3035. Pełne kontury prezentują emisję przesuniętą do fioletu, a kreskowane przesuniętą ku czerwieni. Rysunki dolne: mapy intensywności CO 2-1 zintegrowane z innymi przedziałami prędkości. Poszczególne części przedstawiają przesuniętą ku fioletowi (linie ciągłe) i czerwieni (linie przerywane) emisję z interwałem prędkości 20 km/s scentrowanym na prędkości ±57 (u góry z prawej) ±37 (u dołu z lewej) i ±17 (u dołu z prawej). Oznaczenia R1, R2, R3, B1, B2, B3, B4 wskazują na położenie tzw. bąbli molekularnych poruszających się z dużymi prędkościami.

3. Składnik molekularny — wysokie wzbudzenie H_2

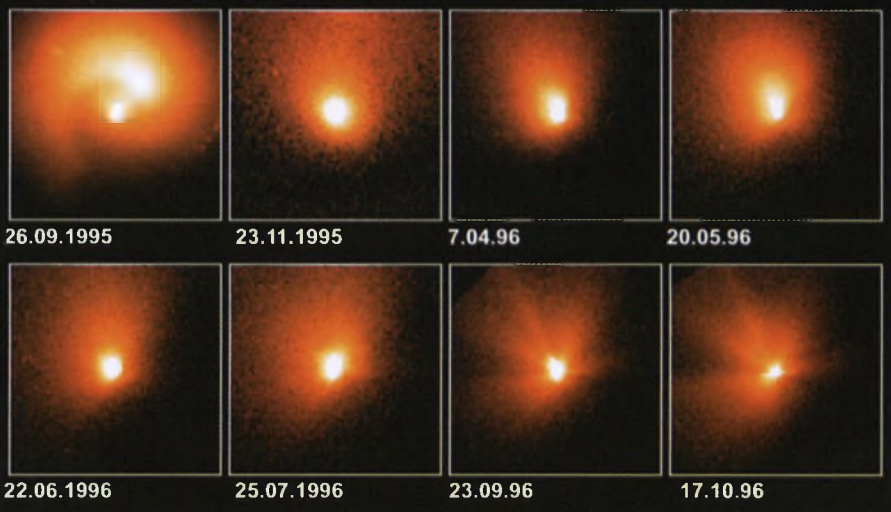
Przejścia oscylacyjne H_2 powstają od poziomu energii > 6000 K. Dlatego też molekuła H_2 jest wzbudzana zderzeniowo w gęstych regionach o temperaturze $\approx 10^3$ K. Przejścia te są dobrze widoczne w miejscach wybuchów gazów molekularnych. Emisja H_2 jest skorelowana z mniej wzbudzonymi optycznie czynnikami. Silna emisja jest obserwowana wokół kilku bardzo młodych obiektów klasy 0. Emisja tutaj powstaje w obszarze podobnym do kokonu obejmującego sobą dżet. Obszary emisji tworzą długie włókna zbiegające się z głównym kierunkim dżetu. Obserwacje potwierdziły, że emisja linii powstaje w mieszającym się obszarze, gdzie otaczająca materia jest wciągana.

PODSUMOWANIE

Jak więc widać, wypływy są głównym zjawiskiem towarzyszącym procesowi formowania się nowych gwiazd. Wyrzuty prawdopodobnie ustalają masę w systemie gwiazda-dysk podczas procesów formowania i unoszą nadwyżkę momentu pędu akreującego dysku. Wyrzuty mogą zmieniać gęstość gazu wewnątrz jądra, gdzie gwiazda się rodzi, i determinować ewolucję gęstości jądra powstającej gwiazdy.

Grzegorz Hrynek jest studentem astronomii w Centrum Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Niniejsza notatka powstała jako jego praca seminaryjna.

Ewolucja głowy komety Hale'a-Boppa widziana z kosmosu...



Obok prezentujemy serię 8 obrazów obszarów położonych blisko jądra komety Hale'a-Boppa uzyskanych przez Harolda Weavera z Uniwersytetu w Baltimore i NASA przy pomocy kamery WFPC2 teleskopu kosmicznego Hubble'a. Przedstawiają one zmiany jakie następowały w okresie od września 1995 do października 1996 r, czyli w okresie zbliżania się komety do Słońca i coraz silniejszego ogrzewania jądra.

Pierwszy obraz z tej sekwencji, z lewej strony na górze, pokazuje silny wybuch pyłowy, jaki zdarzył się, gdy kometa była jeszcze poza orbitą Jowisza. Obrazy z jesieni 1996 roku pokazują wielokrotne wybuchy (dżety), które prawdopodobnie powiązane są z uaktywnieniem się wielorakich zapadłości i jam na powierzchni jądra.

Na tych obrazach w fałszywych barwach najsłabsze obszary są czarne, najjaśniejsze białe, a pośrednie natężenia reprezentowane są przez różne stopnie nasycenia czerwieni. Rozdzielczość przestrzenna jest około 470 km na piksel, a więc skalisto-lodowe jądro komety, mające rozmiar około 40 km jest znacznie poniżej zdolności rozdzielczej obrazu i nie może być widoczne. Każdy z obrazów przedstawia obszar komety 33×33 tyś. km.

...i ewolucja jej warkocza widziana z Ziemi

9 lutego 1997 5:20
Fot. W. Skórzyński
Ø 500/5.6 t_{exp}=14 min.

8 marca 1997 4:10
Fot. A.S. Pilski
Ø 135/2.8 t_{exp}=13 min.

2 kwietnia 1997 xx
Fot. W. Skórzyński
Ø 135/2.8 t_{exp}=14 min.

Więcej zdjęć komety Hale'a-Boppa nadesłanych przez naszych Czytelników w „Fotoobserwacjach" na 3. stronie okładki i na środkowych stronach wkładki!

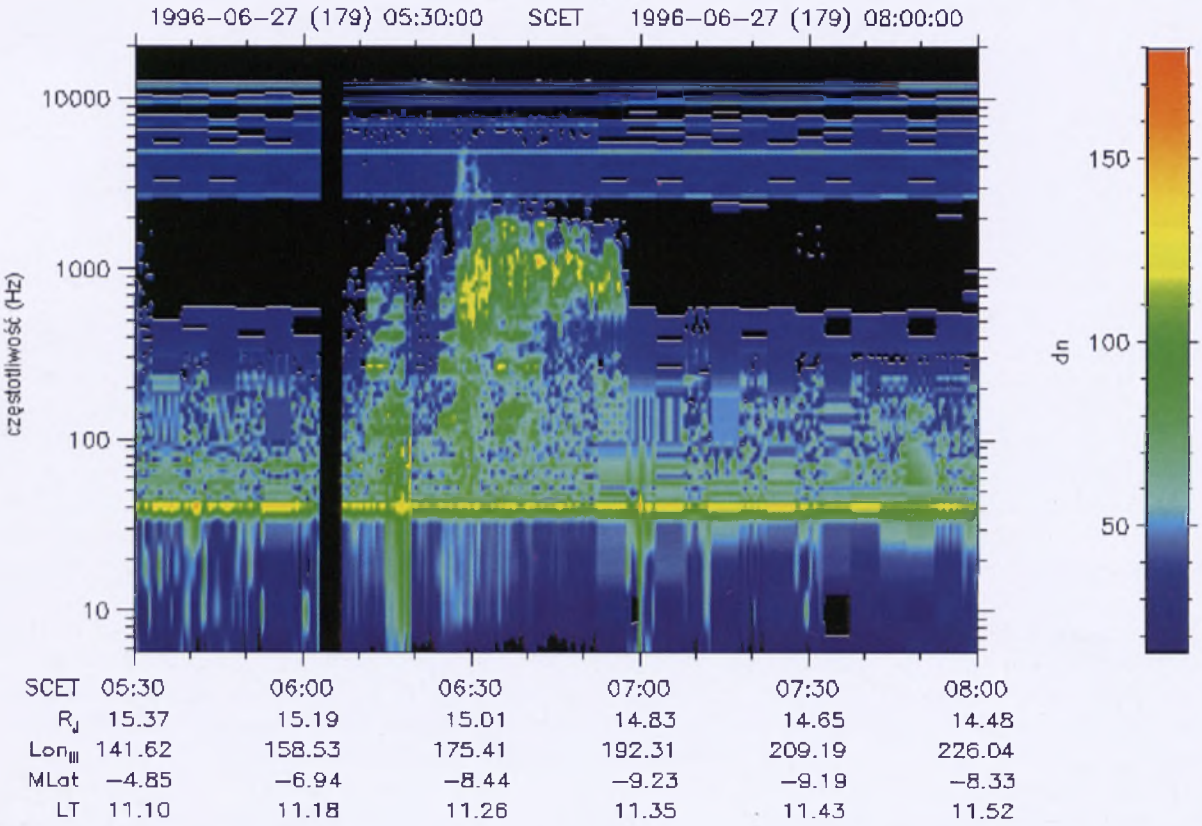
Kometa Hale'a-Boppa i mgławice...

Fot. A. S. Pilski, Frombork – Żurawia Góra, 8 marca 1997

PA

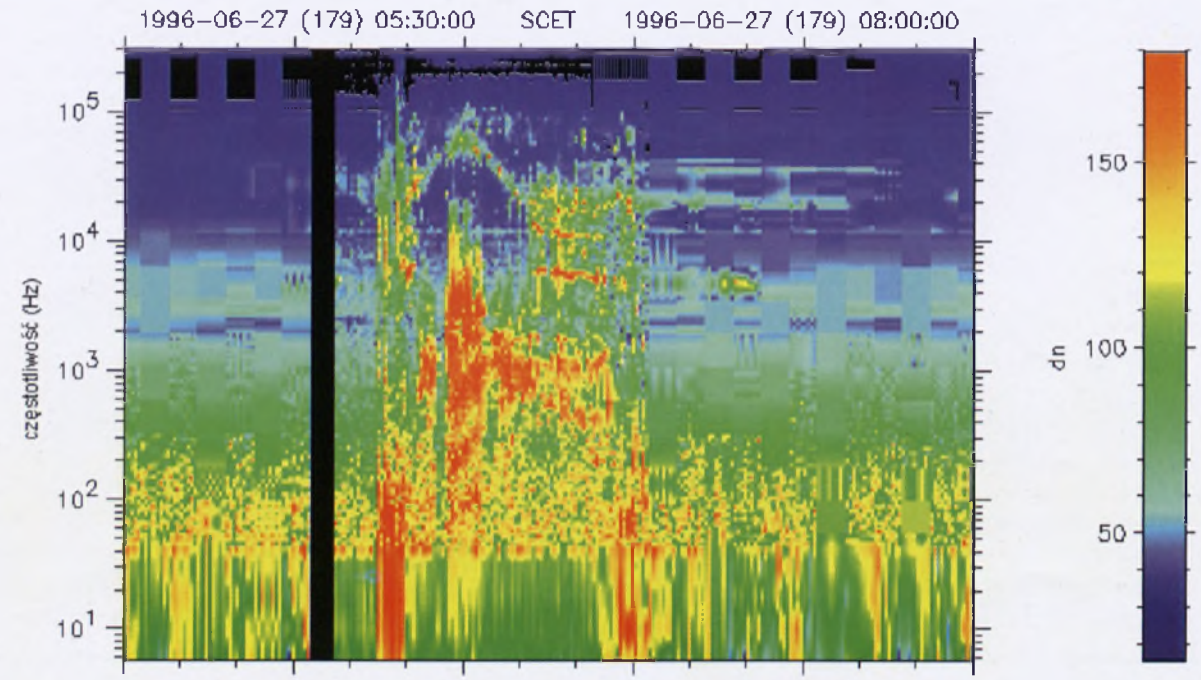
Ameryka Pn. i Pelikan

Widmo fal plazmowych odbieranych na stacji Galileo za pośrednictwem anteny magnetycznej



SCET	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00
R_J	15.37	15.19	15.01	14.83	14.65	14.48
Lon_{III}	141.62	158.53	175.41	192.31	209.19	226.04
MLat	−4.85	−6.94	−8.44	−9.23	−9.19	−8.33
LT	11.10	11.18	11.26	11.35	11.43	11.52

Widmo fal plazmowych odbieranych na stacji Galileo za pośrednictwem anteny elektrycznej



SCET	05:30	06:00	06:30	07:00	07:30	08:00
R_J	15.37	15.19	15.01	14.83	14.65	14.48
Lon_{III}	141.62	158.53	175.41	192.31	209.19	226.04
MLat	−4.85	−6.94	−8.44	−9.23	−9.19	−8.33
LT	11.10	11.18	11.26	11.35	11.43	11.52

GANIMEDES WIDZIANY Z BLISKA PRZEZ GALILEO

— BUDOWA WEWNĘTRZNA, POLE MAGNETYCZNE, MAGNETOSFERA.

Od czasu umieszczenia na orbicie okołojowiszowej GALILEO miał już kilkakrotnie okazję do przelotu w pobliżu Ganimedesa — jednego z księżyców galileuszowych Jowisza. Nie jest to jedyny satelita Jowisza obserwowany wielokrotnie w czasie misji GALILEO, ale warto skupić uwagę na przypadku Ganimedesa ze względu na zaskakujące wyniki obserwacji jak i pewne ogólne wnioski z nich wypływające.

Wstępne wyniki obserwacji z pierwszych dwóch zbliżeń (27 czerwca i 6 września 1996 roku) zostały opublikowane w serii artykułów w numerze *Nature* z 12 grudnia 1996.

Podobnie jak w opisywanym już na łamach Postępów Astronomii przelocie GALILEO w pobliżu Io, pomiary zmian częstotliwości sygnału radiowego wysyłanego przez sondę pozwoliły na ocenę zmian przyspieszenia grawitacyjnego w okolicach Ganimedesa. Pierwszy przelot miał miejsce w okolicach równika księżyca na wysokości 835 km nad powierzchnią, w trakcie drugiego sonda zbliżyła się na odległość 261 km do powierzchni (w rejonie bieguna północnego). Z przelotów w pobliżu Ganimedesa sond PIONEER i VOYAGER znana była już jego średnia gęstość wynosząca 1940 kg/m^3. GALILEO poprawił ją na 1936 kg/m^3 z błędem 22 kg/m^3 wynikającym głównie z niedokładności pomiaru średnicy satelity — obecnie ocenianej na 2634 ±10 km.

Pomiary przesunięć dopplerowskich podobnie jak w wypadku Io wskazują na dużą koncentrację masy w okolicach centrum Ganimedesa. Same pomiary nie wystarczają do rozstrzygnięcia problemu, z ilu warstw składa się wnętrze księżyca — model dopuszcza nawet istnienie jedynie dwu warstw. Jednak sensowniejszy wydaje się model trójwarstwowy — masywne metaliczne jądro otoczone płynną warstwą skał i powłoką lodową. Istnienie lodu (a może i nawet warstwy wody w której pływają olbrzymie góry lodowe) wynika z obserwacji powierzchni księżyca. Obecność metalicznego jądra tłumaczyłaby istnienie nieoczekiwanie odkrytego w okolicach Ganimedesa pola magnetycznego.

O ile w przypadku innych księżyców galileuszowych Jowisza (Io, Kallisto, Europa) obecność własnego pola magnetycznego jest wątpliwa lub niepewna, to Ganimedes posiada pole kilkakrotnie silniejsze od pola w okolicach Jowisza. Przypomina ono w dużym stopniu pole dipola o osi pochylonej o 10 stopni do osi rotacji księżyca — kierunek jego jest w przybliżeniu antyrównoległy względem kierunku pola jowiszowego a natężenie na równiku wynosi ok. 750 nT. Nie ma wątpliwości co do istnienia pola — nie tylko jest ono kilkakrotnie wyższe od zewnętrznego pola jowiszowego, ale również znacznie silniejsze od pola generowanego przez prądy płynące w plazmie w okolicach Ganimedesa.

Można rozważać trzy sposoby wytwarzania zewnętrznego pola magnetycznego: pozostałość po zewnętrznym polu magnetycznym — możemy to nazwać namagnesowaniem, konwekcję magnetyczną we wnętrzu księżyca oraz dynamo magnetyczne.

Pierwszy przypadek wymaga dostatecznie niskiej temperatury warstwy zachowującej pole magnetyczne — musi ona spaść poniżej temperatury Curie. Miejsce spełniające takie warunki znajdowałoby się poniżej warstwy lodu blisko górnej powierzchni warstwy skalnej (silikatowej). Oceny wskazują, że taka warstwa mogłaby mieć co najwyżej 300 km grubości. W zasadzie można ją namagnesować do potrzebnego poziomu zakładając obecność w niej dostatecznej ilości magnetytu oraz silne pole zewnętrzne w którym w pewnym okresie mógł znaleźć się Ganimedes (silniejszym od aktualnego pola Jowisza w okolicy księżyca). Wydaje się to jednak mało prawdopodobne.

Drugi mechanizm wymaga obecności przewodzącej cieczy poruszającej się w zewnętrznym polu magnetycznym. Kandydatem byłby ewentualny słony ocean w warstwie lodowej lub metaliczne jądro. Jednak w obydwu przypadkach natężenie wytworzonego pola byłoby rzędu natężenia pola zewnętrznego nie wspominając o bardzo dużych, nierealistycznych prędkościach cieczy wymaganych przez ten mechanizm dla słonej wody.

Dlatego najbardziej naturalnym kandydatem wydaje się dynamo magnetyczne — przekształcające energię konwekcji cieczy przewodzącej w energię pola magnetycznego. Jest to proces samopodtrzymujący się (działa dopóki istnieje źródło energii mechanicznej), natężenie pola może przekroczyć natężeni pola zewnętrznego. Pole zewnętrzne nie jest konieczne do zadziałania dynama, natomiast jego obecność może mieć wpływ na proces generacji. Właśnie dipolowa struktura pola Ganimedesa sugeruje jego generację we wnętrzu księżyca.

Wydaje się, że struktura wnętrza Io jest podobna do struktury Ganimedesa (z wyjątkiem warstwy lodu przy powierzchni). Należałoby również i w tym przypadku oczekiwać własnego pola magnetycznego wytwarzanego przez dynamo. Wniosek ten nie jest jednak całkiem oczywisty z przynajmniej dwóch powodów: natężenie zewnętrznego pola magnetycznego Jowisza jest porównywalne z polem własnym Io (co mogłoby sugerować konwekcję magnetyczną wywoływaną przez zewnętrzne źródło), poza tym istotny wkład w pole magnetyczne w okolicach Io dają też płynące w plazmie silne prądy. Oddzielenie poszczególnych składników wymaga starannych rachunków, w tym tez i symulacji magnetohydrodynamicznych oddziaływania plazmy z polem Io oraz Jowisza — takie rachunki były przedstawione na Kongresie Europejskiej Unii Geofizycznej (EGS) w Wiedniu (kwiecień 1997). Poza tym nie są znane szczegóły procesu konwekcji — może on się znacznie różnić od konwekcji we wnętrzu Ganimedesa. W szczególności Io poddane jest ze strony Jowisza znacznym siłom przypływowym. Powodują one m.in. grzanie wnętrza księżyca i modyfikację działania dynama (w tym wypadku raczej na niekorzyść generacji pola).

Co do pozostałych księżyców galileuszowych, wydaje się, że nie są one zdolne do generacji własnego pola magnetycznego. Europa posiada pole najprawdopodobniej indukowane w jonosferze (ośrod-

ku przewodzącym — zjonizowanej zewnętrznej warstwie atmosfery) poprzez oddziaływanie z plazmą magnetosfery Jowisza. Co do Kallisto to trudno coś powiedzieć — najprawdopodobniej nie posiada własnego pola, a jeśli tak, to bardzo słabe (14 nT, podczas gdy indukowane pole Europy wynosiłoby około 120 nT).

Najciekawszą chyba konsekwencją istnienia pola magnetycznego Ganimedesa jest wykrycie magnetosfery. W odróżnieniu od znanych w Układzie Słonecznym magnetosfer ta magnetosfera znajduje się WEWNĄTRZ innej magnetosfery planetarnej — w tym wypadku jowiszowej. Obecność magnetosfery udało się stwierdzić z pomocą pomiarów natężenia i kierunku pola magnetycznego w okolicach Ganimedesa jak i obserwując aktywność elektromagnetyczną plazmy. Pomiary magnetometryczne pozwoliły na stwierdzenie istnienie wnęki kontrolowanej przez pole magnetyczne Ganimedesa. Okazało się — podobnie jak dla innych magnetosfer — że o ile niektóre linie sił pola łączą się z liniami pola zewnętrznego (w tym przypadku jowiszowego), to istnieją również linie zamknięte, dla których obydwa końce przechodzą przez powierzchnię Ganimedesa. W danych magnetometrycznych znaleziono sygnaturę magnetopauzy, nie ma natomiast śladu fali uderzeniowej. Obecność silnego pola magnetycznego Ganimedesa nakłada poważne ograniczenia na przepływ plazmy w okolicach księżyca. W szczególności ewentualne osadzanie się materiału pochodzącego z zewnątrz mogłoby mieć miejsce w obszarach bliskich biegunów magnetycznych. Podobnie byłoby z wypływem neutralnych atomów lub molekuł wybijanych z powierzchni Ganimedesa czy z jego atmosfery.

Innym ważnym wskaźnikiem obecności magnetosfery są fale elektromagnetyczne powstające na jej granicach jak i we wnętrzu. GALILEO jest wyposażony w urządzenia do ich odbioru. Dwa rysunki przedstawiają tzw. widma dynamiczne (natężenie pola — tutaj w skali logarytmicznej — wyrażone w decyneperach) w funkcji czasu (oś X) oraz częstotliwości (oś Y) odbieranego promieniowania. Na osi X mamy kilka wielkości fizycznych, dla nas ważny będzie tylko czas (od 05:30 UT do 08:00 UT), pozostałe parametry orbity związane są z położeniem stacji w układzie współrzędnych związanych z Jowiszem. Pierwszy rysunek dotyczy widm odbieranych za pośrednictwem anteny magnetycznej, drugi elektrycznej.

Pozwala to na rozdzielenie fal elektromagnetycznych — mogących rozchodzić się daleko od miejsca powstania i odbieranych przez obydwie anteny, od elektrostatycznych odbieranych jedynie przez anteny elektryczne i ograniczających swój żywot do obszarów bliskich obszarowi generacji.

Od około 06:14 do 07:02 widoczne są na obydwu widmach wzmożone szumy radiowe. Związane są one z przejściem sondy w pobliżu Ganimedesa — największe zbliżenie (835 km od powierzchni księżyca) ma miejsce ok. 06:29:07.

Zacznijmy od widma składowej magnetycznej. Szumy radiowe o częstotliwościach pojedynczych kiloherców udało się utożsamić z tzw. świstami — falami elektromagnetycznymi rozchodzącymi się poniżej lokalnej częstotliwości cyklotronowej (lub plazmowej — zależy która z nich jest niższa). Z widma udało się wyznaczyć dolną granicę natężenia pola magnetycznego Ganimedesa. Wyszło 400 nT w okolicach największego zbliżenia (pomiary magnetometryczne dają dokładniejszą wartość — na równiku 750 nT).

Z kolei szumy odbierane przy pomocy anteny elektrycznej sięgają do częstotliwości rzędu 60 kHz — chodzi tu w szczególności o kapryśnie wijące się cienkie pasemko w górnej części widma dynamicznego. Jest to obraz tzw. fal górnohybrydowych o częstotliwości równej pierwiastkowi kwadratowemu z sumy kwadratów częstotliwości plazmowej i cyklotronowej elektronów. W ogólności znając natężenie pola magnetycznego w danym miejscu (z danych magnetometrycznych) można wyliczyć gęstość elektronów w jonosferze czy magnetosferze Ganimedesa. Zadanie jest o tyle proste, że jak pamiętamy, szumy związane ze świstami dochodziły jedynie do ok. 6 kHz (jak się okazało po porównaniu z danymi magnetometrycznymi, odpowiadało to około połowie częstotliwości cyklotronowej — jest to typowa sytuacja w wypadku świstów). W sumie kwadratów możemy zatem zaniedbać przyczynek od pola magnetycznego — jego dokładna znajomość nie jest potrzebna do wyznaczenia gęstości elektronowej. W ten sposób udało się wyznaczyć profil gęstości wzdłuż orbity GALILEO. Ekstrapolacja gęstości do powierzchni Ganimedesa dała wartość około 100 elektronów na centymetr sześcienny — skala wysokości atmosfery wynosi ok. 1000 km. Można mówić o atmosferze, bo profil gęstości jest symetryczny względem punktu największego zbliżenia. Gęstość atmosfery neutralnej jest zapewne wyższa, bo nie wszystkie atomy czy cząsteczki są zjonizowane.

Widma dynamiczne zawierają więcej informacji na temat emisji elektromagnetycznych i elektrostatycznych w magnetosferze Ganimedesa. Wszystkie udało się sklasyfikować w ramach informacji uzyskanych np. z badań magnetosfery Ziemi.

Na zakończenie warto jeszcze wspomnieć o źródle energii świstów w magnetosferze Ganimedesa. Zwykle świsty są produkowane przez elektrony pochwycone w pasach radiacyjnych będących strukturami organizowanymi przez zamknięte linie sił pola magnetycznego. Ponieważ część elektronów jest pochłaniana przez atmosferę, to rozkład prędkości pozostałych cząstek wykazuje niedomiar cząstek o dużych składowych pędu wzdłuż pola magnetycznego. Takie właśnie rozkłady dobrze generują świsty. W przypadku Ganimedesa pomimo obecności świstów nie udało się znaleźć pasów radiacyjnych. Okazało się jednak, że elektrony mogły przedostawać się do magnetosfery Ganimedesa z otaczającej ją magnetosfery Jowisza i po otwartych liniach sił pola docierać aż do powierzchni księżyca. Również obserwacje z Teleskopu Hubble'a zdają się wskazywać na obecność dość energetycznych cząstek naładowanych w pobliżu Ganimedesa — udało się zaobserwować świecenie w ultrafiolecie interpretowane jako pochodzące od emisji zorzowych w okolicach księżyca.

Dla przypomnienia może warto wspomnieć, że GALILEO został wystrzelony w przestrzeń międzyplanetarną z pokładu promu kosmicznego w roku 1989. Na orbitę wokółjowiszową wszedł 7 grudnia 1995 roku. Główne centrum sterowania misją znajduje się w Jet Propulsion Laboratory w Pasadenie w USA. Widma dynamiczne zostały uzyskane przy pomocy odbiornika fal plazmowych, szefem projektu jest prof. Donald A.Gurnett z Uniwersytetu stanu Iowa.

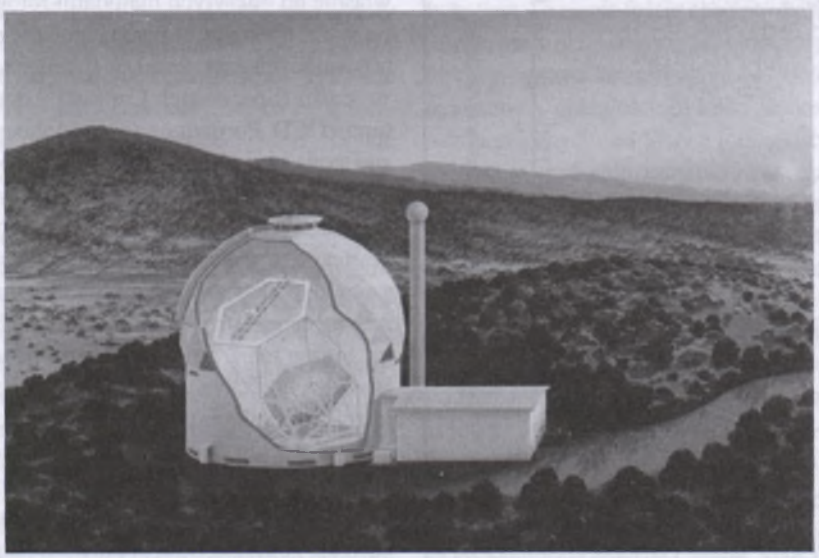
Roman Schreiber

„Oko Teksasu" stało się teleskopem „HET"

Nowy, oryginalnej konstrukcji, wielki teleskop wkrótce rozpocznie astronomiczną służbę w południowo-zachodnim Teksasie. Poczęty jako symbol astronomicznej potęgi Teksasu wielki teleskop nazwany „Oko Teksasu" rodzi się obecnie pod nazwą „teleskop Hobby'ego-Eberley'a" (*Hobby-Eberly Telescope czyli HET*). Dnia 10 grudnia 1996 roku 7 z 91 heksagonalnych zwierciadeł jego mozaikowego lustra odebrało „pierwsze światło" od gwiazd i obserwowany obiekt był „prowadzony" w czasie ekspozycji z dokładnością lepszą niż 0.1 sekundy łuku na sekundę (czasu). W ten sposób zademonstrowano poprawność funkcjonowania budowanego kolosa i praktycznie sprawdzono założenia konstrukcyjne.

Idea tego teleskopu pochodzi z połowy lat siedemdziesiątych od profesora Uniwersytetu Teksaskiego Harlana Smitha (zob. PA 4/94), długoletniego dyrektora Obserwatorium McDonalda w Fort Davis. Chodziło wtedy o teleskop z lustrem o rozmiarach przynajmniej 300 cali (ok. 8 m), zbierający dużo światła gwiazd, ale równocześnie tani i prosty w budowie. Postanowiono zbudować lustro mozaikowe złożone z dużej ilości luster o średnicach ok. 90 cm i nie budować całej konstrukcji mechanicznej pozwalającej na śledzenie ruchem teleskopu za ruchem sklepienia niebieskiego. Była to nowatorska i ambitna idea. Powstała koncepcja teleskopu tranzytowego, przed którym defiluje niebo, a w ograniczonym zakresie może śledzić gwiazdy dzięki ruchowi aparatury odbiorczej w ognisku teleskopu. Z pobudek lokalnego teksaskiego patriotyzmu nazwano go „Oko Teksasu". Na takiej zasadzie pracował już od lat teleskop radiowy w Puerto Rico. Zakres badań tego teleskopu widziano głównie w zastosowaniu metod spektroskopowych, które przecież są głównym źródłem naszej wiedzy o fizyce Kosmosu. Stąd wywodziła się jego oficjalna nazwa: SST — *Spectroscopic Survey Telescope*. Wobec spadku cen ropy naftowej, głównego bogactwa Teksasu na rynkach światowych i związanego z tym znacznego spadku możliwości finansowania tego projektu w ramach stanu Teksas, poszukiwano partnerów do dzielenia zarówno korzyści wynikających z posiadania wielkiego teleskopu, jak i kosztów jego budowy. Tak włączył się do tego projektu we wczesnych latach osiemdziesiątych Uniwersytet stanowy w Pensylwanii. Ustalono, że ma to być teleskop z mozaikowym lustrem sferycznym o średnicy (rzeczywistej) 11 m, złożonym z 91 luster 90 centymetrowych. Efektywnie, zależnie od kierunku obserwacji, czynna powierzchnia zbierająca tego lustra będzie równoważna lustru o średnicy 8-9 m.

Połączone siły Teksasu i Pensylwanii nie podołały jednak kosztom (13.5 mln. dolarów) tego teleskopu. Dopiero dobroczynny wkład Wiliama P. Hobby z Teksasu i Roberta E. Eberly z Pensylwanii oraz udział Uniwersytetu Stanforda (USA) i uniwersytetów z Monachium i Getyngi (RFN) pozwalają zakończyć tę nowatorską inwestycję. Na cześć głównych darczyńców teleskop ten nazwano teleskopem Hobby'ego-Eberley'a (*Hobby-Eberley teleskop — HET*). Stanął on na terenie Obserwatorium McDonalda na MtLocke koło Fort Davis w Teksasie. Jego twórcy są dumni z tego, że instrument ten ma proporcjonalnie bardzo wysoki współczynnik możliwości badawczych w stosunku do poniesionych kosztów. Lawrence W. Ramsey, jeden z głównych realizatorów tego projektu z Pensylwanii, ocenia, że tym teleskopem „za 15% ceny dostajemy 70% nieba". Przypuszcza się, że teleskop zostanie oddany w ręce astronomów na przełomie 1997 i 1998 roku. Jest przeznaczony do badań spektroskopowych takich obiektów, jak m.in. aktywne jądra galaktyk, kwazary, gromady galaktyk, ale też będzie poszukiwał planet wokół normalnych gwiazd i asteroidów przelatujących blisko Ziemi. Równolegle budowane są dla tego teleskopu 3 spektrografy o niskiej, średniej i wysokiej zdolności rozdzielczej. Na ogół sprzężone one będą z teleskopem HET za pomocą światłowodów, dając przez to możliwość równoczesnego uzyskiwania widm wielu obiektów. Oś optyczna sferycznego zwierciadła teleskopu będzie stale skierowana na niebo na punkt w odległości 35° od zenitu, ale cały teleskop będzie miał możliwość obrotu na poziomej podstawie (w azymucie) o 360°. W czasie obserwacji teleskop będzie miał ustalony azymut, a śledzenie obiektów obserwacji będziesię odbywało poprzez ruch korektora aberracji sferycznej lustra głównego za obrazem obiektu w ognisku teleskopu. Czas obserwacyjny może być dzielony na bloki obserwacyjne, w których elektroniczne detektory będą rejestrować i magazynować obrazy i, w miarę potrzeby, dodawać do nich obrazy uzyskane w czasie kolejnych tranzytów obserwowanych obiektów przed lustrem tego teleskopu. Kąt nachylenia lustra głównego do kierunku działania siły grawitacji jest w tym teleskopie zawsze taki sam. Niepotrzebna więc była budowa bardzo kosztownej konstrukcji utrzymującej kształt lustra w różnych pozycjach teleskopu i pozwalającej na poruszanie teleskopem w rytm ruchu Ziemi dookoła własnej osi. I na tym głównie polegają oszczędności kosztów. Powierzchnia mozaikowego lustra będzie srebrzona.



Teleskop HET w krajobrazie teksaskiego obserwatorium.

(aw)

Rotacja małych planet:
od bardzo szybkich do bardzo wolnych

Zastosowanie fotometrii CCD do badania zmian jasności planetoid doprowadziło do gwałtownego wzrostu ilości danych obserwacyjnych, i co istotniejsze, uczyniło możliwym badanie słabszych, a co za tym idzie mniejszych obiektów. W prezentowanej pracy przedstawiamy kilka nowych rezultatów wynikających z analizy takich danych obserwacyjnych, z których większość była otrzymana przez niedawno zmarłego Wiesława Wiśniewskiego*, Polaka, który studiował na Uniwersytecie w Poznaniu (Wiśniewski *i inni*, 1997).

W czasie ostatniego bliskiego przejścia planetoidy 4179 Toutatis koło Ziemi w 1992 roku, na podstawie obserwacji radarowych stwierdzono, że planetka ta jest w „dziwnym" stanie rotacji i okres obrotu jest bardzo długi. Harris (1994), opierając się na pracy Burnsa i Safronova (1973), doszedł do wniosku, że bardzo małe i wolno rotujące planetki mogą mieć czas relaksacji do stanu rotacji wokół osi maksymalnego momentu bezwładności dość długi w porównaniu ze spodziwanym czasem między kolejnymi zderzeniami (dla niektórych planetek może on być porównywalny z wiekiem układu słonecznego):

$$P^3 \approx 17\, D^2.\tau,$$

gdzie P jest okresem rotacji w godzinach, D jest średnicą planetki w kilometrach, a τ jest czasem relaksacji wyrażonym w miliardach lat. Rysunek 1 przedstawia relację między okresami rotacji a średnicami około 700 planetek, dla których znamy okresy obrotu.

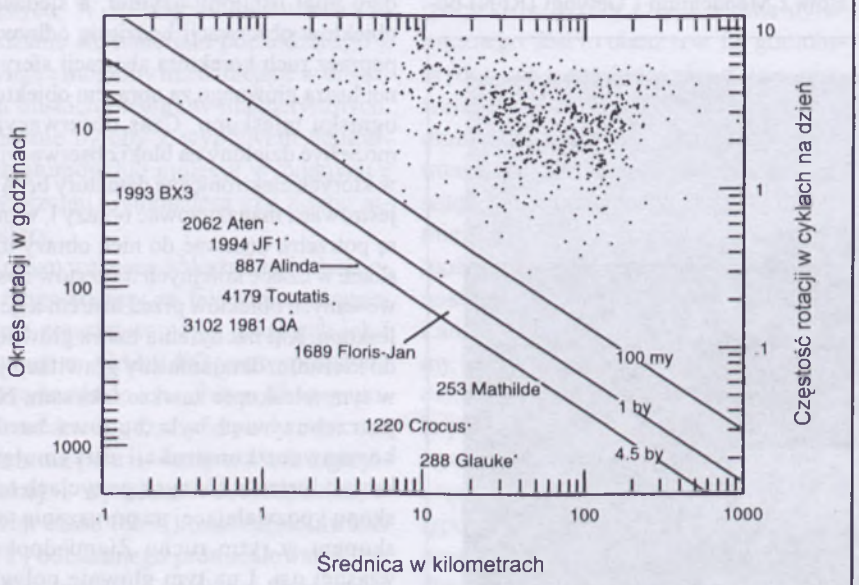
Diagonalne linie odpowiadają rozwiązaniu powyższej zależności dla $\tau = 100$ mln, 1 mld i 4.5 mld lat. Tylko kilka planetek pojawia się w miejscach, gdzie spodziewany jest „koziołkujący" ruch obrotowy. Między nimi jest również Toutatis, dla której krzywe zmian jasności i obserwacje radarowe rzeczywiście potwierdzają taki stan rotacji. Obserwacje zmian jasności kilku innych małych, zbliżających się do Ziemi, planetek wskazują, że one są także w stanach „koziołkującej" rotacji. Być może najbardziej interesująca jest planetka 253 Mathilde (Mottola *i inni*, 1995), w pobliżu której przeleci sonda kosmiczna *NEAR* (*Near-Earth Asteroid Rendezvous*). Jak dotąd nie wiemy, dlaczego niektóre planetki mają tak wolną rotację, z okresami kilku dni a nawet tygodni. Być może przelot sondy *NEAR* przyniesie jakieś rozwiązanie.

Na drugim końcu skali okresu rotacji są małe planetoidy, które rotują tak szybko, że przyspieszenie odśrodkowe na równiku jest prawie równe przyspieszeniu grawitacyjnemu. Ostatnio Harris (1996) ponownie przeanalizował rozkład prędkości obrotu małych planetoid o średnicach mniejszych niż 10 km. Dzięki możliwości korzystania z większej bazy danych obserwacyjnych można stwierdzić, że prawdopodobnie rozkład prędkości rotacji jest „ucięty", a nie gładko spadający do zera wraz ze zmniejszaniem się okresu rotacji.

Ten graniczny okres wynosi około 2 1/4 godziny (rysunek 2). To rzeczywiście sugeruje, że prędkość rotacji planetoid jest ograniczona przez prędkość, przy której ciało uległoby rozerwaniu, co z drugiej strony świadczy o tym, że nawet tak małe planetoidy nie są monolitami. Co więcej, graniczna prędkość wskazuje, że średnia gęstość takich planetek jest około 2.5 g/cm^3, co świadczy o znacznej porowatości skał, z których są one zbudowane. Możemy więc wyciągnąć wniosek, że większość małych planetoid jest raczej „zlepkiem odłamków" niż pojedynczymi skalnymi ciałami.

Trzeci wniosek wynikający z obserwacji Wiśniewskiego nie dotyczy rotacji, lecz populacji tzw. planetoid zbliżających się do Ziemi. Wiśniewski przeprowadził obserwacje fotometryczne wielu planetoid właśnie co odkrytych metodami fotograficznymi jak również przez jego kolegów używających tzw. *kamery kosmicznego strażnika* (Spacewatch Camera) z detektorem CCD. Porównując precyzyjne, wyznaczone przez Wiśniewskiego jasności, z oszacowaniami w momencie odkrycia (tabela 1) znaleźliśmy, że jasności fotograficzne są zawyżone, średnio o 0.7 magnitudo, podczas gdy jasności otrzymane z *kosmicznego strażnika* są bardzo dokładne. Sugerujemy, że to prowadzi do zafałszowania w statystyce populacji planetoid zbliżających się do Ziemi. Największe z nich (> 3 km) mogą być ponownie obserwowane technikami fotometrycznymi, więc ich jasności wykorzystane do oszacowania populacji będą poprawione w porównaniu z początkowymi oszacowaniami. Najmniejsze planetki (< 0.3 km) są

* Sylwetka naukowa Wiesława Wiśniewskiego została nakreślona w PA 1/95 s. 41.



Rys. 1. Zależność okresu rotacji od średnicy dla 688 planetoid. Diagonalne linie reprezentują stały czas relaksacji . Obiekty poniżej tych linii mogą być w stanie „koziołkowania".

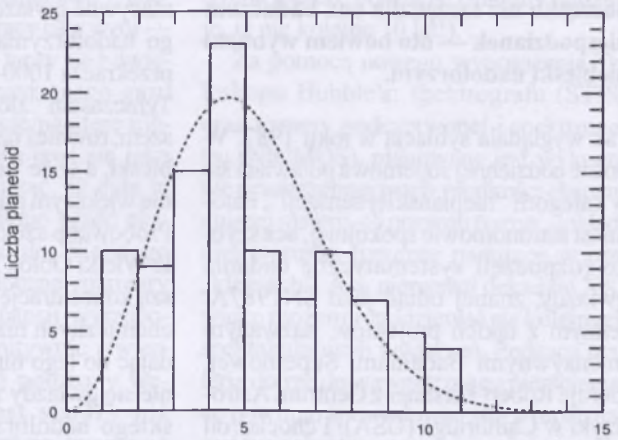
w większości odkryte przez *kosmicznego strażnika*, więc ich jasności są poprawne. Jednak planetki o średnich rozmiarach (między 0.3 a 3 km) są w większości odkrywane na fotografiach i nie są ponownie obserwowane detektorami elektronicznymi, więc większość jasności jest obarczona błędem wspomnianym powyżej. To prowadzi do „przeszacowania" populacji planetek o rozmiarach pomiędzy 0.3 a 3 km. Porównując to z opublikowanymi krzywymi pokazującymi zależność ilości planetek od ich rozmiarów, znajdujemy „garb" dokładnie w tym przedziale. To sugeruje, że jest to sztuczne zawyżenie obserwacyjne, jak wspomniano powyżej.

Alan W. Harris
Wiesław Z. Wiśniewski
Tłumaczył *T. Michałowski*

Artykuł jest referatem wygłoszonym na Kolokwium MUA nr 165 w Poznaniu w lipcu 1996 r. i będzie opublikowany w materiałach tej Konferencji. Dziękujemy wydawnictwu Kluwer Academic Publishers za uprzejmą zgodę na wykorzystanie tych materiałów w PA.

Tab. 1. Porównanie oszacowań jasności odkrytych planetoid zbliżających się do Ziemi.

	Odkrycia sond kosmicznych	Odkrycia fotograficzne
Ilość obiektów zbliżających się do Ziemi w próbce	7	14
Średnia jasność absolutna	19.3	17.2
Średnia średnica	0.4 km	1.0 km
H (fotometr.) – H (odkr.)	–0.07	+0.70



Rys. 2. Histogram częstości rotacji dla 107 planetoid o średnicach mniejszych niż 10 km. Widoczne jest ostre obcięcie powyżej 11 obrotów na dzień w porównaniu ze spodziewanym gładkim spadkiem.

„PIONEER 10" zakończył swą misję

Po 25 latach pracy w Kosmosie sonda międzyplanetarna Pioneer 10 zakończyła swą misję. W dniu 1 kwietnia 1997 roku zostały wyłączone ostatnie działające na niej przyrządy pomiarowe i „zamknięto" ziemskie systemy odbiorcze utrzymujące z nią łączność. Sondy typu „pioneer" służyły zwykle do zwiadowczego, pionierskiego, rozpoznania różnych celów badawczych. W szczególności Pioneer 10 i Pioneer 11 miały za zadanie rozpoznanie możliwości i warunków przejścia statku kosmicznego przez pas planetoid oraz uzyskanie poprzez pomiar *in situ* parametrów fizycznych bezpośredniego otoczenia Jowisza, w tym przede wszystkim magnetosfery jowiszowej i jego (przed misją hipotetycznych) pasów radiacyjnych. Przejście przez pas asteroidów oznaczało nie tylko niebezpieczeństwo zdeżenia z jakąś małą planetką, ale też efekty wywołane przechodzeniem przez chmurę pyłu międzyplanetarnego o nieznanych parametrach, tam skoncentrowanego. Testowano rownież system łączności z sondą. Źródłem energii sondy było (jest, bo ciągle działa i będzie działała jeszcze przez długie lata) radioizotopowe plutonowe ogniwo termoelektryczne. Baterie słoneczne w odległościach kilku jednostek astronomicznych od Słońca (odległość do Jowisza to ok. 5 jedn. astr.) nie zapewniałyby dostatecznej ilości energii. Na Ziemi trzeba było zbudować system odbiorczy „dalekiego zasięgu" oparty na radioteleskopach o 64-metrowej średnicy, aby chwytać słabe sygnały w miarę jak sonda sięgała coraz większych głębin Systemu Planetarnego. Można powiedzieć, że to właśnie sondy Pioneer 10 i Pioneer 11 utorowały kosmiczny szlak dla kolejnych, dużo bardziej złożonych, stacji badawczych dalekiego zasięgu, takich jak Voyagery i Galileo oraz przygotowywanej do drogi ku Saturnowi sondzie Cassini. Start Pioneera 10 nastąpił w dniu 2 marca 1972 roku z Przylądka Kennedy'ego na Florydzie. Ta sonda międzyplanetarna miała funkcjonować przez 2 lata. Jej całkowita masa wynosiła 260 kg, a na jej pokładzie było 11 instrumentów naukowych (z których 2 działały do chwili zakończenia jej misji). Koło Jowisza, w odległości zaledwie 131 tys. km. od jego powierzchni, sonda przeszła w dniu 10 grudnia 1973 roku. Zrobiła około 80 zdjęć planety i jej otoczenia, odkryła pasy radiacyjne, dokonała pomiarów pola magnetycznego i umożliwiła dość szczegółowe poznanie magnetosfery Jowisza. Analiza jej ruchu doprowadziła do lepszego wyznaczenia masy Jowisza (oraz jej rozkładu wewnątrz globu planety) i jego czterech największych satelitów. Pod działaniem pola grawitacyjnego Jowisza jej trajektoria została skierowana poza płaszczyznę ekliptyki, ku gwiazdom. Wyszła z pola grawitacyjnego nie tylko Ziemi, ale i Słońca. Znajduje się obecnie w odległości prawie 10 miliardow km od Ziemi i pędzi w przestrzeni oddalając się od Słońca z prędkością około 45 tys km/godz. Wysyłane przez nią sygnały potrzebowały ostat-

ciąg dalszy na str. 31

SN1987A — zagadka rozwiązana?

23 lutego 1987 roku był ważnym dniem. Ian Shelton wypatrzył na niebie w Wielkim Obłoku Magellana gwiazdę supernową, pierwszy taki obiekt widoczny gołym okiem od 1604 roku. Astronomowie zatarli ręce z zadowolenia — będzie okazja obserwować ewolucję supernowej od samego wybuchu. Szanse były tym lepsze, że gwiazda jest od nas niezbyt odległa. I co ciekawsze, od samego początku nie szczędziła ona badaczom niespodzianek — oto bowiem wybuchł niebieski nadolbrzym.

Tak wyglądała sytuacja w roku 1987. W prasie codziennej supernowa pojawiała się w kategorii "niebiańskiej sensacji", natomiast astronomowie spokojniej, acz szybko rozpoczęli systematyczne badania gwiazdy, znanej odtąd jako SN1987A. Jednym z takich projektów, nazwanym Intensywnymi Badaniami Supernowej, kieruje Robert Kirshner z Centrum Astrofizyki w Cambridge (USA). I chociaż od samego początku nie było powodów do narzekań na brak wartościowych danych obserwacyjnych, to trzeba jednak było trochę poczekać, zanim stała się widoczna sama sprawczyni całego zamieszania. Zaprezentowane zostały niedawno obrazy otrzymane Teleskopem Hubble'a, reprodukowane także na ostatniej stronie okładki poprzedniego numeru "Postępów Astronomii".

Nim opowiemy pokrótce historię SN1987A, na samym wstępie trzeba zaznaczyć, iż jest to najlepiej jak dotąd zbadana supernowa. W pierwszej połowie kwietnia na Uniwersytecie Southampton odbyła się specjalna sesja poświęcona supernowym i pulsarom, na której zaprezentowano co wiemy po tych 10-ciu pracowitych latach. I co więcej, jeżeli model zaproponowany przez Philippa Podsiadlowskiego okaże się słuszny, to będzie można ostatecznie ogłosić rozwiązanie głównej tajemnicy, a mianowicie dlaczego wybuchł

Niebieski Nadolbrzym ?!

Dotychczas wątpliwości nie budziła teza, iż tak gwałtownie kończą swój żywot masywne gwiazdy w stadium czerwonego nadolbrzyma, kiedy to ich promień przekracza 1000-krotnie promień Słońca. Tymczasem "złośliwie" wybuchł — owszem, również nadolbrzym — tyle, że niebieski, a więc "jedynie" o około 40-krotnie większym promieniu, niźli słoneczny! Próbowano szukać wyjaśnienia w fakcie, iż Wielki Obłok Magellana ma nieco niższą koncentrację cięższych pierwiastków chemicznych niż Droga Mleczna, dokładając do tego hipotetyczne przekształcenie się gwiazdy z czerwonego do niebieskiego nadolbrzyma, jakieś 30000 lat temu. Najnowsze obliczenia są jednakże bezwzględne wobec takiej wizji (aczkolwiek, jak przekonamy się później, rozwiązanie było blisko...) — nawet gdyby coś takiego zadziałało, pozostają dwie inne główne zagadki SN1987A: a) znacząca część materii z jądra gwiazdy wydaje się być całkowicie wymieszana z jej zewnętrznymi warstwami; b) dlaczego mgławica otaczająca supernową — niewątpliwie piękna sama w sobie — jest tak skomplikowana?

Jak już wiemy, trzeba było poczekać 10 lat, by móc odpowiedzieć na te pytania. Niemniej jednak, przez te wszystkie lata można było uważnie śledzić ewolucję obiektu, sprawdzając poprawność modeli opisujących zachodzące tam zjawiska. Przyjrzyjmy się i my dotychczasowemu życiu naszej bohaterki.

Nim jej dramat zaczął się rozgrywać na naszych oczach, w centrum presupernowej miały miejsce bardzo gwałtowne wydarzenia. Jądro gwiazdy zapadło się, tworząc gwiazdę neutronową (choć trzeba zaznaczyć, że uczeni nie wykluczają możliwości dalszej jej kontrakcji, aż do czarnej dziury; ponadto, jak dotąd nie zaobserwowano tam pulsara). Dzisiaj możemy już z większą pewnością powiedzieć, jak właściwie taki kolaps powoduje w konsekwencji rozerwanie całej gwiazdy. Winą należy obarczyć nie mniej tajemnicze cząstki — neutrina, które w ilości sztuk 19, istotnie zaobserwowano owego pamiętnego dnia 23 lutego. Uwolnione z gwiazdy neutronowej olbrzymie ilości neutrin, unoszą wyzwoloną energię grawitacyjną, przekazując ją warstwom leżącym powyżej. Powoduje to rozgrzanie materii do niewyobrażalnie wysokiej temperatury, co wytwarza niestabilności, zapoczątkowujące propagację fali uderzeniowej, która przetaczając się ku powierzchni gwiazdy, powoduje jej nieuchronną "rozsypkę". Oprócz wspomnianej detekcji neutrin, scenariusz taki wspiera obserwowane podczerwone widmo supernowej. Wciąż jednakże nie wiemy co determinuje, jaki ułamek swej energii przekazują neutrina w tej pierwszej fazie eksplozji.

Fala uderzeniowa w trakcie swej wędrówki przez gwiazdę, inicjowała eksplozywną nukleosyntezę, w wyniku której powstawały nowe pierwiastki chemiczne. W szczególności, pojawiło się około 0.1 M radioaktywnego niklu ^{56}Ni, co w pełni potwierdzają obserwacje. Spektroskopia podczerwona wykazała obecność produktu rozpadu tego niklu do kobaltu ^{56}Co, który z kolei przekształca się w żelazo ^{56}Fe. I to właśnie takie rozpady radioaktywne są odpowiedzialne za podtrzymywanie emisji z superno-

Ewolucja SN1987A w latach 1994-96. Zdjecie wykonane Teleskopem Hubble'a przez R.Kirshnera i J. Puna.

wej. Dodatkowo wiele wskazuje na to, że eksplozja i nukleosynteza nie były ściśle sferycznie symetryczne. Nikiel został prawdopodobnie wyprodukowany w około stu gęstych obszarach, niewykluczone że mających postać „palców" skierowanych radialnie na zewnątrz. Gdy nikiel rozpadał się do kobaltu, a ten dalej do żelaza, obszary te podlegały ekspansji względem reszty wyrzuconej materii, a zatem nastąpiło intensywne, wielkoskalowe jej wymieszanie. I to również wykazują badania spektroskopowe, zwłaszcza w bliskiej i dalekiej podczerwieni; asymetria wybuchu natomiast mogłaby bez trudu odpowiadać za duże prędkości własne wielu obserwowanych pulsarów.

W miarę trwania ekspansji wyrzuconej materii można było obserwować nie tylko atomy, ale także powstawanie znaczących ilości molekuł i pyłu. Na przykład tlenek węgla odgrywał ważną rolę w chłodzeniu wielkich obszarów tego materiału; pył powstał w gęstych, nieprzezroczystych do dziś „palcach". Kiedy supernowa osiągnęła wiek około dwóch lat, nastąpiły dwa zdarzenia, określone jako „katastrofa podczerwona" i „wymrożenie". Nie wdając się w szczegóły trzeba powiedzieć, że wyjaśnienie tych procesów jest konieczne, jeśli chcemy zrozumieć sposób, w jaki kształtowane są krzywa blasku i widmo supernowej, długo po jej wybuchu.

W 1990 roku w dziedzinie radiowej zaczęło być widoczne zderzanie się materii wyrzuconej z okołogwiazdową. Emisja radiowa stale wzrastała, a efekty oddziaływania obu obszarów materii zarejestrowano obecnie również w promieniowaniu rentgenowskim i w dalekiej podczerwieni.

Najnowsze obrazy z Teleskopu Hubble'a ujawniły nareszcie strukturę „śmieci" pozostałych po supernowej. Mają one obecnie wielkość około 1/6 roku świetlnego i tworzą strukturę złożoną z dwóch „kleksów", oddalających się od siebie z prędkością blisko 10 milionów km/s i ciemnego obszaru pomiędzy nimi (związanego być może z równikowym pasem materii, istniejącej jeszcze wokół presupernowej). Wydaje się poza tym, że ekspansja tej materii następuje w kierunku prostopadłym do płaszczyzny wewnętrznego pierścienia, otaczającego supernową. I tak dotarliśmy na próg rozwiązania zagadki SN1987A. Jak twierdzi dr Podsiadlowski, trzeba zwiększyć liczbę bohaterów w tej opowieści i zapostulować

Układ Podwójny!

Według uczonego gwiazda przed wybuchem należała do ciasnego układu podwójnego, jednakże jakieś 30 000 lat temu wchłonęła drugi składnik. Przyjrzyjmy się bliżej, jak zmieni to obraz sytuacji.

Zmierzyć się trzeba ze skomplikowanym rysunkiem, jaki tworzy mgławica otaczająca pozostałości po supernowej, doskonale widoczne na zdjęciach z teleskopu Hubble'a. Dominujący cały wzór — wewnętrzny pierścień — łączy się z dwiema pętlami bardzo rozrzedzonego gazu (tak rzadkiego, iż w rzucie na sferę niebieską sferyczna struktura jawi się jako pierścień). Należy pamiętać, iż cała ta mgławica powstała na długo przed eksplozją. Znając odległość do Wielkiego Obłoku Magellana, widoczne rozmiary mgławicy i prędkość ekspansji wyrzuconej materii, można definitywnie stwierdzić, że nawet najbliżej położony wewnętrzny pierścień jest starszy niż SN1987A. Mówiąc w skrócie, tworzą go owoce aktywności ostatnich 30 000 do 60 000 lat, kiedy to progenitor intensywnie pozbywał się materii, którą później ścisnął wiatr niebieskiego nadolbrzyma.

Godne uwagi jest to, że nie jest nam potrzebny jakiś wyjątkowy układ podwójny — wystarczy całkiem typowa para gwiazd, byle połączenie tych dwóch gwiazd nastąpiło po wypaleniu całego helu w jądrze progenitora. Podczas złączenia, trwającego tylko kilka lat lub co najwyżej dekad, drugi składnik jest całkowicie niszczony, a jego materia zostaje wymieszana z otoczką i częścią jądra presupernowej. Otrzymujemy zatem gwałtownie rotującą gwiazdę z dokładnie wymieszaną otoczką — co tłumaczy taką obserwowaną osobliwość. Gwiazda taka dąży potem do przekształcenia się w niebieskiego nadolbrzyma, w tym celu musi się wszakże pozbyć części swej masy, z racji zbyt gwałtownej rotacji. Wokół równika formuje się dysk, a kiedy gwiazda jest już w fazie niebieskiego nadolbrzyma, jej silny wiatr gwiazdowy „wymiata" go na zewnątrz, przyczyniając się do powstania widocznego obecnie wewnętrznego pierścienia. Zewnętrzne pętle natomiast to wynik oddziaływania wiatrów gwiazdowych obu składników układu podwójnego jeszcze przed ich połączeniem.

* * *

Scenariusz „zlania" się gwiazdy podwójnej w jeden obiekt najlepiej tłumaczy dotychczasowy życiorys SN1987A. Przedstawiony model przewiduje ponadto specyficzne anomalie chemiczne, które powinny pojawić się podczas samego połączenia. Ich wykrycie dostarczyłoby znakomitego potwierdzenia teorii. Na to trzeba jeszcze poczekać (miejmy nadzieję, iż nie kolejne 10 lat!).

Za pomocą nowego wyposażenia Teleskopu Hubble'a: spektrografu (STIS) oraz kamery podczerwonej i spektrometru (NICMOS), planowane jest wykonanie przestrzennej mapy prędkości ekspandującej materii, co pozwoli poznać dokładniej warunki fizyczne panujące w obu „kleksach". A w pierwszej dekadzie XXI wieku możemy spodziewać się kolejnych spektakularnych wydarzeń. Pędząca materia dotrze do wewnętrznego pierścienia, co powinno spowodować stu- a może nawet tysiąckrotny wzrost jasności tego obszaru. Będzie to zarazem wspaniałe laboratorium do badania, w czasie rzeczywistym, oddziaływania fali uderzeniowej z materią i przyspieszania cząstek.

Marek Gołębiewski

ciąg dalszy ze str. 29

nio przeszło 9 godzin, aby dotrzeć do Ziemi, Ich moc z tej odległości była już za słaba, aby przekazywć nam dobrej jakości informacje naukowe, co było głównym powodem wyłączenia stacji. Za około 30 tys. lat Pioneer 10 minie w odległości ok. 3 lat świetlnych gwiazdę Ross 248 w gwiazdozbiorze Byka. Na jego pokładzie znajduje się plakietka informująca ewentualne pozaziemskie cywilizacje o naszym istnieniu, naszej wiedzy i przyjaznym nastawieniu do Innych w Kosmosie (patrz PA 1/97 str. 41).

Misja sondy kosmicznej Pioneer 11, wysłanej 5 kwietnia 1973 roku zakończyła się w końcu 1995 roku z powodu wyczerpania się jej pokładowego źródła energii. Ostatni kontakt z nią był w listopadzie 1995. Obecnie sonda ta pędzi w kierunku gwiazdozbioru Orła i być może przejdzie w pobliżu jednej z jego gwiazd za około 4 miliony lat. I na jej pokładzie również znajduje się plakietka z informacją o nas, Ziemianach. (aw)

Pożegnanie z planetą wokół 51 Peg?

Przed dwoma laty Michael Mayor i Didier Queloz z Obserwatorium Genewskiego, po kilkunastu miesiącach żmudnych obserwacji i pomiarów, opublikowali w *Nature* sensacyjną wiadomość o odkryciu wokół podobnej do Słońca gwiazdy 51 Pegasi planety o masie co najmniej pół masy Jowisza (patrz PA 4/95, s. 158). Pewne niedowierzanie budził fakt, że planeta miałaby krążyć wokół gwiazdy z okresem orbitalnym zaledwie 4.23 dni, na kłopotliwie niskiej, kołowej orbicie o promieniu około 0.05 jednostki astronomicznej, a więc nie tylko około 8 razy bliżej, niż wynosi odległość Merkurego od Słońca, ale zaledwie kilka promieni gwiazdy nad jej powierzchnią. Wyraźna separacja na planety gęste, małe i bliskie Słońca oraz wielkie, rzadkie, ale odległe w Układzie Słonecznym wywołana jest oczywistym wywianiem lekkich pierwiastków z planet wewnętrznych z powodu silnego ogrzewania przez Słońce. Z Jowisza wstawionego przez jakiegoś kosmicznego guru na orbitę Merkurego zapewne po niedługim czasie zostałoby niewiele więcej niż z Ziemi lub Wenus. Istnienie więc planet o porównywalnych z Jowiszem masach w tak bliskich odległościach od gwiazdy centralnej sprawiłoby dużo kłopotów w rozumieniu mechanizmów powstawania układów planetarnych i narobiłoby zamieszania w rachunkach ewolucyjnych. Wydawało się, że sytuacja jeszcze się pogorszyła, gdy do pogoni za planetami włączyli się Goeffrey Marcy z Uniwersytetu Stanowego w San Francisco i Paul Buttler z Obserwatorium Licka, którzy nie tylko potwierdzili odkrycie Mayora i Queloza, ale spośród ponad 100 przebadanych gwiazd co najmniej do dwóch dorzucili kolejne planety. Niedługo z różnych obserwatoriów dysponujących aparaturą do pomiarów spektralnych o odpowiednio dużej zdolności rozdzielczej sypnęło planetami jak z przysłowiowego rogu obfitości (patrz PA 1/96 s. 31-32). Masywne planety wokół τ Boo, η And ρ Cnc i innych gwiazd, o okresach orbitalnych od kilku dni, poprzez kilka tygodni, aż do kilku lat w przypadku 47 UMa i 16 Cyg B, szybko wydały się faktem i... teoretycy zabrali się do pracy.

Swoista euforia trwała aż do początku obecnego roku, kiedy to David Gray z Uniwersytetu Western Ontario w Kanadzie najpierw rozesłał tzw. preprint, a potem opublikował w *Nature* (vol. 385, s. 795-796) pracę, dzięki której istnienie planety wokół 51 Peg, a pewnie i innych, stało się wątpliwe. Gray jest niezwykle doświadczonym spektroskopistą, w tym również autorem znanego podręcznika o obserwacjach i analizie fotosfer gwiazdowych, na którym zdążyło się już wychować kilka pokoleń astrofizyków, w tym pewnie zarówno Mayor i Queeloz, jak i Marcy z Butlerem, nie mówiąc o autorze niniejszej notatki.

Na czym polega analiza wykonana przez Graya? Jak wiadomo, wykrycie wszystkich domniemanych planet wokół gwiazd podobnych do Słońca opiera się na niezwykle precyzyjnych pomiarach prędkości radialnych tych gwiazd i wykryciu minimalnych — nie przekraczających prędkości kilkudziesięciu metrów na sekundę (!) — cyklicznych zmian tych prędkości wskutek ruchu gwiazdy wokół wspólnego środka masy z planetą, a więc pod wpływem oddziaływania grawitacyjnego tej domniemanej planety. Jest to stara jak świat, a przynajmniej jak astrofizyka, metoda odkrywania spektroskopowych układów podwójnych. W zastosowaniu do planet jednak, wskutek ich niewielkich w porównaniu z gwiazdą mas, wymaga niezwykłej precyzji pomiaru prędkości radialnych. Potrzebne do tego są nie tylko spektrografy o największych możliwych spektralnych zdolnościach rozdzielczych, ale i widma o bardzo wysokim stosunku sygnału do szumu. Obserwacje takie stały się możliwe ostatnio — z jednej strony dzięki coraz większej powszechności teleskopów o wielometrowej średnicy, jak teleskop Kecka, albo właśnie próbowany teleskop Hobby-Eberly (HET) w Teksasie (patrz s. 27 w tym zeszycie PA), ale przede wszystkim dzięki zastosowaniu detektorów CCD w astronomii. Wszystkie obserwacje, o których tutaj mowa, wykonano przy użyciu „zaledwie" 2- lub 3-metrowych teleskopów z doskonałymi spektrografami. Warto przy okazji zauważyć, że istnieje mglisty projekt udziału Polski w budowie repliki „Kecka" bądź „HETa" na Wyspach Kanaryjskich lub w Południowej Afryce. Warto zauważyć, że jeżeli pomiary prędkości radialnych opierają się na pomiarach przesunięć fotosferycznych linii widmowych, to linie takie tylko wskutek rotacji gwiazd i ruchów turbulentnych osiągają w gwiazdach podobnych do Słońca szerokość „połówkową" (w połowie głębokości) 1.5-2.5 km/s. Poszukując więc efektów na poziomie kilku metrów na sekundę, wchodzimy w detale na poziomie kilku promili szerokości linii. Nietrudno sobie wyobrazić, że jeżeli nauczymy się mierzyć efekty na takim poziomie, można nie tylko wykryć bardzo niewielkie ruchy całej gwiazdy, ale i bardzo niewielkie ruchy w samej fotosferze gwiazdy. Oczywiste jest, że ruch orbitalny będzie powodował przesuwanie się całej linii, natomiast ruchy materii w cienkiej, kilkudziesięciokilometrowej warstwie atmosfery gwiazdy (gdzie powstaje linia) mogą się objawiać poprzez zmianę kształtu linii. Dokładność pomiarów prędkości radialnych w gwiazdach może więc sięgać

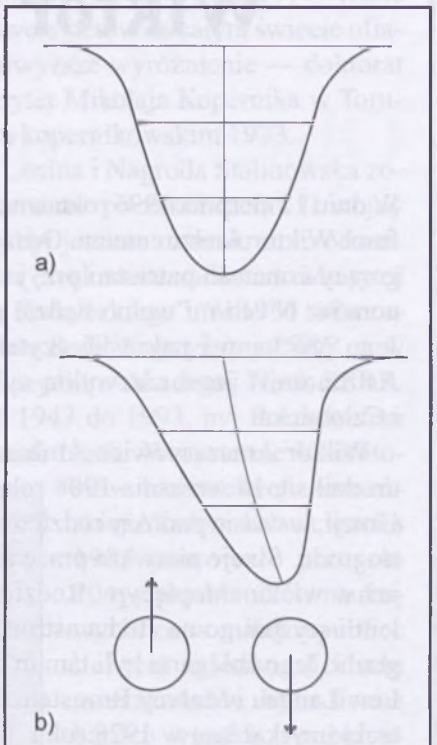
2.5 m/s, co jest zupełnie wystarczające jeżeli zważyć, że Jowisz wywołuje „kolebania" Słońca o amplitudzie 12.5 m/s. W żadnym jednak wypadku cykliczny, orbitalny ruch nie może zmienić kształtu profilu linii. Oczywiście analiza kształtu linii jest o wiele trudniejsza niż tylko pomiar jej globalnego położenia. A jednak Gray tego dokonał! Z jego pomiarów wynika niemal niezbicie, że kształt linii w 51 Peg zmienia się, i to dokładnie z okresem odpowiadającym okresowi orbitalnemu domniemanej planety, z czego wynika, że wprawdzie wykryte przez Mayora i Queloza zmiany prędkości radialnych są realne, ale w żadnym wypadku nie mogą pochodzić z ruchu orbitalnego i domniemana planeta wokół tej gwiazdy nie istnieje!

Badania kształtu linii widmowych najlepiej prowadzić poprzez analizę tzw. bisektorów (patrz rysunek). Poziome linie łączące „niebieski" (krótkofalowy) i „czerwony" (długofalowy) brzeg lini dzieli się na pół i otrzymana z połączenia punktów podziału krzywa jest miarą kształtu i asymetrii linii. Przyczyn asymetrii może być wiele, jednak w konwektywnych fotosferach zwyczajnych karłów takich jak Słońce wywołana jest ona przede wszystkim granulacją powierzchni. Fotosfera taka to po prostu kipiący garnek, w którym gorętsze bąble wydostają się na powierzchnię, a te już ochłodzone opadają. Te gorętsze, a więc przybliżające się, niosą trochę więcej energii i tak powstaje asymetria linii. Do pomiarów takich efektów potrzebne są widma o najlepszych zdolnościach rozdzielczych i najwyższych stosunkach sygnału do szumu. Gray przeanalizował 39 obserwacji 51 Peg w latach 1989-96 w zdolności rozdzielczej $\lambda/\Delta\lambda \approx 100000$, badając „bisektory" linii żelaza niezjonizowanego FeI λ6252.57Å. Maksymalna rozpiętość linii bisektorów (w m/s) okazała się zmienna z okresem 4.25 dni, równym okresowi orbitalnemu domniemanej planety z amlitudą ± 45 m/s, bliską tej zmierzonej przez Mayora i Queloza oraz Marcy ze współpracownikami (± 56-59 m/s). Kształt linii bisektorów, a zwłaszcza rozpiętość jej wygięcia, zależy od temperatury i jasności gwiazdy. Aby upewnić się czy otrzymany zaskakujący wynik jest realny, Gray przeprowadził dodatkowo analizę stosunku centralnych głębokości (parametru o wiele łatwiej i dokładniej mierzonego niż bisektory) linii wanadu VI λ6251.83Å i wspomnianej wyżej bliskiej linii żelaza. Linie te mają znaną różną czułość na temperaturę i oczywiście w taki sam sposób powinny ulegać poszerzeniu dopplerowskiemu (wskutek ruchu). Stosunek ten okazał się zmienny na poziomie 5% z tym samym okresem 4.27 dni. Wydaje się to przekonywać ostatecznie, że przynajmniej w przypadku 51 Peg mamy do czynienia z nieznaną dotąd, fizyczną zmiennością w atmosferze gwiazdy, w żadnym zaś wypadku z ruchem orbitalnym wywołanym domniemaną planetą.

Powyższy wynik budzi jednak kilka zastrzeżeń i jeszcze więcej pytań. Przede wszystkim nie można na razie zidentyfikować procesu fizycznego odpowiedzialnego za obserwowane zmiany. Narzucająca się identyfikacja z okresem rotacji gwiazdy nie wytrzymuje konfrontacji z całkowitym poszerzeniem rotacyjnym linii, który wydaje się co najmniej kilkukrotnie dłuższy. Z kolei powiązanie zmienności z oscylacjami nieradialnymi nie wytrzymuje porównania ze Słońcem, gdzie jak wiadomo mają one okres około 5 minut. Gray zauważa jednak, że 51 Peg jest — w porównaniu ze Słońcem — już nieco bardziej odewoluowana w stronę czerwonych olbrzymów, gdzie mogą pojawić się bardziej długookresowe pulsacje w modach grawitacyjnych. To jednak szczegóły. Bardziej jest jednak istotne, że wszelkie globalne zmiany fotosferyczne (wszak na widmie obserwuje się obraz uśredniony całej fotosfery) powinny dać również jakąś zmienność fotometryczną. Wprawdzie na poziomie około tysięcznej części wielkości gwiazdowej prawie wszystkie gwiazdy okazują się zmienne, jednak cyklicznych zmian blasku z okresem 4.27 dni w 51 Peg do tej pory nie wykryto. Być może jest to tylko kwestia czasu, a być może mechanizm powstawania odkrytej zmienności jest zupełnie inny i nie powoduje zmian blasku.

Wydaje się, że jeżeli wynik Graya potwierdzi się, a spodziewam się takich masowych potwierdzeń, wszystkie niedawno odkryte rzekome planety wokół gwiazd podobnych do Słońca o krótkich okresach orbitalnych nie istnieją. Trudniej będzie się uporać z odrzuceniem (lub potwierdzeniem) istnienia tych na szerszych, „jowiszopodobnych", orbitach. Miejmy nadzieję, że przetrwają.

Maciej Mikołajewski



a) Symetryczna linia z poszerzeniem rotacyjnym.
b) Elementy (bąble) gorętrze unoszą się ku górze i wnoszą nieco więcej energii niż opadające elementy chłodniejsze. Turbulencja powoduje więc nie tylko poszerzenie linii, ale i jej asymetrię schematycznie pokazaną na rysunku.

Z OSTATNIEJ CHWILI:

Kiedy już oddawałem powyższy tekst do druku, zauważyłem w Astrophysical Journal (Vol. 478, s. 374) pracę Artie P. Hatzesa i współpracowników z Obserwatorium McDonalda w Teksasie, stawiającą wyniki Graya pod dużym znakiem zapytania. Ich obserwacje 51 Peg wykonane 2.7 m teleskopem i spektrografem z imponującą efektywną zdolnością rozdzielczą $\lambda/\Delta\lambda \approx 170000$ nie potwierdzają zmiennego kształtu linii i rozpiętości bisektorów uzyskanych przez Graya... przynajmniej w granicach błędu. Podobny rezultat dotyczy zmiany szerokości równoważnej niektórych linii. Kłopotliwe jest również ograniczenie zmienności fotometrycznej gwiazdy poniżej 0.0007 wielkości gwiazdowej. W sumie daje to ograniczenia na zmiany temperatury gwiazdy około 4 K! Autorzy wykluczają w związku z tym możliwość występowania pulsacji nieradialnych. Godzi się jednak zauważyć, że uzyskany wynik w granicach błędu zgadza się z wynikiem Graya, bo autorzy opublikowali wynik tylko dla obserwacji w trzech różnych fazach okresu 4.25 dni. Niby tęsknimy za planetami, a jednak czuję, że autorzy opublikowali pracę za wcześnie. Sprawa planety jest więc wciąż otwarta.

M.M.

Wiktor A. AMBARCUMIAN
1908 – 1996

W dniu 12 sierpnia 1996 roku zmarł w Erewaniu profesor Wiktor Ambarcumian. Odszedł Wielki Uczony, gorący armeński patriota i przyjaciel polskich astronomów. Niech mi wolno będzie pochylić czoła nad Jego prochami i nakreślić czytelnikom „Postępów Astronomii" jego niezwykłą sylwetkę Naukowca i Człowieka.

Wiktor Amazaspowicz Ambarcumian, Ormianin, urodził się 18 września 1908 roku w Tbilisi, stolicy Gruzji, w czasie podróży rodziców z Armenii do Piotrogrodu. Swoje pierwsze prace astronomiczne pisał już w wieku chłopięcym. Rodzice docenili Jego talent i wysłali go na studia astronomiczne do Leningradu. Jego kolegami byli tam m.in. George Gamow, Lew Landau i Matvey Bronstein. Dyplom uniwersytecki uzyskał tam w 1928 roku. Nad swym doktoratem pracował w słynnym i zasłużonym dla astronomii obserwatorium w Pułkowie pod Leningradem w latach 1928-1931. Opiekę naukową sprawował nad nim Aristarkh Belopolsky, dla którego Ambarcumian zachował wielki szacunek do końca życia. Tylko w pierwszych dwóch latach tego okresu młody astronom opublikował 22 prace w międzynarodowych czasopismach astronomicznych! Jego praca *The Quantization of Space* przedstawiona na konferencji w Odessie w 1930 roku w obecności m.in. Sommerfelda, Pauliego, Jordana i Diraca, w opinii Pauliego wyprowadziła elektrodynamikę kwantową z impasu, w którym ta gałąź fizyki podówczas się znalazła. Z początkiem lat trzydziestych Wiktor Ambarcumian rozpoczął pracę wykładowcy Uniwersytetu Państwowego w Leningradzie, a w roku 1934, w wieku zaledwie 26 lat, został mianowany profesorem astrofizyki tego uniwersytetu. Od tego czasu organizuje w Leningradzie badania astrofizyczne i kieruje z Jego inicjatywy utworzoną Katedrą Astrofizyki tamtejszego uniwersytetu przez przeszło 10 lat, do czasu przeniesienia się do Armenii w 1946 roku. Jest „ojcem" radzieckiej astrofizyki teoretycznej, a Jego książka *Theoretical Astrophysics*, wydana w 1958 roku przez wydawnictwo Pergamona w Wielkiej Brytanii (po kilku wcześniejszych wydaniach w języku rosyjskim) stała się astrofizyczną biblią dla ówczesnej generacji astronomów na całym świecie.

Od drugiej połowy lat 30-tych pochłaniała Go idea budowy wielkiego obserwatorium astrofizycznego w Jego ojczystej Armenii. Oficjalnie utworzone w 1946 roku Obserwatorium Biurakańskie było Jego autorskim pomysłem. Przez wiele dziesiątków lat kierował tą placówką, a ona czerpała projekty badawcze z jego nowatorskich idei i mało ortodoksyjnych koncepcji budowy otaczającego nas świata gwiazd i galaktyk. Od 1947 roku Wiktor Ambarcumian był profesorem astrofizyki w Państwowym Uniwersytecie w Erewaniu, trochę później członkiem Akademii Nauk ZSRR i Armeńskiej Akademii Nauk. Był też twórcą międzynarodowego czasopisma astrofizycznego „Astrofizyka", którym kierował, podobnie jak Obserwatorium Biurakańskim, do połowy lat 80-tych.

W początkach swej kariery naukowej Wiktor Ambarcumian uprawiał astrofizykę teoretyczną. Interesował Go przepływ promieniowania w gwiazdach i teoria rozproszenia światła w atmosferach planetarnych. Później Jego zainteresowania skierowały się na ewolucję gwiazd, problem tworzenia się gwiazd oraz pochodzenia i ewolucji systemów gwiazdowych. W latach 1941-43 wysunął koncepcję istnienia asocjacji gwiazdowych. Wcześniej znane były gromady gwiazdowe — luźne i mało liczne (gromady otwarte), lub zwarte i bardzo bogate w gwiazdy (gromady kuliste) skupiska gwiazd. Ambarcumian zauważył, że pewne grupy gorących gwiazd (typów widmowych O i B) stanowią dynamicznie niestabilne systemy (asocjacje) gwiazdowe i wobec tego muszą być znacznie młodsze niż ogół populacji gwiazdowej. Ta koncepcja legła u podstaw naszego dzisiejszego rozumienia procesów prowadzących do powstawania gwiazd, które trwają w sposób ciągły od zarania Świata i dzieją się obecnie nieomal na naszych oczach, co „Postępy Astronomii" wielokrotnie pokazywały. Ambarcumian postulował, że asocjacje gwiazdowe wzięły początek w supergęstych chmurach pierwotnej materii i nawet, że tam miały też swój początek galaktyki. To On pierwszy (już w latach 30-tych) wysunął, dziś powszechnie przyjmowaną, ideę postrzępionej, chmurowej, struktury materii międzygwiazdowej. On też pierszy mówił o aktywnych jądrach galaktyk (AGN), na wiele lat zanim takie obiekty rzeczywiście odkryto. Na brukselskiej konferencji Solvay'a (*Solvay Conference on Physics*) w roku 1958 Ambarcumian przedstawił swą wizję wielkich wybuchów i wyrzutów wielkich ilości materii z jąder galaktyk oraz konieczności

istnienia w takich jądrach ciał o wielkich masach i nieznanej naturze. Dziś już na pierwszych latach studiów uczymy naszych studentów o aktywnych jądrach galaktyk i czarnych dziurach. Ale wtedy, w czasie przerwy w obradach konferencji, Walter Baade, słynny astronom amerykański, podszedł do Ambarcumiana i powiedział: *„Panie profesorze, Pan pochodzi ze Związku Radzieckiego, a ja z Ameryki. Pan powinien więc być materialistą, a ja idealistą. Ale to co Pan przed chwilą powiedział, jest niczym innym jak tylko czystym idealizmem! To jest fantastyczne! Pan mówi o jakiegoś rodzaju „niegwiazdowych" obiektach, których nikt nigdy nie widział. Więc musi to być coś niepojętego, coś tajemniczego*". Jeden z uczniów Ambarcumiana, B. Markarian, wykonał później w Obserwatorium w Biurakanie duże obserwacyjne studium galaktyk, o których mówił jego Mistrz, i dziś wyróżniamy klasę galaktyk z nadwyżką promieniowania w ultrafiolecie, zwaną galaktykami Markariana. A Obserwatorium Astrofizyczne w Biurakanie gościło w latach 1966 i 1986, 10 i 30 lat po wysunięciu koncepcji istnienia AGN-ów, duże międzynarodowe konferencje poświęcone badaniom tych obiektów.

Ambarcumian otrzymał wiele wyróżnień i nagród zarówno w Związku Radzieckim jak i na forum międzynarodowym. Trzeba powiedzieć, że międzynarodowa społeczność astronomiczna ceniła Go najwyżej ze wszystkich radzieckich astronomów. Najpierw Międzynarodowa Unia Astronomiczna wybrała Go swym wiceprezesem, a w 1961 roku powołała na stanowisko Prezydenta, co było powszechnie rozumiane jako uznanie z jednej strony dla Jego wybitnych osiągnięć naukowych, a z drugiej dla klasy Uczonego i Człowieka, jaką okazał w trudnych, stalinowskich, latach zimnej wojny. Później (1970 – 1974) był też prezydentem Międzynarodowej Rady Unii Naukowych (*International Council of Scientific Unions — ICSU*). W roku 1960 brytyjskie *Royal Astronomical Society* (którego członkiem stowarzyszonym był od roku 1953) przyznało Mu swój złoty medal, a amerykańskie Towarzystwo Astronomiczne Pacyfiku medal im. Bruce'a. Akademie nauk przeszło 25 krajów nadały Mu honorową godność członka zagranicznego. Polska Akademia Nauk zrobiła to w roku 1974. Wiele renomowanych uniwersytetów na całym świecie ofiarowało Mu swe najwyższe wyróżnienie — doktorat honorowy. Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu zrobił to w roku kopernikowskim 1973.

Pierwszy Order Lenina i Nagroda Stalinowska zostały Mu przyznane zaraz po zakończeniu II wojny światowej. Później był jeszcze czterokrotnie odznaczany tym orderem i dwukrotnie nadawano Mu tytuł „bohatera Związku Radzieckiego". W 1950 roku został deputowanym do Rady Najwyższej ZSRR, a w 1961 członkiem Prezydium Akademii Nauk ZSRR. Przez wiele lat, od 1947 do 1993, był Prezydentem Armeńskiej Akademii Nauk. W systemie laboratoriów badawczych Armeńskiej Akademii Nauk w roku 1985 pracowało przeszło 20 tys. pracowników naukowych, co w małej republice liczącej zaledwie 3.5 mln mieszkańców, było liczbą bardzo wysoką. Ambarcumian był z tego bardzo dumny. Gdy został (z urzędu) członkiem Komitetu Centralnego KPZR, stał się gorącym obrońcą nie tylko spraw nauki, ale przede wszystkim rzecznikiem interesów Armenii na tym forum. Po upadku ZSRR nadano Mu tytuł Bohatera Narodowego Armenii. W roku 1990, w wieku 82 lat, wziął udział w trzytygodniowym strajku głodowym w proteście przeciw łamaniu przez ZSRR praw ludzkich w Nagorno-Karabachu, armeńskiej enklawie Azerbejdżanu.

Powszechny w środowiskach astronomicznych na całym świecie był wielki szacunek i uznanie autorytetu naukowego i moralnego akademika Ambarcumiana. O Jego pracach naukowych mówiono, że były oryginalne i rewolucyjne oraz że wyróżniały się matematycznym pięknem i dokładnością. Inny wielki astronom Subrahmanyan Chandrasekhar, składając Mu gratulacje z okazji 80-tych urodzin, napisał: ***„On jest par exellence astronomem. Nie ma chyba więcej niż dwóch lub trzech astronomów w całym XX wieku, którzy mogą spoglądać na swe tak bardzo zasłużone i oddane postępowi astronomii życie"***.

Andrzej Woszczyk

Tysiąc zebrań naukowych Obserwatorium Astronomicznego UJ

(19 I 1934 – 25 X 1996)

Dawno już zapowiedziane i niecierpliwie oczekiwane tysięczne zebranie naukowe Obserwatorium Astronomicznego UJ odbyło się w piątek, 25 października 1996 r., w dużej sali tzw. „starego budynku" w Krakowie przy ulicy Orlej 171 o godz. 12. Wzięło w nim udział niemal pół setki osób — pracowników OA oraz zaproszonych Gości.

W Obserwatorium naszym nie ma — wszędzie tak teraz powszechnej — tradycji świętowania pod byle pretekstem. Tym razem jednak wszyscy jednomyślnie zgodzili się, że okazja jest niecodzienna. Żadna inna placówka Uniwersytetu Jagiellońskiego nie może poszczycić się tak długą, nieprzerwaną serią naukowych zebrań.

Wkrótce [...] staniemy wobec faktu autentycznie niezwykłego — czytaliśmy w zaproszeniach rozesłanych na to uroczyste zebranie — *faktu, obok którego nie można i nie wolno przejść obojętnie: tysięczne zebranie naukowe Obserwatorium Astronomicznego UJ! W sumie to już przecież ponad sześćdziesiąt lat tych zebrań, między innymi dzięki temu, że odbywały się one nieprzerwanie przez cały ten czas: od wczesnych lat trzydziestych — i to nawet w okresie ostatniej wojny (w Obserwatorium jako jedynej działającej wtedy placówce Uniwersytetu).*

Oficjalnego otwarcia zebrania dokonał dyrektor Obserwatorium, prof. dr hab. Józef Masłowski. Powitał wszystkich zebranych, szczególnie zaś naszych byłych pracowników, zarówno emerytowanych, jak i tych, którzy — z rozmaitych powodów — odeszli do pracy w innych instytucjach naukowych. Wyraził nadzieję, że wszyscy oni będą częściej odwiedzać swą macierzystą placówkę. Zaapelował też do zgromadzonych, by w trakcie zebrania, pomimo jego uroczystego charakteru, wystrzegać się sztywnej, oficjalnej atmosfery.

Potem zabrał głos niżej podpisany. Przypomniał zgromadzonym, że pomysł, by tysięczne zebranie miało nieco inny charakter niż typowe zebrania, powstał jakieś dwa lata temu przy okazji redagowania przez niego, wraz z nieocenionym red. mgr Markiem Gierlińskim, czasopisma literackiego OA UJ — „Acta Brutusica". Czasopismo to nie zawsze było w swych tekstach śmiertelnie poważne. Teraz jednak, skoro tysięczne zebranie zostało już oficjalnie przez Dyrektora otwarte, ma ono charakter zupełnie legalny i poważny.

W swym wystąpieniu pani mgr Helena Jaśkowa, wiecznie młoda — choć pamiętająca jeszcze przedwojenne zebrania, przeniosła zgromadzonych w czasy odległe, w okres pierwszych zebrań, które od 19 stycznia 1934 r. (pierwsze zebranie) odbywały się w starej siedzibie Obserwatorium, w zabytkowym budynku w pobliżu wejścia do Ogrodu Botanicznego UJ przy ul. Kopernika 27. Trwałą pamiątką po tych zebraniach są mocno już zniszczone księgi zawierające ręcznie pisane protokóły. Na początku pierwszej z nich znajdujemy następujący tekst wypisany kaligraficznym, choć niespotykanie — wręcz irytująco drobnym charakterem pisma:

Uwaga dla przyszłego czytelnika.

Protokóły niniejsze w wielu, wielu miejscach są nieścisłe. Częściowo dlatego, że Sekretarka nie zapamiętała sobie dobrze, czy też nie zrozumiała, co mówiono, czy też z powodu braku umiejętności wysławiania się. Nad nieścisłościami tymi przy odczytywaniu protokółu z poprzedniego Zebrania przechodzono do porządku dziennego dla uniknięcia straty czasu, i wobec charakteru wewnętrznego protokółów.

T. Banachiewicz

Kraków, 21 września 1939 r.

Półtora miesiąca później autor tej lakonicznej notatki, dyrektor Obserwatorium Astronomicznego UJ w latach 1919-1954, wraz ze 183 innymi naukowcami krakowskiej *Almae Matris*, nie podejrzewając perfidnie spreparowanego podstępu, udał się do sali nr 66 *Collegium Novum* na rzekomy wykład niejakiego *Obersturmbannführera* Brunona Müllera, który miał mówić o „stosunku Rzeszy Niemieckiej i narodowego socjalizmu do spraw nauki i uniwersytetów". Oto co miał do powiedzenia *Herr* Müller:

„[...] Wasze usiłowania prowadzenia egzaminów i otwarcia Uniwersytetu są aktem złośliwym i wrogim względem Rzeszy Niemieckiej. Zresztą Uniwersytet Jagielloński był zawsze centrum propagandy antyniemieckiej. Uważajcie się za aresztowanych. Zostaniecie przewiezieni do obozu jeńców [Gefangenenlager], *gdzie będziecie pouczeni o waszej prawdziwej sytuacji. [...] Sądzę, że pan rektor* [prof. Tadeusz Lehr-Spławiński] *zechce otworzyć pochód."*[1]

Żaden z przybyłych na „wykład" nie wrócił tego dnia do domu, pewna zaś część już nigdy nie powróciła do swych bliskich. Na okres prawie czterech miesięcy zebrania naukowe w Obserwatorium zostały zawieszone.

[1] Jan Gwiazdomorski, *Wspomnienia z Sachsenchausen*, Wydawnictwo Literackie, Kraków 1964, s. 22.

Osławiona *Sonderaktion Krakau* (*Akcja specjalna Kraków*, 6 XI 1939 r.), ten nie mający sobie równego przejaw szczególnego cynizmu niemieckiego okupanta wobec polskiej inteligencji związanej z Uniwersytetem Jagiellońskim, była wielokrotnie wnikliwie analizowana przez historyków, szczególnie zaś — co zupełnie zrozumiałe — z punktu widzenia tych uczonych, którzy w niej ucierpieli najbardziej. Natomiast wspomnienia ówczesnego dyrektora krakowskiego Obserwatorium są niemal zupełnie nieznane. Otóż Banachiewicz, aresztowany także w *Collegium Novum*, przetrzymywany był wraz z innymi naukowcami kolejno: w krakowskim więzieniu na Montelupich (2 dni), w koszarach 20 pułku piechoty przy ulicy Mazowieckiej w Krakowie (4 dni), w więzieniu we Wrocławiu (17 dni) i ostatecznie wywieziony został do obozu koncentracyjnego w Sachsenchausen koło Oranienburga, (40 km na północ od Berlina). Wraz z częścią zwolnionych naukowców powrócił stamtąd 9 II 1940 r.

Interesujący jest — przypomniany przez mgr Jaśkową — epizod związany z podróżą pociągiem, aresztowanych profesorów, nocą w nieznanym kierunku. Niektórzy z nich mieli nadzieję, że pociąg, po wyjeździe z Wrocławia, zdąża z powrotem w kierunku Krakowa. Banachiewicz zwrócił się wtedy z prośbą do siedzących przy oknie przedziału, by — skoro tylko zobaczą księżyc — podali mu jego położenie na niebie. Gdy chmury rozwiały się i otrzymał potrzebną informację, był w stanie, dzięki swej wiedzy astronomicznej, określić kierunek jazdy pociągu: niestety, był to północny zachód. Istotnie, wkrótce minęli Legnicę.

Wspomnienia te oraz relacja z życia w obozie w Sachsenchausen zdominowały, rzecz jasna, program pierwszego z wojennych zebrań, noszącego kolejny numer 102 (z dnia 1 marca 1940 r.). Na początku tego zebrania uczczono też chwilą ciszy pamięć jednego z niedawnych uczestników zebrań, śp. dr Antoniego Wilka, który zmarł z wycieńczenia wkrótce po swym zwolnieniu z obozu i po powrocie do Krakowa (14 II 1940 r.). Sam Banachiewicz przeżył obóz bez większego uszczerbku na zdrowiu, został „jedynie", wraz z grupą kilku innych, pobity 5 grudnia 1939 r. przez któregoś z „Niemców, któremu tego dnia" nie dopisywał humor.

Aresztowani profesorowie nie mieli obowiązku pracy, lecz ich udręką — prócz niepewności o dalszy los — były częste, wyczerpujące apele, dotkliwe zimno, choroby i, oczywiście, nieustanne złośliwości ze strony SS-manów. W „przemówieniu powitalnym" w obozie podoficer SS przypomniał aresztowanym parę osobliwych frazesów z przemówień Hitlera o tym, jak to „Polacy, którzy wywołali tę wojnę [!], śnili o marszu na Berlin; i oto znaleźli się wprawdzie pod Berlinem, ale w jakże innych warunkach od tych, o jakich marzyli".

W czasie apeli można też było czytać, wypisane na ścianie baraku czarnym gotykiem, następujące umoralniające slogany — osobliwy ekstrakt niemieckiej mentalności owych czasów:

„Istnieje droga prowadząca na wolność. Jej kamienie milowe nazywają się: posłuszeństwo, pilność, uczciwość, porządek, czystość, trzeźwość, prawdomówność, ofiarność i miłość ojczyzny".

Szczególnie to ostatnie zalecenie mogło się stojącym na apelu polskim uczonym wydawać dość zagadkowe. Można jedynie dodać, że tajemniczego *Obersturmbannführera* Brunona Müllera nigdy już po wojnie nie odnaleziono. Główny wykonawca *Sonderaktion Krakau*, a jednocześnie cenny świadek wydarzeń z 6 XI 1939, zaginął bez śladu.

Jesienią roku 1941 okupacyjne władze niemieckie oznajmiły Banachiewiczowi, że kierowana przezeń placówka, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego, nazywać się będzie odtąd „Sternwarte Krakau", zaś jej oficjalnym szefem został niejaki docent Kurt Walter, zawodowy astronom z Poczdamu. Odbyło się wtedy najkrótsze chyba zebranie w całej ich długiej historii (nr 176). Oto protokół z tego zebrania *in extenso* (pisownia oryginalna):

Protokół z zebrania sprawozdawczego z dn. 22. XI. 1941 r.

Obecni: Prof. dr. T. Banachiewicz, Dr. K. Kordylewski, Mgr. K. Kozieł, Mgr. L. Stankiewiczówna, W. Jaśkowa, I. Pałkowa, W. Tęcza.

Zebranie zostało otwarte o godz. $12^h\ 45^m$ odczytaniem protokołu z poprzedniego zebrania. Następnie jako jedyny punkt programu zostało odczytane zawiadomienie dotyczące nazwy Instytutu, języka urzędowego i korespondencji z uczonymi poza granicami Generalnego Gubernatorstwa. Zawiadomienie to w dosłownym tłumaczeniu brzmi:

Okólnik

I. Nazwa Instytutu. Język urzędowy.

Nasz instytut nosi oficjalną nazwę „Sternwarte Krakau". Językiem urzędowym jest w nim niemiecki. Wszystkie publikacje Obserwatorium Krakowskiego będą wychodzić w języku niemieckim. Proszę wszystkie pisemne notatki wyrażać w przyszłości po niemiecku (n. p. prace pisemne, meteorologiczne i astronomiczne obserwacje, protokoły).

II. Korespondencja z uczonymi i placówkami naukowymi poza Gen. Gubernatorstwem.

Według instrukcji wyższej władzy służbowej bezpośrednia korespondencja należących do Instytutu z uczonymi poza Gen. Gubernatorstwem jest niedozwolona; korespondencja taka jest dopuszczalna tylko przez pośrednictwo niemieckiego kierownika Instytutu. Gdyby zaszła potrzeba wymiany listów z osobami albo placówkami poza Gen. Gubernatorstwem, należy się z tem zwrócić do podpisanego.

Kraków dn. 18. XI. 1941.

Pismo to, podpisane przez p. doc. dr. K. Waltera, k. kierownika Obserwatorium, pod słowami: przyjęto do wiadomości podpisali wszyscy obecni pracownicy Zakładu.

Zebranie zostało zamknięte ok. 13^h.

Trzeba obiektywnie zaznaczyć, że Walter traktował swych nowych — często znacznie od siebie starszych — polskich podwładnych w sposób poprawny, co, jak wiadomo, nie było wówczas regułą w podobnych układach. (Miał on wówczas dopiero 36 lat, Banachiewicz zaś — blisko 60). Do spraw tych powrócę jeszcze w dalszej części niniejszej relacji.

Drugie z wystąpień, pani dr Rozalii Szafraniec, nie było oficjalnie zaplanowane. W zamierzeniu dr Szafraniec miała to być tylko krótka uwaga uściślająca jedną z wypowiedzi mgr Jaśkowej. Niemniej, wszyscy zgodnie uznali, że szczegół ten jest nieznany młodszej części zebranych, a przy tym na tyle interesujący, że chcieliby usłyszeć coś więcej. W ten sposób wysłuchaliśmy dłuższego, bardzo ciekawego fragmentu osobistych wspomnień związanych m. in. ze stacją obserwacyjną na Lubomirze, zniszczoną i spaloną przez hitlerowców 15 września 1944 r. (przez specjalny oddział, tzw. *der Sonderdienst*).

Na koniec głos zabrał dr Jan Mietelski. Mówił w swym tak dobrze nam znanym stylu: zajmująco, dowcipnie, znakomicie podkreślając ważniejsze punkty wypowiedzi. Wprowadził nas w atmosferę powojennych już zebrań naukowych, które (do początku lat siedemdziesiątych) wciąż odbywały się w malowniczym budynku starego Obserwatorium przy ulicy Kopernika. W barwny sposób przedstawił sylwetkę profesora Banachiewicza i jego sposób bycia jako człowieka.

Dwie anegdoty z bogatej kolekcji dr Mietelskiego dobrze charakteryzują postać długoletniego dyrektora Obserwatorium Astronomicznego UJ.

Było to wkrótce po odzyskaniu przez Polskę niepodległości. Jedna z podwładnych Banachiewicza zwróciła się do profesora z prośbą o zezwolenie na zawarcie małżeństwa oraz umożliwienie zamieszkania ze swym wybranym w jakiejś małej klitce w budynku Obserwatorium. Sprawa nie była bynajmniej oczywista, jako że — zdaniem Banachiewicza — instytucja małżeństwa była z natury swej sprzeczna z powołaniem astronoma (zmarnowane noce obserwacyjne); co więcej, powoływał się on nawet na jakieś, dawno już nieaktualne, zarządzenie z czasów zaboru austriackiego, kiedy to istotnie szef mógł zawetować plany matrymonialne podwładnego, gdy tylko uznał je za kolidujące z wykonywaną przezeń pracą zawodową. Jednak w danym przypadku „okoliczność łagodzącą" stanowiło to, iż narzeczony był z wykształcenia matematykiem.

Banachiewicz swoim zwyczajem nie udzielił odpowiedzi od razu, lecz kazał przyjść po nią za kilka dni. W oznaczonym czasie, z całą powagą, wydał następujący werdykt: „Zgadzam się, by pani zamieszkała z tym człowiekiem przy Obserwatorium, lecz nie zgadzam się na ślub".

I drugi epizod. W listopadzie 1954 udał się pan — wówczas jeszcze magister — Mietelski do krakowskiej kliniki przy ulicy Grzegórzeckiej 23, aby odwiedzić poważnie już chorego profesora. Przy okazji zapytał go o cel pewnych uciążliwych rachunków numerycznych, które wówczas otrzymał do wykonania. Oto, co usłyszał w odpowiedzi:

— Proszę pana! Pańskim zadaniem jest je wykonać. Nadzór nad całością — należy do mnie. W swoim czasie się pan dowie.

Za kilka dni profesor już nie żył. Cel zadanych przezeń zawiłych obliczeń pozostał do dziś niejasny.

I jeszcze jedna anegdota, z innego źródła — niezła, choć za jej autentyczność nie dam głowy.

Był późny wieczór. Zamyślony profesor wracał przez krakowskie Planty do domu. W pewnej chwili potrącił go jakiś — równie zamyślony — nieznajomy przechodzień. Przeprosił i poszedł dalej. W chwilę później profesor odruchowo poszukał swego zegarka z dewizką i stwierdził jego brak. Zdenerwowany zawrócił za nieznajomym, dogonił go i krzyknął: — Ty łobuzie, oddaj zegarek! — Tamten posłusznie wyjął zegarek i wręczył go Banachiewiczowi. Profesor odetchnął z ulgą. Jakież jednak było jego zdumienie, gdy w domu żona oznajmiła mu: — Zapomniałeś dziś zabrać swego zegarka. Został na komodzie...

Wkrótce potem w jednej z krakowskich gazet ukazało się następujące ogłoszenie:

„Człowiek, któremu niedawno zabrano na Plantach zegarek, proszony jest o przyjście do Obserwatorium Astronomicznego."

Był więc bez wątpienia Banachiewicz osobowością nieprzeciętną, niezwykle silną. W chwili wejścia profesora do sali zebrań wszyscy, jak na komendę, wstawali — mimo że on właściwie wcale tego oficjalnie nie wymagał. (Żaden z jego następców nie wywoływał już takiego wrażenia.) Do swych podwładnych miał Banachiewicz stosunek opiekuńczy, ale surowy i władczy zarazem, słowem — patriarchalny, ojcowski.

Co jednak robić wówczas, gdy zdolne — i coraz bardziej świadome swoich praw — dzieci zaczynają niepostrzeżenie przewyższać swego ojca, zwłaszcza w czymś, co dotąd było jego wyłączną i pilnie strzeżoną domeną? Cóż, ten ostatni dostaje wtedy nieoczekiwanie przykrą lekcję pokory; z drugiej strony ma też jednak niezłą okazję, by się wykazać (albo i nie wykazać) wielkodusznością. Poniższy fragment, wyjęty z zebrania nr 87, stanowi wymowną ilustrację powyższych refleksji.

Zebranie naukowe dnia 2 grudnia 1938 r.

Obecni: Prof. T. Banachiewicz, Dr. A. Wilk, Dr. S. Piotrowski, Mgr. L. Stankiewiczówna, J. Piegza, S. Szczyrbak.

[...] Przeszedłszy do korespondencji p. Prof. omówił i częściowo odczytał pewne listy od [obecnej też na zebraniu] *p. Stankiewiczówny. Listy te zawierały: 1) krótki dowód twierdzenia Prof. Banachiewicza [...], 2) uwagi dotyczące tego dowodu, 3) pewne uwagi dotyczące wykładów p. Profesora Banachiewicza* [tu następuje kilka technicznych stwierdzeń o tzw. „krakowianach" — czyli głównym odkryciu Banachiewicza z dziedziny matematyki stosowanej; patrz też niżej].

Pan Profesor Banachiewicz skrytykował postępowanie panny Stankiewiczówny, podnosząc fakty, iż łatwo zajmować się tym, czym już ktoś inny się zajmuje; dalej, że twierdzenie, o którym wyżej mowa, straciło już całkowicie swoje znaczenie, że uwagi odnoszące się do jego dowodu są niesłuszne, gdyż metoda rozwiązywania równań przez rozkład tabeli na czynniki kanoniczne była ogłoszona wcześniej niż powstał dowód, w którym ten rozkład występuje, że wzory rekurencyjne do obliczania odwrotności nie są ogólne, stosują się tylko do tych tabel, do których zostały podane, że nie są to wzory explicite i, jako takie, są raczej rebusami niż wzorami, że wreszcie wzory te byłby Pan Profesor z pewnością, prędzej czy później, sam otrzymał. Panna Stankiewiczówna zwraca uwagę na każdy maleńki krok i bardzo drobne spostrzeżenia uznaje za własne. Sprawia to [profesorowi] *znaczną trudność przy pisaniu książki z teorii najmniejszych kwadratów. Pan Profesor musiałby często cytować p. Stankiewiczównę i zbyt wiele czasu musiałby poświęcać na zastanawianie się, co od niej pochodzi. Wobec tego taką współpracę uważa za niewskazaną i nie życzy sobie, aby to jeszcze nadal miało miejsce.*

W odpowiedzi na to p. Stankiewiczówna podkreśliła, iż pisząc o rozkładzie występującym w jej dowodzie nie miała wcale na myśli podawania się za autorkę metody rozkładu, że inne uwagi nasunęły jej się w czasie opracowywania wykładów, że nie uważa za rzecz oczywistą, iż p. Profesor też by do nich doszedł, gdyż wiele zależy od sposobu patrzenia na rzeczy, że wreszcie to, o czym była mowa na wykładzie, uważała za rzecz podaną do publicznej wiadomości i poniekąd zakończoną, którą już wszyscy mogą się zajmować.

W dyskusji, która się następnie wywiązała, zabrał głos p. dr. Piotrowski, wyrażając opinię że nie ma zwyczaju, aby z tego powodu, że ktoś zajmuje się jakąś kwestią, nikt inny

już się nią nie zajmował, że istnieje „Gedankenfreiheit" [wolność myśli] *w nauce, że on sam, z punktu widzenia czytelnika, uważa wzory podane przez p. Stankiewiczównę za pożyteczne, że zawsze podobało mu się cytowanie autorów nawet drobnych uwag i że w końcu pisanie rozpraw o krakowianach jest ułatwione dzięki temu, że mało jest dotąd w tej dziedzinie literatury i że wobec tego nie można się bardzo skarżyć na p. Stankiewiczównę. Obok tego zabrał także głos p. dr. Wilk.*

Pan Profesor Banachiewicz nie zmienił jednakże swego zdania, uważając, że jest dość problemów, którymi można się zajmować, i nie trzeba, by dwie osoby zajmowały się jednym i tym samym. [...]

Burzliwa — jak się możemy domyślać — dyskusja nie doprowadziła więc do uzgodnienia poglądów. Niemniej, był to wymowny przykład starcia się demokracji z absolutyzmem. Można jedynie dodać z satysfakcją: „Dzisiaj to już chyba raczej nie do pomyślenia!".

Dyskutujący nie podejrzewali wtedy jeszcze, że już za niespełna dwa lata jako pracownicy „Sternwarte Krakau" będą zmuszeni protokołować swe zebrania w obcym języku, zaś akademickie spory o domniemane pierwszeństwo w rozwoju teorii krakowianów nie będą już tak istotne. Być może świadomość posiadania nocnej przepustki da im jakieś poczucie nieco większej wolności aniżeli to, jakie los przyznał wówczas pozostałym mieszkańcom Krakowa i Generalnego Gubernatorstwa.

Dr Mietelski pokazał też kilka zupełnie nieznanych przezroczy, które przed laty otrzymał przypadkiem w Olsztynie od pana doc. Witolda Senissona, geodety, swego czasu również uczestnika krakowskich zebrań. Część tych przezroczy pochodziła z zebrania nr 286 z dnia 9 września 1949 (a więc na kilka tygodni przez tym, jak Banachiewicz oficjalnie zaprosił dr Mietelskiego, wówczas jeszcze studenta pierwszego roku astronomii, do uczestnictwa w tych zebraniach).

Wo ożywionej dyskusji, która się wywiązała, głos zabrał m. in. dr hab. Piotr Flin, nasz były pracownik, zatrudniony obecnie na etacie profesora w kieleckiej WSP. Przypomniał on pewien interesujący epizod związany ze wspomnianym powyżej Kurtem Walterem, narzuconym w r. 1941 przez okupanta nowym dyrektorem Obserwatorium. Kilka lat temu (obecnie już nieżyjący), zatrudniony wówczas na uniwersytecie w Tübingen profesor Walter, opublikował w jednym z angielskojęzycznych czasopism[2] dłuższy artykuł-wspomnienie, w którym opisał m. in. lata swego pobytu w okupowanym Krakowie. Ówczesne warunki pracy krakowskich astronomów przedstawił w swej relacji jako względnie korzystne.

Ten mało znany epizod z pewnością zasługuje na dłuższą dygresję[3]. Swój pobyt w Generalnym Gubernatorstwie i funkcję niemieckiego protektora obserwatoriów: krakowskiego, warszawskiego i lwowskiego przypisuje Walter właściwie głównie życzeniom warszawskich astronomów, którzy z początkiem 1941, będąc bez środków do życia, usilnie prosili go o pomoc w przetrwaniu „tych trudnych lat". Opisuje dalej Walter „piękno starego miasta Krakowa, stolicy GG", zamieszcza też zdjęcie niewielkiego teleskopu Zeissa, podarowanego przez jego macierzyste obserwatorium w Poczdamie astronomom warszawskim w celu fotometrii gwiazd zmiennych. Współpracę wojennych lat z „polskimi kolegami" określa Walter jako „dobrą i pełną zaufania". Słowem — wielkoduszna dobroczynność, pomimo trudnych, wojennych warunków. Takie przynajmniej wrażenie odniósłby nie zorientowany w ówczesnych realiach angielski czytelnik, do którego skierowane były wspomnienia Waltera.

Tekst ten, choć nie zawierający jawnych przekłamań, jednak wyraźnie tendencyjny, wywołał delikatny lecz zdecydowany protest mieszkającej w Szwajcarii córki śp. prof. Józefa Witkowskiego — dr Anny Marii Witkowskiej. Powołując się na klasyczną formułę prawniczą stwierdza ona, iż wartość każdego świadectwa tkwi w tym, by była to „prawda, cała prawda i tylko prawda". Wspomnienia Waltera nie spełniają *kompletu* tych warunków.

Sprzeciw dr Witkowskiej wzbudziło m. in. przedstawienie przez Waltera niesławnej pamięci dr Hansa Franka, rezydującego na Wawelu gubernatora generalnego GG, jako „zainteresowanego astronomią i rozwojem tej nauki w Polsce". Dalekowzroczny Frank planował też podobno budowę nowego, wielkiego obserwatorium astronomicznego, rzecz jasna — już po zwycięskim zakończeniu wojny przez Niemcy. Wiadomy rozwój wypadków pokrzyżował mu te (i rozmaite inne, niekoniecznie naukowe) plany. Snując swe wspomnienia pomija jednak Walter całkowitym milczeniem fakt, iż ów «miłośnik astronomii» przeszedł do historii jako zbrodniarz wojenny, sądzony później i skazany na śmierć przez Międzynarodowy Trybunał Wojskowy w Norymberdze. W trakcie procesu zeznał Frank, jakoby nie wiedział nic o aresztowaniu profesorów Uniwersytetu; przypisał sobie natomiast zasługę ich uwolnienia. (Jest faktem, że za aresztowanymi wstawiał się „Duce" Mussolini.) Na zarzut prowadzącego śledztwo, że coś zgoła przeciwnego zapisał Frank w swym własnym *Dzienniku* („...powinni być odesłani do Polski celem likwidacji") tłumaczył on, iż był to tylko wybieg wobec otaczających go „śmiertelnych wrogów, którzy donosili führerowi i Himmlerowi o każdym jego słowie"[4].

Sprostowania domagał się także użyty przez Waltera osobliwy eufemizm „bitwa o Warszawę", w czasie której zniszczeniu uległo m. in. warszawskie Obserwatorium Astronomiczne. Rzekoma „bitwa" to raczej systematyczne niszczenie miasta i wysiedlanie jego ludności po upadku powstania warszawskiego — na osobisty rozkaz samego Hitlera. Pisząc o personelu naukowym w Krakowie „zapomniał" Walter dodać, iż jeden z najbardziej znanych polskich astronomów, odkrywca trzech komet, adiunkt Obserwatorium, dr Antoni Wilk, zmarł — jak już wspomniałem — na skutek skrajnego wyczerpania, wkrótce po swym powrocie z obozu w Sachsenchausen.

Opisuje też Walter swoje wielkie zdumienie, kiedy to zastał w Krakowie dyrektora obserwatorium poznańskiego,

[2] *Astronomy in Poland during the Second World War Memories of a participating astronomer*, Journal of the British Astronomical Association (**97**, p. 270, 1987); por. też polemikę córki prof. J. Witkowskiego, dr A. M. Witkowskiej, i replikę K. Waltera w następnym tomie JBAA (**98**, p. 273, 1988).

[3] Za udstępnienie kompletu materiałów dotyczących tej polemiki dziękuję dr J. Mietelskiemu.

[4] Por. stenogram przesłuchania Hansa Franka 18 IV 1946 przez T. J. Dodda, szefa zespołu oskarżycieli z USA.

prof. J. Witkowskiego, który miał opuścić Poznań ze względu na rzekome „trudności osobiste". Tymczasem owe „trudności osobiste" to w istocie fakt aresztowania profesora przez Gestapo, zwolnienie go wskutek odważnej interwencji jego asystenta (Niemca) oraz ucieczka do Krakowa w obawie przed powtórnym aresztowaniem i rozstrzelaniem — co spotkało wielu innych polskich uczonych z Poznania.

Nie jest też tajemnicą, iż przyjęcie przez Waltera stanowiska protektora astronomii w Generalnel Guberni było podyktowane nie tyle chęcią zadośćuczynienia „usilnym prośbom polskich kolegów", co — naturalną wtedy u wszystkich Niemców — obawą przed wysłaniem na front wschodni. Zresztą i tak przyszło Walterowi (od III 1943 do II 1944) służyć w Wehrmacht'cie, co prawda nie na Wschodzie, lecz „tylko" w Grecji.

W dalszym ciągu zebrania prof. dr hab. Jerzy Machalski wyraził opinię, iż najlepszym oddaniem atmosfery tamtych lat byłoby odczytanie pełnego tekstu pierwszego z zachowanych protokołów — z zebrania nr 36 z dnia 4 września roku 1936 , co też zostało uczynione.

Szczególnie wymowny był też inny odczytany przez dr. Mietelskiego fragment, pochodzący z jednego z powojennych już protokołów, a dotyczący głównego odkrycia prof. Banachiewicza, czyli tzw. rachunku krakowianowego.

Nie ulega dziś wątpliwości, że rola, jaką uporczywie przypisywał krakowianom sam ich odkrywca — zwłaszcza rzekoma ich rola w matematyce czystej — była, delikatnie mówiąc, znacznie przesadzona. (Krakowiany, pewne tablice liczbowe, z uwagi na brak łączności mnożenia, nie tworzą żadnej interesującej struktury algebraicznej.)

Jednak, niezależnie od tej zasadniczej wady krakowianów[5], ich znaczenie przy praktycznych obliczeniach w astronomii i geodezji — zwłaszcza w epoce przed upowszechnieniem się komputerów — było (i wciąż jeszcze jest) znaczące[6]. Znany ten fakt, w ironicznym i pretendującym do zabawnego paszkwilu[7], usiłowano niedawno podważyć na łamach „Postępów Astronomii". Wytaczając rozmaite osobliwe argumenty i analogie historyczne autor tego tekstu zapomniał jednak, że rachunek krakowianowy można bez trudu „zniszczyć" tym jednym — i tylko jednym — krótkim stwierdzeniem: brak łączności mnożenia krakowianów sprawia, że nie tworzą one nawet półgrupy (w sensie struktur algebraicznych).

Taki — nader ograniczony i nonszalancki — punkt widzenia wynika zapewne z osobliwego przeświadczenia, jakoby wszechobecne teraz komputery, wraz ze specjalistycznymi bibliotekami numerycznymi, istniały i były dostępne zawsze. Trzeba jednak wiedzieć, że znaczna — i bardzo uciążliwa — część pracy dawnych astronomów polegała na „ręcznym" mnożeniu i sumowaniu dużych liczb oraz na nieustannym sprawdzaniu poprawności tych rachunków. Młodemu pokoleniu współczesnych „klikaczy ikonkowych" może się to wydać śmieszne, lecz dzięki takiej właśnie (niewątpliwie mało intelektualnej) pracy dokonano szeregu znaczących odkryć astronomicznych.

Rachunek krakowianowy radykalnie ułatwiał takie żmudne operacje i dlatego był stosowany w wielu obserwatoriach na świecie, o czym świadczą wyniki oficjalnej ankiety[7] przeprowadzonej w latach trzydziestych. Dziś również mało kto już pamięta, że angielskie słowo *calculator* oznaczało niegdyś etatowego rachmistrza — kogoś wykonującego rutynowe, niekoniecznie nawet zrozumiałe dlań, obliczenia numeryczne.

Myślę więc, że — zamiast jałowej polemiki z przeciwnikami krakowianów — dostatecznie wymowny, a jednocześnie sam w sobie bardzo interesujący będzie wspomniany już wcześniej fragment, pochodzący z zebrania nr 287 (16 IX 1949) i odczytany na koniec tysięcznego zebrania naukowego w krakowskim Obserwatorium:

W interview „Dziennika Polskiego" z prof. Arendem [współpracującym z Banachiewiczem astronomem belgijskim] *został skreślony ustęp dotyczący stosowania krakowianów. Otóż w Instytucie Matematyki Stosowanej w Darmstadt w czasie wojny obliczano drogę pocisku V-2. Rozwiązywano początkowo 20 równań symetrycznych o 20 niewiadomych algorytmem Gaussa, w ostatnim dopiero roku dowiedziano się o nowym* [tj. krakowianowym] *algorytmie i przekonano się o jego doniosłości. Wcześniejsza znajomość tego algorytmu na pewno przysporzyłaby Anglii więcej strat.*

Kiedy zdawało się, że to już koniec zebrania, wówczas okazało się, że na każdego czeka jeszcze jedna niespodzianka w postaci szczególnie licznych... „gwiazdek z nieba"! Owe gwiazdki ufundował dr Adam Michalec. Były to — rzeczywiście niebieskie — nader estetyczne wyroby artystyczne ze szkła.

Zaaferowani goście rozchodzili się już, gdy ktoś zapytał jeszcze przekornie: — A czemuż to te niebieskie gwiazdki są akurat sześcioramienne? — Lepsze takie niż pięcioramienne i czerwone — padła czyjaś lapidarna odpowiedź.

Krzysztof Maślanka
Obserwatorium Astronomiczne UJ

Pani mgr Helenie Jaśkowej i Panu dr. Janowi Mietelskiemu dziękuję za krytyczne przejrzenie tekstu i szereg poprawek.

[5] Sam Banachiewicz, oczywiście, dobrze zdawał sobie sprawę z tego wrodzonego i nieusuwalnego kalectwa swego odkrycia, lecz – jako astronom i rachmistrz – uparcie zdawał się go nie dostrzegać; zapewne uważał, że z nadwyżką rekompensują tę wadę niewątpliwe praktyczne zalety krakowianów. Wymowna jest uwaga jednego z uczestników krakowskich zebrań, znanego matematyka, prof. Franciszka Lei, który w dyskusji po referacie Banachiewicza zaproponował mu wydzielenie takiej klasy krakowianów, które spełniałyby jednak, tak pożądany w algebrze, warunek łączności. O ile wiem, Banachiewicz nigdy nie skorzystał z tej głębokiej sugestii; nie jestem nawet pewien, czy ją w ogóle właściwie zrozumiał, skoro w protokołowanym tekście dyskusji własnoręcznie przekreślił słowo „łączność" i napisał nad nim „przemienność" (!).

[6] Na temat metody Cholesky'ego-Banachiewicza rozwiązywania układów równań liniowych por. w: M. Dryja, J. M. Jankowscy, *Przegląd metod i algorytmów numerycznych*, WNT, W-wa 1982, s. 50.

[7] Andrzej J. Maciejewski, *CK macierze, toruniany czy jakoś tak*, Postępy Astronomii, 1995, vol. 2

[7] K. Šteins, Acta Astronomica, 1936, vol. 3.

Konferencja Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Poznaniu

W dniach od 1 do 5 lipca 1996 roku odbyło się w Poznaniu 165 Kolokwium Międzynarodowej Unii Astronomicznej pod tytułem: Dynamika i Astrometria Naturalnych i Sztucznych Ciał Niebieskich.

Było to już drugie, po trzyletniej przerwie, międzynarodowe spotkanie w Poznaniu na ten sam temat. Podobnie jak poprzednio, również obecna konferencja organizowana była we współpracy z Observatorium de la Côte d'Azur z Grasse, Francja. Równolegle, w dniach od 4 do 6 lipca, również w Poznaniu, odbyło się drugie spotkanie robocze pomiędzy Stanami Zjednoczonymi a Rosją na temat nadzoru nad przestrzenią kosmiczną.

Międzynarodowemu Komitetowi Naukowemu Kolokwium przewodniczyli: Krystyna Kurzyńska, kierownik poznańskiego Obserwatorium i François Barlier, dyrektor Obserwatorium w Grasse. Autorka artykułu była odpowiedzialna za lokalny komitet organizacyjny obu konferencji.

Do Poznania przyjechało ponad 180 uczestników z 28 krajów świata. Najliczniej reprezentowane była Rosja, Polska, Francja, Stany Zjednoczone i Hiszpania, ale nie brakowało również uczestników z Ameryki Południowej (Brazylia, Argentyna, Chile) czy też Japonii i Chin, reprezentowany był także Egipt i Indie. W obradach uczestniczył przewodniczący wydziału I (*Astronomia Fundamentalna*) Międzynarodowej Unii Astronomicznej, zrzeszającego komisje nr 4, 8, 19, 24, 31 i 51 — Jean Kovalevsky. Obecni byli również: Sylvio Ferraz-Mello, przewodniczący Komisji nr 7 — *Mechanika Nieba*, Thomas Corbin, przewodniczący Komisji nr 8 — *Astrometria Pozycyjna*, Jan Vondrák, przewodniczący Komisji nr 19 — *Rotacja Ziemi*, Donald K. Yeomans, przewodniczący Komisji nr 20 — *Pozycje i Ruch Małych Planet, Komet i Satelitów*, oraz Toshio Fukushima, wiceprzewodniczący Komisji nr 31 — *Czas*.

Konferencję rozpoczęła miła uroczystość wręczenia świadectwa o nadaniu planetoidzie nr 5889 imienia *Mickiewicz*. Specjalny dyplom przekazał Krystynie Kurzyńskiej odkrywca planetki, znakomity obserwator a zarazem znawca i wielki miłośnik poezji Adama Mickiewicza — Nikolaj Chernykh z Obserwatorium Astrofizycznego na Krymie.

Obrady konferencji podzielone zostały na 6 sesji: Dynamika Układu Słonecznego, Ruch obrotowy ciał Układu Słonecznego, Dynamika i problemy obserwacyjne sztucznych satelitów i śmieci kosmicznych, Układy odniesienia i stale astronomiczne oraz Nowe techniki obserwacyjne, katalogi i astrometria. Jednocześnie odbyły się trzy sesje plakatowe. Łącznie zaprezentowano 179 prac: 75 referatów wygłoszonych i 104 plakaty.

Prezentowane prace dotyczyły szerokiego wachlarza zagadnień astrometrycznych i dynamicznych. Zagadnienia do niedawna uznawane za niewykonalne, jak np. tworzenie katalogów milionów gwiazd z mikrosekundową dokładnością pozycji, czy jednoczesne śledzenie ruchu wielu tysięcy obiektów z przewidywaniem ich ewentualnych kolizji i ich skutków, obecnie są w trakcie realizacji dzięki rozwojowi technik kosmicznych, obserwacyjnych technik naziemnych i techniki komputerowej. Astrometryczne obserwacje z kosmosu wraz z obserwacjami naziemnymi pozwalają na tworzenie układów odniesienia z dokładnością milisekundową. Technika CCD stała się standardową techniką obserwacyjną w astrometrii.

Obecnie w naszej dyspozycji znajdują się wysokiej jakości długie ciągi danych obserwacyjnych zarówno naturalnych, jak i sztucznych obiektów. Umożliwia to nie tylko liczenie efemeryd komet i małych planet z dokładnością dochodzącą nawet do 10-20 km, ale również pozwala analizować tak małe efekty, jak chwilowe zmiany rozkładu mas oceanów, atmosfery i skorupy ziemskiej.

Szeroko dyskutowany był problem ruchu obrotowego ciał Układu Słonecznego. Numeryczne i analityczne prace z tego zakresu pozwalają nie tylko lepiej zrozumieć procesy ewolucyjne, ale również wydobyć wiedzę o wewnętrznej strukturze ciał.

Zwrócono również uwagę na zachowanie porządku w najbliższym otoczeniu Ziemi, jak i w całym Kosmosie. Obecnie wokół Ziemi krąży ponad 3000 ton różnej wielkości obiektów, pozostałości po nieczynnych już satelitach. Około 8000 z nich jest skatalogowanych, a ich ruch i przewidywanie ewentualnych kolizji badają wieloprocesorowe komputery.

Znalazł się również czas na rozrywkę. Niezapomnianym przeżyciem był koncert chóru „Poznańskie Słowiki" pod dyrekcją Stefana Stuligrosza. Uczestnicy miło też wspominali powitalne przyjęcie i wieczór w parku Obserwatorium Astronomicznego — przy ognisku, kiełbaskach i piwie.

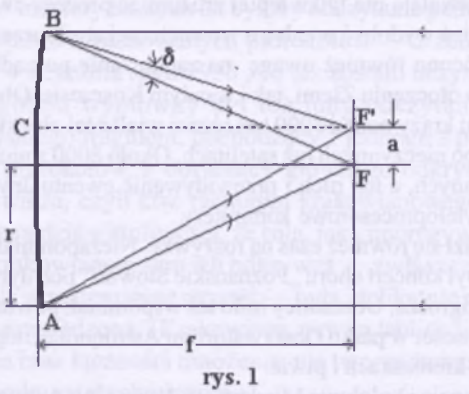
Sympozja i kolokwia Międzynarodowej Unii Astronomicznej mają najwyższą rangę konferencji astronomicznych. Zaledwie kilka takich konferencji odbywa się rocznie na całym świecie. Organizacja 165 Kolokwium Unii Astronomicznej w Poznaniu była możliwa dzięki sponsorom: Międzynarodowej Unii Astronomicznej, Polskiemu Komitetowi Badań Naukowych, Uniwersytetowi im. A. Mickiewicza, Komitetowi Astronomii Polskiej Akademii Nauk, Francuskiemu Ministerstwu Spraw Zagranicznych, Ambasadzie Francuskiej w Warszawie, Obserwatorium de la Côte d'Azur w Grasse, Polskim Liniom Lotniczym LOT i Poznańskim Browarom „Lech". Jesteśmy im wdzięczni za poparcie finansowe, które umożliwiło organizację konferencji, publikację materiałów pokonferencyjnych i udzielenie pomocy uczestnikom.

Iwona Wytrzyszczak

Referat wygłasza Steven Ostro, przewodniczy sesji (w środku) — Jean Kovalevsky, zadaje pytanie — Tomasz Kwiatkowski

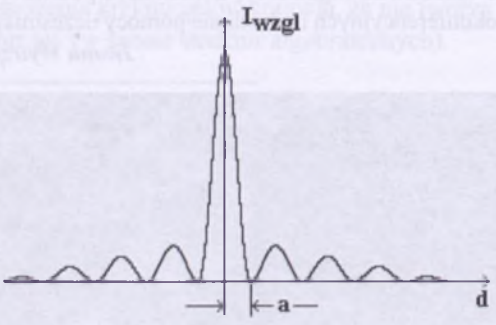
DLACZEGO BUDUJEMY TAK DUŻE TELESKOPY ?

Pierwszy powód jest nieomal oczywisty. Chcąc obserwować coraz dalsze, a wiec coraz słabsze obiekty musimy zbierać w ognisku teleskopu energię z coraz większej powierzchni zwierciadła. Jest też powód drugi. Zanim o nim powiemy, spróbujmy przeprowadzić nieco uproszczony rachunek. Rozpatrzmy zwierciadło (sferyczne lub paraboliczne) ogniskujące wiązkę



rys. 1

równoległą w punkcie F — ognisku (rys. 1). Jak wiadomo, dzięki zjawisku dyfrakcji ogniskowanie wystąpi nie tylko w punkcie F i w rezultacie otrzymamy w płaszczyźnie ogniskowej pewien układ nakładających się plamek dyfrakcyjnych. Wypadkowy układ plamek (oświetleń) powinien mieć symetrię obrotową (dyfrakcja na otworze kołowym). Jak wiadomo, otrzymujemy w płaszczyźnie ogniskowej tzw. krążek Airy'ego. Rozkład natężenia oświetlenia w jego przekroju



rys. 2

głównym przedstawia rys. 2. Ścisłe, a jednocześnie elementarne wyprowadzenie funkcji rozkładu (wzoru Airy'ego) jest prawdopodobnie niemożliwe. Na ogół wyprowadza się go na podstawie funkcji Bessela pierwszego rodzaju J_1. Jak już zaznaczyliśmy, nasz rachunek będzie przybliżony, jednak fakt, że końcowy wynik różni się od ścisłego o czynnik rzędu 2, nie ma w tym wypadku istotnego znaczenia.

Niech środek pierwszego ciemnego pierścienia znajduje się w odległości a = FF′ spełniającej warunek:

$$AF' - BF' = l/2 . \qquad (1)$$

Dla trójkątów BF′C i AF′C możemy napisać:

$$(AF')^2 = (AC)^2 + (CF')^2 = (r + a)^2 + f^2$$

$$(BF')^2 = (BC)^2 + (CF')^2 = (r - a)^2 + f^2$$

co po odjęciu stronami daje:

$$(AF')^2 - (BF')^2 = (r + a)^2 - (r - a)^2$$

skąd

$$(AF' - BF')(AF' + BF') = 4ar$$

Dla a << r oraz r << f (a zwykle tak jest) można przyjąć AF′ + BF′ ≅ 2f. Wówczas

$$AF' - BF' \cong 2ar/f = aD/f$$

Wracając teraz do warunku (1) otrzymujemy:

$$aD/f = l/2$$

skąd

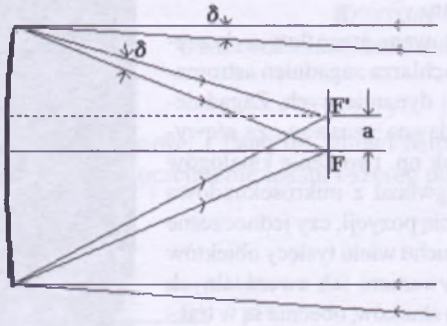
$$a \cong 0.5\, l\, f/D$$

Nas interesuje raczej promień kątowy plamki dyfrakcyjnej (widziany z odległości ogniskowej przyrządu)

$$\delta[\mathrm{rad}] = a/f = 0.5\, \lambda/D. \qquad (2)$$

Dodajmy, że ścisłe wyprowadzenie daje

$$\delta[\mathrm{rad}] = 1.22\, \lambda/D \qquad (2a)$$



rys. 3

Wyobraźmy sobie teraz, że w odległości kątowej δ od naszej gwiazdy znajduje się druga (rys. 3). W tej sytuacji środek jej krążka Airy´ego pokrywa się z pierwszym minimum dyfrakcyjnym krążka wytworzonego przez pierwszą gwiazdę. Jak uczy doświadczenie, jest to graniczny przypadek rozróżnialności obrazów obu gwiazd (kryterium Rayleigha).

Uzyskaliśmy bardzo ważny wynik (2). Zdolność rozdzielcza teleskopu zależy zarówno od długości fali odbieranego promieniowania, jak i średnicy teleskopu. Przy ustalonej długości fali jest tym lepsza, im większa jest średnica źrenicy wejściowej przyrządu.

Dla teleskopów pracujących w zakresie widzialnym przyjmuje się często $\lambda = 5.5 \cdot 10^{-5}$ cm (maksimum czułości oka) i wyraża kąt w sekundach łuku (1 rad = 206 265″) otrzymując na podstawie (2a)

$$\delta = 14''/D \text{ [cm]}.$$

Ta właśnie postać wzoru spotykana jest najczęściej w podręcznikach.

Problem. *W Obserwatorium Astronomicznym w Piwnicach pod Toruniem znajdują się teleskop Schmidta-Cassegraina o średnicy zwierciadła 90 cm oraz radioteleskop o średnicy czaszy 32 m (oba największe w Polsce). Który z nich ma większą zdolność rozdzielczą (mniejszy kąt δ)? Przyjmijmy, że radioteleskop pracuje na częstotliwości 100 GHz (największa osiągalna dla tego przyrządu).*

Na zakończenie zauważmy, że osiągnięcie teoretycznej zdolności rozdzielczej jest w warunkach ziemskich niemożliwe. Co gorsze, zniekształcenia obrazu wywołane turbulencją atmosfery są znacznie większe od rozmycia dyfrakcyjnego. Stąd dążność do wyniesienia przyrządu ponad atmosferę (teleskop Hubble´a) lub przynajmniej ustawienia go w miejscu charakteryzującym się niewielką turbulencją (i jednocześnie dużą statystycznie liczbą pogodnych nocy).

Juliusz Domański

XLI OLIMPIADA ASTRONOMICZNA
— 1997/1998 —

INFORMACJE REGULAMINOWE

1. Olimpiada Astronomiczna jest organizowana dla uczniów szkół średnich.

2..Zawody olimpiady są trójstopniowe. W zawodach I stopnia (szkolnych) każdy uczestnik rozwiązuje dwie serie zadań, w tym zadanie obserwacyjne. Rozwiązywanie zadań zawodów II stopnia i III stopnia odbywa się w warunkach kontrolowanej samodzielności.

3. W pierwszej serii zadań zawodów I stopnia należy nadesłać, do **13 października 1997 r.**, rozwiązania 3 zadań, dowolnie wybranych przez uczestnika spośród zestawu zawierającego 4 zadania.

4. Rozwiązanie zadania obserwacyjnego należy przesłać wraz z rozwiązaniami zadań drugiej serii I etapu, do **17 listopada br.** Decyduje data stempla pocztowego. Nadesłanie rozwiązania zadania obserwacyjnego jest warunkiem koniecznym dalszego udziału w olimpiadzie.

5. W przypadku nadesłania rozwiązań większej liczby zadań z danego zestawu, do klasyfikacji zaliczane będą rozwiązania ocenione najwyżej (po trzy zadania z każdej serii i jedno zadanie obserwacyjne).

6. Rozwiązania zadań zawodów I stopnia należy przesłać za pośrednictwem szkoły pod adresem: KOMITET GŁÓWNY OLIMPIADY ASTRONOMICZNEJ, Planetarium Śląskie, 41-500 Chorzów, skr. poczt. 10, w terminach podanych w p. 3 i 4.

7. Rozwiązania zadań powinny być krótkie i zwięzłe, ale z wystarczającym uzasadnieniem. W przypadku polecenia samodzielnego wyszukania danych, należy podać ich źródło. Jako dane traktuje się również podręcznikowe stałe astronomiczne i fizyczne.

8. Rozwiązanie każdego zadania należy napisać na oddzielnym arkuszu papieru formatu A-4. Każdy arkusz oraz wszelkie załączniki (mapki, wykresy, tabele itp.) należy podpisać imieniem i nazwiskiem. W nagłówku zadania o najniższej numeracji należy umieścić dodatkowo: rok i miejsce urodzenia, pełną nazwę szkoły, jej adres, klasę i jej profil oraz adres prywatny (z kodami pocztowymi).

9. O uprawnieniach laureatów i finalistów olimpiady decydują senaty wyższych uczelni. Wśród nagród dla najlepszych znajdują się teleskopy.

* * *

ZALECANA LITERATURA: obowiązujące w szkołach średnich podręczniki do przedmiotów ścisłych; H. Chrupała, M.T. Szczepański *25 lat olimpiad astronomicznych*; *Zadania olimpiad astronomicznych XXVI — XXXV (w dwóch częściach)*; J.M. Kreiner *Astronomia z astrofizyką*; J. Mietelski *Astronomia w geografii*; E. Rybka *Astronomia ogólna*; David H. Levy *NIEBO — Poradnik użytkownika*; D.L. Mochè *Astronomia - przewodnik po Wszechświecie*; *Słownik szkolny — Astronomia* — praca zbiorowa; *atlas nieba*; *obrotowa mapa nieba*; czasopisma: *Urania*, *Postępy Astronomii*, *Wiedza i Życie*, *Świat Nauki*, *Delta*, *Fizyka w Szkole*.

XLI OLIMPIADA ASTRONOMICZNA

Pierwsza seria zadań

1. Na lato bieżącego roku przewidziano lądowanie sond kosmicznych na Marsie. Wyniki badań będą przesyłane na Ziemię drogą radiową przez kilka lat. Zakładając, że orbity Ziemi i Marsa są kołowe i współpłaszczyznowe, wyznacz minimalny przedział częstotliwości odbiornika rejestrującego w tym czasie na Ziemi sygnał, emitowany z częstotliwością ν przez nadajnik na Marsie. W obliczeniach przyjmij częstotliwość ν = 12 GHz oraz wartości umieszczone w tabelce:

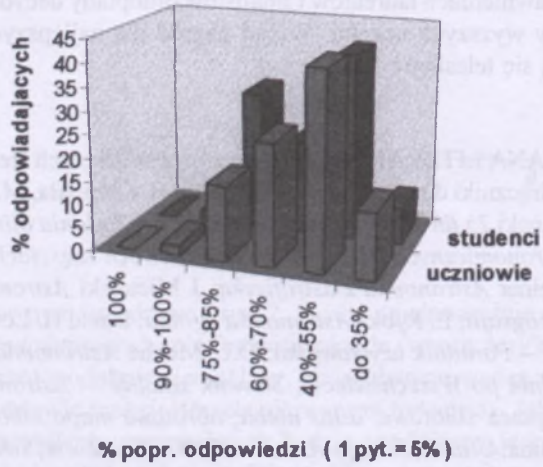
	R_{orbity} [10^6 km]	$R_{planety}$ [km]	T_{obiegu} [doby]	T_{obrotu} [godz.]
Ziemia	149.6	6378	365.26	23,9
Mars	227.9	3393	686.98	24,6

2. Grupa 10 obserwatorów dysponująca identycznymi lunetami podjęła równoczesną obserwacją z zamiarem odnalezienia komety o nieznanym położeniu, a będącej w zasięgu ich instrumentów. Każdy z nich dokonał obserwacji jednego, losowo wybranego fragmentu nieba mieszczącego się w polu widzenia lunety. Oblicz prawdopodobieństwo odnalezienia komety wiedząc, że gwiazda o deklinacji $\delta = -6°$ przechodzi przez średnicę pola widzenia lunety w czasie t = 7 minut.

3. Które z gwiazd jaśniejszych od 4m mogłyby być obecnie obserwowane podczas zaćmień Słońca blisko brzegu tarczy słonecznej? Czy liczba takich gwiazd może ulec zmianie w przeciągu kilkudziesięciu tysięcy lat?

Errata

W artykule Krzysztofa Cilulko „Stan wiedzy astronomicznej absolwentów szkół podstawowych" zamieszczonym w PA 4/96 przedstawiliśmy, z inicjatywy Redakcji, na str. 187 analizę graficzną otrzymanych wyników. Niestety była to błędna prezentacja. Przepraszamy. Poprawną analizę obrazującą wyniki Autora zamieszczamy poniżej. (Red.)



4. Napisz krótki artykuł popularno-naukowy na temat „Podobieństwa i różnice między planetoidami a kometami". Do artykułu, którego objętość nie może przekroczyć 2 stron (3600 znaków) należy dołączyć spis wykorzystanej literatury.

Zadania obserwacyjne

1. Tabelka podaje momenty zakryć obiektów przez Księżyc dla Warszawy. Zakrycia mogą być obserwowane również w innych miejscowościach, oczywiście w innym czasie. Dokonaj próby zaobserwowania przynajmniej jednego z tych zakryć. Niezależnie, czy zakrycie nastąpi, czy też nie, do opisu obserwacji dołącz mapkę przebiegu zjawiska. Przedyskutuj zgodność między przewidywanym a zaobserwowanym przebiegiem zjawiska.

data	moment zakrycia *h m*	jasność obiektu *m*
21.09.1997	20 54,3	5,5
21.09.1997	20 02,2	3,6 υ *Tau*
16.10.1997	22 18,1	4,5
9.11.1997	18 16,0	3,8 λ Aqr
12.11.1997	01 35,3	0,7 Saturn

2. W tabelce podano przybliżone efemerydy planetoidy (4) Vesta. Przeprowadź obserwację tej planetoidy i przedyskutuj zgodność między efemerydą, a wynikami swoich obserwacji. Do rozwiązania dołącz samodzielnie wykonaną mapkę zaobserwowanych pozycji planetoidy.

data	rektascensja *h m*	deklinacja °	jasność *m*
10.09.1997	02 11	+1,8	7,0
25.09.1997	02 05	+0,5	6,7
10.10.1997	01 52	–1,0	6,4
25.10.1997	01 38	–2,2	6,4
10.11.1997	01 25	–2,7	6,8

3. Jako rozwiązanie zadania obserwacyjnego można również nadesłać opracowane wyniki innych własnych obserwacji astronomicznych prowadzonych w latach 1996, 1997, a w szczególności obserwacji zaćmienia Księżyca 16.09.1997 r.

Rozwiązanie zadania obserwacyjnego powinno zawierać: dane dotyczące przyrządów użytych do obserwacji i pomiarów, opis metody i programu obserwacji, standardowe dane dotyczące przeprowadzonej obserwacji (m.in. datę, czas, współrzędne geograficzne, warunki atmosferyczne), wyniki obserwacji i ich opracowanie oraz ocenę dokładności uzyskanych rezultatów. W przypadku zastosowania metody fotograficznej należy dołączyć negatyw. Rozwiązanie jednego zadania obserwacyjnego należy nadesłać wraz z rozwiązaniami drugiej serii zadań zawodów I stopnia — do dnia 17 listopada 1997r.

XIII Ogólnopolskie Młodzieżowe Seminarium Astronomiczne, Grudziądz, 19-22 marca 1997

W ubiegłym roku ciemne chmury zawisły nad grudziądzkim seminarium i wydawało się, że trzynaste (feralne?) może się nie odbyć. Szczęśliwie jednak Fundacja Astronomii Polskiej oraz Polskie Towarzystwo Astronomiczne wysupłały trochę grosza i uratowały tę wartościową imprezę.

Wiele trafnych spostrzeżeń i uwag napisała dr Magdalena Sroczyńska-Kożuchowska po poprzednim seminarium (PA 2/96). Moje wrażenia są bardzo podobne. Pozostaję pod urokiem tego zjazdu zainteresowanych astronomią uczniów, którzy przez cztery dni słuchają referatów, dyskutują i wymieniają doświadczenia. Właśnie spotkanie koleżanek i kolegów o podobnych zainteresowaniach, podpatrzenie pomysłowych sposobów prezentacji prac oraz nauczenie się zwięzłego, jasnego przedstawiania myśli, są dla uczestników najważniejszymi korzyściami z seminarium.

Prezentacje są oceniane przez jury złożone z astronomów rekomendowanych przez Polskie Towarzystwo Astronomiczne, Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii oraz Polskie Towarzystwo Astronautyczne, któremu przewodniczy dr Kazimierz Schilling z Olsztyna. W tym roku znalazłam się w tym gronie 7 „sprawiedliwych". Wbrew pozorom praca jurora jest trudna. W jednej skali ocenić należy prace bardzo różne: wykonanie teleskopu, obserwacje astronomiczne, programy komputerowe lub wypracowanie na zadany temat. Jurorzy spędzają wiele godzin na dyskusjach zmierzających do sprawiedliwego oceniania poszczególnych referatów. Często reagują natychmiast po prezentacji, na gorąco, wygłaszając *ad hoc* miniwykłady. Jestem przekonana że suma subiektywnych ocen poszczególnych jurorów daje jednak ocenę w miarę obiektywną.

Młodzież ceni sobie dyskusje z astronomami po referatach i w kuluarach oraz możliwość zadania pytań i wyjaśnienia wątpliwości. Szczególnie młodzież z małych miejscowości, gdzie w bibliotekach nie ma książek astronomicznych, a nauczyciele astronomią nie zawsze się interesują i pomóc na ogół nie potrafią. Ale i od siebie wzajemnie młodzi ludzie też wiele się uczą. Nie ze wszystkim mają ochotę zwrócić się do astronomów i wolą porozmawiać w gronie kolegów o podobnych zainteresowaniach.

Swoja pracę „Zaćmienia Słońca i Księżyca" przedstawia najmłodzy uczestnik Seminarium Marek Wysocki ze Szczecina (fot. Gerard Szukay).

W XIII OMSA wzięli udział przedstawiciele 24 województw oraz Grudziądza. W czasie czterech sesji wygłosili oni 42 referaty. Tematyka prac była różnorodna — opisy własnych obserwacji lub zbudowanych własnoręcznie instrumentów, programy komputerowe oraz wypracowania na dowolny astronomiczny lub astronautyczny temat. Obserwacje zdominowane były przez obserwacje komet: Hyakutake i Hale'a-Boppa oraz częściowego zaćmienia Słońca 12 października 1996 roku. Obserwacje udokumentowane były pięknymi zdjęciami, a ich prezentacja była niekiedy bardzo pomysłowa. Trzeba przyznać, że młodzież dokłada wielu starań, aby zilustrować swoje referaty. Wykonuje piękne plansze, wykorzystuje przeźrocza, zdjęcia z Internetu, a nawet podkład muzyczny. Wielu nauczycieli oraz popularyzatorów wiedzy może niekiedy zobaczyć w czasie seminarium realizację ciekawego pomysłu prezentacji i ilustracji wybranych zagadnień astronomicznych.

Widoczna część jury Seminarium — dr K. Schilling, prof. R. Głębocki, prof. A. Woszczyk i dr J. Biała. Ponadto prace uczestników oceniali dr H. Brancewicz, dr hab. A. Strobel i prof. K. Rudnicki (fot. G. Szukay).

Jury Seminarium przyznało 12 uczniom nagrody za miejsca od pierwszego do dziesiątego (po 2 miejsca drugie i trzecie), a pozostali uczestnicy dostali upominki. Pierwsze miejsce zajął Radosław Smolec z Grudziądza autor pracy „Moje obserwacje Jowisza". W tym roku przyznano też nagrodę specjalną za referat wygłoszony piękną polszczyzną. Otrzymała ją Marta Krawiec ze Skierniewic prezentująca pracę „Katastrofy kosmiczne". Choć seminarium jest astronomiczne, to w czasach, gdy wielu ludzi nawet w mediach posługuje się niekiedy żargonem, należy wyróżnić uczennicę, która nie tylko zadbała o poprawność merytoryczną referatu, ale także jego poprawność językową.

Nagrody ufundowali poszczególni kuratorzy oraz Polskie Towarzystwo Astronomiczne, Fundacja Astronomii Polskiej oraz Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii. Dodatkowo wśród uczestników seminarium rozlosowano roczne prenumeraty „Postępów Astronomii" i „Uranii".

Jak zwykle grudziądzcy gospodarze seminarium — mgr Małgorzata Śróbka-Kubiak i mgr Mirosław Kubiak zadbali o stworzenie miłej atmosfery, o wygodę i dobre samopoczucie uczestników oraz wspaniałą organizację. A prawdziwą ozdobą seminarium była kometa Hale'a-Boppa, którą wszyscy wieczorami podziwiali w grudziądzkim Obserwatorium.

Jadwiga Biała

STENTOR LUNARIS CRACOVIENSIS

Profesor Karol Kozieł odznaczał się bardzo donośnym głosem, którego natężenie modulował zależnie od swojego chwilowego przekonania co do jakości przekazu, bądź odbioru, a także od swej opinii o sprawności intelektualnej odbiorcy; niewątpliwy wpływ na ekspresję miały oczywiście również stany emocjonalne Profesora.

Przywykliśmy w Krakowie do tego, że w lecie, gdy okno sekretariatu starego Obserwatorium przy ul. Kopernika było otwarte, to już w połowie ul. Botanicznej, czyli w odległości ponad 150 m, można było słyszeć, a czasem nawet rozumieć rozmowę telefoniczną Profesora. Zapewne jakoś instynktownie nie dowierzał możliwościom tej czarnej skrzynki; dokuczał mu chyba także brak bezpośredniej obserwacji reakcji interlokutora. W każdym razie rozmowa bywała z reguły bardzo głośna, nawet jeśli była najzupełniej lokalna, np. z Uniwersytetem; nic zatem dziwnego, że nam owe efekty akustyczne po prostu spowszedniały; najzwyczajniej otępieliśmy na nie. Zupełnie inaczej odbierano je jednak tam, gdzie Profesor bywał raczej gościem. Zazwyczaj wywierały niezatarte wrażenie.

W czasie X Kongresu IAU w Moskwie w 1958 r. byłem świadkiem dość ożywionej polemiki prof. Kozieła z prof. A. A. Jakowkinem, na temat efektu[1] odkrytego znacznie wcześniej przez tego ostatniego. Żal mi było Jakowkina, siwego i łagodnego „dziadzia", który – jak mi się wydawało – miał prawie łzy w oczach, gdy jego oponent hardo stwierdził na koniec: „I think the Moon has only one radius!" W czasie najbliższej przerwy podeszło do mnie dwóch uczestników posiedzenia, Amerykanin i Niemiec (nazwisk nie zapamiętałem), którzy pragnęli się upewnić czy prof Kozieł jest tak energiczny jak jego przemówienie. To, że mój szef został wtedy wybrany prezesem Komisji 16. IAU (Ruchu i Figury Księżyca) jestem skłonny przypisywać oczywiście nie tyle mojemu przytaknięciu obydwu dżentelmenom, co sumie oddziaływania ciężaru gatunkowego jego prac pochodzących z cenionej szkoły Banachiewicza i jego „wodzowskiego" sposobu bycia, który sprawę chyba ostatecznie przesądził.

Niekiedy ów sposób bycia sprawiał kłopoty otoczeniu. Tak było np. w jesieni i zimie 1961-1962, gdy udaliśmy się z Profesorem do Manchesteru na zaproszenie prof. Z. Kopala, który w tamtych latach spędzał zwykle jedną połowę roku w Manchesterze (UK), a drugą – w USA. Sprawą szybkiego ukończenia zaawansowanych (przy liczeniu „na piechotę") krakowskich opracowań obserwacji heliometrycznych Księżyca byli zainteresowani – w związku z realizacją programu „Apollo" – raczej Amerykanie niż Uniwersytet Królowej Wiktorii w Manchesterze. Z drugiej jednak strony, tzn. z punktu widzenia PRL, było wówczas prawie nie do przyjęcia „wypuszczenie" kogoś z takimi materiałami do USA (czy też np. do RFN); natomiast Anglia była jeszcze jakoś „do strawienia". Profesor Kopal załatwił więc sprawę tak, jak się dało. W padłem na to przypadkowo, gdy jego sekretarka, Miss Ellen Finlay (obecnie Mrs. D. Carling), rozstrzygając jakąś kwestię formalną, wyjęła nasze papiery z teczki zatytułowanej: ***US Army Contract Number...*** *Jestem absolutnie przekonany, że prof. Kopal nie wtajemniczył mojego szefa w arkana sprawy, gdyż ów nie należał do ludzi kochających ryzyko, które w tym przypadku mogło być co najmniej podwójne ze względu na jego przynależność partyjną.*

Department of Astronomy mieści się w głównym budynku Uniwersytetu i tam mieliśmy swoje biurka. Natomiast otrzymaliśmy także niezależny pokój do pracy w nowoczesnym Budynku Matematyki (o kubaturze ok. 20-30 tys. m^3), leżącym po przeciwnej stronie ulicy. Niektóre elementy ścian owego Math's Building są wykładane korkiem dla tłumienia hałasu. Z pokoju tego mogliśmy korzystać pod nieobecność jego głównego użytkownika, prof. Mahlera. Miałem ponadto dostęp do (jeszcze łampowego) komputera „Mercury" (Ferranti) i oczywiście – do sali dalekopisów. Do pomocy została nam przydzielona jako programistka Mrs. Mary Gorman; programowanie odbywało się w zasadzie już w języku zewnętrznym, znanym pod nazwą „Mercury Autocode", a będącym w pewnym sensie prototypem języka Algol. Prędkość maszyny wynosiła ok. 10 tys. operacji na sekundę.

Spotykaliśmy się zatem w trójkę w przydzielonym nam pokoju, ustalając poszczególne etapy obliczeń i główne elementy programu. Profesor – stosując metodę „na głuchego" – pokonywał siłą głosu swoje wątpliwości, zarówno co do jakości własnej angielszczyzny jak i co do możliwości percepcyjnych Mrs. Gorman, która zresztą kiedyś podejrzliwie zapytała mnie, czy prof. Kozieł nie jest przypadkiem wojskowym, gdyż „krzyczy jak generał". Odpowiedziałem jej w dobrej wierze[2], że o ile

[1] *Efekt Jakowkina polega na zależności kątowego promienia tarczy Księżyca od libracji optycznej w szerokości.*

[2] *Nie wiedziałem jeszcze wówczas o usługach w postaci obserwacji meteorologicznych świadczonych przez mojego szefa kolejno dla armii: a) niemieckiej; b) Czerwonej. Argument a) podnosił ustnie w rozmowie z dr Kurtem Walterem i innym urzędnikiem administracji GG (pisze o tym prof. T. Banachiewicz w swych „Notatach codziennych"); argument b) został użyty w piśmie do władz kwaterunkowych PRL (p. Archiwum UJ). Za każdym razem chodziło jednak po prostu o zachowanie aktualnie zajmowanego lokum; dwukrotnie też ta koncepcja obrony poniosła fiasko. Argumenty należały wprawdzie do owych rodem „z grubej rury", lecz na tyle naiwnych, że nawet gorliwi urzędnicy odnośnych władz spokojnie je zbagatelizowali. Obserwatorium krakowskie nie zostało, jak wiadomo, nigdy zmilitaryzowane, a jego wyłącznie cywilni pracownicy i tak musieli wykonywać te obserwacje w ramach swych obowiązków. Natomiast dowództwa obydwu przedmiotowych armii z pewnością nie miały pojęcia, iż w jakimś procencie zawdzięczają swe sukcesy i porażki krakowskim obserwatorom-meteorologom. Sprawa ta zatem nie powinna w żadnej mierze podawać w wątpliwość prawdziwości mojej odpowiedzi, udzielonej pani M. Gorman jesienią 1961 r.*

postępki astronomów

mi wiadomo, to dotychczas z pozytywnym skutkiem udawało mu się zawsze unikać jakiegokolwiek bliższego kontaktu z wojskiem, po czym dodałem dość kwaśno, że ona sama ma też chyba słabe pojęcie o wojsku, gdzie krzyczą przecież raczej nie generałowie, lecz głównie kaprale.

Aliści niebawem Miss Finlay zakomunikowała mi w sekrecie ze zgrozą, że profesorowie matematyki przysłali do prof. Kopala delegację z prośbą, by „ten profesor, który przyjechł z Polski, odbywał konferencje ze swoim asystentem i z Mrs. Gorman – nie w Math's Building". Nie pomogły, jak widać, ściany wykładane korkiem i ogrom budynku.

Profesor Kopal dzięki swej pojednawczości i pogodzie ducha umiał jednak zażegnywać różne konflikty. Poradził sobie i z tym. Wielekroć zresztą próbował wpływać na postawę i styl mojego szefa swoją ciepłą i cierpliwą perswazją, zaczynającą się nieodmiennie od słów: „But you see, pane Karle. . ."

Kiedyś jednak nastąpił szok w samym Department of Astronomy. Otóż któregoś popołudnia zadzwonił do nas z Krakowa Józio Masłowski (obecnie profesor i dyrektor OAUJ) i poprosił do telefonu kolejno: prof. Kozieła, a następnie mnie. Profesor podjął słuchawkę (i rozmowę), co zaowocowało paniczną ucieczką obydwu sekretarek, tj. Ellen i jej pomocnicy, Dorothy, na korytarz, gdzie ja czekałem na swoją kolejkę. Po paru minutach jednak stentorowy głos mojego przedmówcy został zagłuszony przez potworny rumor, jakby tabunu koni cwałujących po rozklekotanym moście. Podobny hałas, choć słabszy, uchodził dotychczas za normalny, ale o zwyczajowej porze „tea-time" (16^h). Powodują go asystenci zbiegający po drewnianych schodach ze swych pomieszczeń znajdujących się piętro wyżej. Tym razem jednak uczynili to tłumnie, gwałtownie i do tego o nietypowej godzinie. Na widok mój i sekretarek w korytarzu... zbaranieli. Po chwili jeden z nich wykrztusił do mnie: „co się tu dzieje? – my pędzimy tobie na pomoc, bo słyszymy, że Kozieł strasznie krzyczy na kogoś, a na kogóż mógłby tu krzyczeć po polsku – jak nie na ciebie? Ty natomiast flirtujesz sobie w najlepsze z Ellen i Dorothy!"

Wyraziwszy swe wzruszenie ich troskliwością wyjaśniłem: – Właśnie przed chwilą zadzwonił z Krakowa Joe Masłowski i Profesor z nim rozmawia.

Dalszy bieg dyskursu kształtował się logicznie i naturalnie:

– Kto to jest Joe Masłowski?

– To mój kolega, który ma tu przyjechać zaraz po moim wyjeździe.

– A co on złego zrobił?

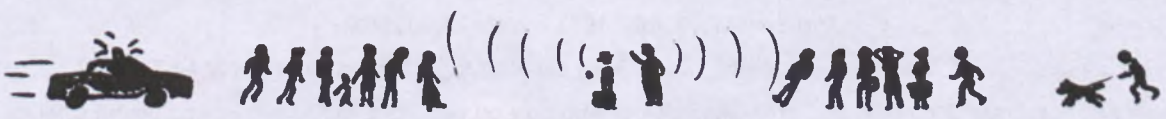
– Nic! Profesor tylko instruuje go, kiedy ma wziąć pieniądze z Uniwersytetu, kiedy wizę brytyjską, kiedy i na kiedy ma kupić bilet lotniczy do Manchesteru i co ma tu przywieźć z Krakowa. – To czemu on tak straszliwie krzyczy ?

Moje, rzucone na odczepne, „because Poland is far away" – byłem skłonny uważać już bezpośrednio w tamtej chwili za wybieg niegodny i trywializujący sprawę. Tymczasem wyjaśnienie to okazało się zupełnie trafne. Po chwili bowiem Profesor wyskoczył na korytarz i wezwał mnie do słuchawki. Przejąłem ją i – trochę złośliwie – zacząłem rozmawiać z Józiem, nawet nieco ciszej, niż robię to zazwyczaj – tak, iż „stało się uciszenie wielkie" (Mt. 8, 26); sekretarki powróciły do biurek, a uspokojeni asystenci – do swych pracowni na górze.

Mniej więcej po godzinie wyszliśmy z Profesorem z Uniwersytetu i maszerowaliśmy jakiś czas razem. W pewnej chwili przerwał milczenie uwagą: „panie magistrze, chybam ja trochę za głośno mówił przez ten telefon; pan tu ma zdaje się jakąś rodzinę, to i ma pan większe doświadczenie na tym dystansie".

Kolejny „happening" manchesterski, kiedy to Profesor zrobił użytek z siły swego głosu, znam już tylko z listu Józia Masłowskiego. Profesor przywitał go w miejskim terminalu lotniczym i zaczął przedstawiać mu moją osobę w barwach raczej kontrowersyjnych (oj, nie byłem Ci ja pokornym i uległym asystencikiem – to fakt!). Józiową próbę bronienia kolegi Profesor zmiażdżył gromkim: „Pan go nie zna! – Ja panu to mówię!" Bezpośrednim skutkiem tej eksklamacji okazała się dwumetrowa sylwetka policjanta, która błyskawicznie wyrosła obok nich deklarując gotowość służenia daleko idącą pomocą – wraz z ewentualnym bezpłatnym transportem do komisariatu włącznie. Sprawę wyjaśniono polubownie.

Jan Mietelski



„EFEKT KOZIEŁA"

Konkurs o kometach — rozstrzygnięcie

Na nasz konkurs o kometach zamieszczony w PA 4/96 napłynęło 25 odpowiedzi, ale tylko jedna z nich była w pełni prawidłowa. Tym sposobem mamy jednego niekwestionowanego zwycięzcę, a jest nim pan **MARIUSZ GORZELANY** z Poznania.

Serdecznie gratulujemy!

Największy problem mieli nasi Czytelnicy z identyfikacją trzeciego zdjęcia w pytaniu nr 5 — istotnie, zdjęcie nie było charakterystyczne! Większość biorących udział w konkursie sądziła, że przedstawia ono ubiegłoroczną kometę Hyakutake (a jak ładnie by pasowały lata pojawień przedstawionych na obrazkach komet: 1976 (Westa), 1986 (Halleya) i... 1996 — Hyakutake!) Niestety, zdjęcie przedstawia obraz komety Kohoutka o której pisze nasz Laureat:

Odkryta została 7 marca 1973 roku przez astronoma czechosłowackiego Luboša Kohoutka jako obiekt 16 wielkości gwiazdowej. W momencie odkrycia kometa znajdowała się poza orbitą Jowisza w odległości 1 mld km. ***Kometa Kohoutka*** *miała być jedną z najjaśniejszych komet w historii astronomii. Przewidywano, że w momencie przejścia przez peryhelium (28 grudnia 1973 r.) osiągnie jasność –10.5^m. Niestety przewidywania co do rewelacyjnej jasności komety nie sprawdziły się. Maksymalna jej jasność wynosiła 1.5^m a długość warkocza 15°. Astronomowie uznali, że kometa Kohoutka należała do bardzo „starych" komet. Jądra takich komet pokryte są warstwą pyłu chroniącą je przed nagrzewaniem i sublimacją.*

A oto wybrane odpowiedzi na pozostałe pytania konkursu:

1. Czy komety posiadają jądra, a jeśli tak, to z czego są one zbudowane?

Komety posiadają jądra*, które są bryłami o nieregularnych kształtach, o rozmiarach rzędu kilku kilometrów i stanowią konglomerat lodów, przede wszystkim lodu wodnego, a także tlenku i dwutlenku węgla, metanu, amoniaku oraz cząstek krzemianów i metali.* (p. Jarosław Bandurowski, Zabrze)

2. Kometa Halleya podczas swojego ostatniego zbliżenia do Słońca została przebadana z bliska przez pięć sond kosmicznych. Prosimy podać nazwy trzech z nich, ukazanych na prezentowanych znaczkach pocztowych.

Na znaczku pierwszym znajduje się sonda ***GIOTTO****. [...] Na znaczku drugim jest prawdopodobnie przedstawiona japońska sonda* ***PLANETA-A.*** *[...] Znaczek trzeci przedstawia radziecką sondę* ***VEGA****.* (p. Ryszard Gieroń, Przemyśl)

3. Z jaką kometą kojarzony jest sierpniowy rój meteorów — Perseid?

Perseidy to strumień-gigant. [...] ***Rój ten związany jest z kometą 1862 III (Swift-Tuttle).*** (p. Magdalena Kunert, Gołuchów)

4. Jak nazywa się kometa, u której po raz pierwszy wykryto promieniowanie rentgenowskie?

Kometa, u której po raz pierwszy wykryto promieniowanie rentgenowskie, to kometa ***C/1996 B2 (Hyakutake).*** *Dokonał tego satelita ROSAT podczas obserwacji komety w dniach 26 i 27 marca 1996 r.* (p. Łukasz Walec, Stalowa Wola)

5. Na [...] zdjęciach przedstawione zostały obrazy trzech słynnych komet widocznych w bieżącym stuleciu. Prosimy podać ich nazwy i lata ostatniego pojawienia się na naszym niebie.

Z lewej — ***kometa 1976 VI, West****. W odległości 30 mln. km od Słońca rozpadła się na cztery części. Pośrodku —* ***kometa Halleya****, ostatnie zbliżenie do Słońca w 1986 roku. Z prawej strony — chyba kometa Hyakutake z 1996 r. (reprodukowane zdjęcie jest dość niewyraźne, co dotyczy także zdjęć znaczków z pytania 2).** (p. Piotr Podkowicz, Gdynia)

Nagrodą dla zwycięzcy konkursu jest lornetka 7×50.

Wśród pozostałych uczestników konkursu rozlosowaliśmy trzy prenumeraty naszego pisma na rok przyszły. Szczęście uśmiechnęło się do następujących osób:

1. Tomasz Celeban (Łask),

2. Andrzej Chyłek (Strażów),

3. Izabela Ciepał (Wolbrom).

Wszystkim uczestnikom dziękujemy za udział w tej zabawie i obiecujemy dalsze tego typu konkursy.

Redakcja

---

* Zdjęcia znaczków nie mogły być bardziej czytelne bo już na tych zamieszczonych można dopatrzeć się (w dolnym prawym rogu) nazw GIOTTO i VEGA. Zdjęcia komet wzięte zostały z zasobów Internetu i należą do bardziej znanych obrazów przedstawionych komet. Jeśli jednak otrzymany w prenumeracie egzemplarz PA jest źle wydrukowany, to można go odesłać, a zostanie wymieniony na inny (uwaga nie dotyczy zeszytów 4/95 i 1/96) (red. tech.)

Informacja o prenumeracie i egzemplarzach archiwalnych

Wszelkich informacji na temat zakupu i prenumeraty „Postępów Astronomii" udziela:

Barbara GERTNER Centrum Astronomii UMK ul.Gagarina 11 87-100 TORUŃ

Tel. (0-56) 65 40 676 wewn. 14; fax: (0-56) 65 40 692 E-mail: basia@astri.uni.torun.pl lub aw@astri.uni.torun.pl

Prenumerata w roku 1997 wynosi 24.00 zł/rok

Wpłaty na konto: *Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bank Gdański S.A. O/Toruń Nr 10401514-6347-132*

Redakcja posiada jeszcze pewną ilość archiwalnych egzemplarzy od początku istnienia naszego pisma czyli od roku 1953. Posiadane roczniki i pojedyncze zeszyty przekażemy bezpłatnie szkołom, które zgłoszą Redakcji chęć ich otrzymania i zechcą zwrócić koszt przesyłki. Indywidualnym czytelnikom udostępnimy te egzemplarze po symbolicznej cenie i za zwrotem kosztów przesyłki. Zamówienia realizować będziemy w kolejności zgłoszeń, aż do wyczerpania nakładu.

FOTObserwacje

Świetna widoczność komety Haie-Bopp w marcu b.r. zaowocowała licznymi zdjęciami tego widowiskowego gościa na naszym nieboskłonie. Poniższy wybór ilustruje różnorodność podejścia do tego tematu bez stosowania teleobiektywów. Zdjęcia wykonane w plenerze odegłym od świateł miast dały najlepsze efekty w obrazowaniu gazowo-pyłowej dwoistości warkocza (1,4,6,7), z kolei te wykonane przy niezbyt ciemnym niebie pozwoliły na utrwalenie obrazu komety takiej, jaką widziało ją oko (2,3). Niepowtarzalny charakter mają z kolei zdjęcia wykonane nad charakterystycznymi obiektami (5,8,9). Czekamy na następne!

Autorami zamieszczonych zdjęć są: (1) Witalij Romejko, Moskwa; (2) Elżbieta Malinowska, Sandomierz; (3,4) Maciej Michalunio, Frombork; (5) Wiesław Skórzyński, Toruń; (6) Gracjan Maciejewski, Toruń; (7) Janusz Wiland, Warszawa; (8,9) Jacek Drążkowski i Jerzy Puszcz, Lidzbark Warm.

1.

2.

3.

4.

5.

6.

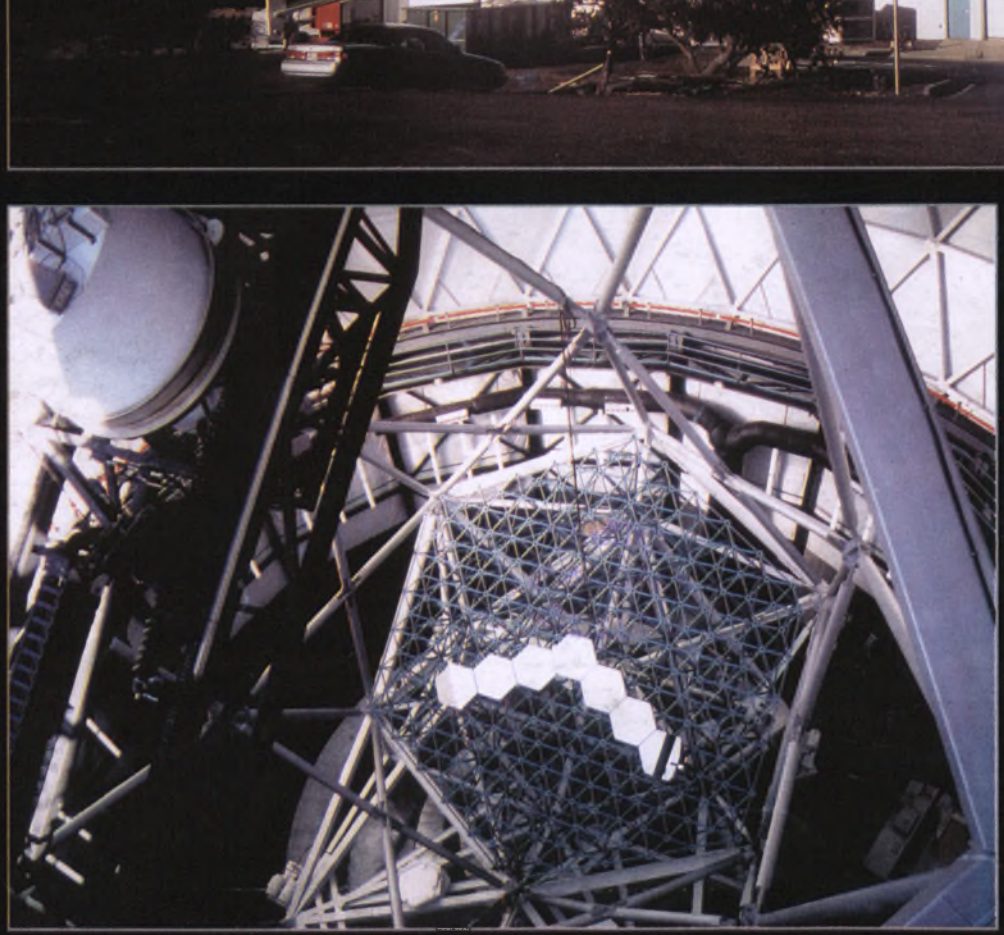
8.

7.

9.

Teleskop HET

Teksas, USA



Telesop Hobbyego-Eberleya (HET) to nowatorska konstrukcja. Jego mozaikowe lustro złożone jest z 91 heksagonalnych zwierciadeł. Nie ma on możliwości prowadzenia za pozornym ruchem gwiazd i działa jako instrument tranzytowy z ruchomą aparaturą odbiorczą w ognisku teleskopu. Więcej informacji o tym teleskopie w „rozmaitościach" na str. 27.

Na zdjęciu obok wnętrze teleskopu z siedmioma pierwszymi segmentami lustra. W momencie oddawania tego zeszytu do druku zamontowano już 36 segmentów.

Na rozkładówce

Postępy Astronomii

3/97

tom 45

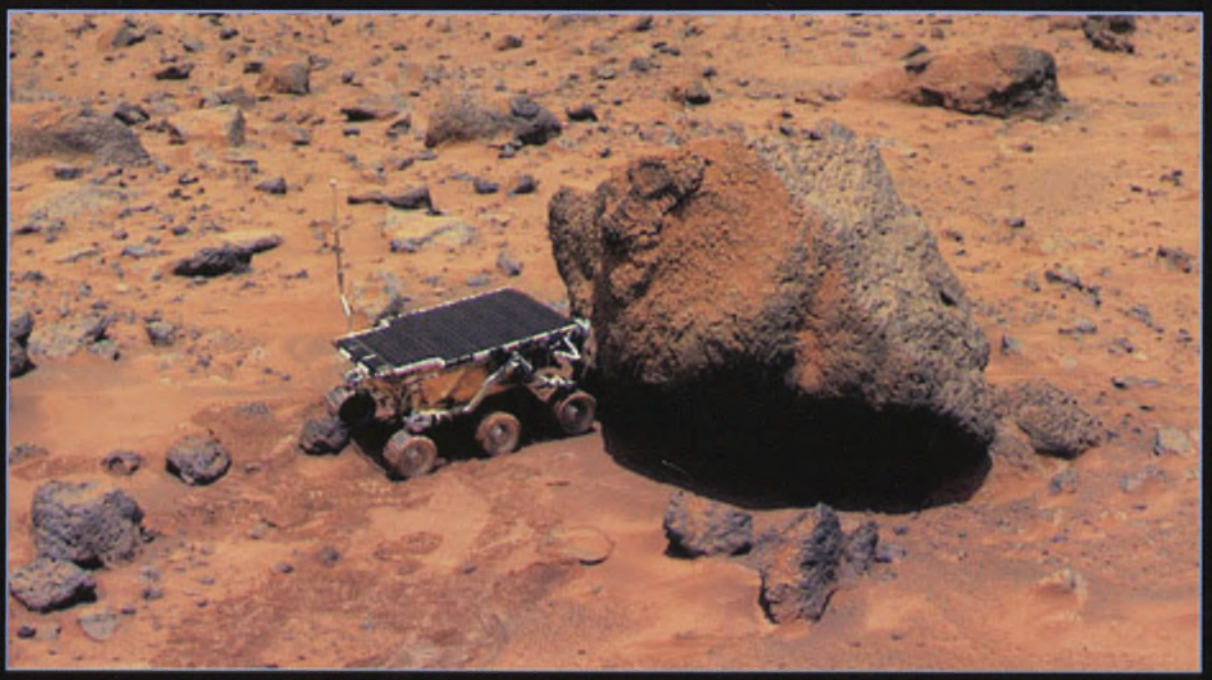
lipiec – wrzesień

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

Marsjański zwiad

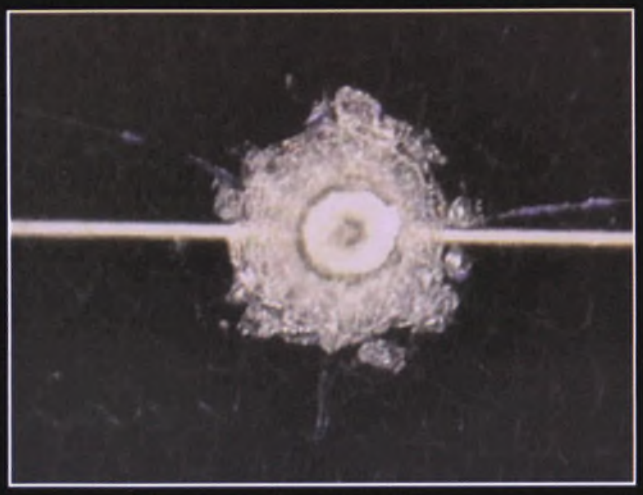
W numerze:

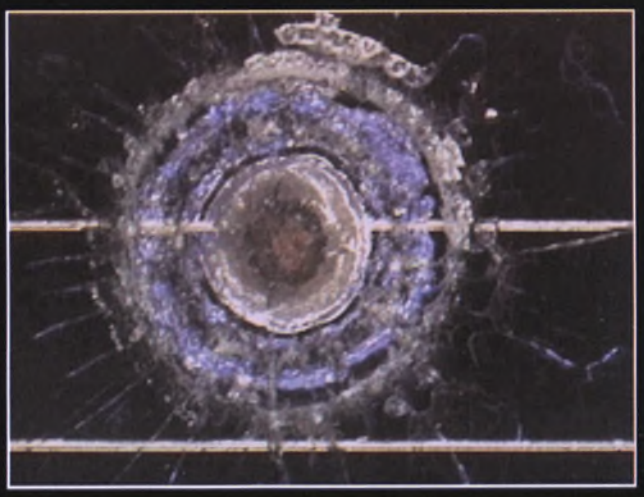
- *astronomia z Księżyca*
- *kosmiczne śmieci*
- *mgławice planetarne*
- *rozwiązanie zagadki błysków gamma?*

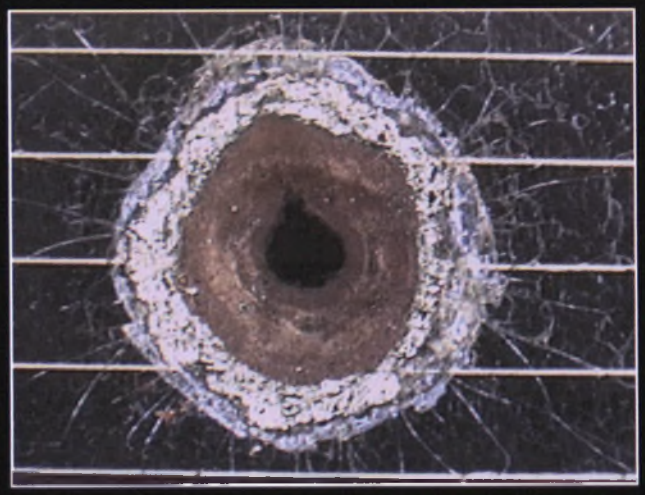


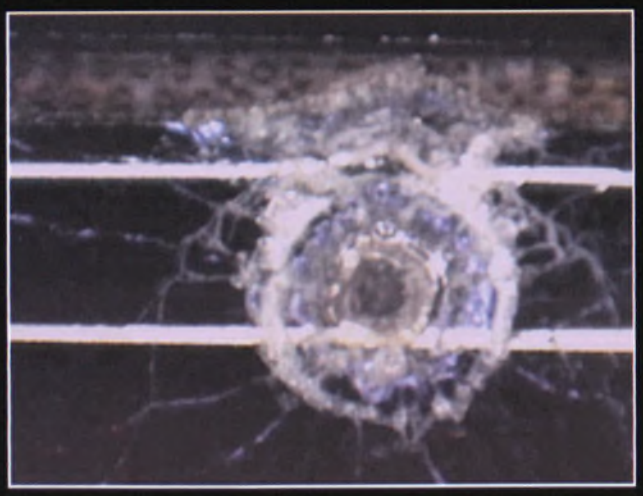
Mikrokratery na EURECE

Na zdjęciach pokazane są wybrane typowe struktury uderzeniowe (mikrokratery) znalezione na powierzchni baterii słonecznych satelity EURECA. Odległości pomiędzy jasnymi liniami wynoszą 1.2 mm (patrz artykuł na str. 8).









Drodzy Czytelnicy,

URANIA, córka Zeusa i tytanki Mnemosyne, od czasów Homera i Hezjoda opiekuje się ASTRONOMIĄ. Muza astronomii przyświecała też młodym polskim miłośnikom gwieździstego nieba, którzy w pierwszych latach Drugiej Rzeczpospolitej organizowali istniejące do dzisiaj Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii. Swemu biuletynowi, który już wkrótce (w 1922 roku) miał się stać oficjalnym organem PTMA też nadali Jej imię. Jest to dzisiaj jedno z najstarszych polskich czasopism naukowych. Wiosną tego roku polska „Urania" świętowała 75 lat swego istnienia. W tym jubileuszowym dla niej okresie Zarządy Główne Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii i Polskiego Towarzystwa Astronomicznego doszły do wniosku, że należy połączyć wysiłki popularyzatorskie obu towarzystw i zamiast „Uranii", organu PTMA i „Postępów Astronomii", organu PTA, wydawać tylko jedno czasopismo poświęcone upowszechnianiu wśród społeczeństwa polskiego wiedzy o Wszechświecie. Oczywiście zaproponowano, aby nosiło ono tytuł „Urania", a że będzie donosiło o postępie wiedzy o ciałach niebieskich, to powinno mieć podtytuł „Postępy Astronomii". I tak tym salomonowym wyrokiem, zamiast „Uranii" i „Postępów Astronomii", jeśli Walne Zjazdy obu Towarzystw to zaakceptują, będziemy od stycznia 1998 roku mieli „Uranię-Postępy Astronomii". Nowe czasopismo ma być dwumiesięcznikiem oraz zachować dotychczasową formę i objętość „Postępów Astronomii". Do tego zeszytu załączamy ulotkę informującą o nowej „Uranii" i zachęcającą do jej prenumeraty.

A co nam przynosi bieżący (przedostatni?) zeszyt „Postępów Astronomii"? Myślę, że zawiera bardzo różnorodne i ciekawe materiały. Otwiera go artykuł profesora ***Jean-Pierre'a Swingsa*** *z Instytutu Astrofizycznego w Liège w Belgii na temat obserwacji astronomicznych z powierzchni Księżyca. Autor jest przewodniczącym specjalnej Grupy Roboczej Międzynarodowej Unii Astronomicznej powołanej w celu merytorycznego opracowania tego zagadnienia i sformułowania odpowiednich wniosków i rekomendacji. Czytelnicy „Postępów Astronomii" mają więc okazję zapoznania się z tymi zagadnieniami bezpośrednio od eksperta najwyższej rangi. Niejako prekursorem omawianych przez J.P.Swingsa perspektyw badawczych jest realizowany obecnie wirtualny, większy niż Ziemia, radioteleskop i program badawczy VSOP. Piszemy o tym teleskopie w „Rozmaitościach" (str. 30) i prezentujemy uzyskany przez niego pierwszy obraz odległego kwazara (okładka).*

Często zachwycamy się osiągnięciami ludzkości w „podboju" Kosmosu. Fascynują nas wędrówki ludzi i aparatów kosmicznych wokół Ziemi, na Księżycu, teraz ponownie na Marsie. Nie zdajemy sobie jednak sprawy jak wiele przy tym pozostawiamy po sobie odpadków, jak wiele po prostu śmiecimy w Kosmosie. Pisaliśmy już o tym w „Postępach Astronomii" w zeszycie nr 2/1994, a obecnie na str. 8 szczegółowo omawia ten problem profesor ***Edwin Wnuk*** *z Poznania. Czy każda działalność człowieka musi być związana z nieodłącznym zaśmiecaniem swego otoczenia? Często zaśmiecaniem bardzo niefrasobliwym i niebezpiecznym dla innych użytkowników tej samej przestrzeni ?.*

Pani Doktor ***Grażyna Stasińska*** *z Obserwatorium Astrofizycznego w Meudon pod Paryżem (Francja) w zwartym i pięknie usystematyzowanym wykładzie pokazuje nam, jak mgławice planetarne (podobnie też inne obiekty), mogą służyć jako narzędzia badawcze współczesnej astrofizyki. Jest to pisana wersja Jej zaproszonego wykładu wygłoszonego na XXVII Zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego w roku 1995 w Poznaniu. Myślę, że studenci astronomii i fizyki powinni się tym artykułem szczególnie zainteresować.*

Pojawiające się od czasu do czasu błyski promieniowania gamma przez długie lata były startegiczną tajemnicą. Jeszcze do niedawna dwa atomowe supermocarstwa podejrzewały się nawzajem o potajemne próby jądrowe, których świadectwem mogły być własnie obserwowane nagłe, na krótko, pojawianie się tego promieniowania. Od kilku lat już wiadomo, że błyski te mają pochodzenie kosmiczne, a nie ziemskie. Ale ciągle są tajemnicze i ciągle np. nie wiemy czy pochodzą od obiektów należących do naszej Galaktyki, czy też ich źródła leżą gdzieś w dalszych głębinach Wszechświata. Wydaje się, że rok bieżący przyniósł pare odkryć, które przybliżają nam poznanie i tej tajemnicy Kosmosu. O tych odkryciach pisze doktor ***Tomasz Bulik*** *z Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie w swym ciekawym artykule na str 14.*

Słońce jest naszą najbliższą gwiazdą. Jej promieniowanie warunkowało nasze powstanie i ciągle reżyseruje warunki naszego istnienia. Mgr ***Radosław Rek*** *z Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie przedstawia nam niektóre zjawiska zachodzące w ziemskiej jonosferze, a powstające na skutek różnych aktywnych stanów Słońca (str. 32).*

W „Rozmaitościach" donosimy m.in. o lipcowej wyprawie na Marsa, o wspomnianym wyżej mega-radioteleskopie VSOP. Obserwacje teleskopu kosmicznego przynoszą nam informacje o nowych kolizjach kosmicznych, tworzących się rodzinach gwiazdowych i obrazy Marsa tuż przed lądowaniem Pathfindera.

W naszym szkolnym kąciku piszemy o spotkaniu nauczycieli fizyki z astronomią w Centrum Astronomicznym PAN w Warszawie i o tym jak wykorzystać np. komety na lekcjach fizyki. Na innych stronach m.in. wspominamy kilku wybitnych astronomów, krórzy ostatnio opuścili na zawsze nasze środowisko, przedstawiamy kilka ciekawych pozycji wydawniczych oraz kalendarz hebrajski.

Tym razem, na miejscu tradycyjnego felietonu „Podstępki astronomii - postępki astronomów" publikujemy listę przyznanych przez KBN grantów w dziedzinie astronomii i badań kosmicznych. Sądzimy, że ta lista daje dobry i rzeczowy obraz zainteresowań badawczych polskich astronomów. Może więc być obrazem „postępków" polskich astronomów i dobrze służyć wzajemnej informacji o aktualnych polskich badaniach astronomicznych.

Byłbym wdzięczny za listy Państwa z opiniami w sprawie planowanego połączenia „URANII" i „POSTĘPÓW ASTRONOMII" oraz o dotychczasowej treści i formie wydawniczej naszego pisma.

Życzę interesującej lektury i pozostaję z wyrazami szacunku

Toruń, 1 sierpnia 1997 roku

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w Toruniu

Milion dolarów nagrody!

W dniu 3 sierpnia w polskim dzienniku telewizyjnym podano informację, iż w Stanach Zjednoczonych oficjalnie ujawniono, że hałaśliwa wrzawa w latach czterdziestych, pięćdziesiątych i sześćdziesiątych, wokół „latających talerzy", miała charakter celowej mistyfikacji. Chodziło o ukrycie tajnych eksperymentów lotniczych i rakietowych (między innymi ze szpiegowskimi samolotami U2).

Nie mogę się tu powstrzymać od uwagi, że na taką możliwość zwracałem uwagę w moich książkach: „W poszukiwaniu kosmitów" (pierwsze wydanie 1976 r. Na str. 182), „Podróże międzygwiezdne ?" (1984 r. Na str. 289).

Warto tu wspomnieć, że w latach czterdziestych i pięćdziesiątych pisanie w Polsce o latających talerzach było... „zabronione". Gdy redaktor naczelny jednego z czołowych polskich miesięczników popularnonaukowych opublikował dwa artykuły na temat latających talerzy, to jeden z polskich specjalistów w dziedzinie kosmonautyki zresztą z wykształcenia chemik spożywczy (a było to wtedy specjalistów w dziedzinie kosmonautyki tylko kilku - do dziś żyje jeszcze dwóch) uniósł się „świętym oburzeniem" i złożył na owego redaktora doniesienie do wydziału nauki i kultury KC. No cóż posada naczelnego redaktora była wtedy dość „ciepła"... Awantura była niesamowita, ale redaktorowi owemu udało się jakoś wybronić i posady nie stracił, a nawet przetrwał na niej przeszło ćwierćwiecze - swoisty fenomen w tamtych czasach...

Sytuacja uległa jednak zmianie w latach siedemdziesiątych. W roku 1975 ukazała się w Polsce przesławna książka Ericha von Dänikena „Wspomnienia z przyszłości" i wybuchł w naszym kraju nieprawdopodobny zachwyt tym „dziełem". W niezliczonych dyskusjach telewizyjnych i prasowych książkę potraktowano jak „objawienie", a Dänikena przyrównano nawet do... Kopernika, choć naukowcy nieśmiało zwracali uwagę, że w „wiekopomnym dziele" Dänikena roi się od „szkolnych" błędów i kompletnych niedorzeczności...

W ślad za Dänikenem pojawił się cały legion rodzimego (i obcego) chowu naśladowców. Jeden z polskich autorów napisał nawet cały „sześcioksiąg" na ten temat. No cóż, „dzieła" te ukazywały się w nakładach stutysięcznych! (A brak wtedy było papieru na zeszyty...)

Skąd jednak wynikła taka łaskawie przyzwalająca zmiana nastawienia "władzy" do tej tematyki?

No cóż sytuacja polityczna i gospodarcza w naszym kraju zaczęła się wtedy wyraźnie „psuć", toteż usilnie potrzebne były wszelakie tematy „zastępcze" dla społeczeństwa...

Ale gdzie ów milion dolarów nagrody ?

Otóż przed dwudziestu laty Amerykańska Akademia Nauk ustanowiła nagrodę w wysokości miliona dolarów (!) za naukowe udowodnienie, że na Ziemi byli przybysze z Kosmosu...

Na Ziemi istnieje ogromna rzesza specjalistów „talerzologów" i „przybyszologów" (o wysokości nakładów ich książek już wspomniałem ale nagroda Amerykańskiej Akademii Nauk ciągle jeszcze czeka na podjęcie...

W Polsce mamy obecnie przerażający zalew tego rodzaju tematyki („numerologie", chiromancje, "astrologie", „radiestezje" itd.). Niektóre z tych dziedzin stroją się przy tym w piórka „nauki nieoficjalnej". Otóż wypada tu twardo i jasno powiedzieć, że coś takiego jak „nauka nieoficjalna" nie istnieje, po prostu n i e i s t n i e j e. Nauka nie dzieli się bowiem na „oficjalną", „nie oficjalną" (i może jeszcze na jakieś inne ?). Nauka, to nauka, a ta reszta, to p s e u d o n a u k a.

Czy jednak ujawnienie przez Amerykanów, że afera wokół latających talerzy była mistyfikacją, położy wreszcie kres tej tematyce i przestanie ona wreszcie obrażać zdrowy rozsądek na łamach prasy i literatury ?

Niestety, obawiam się, że nie...

dr A. Marks,
Warszawa

* * *

A oto kilka myśli z długiego listu naszego Czytelnika z Kalisza. Całym listem zainteresujemy czasopisma zajmujące się reformą polskiej oświaty.

W Nr 1 /97 PA zamieszczony został krótki tekst J. Domańskiego „Quo vadis, Oświato?" Ja natomiast „kopiąc" w stertach papieru w moim biurku, natrafiłem na Nr 46/87 „Głosu Nauczycielskiego" a w nim, pod identycznym tytułem cyklu („Quo vadis...") swój artykuł „Wybór modelu" (...)

Jak wiadomo Wysoka Izba podjęła decyzję o wstrzymaniu reform strukturalnych jako rzekomo kosztownych. Wstrzymało to realizację niechlubnej pamięci „dziesięciolatki". Pretekst ten umożliwiał zarazem ukrycie wad „szkoły średniej dla wszystkich", usprawiedliwiając pośrednio dwudziestopięcioletni zastój w szkolnictwie. Ostatnio, dla potrzeb kampanii wyborczej sklecono pośpiesznie dokument rządowy pt. „Założenia długofalowej polityki edukacyjnej państwa, ze szczególnym uwzględnieniem programu rozwoju kształcenia na poziomie wyższym". To „szczególne uwzględnienie" jest formą ucieczki od tematyki szkolnictwa średniego, z rozwiązaniem problemów którego resort wykazuje szczególną nieporadność. Postuluje się przemianę obecnej ośmiolatki w dziesięciolatkę przez dodanie klasy zerowej i dziewiątej lub reanimację struktur przedwojennych: 6-7 letniej szkoły podstawowej z gimnazjum i liceum. Szkolenie zawodowe przesuwa się na dalsze lata nauki. Ma to m.in. przybliżyć decyzję o wyborze zawodu i nauki do aktualnych potrzeb rynku pracy. Przypomina to jednak przysłowiowe kopanie studni gdy się pali...

Wydaje się prawie pewnym, że urzędnicy MEN nie mają tzw. zielonego pojęcia o szkoleniu zawodowym i jego potrzebach, sprowadzając je w zasadzie do zdobywania pewnej dozy umiejętności praktycznych i manualnych. Te zaś, można podobno zdobyć na podbudowie szkoły ogólnokształcącej (dającej pełnię człowieczeństwa!) i krótkotrwałych kursach pomaturalnych. W ten sposób można zdobyć prawo jazdy albo nauczyć się obsługi komputerów. Są to jednak umiejętności, które powinniśmy posiąść wszyscy i to obowiązkowo, a więc w szkole średniej, niezależnie od jej rodzaju. Ale jak w tym układzie zostać technikiem ekonomistą, budowlanym lub samochodowym? Na kursach objazdowych? Ten problem trzeba dojrzeć i widzieć go zgodnie z wymogami życia: w czasie i przestrzeni. Trzeba jednak do tego sporej dozy wyobraźni, której niestety brak. Lub dobrej woli...(...)

Jak z tego wynika, odpowiedź na pytanie zawarte w tytule artykułu J. Domańskiego, nie będzie łatwa. Oświata polska bowiem nigdzie nie idzie a jeśli, to w żółwim tempie i niewłaściwym kierunku. Najczęściej jednak kręci się bezradnie dookoła, w poszukiwaniu wyjścia którego nie ma lub z którego nie chce się skorzystać. Bo przecież 28-letni (słownie: dwudziestoośmioletni!) marazm koncepcyjny MEN a ściślej — lansowanie rozwiązań wyraźnie błędnych — jest wystarczająco wymowny.

Jerzy Tyszka, *Kalisz*

KSIĄŻKI POPULARNONAUKOWE WYDAWNICTWA
Prószyński i S-ka

Adam Dobrzycki i Jerzy Dobrzycki

ATLAS NIEBA GWIAŹDZISTEGO

Twarda oprawa, 24 strony (tabele) + 88 stron (mapy).
Cena 49 zł (40 zł w księgarni wysyłkowej)

■ Dwadzieścia map nieba północnego i południowego, obejmujących wszystkie gwiazdozbiory.
■ Każdy z 88 gwiazdozbiorów występuje w całości przynajmniej na jednej mapie.
■ Mapy zawierają wszystkie gwiazdy jaśniejsze od 6,5 wielkości gwiazdowej.
■ Nowość: rozmiary gwiazd zostały wykreślone w ciągłej skali jasności od 6,5 do 0,0 wielkości gwiazdowej.
■ Na mapach można również odnaleźć: Drogę Mleczną, gwiazdy zmienne, podwójne i wielokrotne, kuliste i otwarte gromady gwiazd, mgławice planetarne i gazowe oraz galaktyki, łącznie z Wielkim i Małym Obłokiem Magellana.
■ Mapom towarzyszą tablice, w których zostały zgromadzone informacje o najjaśniejszych gwiazdach, gwiazdach zmiennych i podwójnych oraz niemal wszystkich obiektach niegwiazdowych.

Kslążki można kupić w księgarnlach lub zamówić w sprzedaży wysyłkowej:
listownie w Klubie Książki Księgarni Krajowej, skrytka pocztowa 21, 02-600 Warszawa 13;
telefonicznle pod numerami: 0-800-244-88 (połączenie bezpłatne)
oraz (0-22) 43-51-21 i 43-41-61; (+3 zł na koszty wysyłki).

Postępy Astronomii

(PL ISSN 0032-5414)

są kwartalnikiem poświęconym popularyzacji astronomii. Pismo jest oficjalnym organem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, założonego w roku 1923. *POSTĘPY ASTRONOMII* ukazują się od 1953 roku, a od 1991 roku w zmienionej formie i nowej szacie graficznej.

Redaktor naczelny:
Andrzej Woszczyk (CA UMK Toruń)

Kolegium redakcyjne:
Roman Schreiber (CAMK Toruń)
Andrzej Sołtan (CAMK Warszawa)

Opracowanie graficzne i skład komputerowy:
Jacek Drążkowski

Korekta: Jadwiga Kabatek-Drążkowska

Redakcja w Toruniu:
ul. Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. (0-56) 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail adress):
aw@astri.uni.torun.pl

Redakcja w Warszawie:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Adres WWW:
http://postepy.camk.edu.pl

Druk:
Zakład Poligraficzno-Wydawniczy
POZKAL, Inowrocław

Dystrybucja:
Barbara Gertner, UMK,
ul. Chopina 12/18, 87-100 Toruń
tel. (0-56) 65 40 676 wewn. 14
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

Numer zamknięto w sierpniu 1997 r.

*** Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca * Przedruk materiałów i zdjęć tylko za zgodą Redakcji * Opinie i poglądy formułowane przez Redakcję i autorów nie reprezentują oficjalnego stanowiska Towarzystwa ***

© POSTĘPY ASTRONOMII 1997

W NUMERZE

4 **ASTRONOMIA Z KSIĘŻYCA (kilka przykładów)**
Jean-Pierre Swings

Księżyc jest uważany za wyjątkowe dla astronomii miejsce. Oferuje lepsze warunki obserwacyjne niż większość miejsc na Ziemi i posiada tę cenną przewagę nad Ziemią, że umożliwia dostęp do całego zakresu widm elektromagnetycznych, cząsteczkowych i promieniowania kosmicznego.

8 **Śmieci kosmiczne w przestrzeni wokółziemskiej**
Edwin Wnuk

Liczba obiektów wyniesionych z Ziemi w przestrzeń kosmiczną i tam pozostających, obiegając naszą planetę po różnego typu orbitach, ciągle wzrasta. Zagęszczenie przestrzenne tych obiektów w niektórych rejonach zaczyna osiągać niepokojąco wysoki poziom, czego skutkiem jest realne zagrożenie dla czynnych satelitów Ziemi, dla orbitalnych obserwatoriów kosmicznych, dla załogowych misji kosmicznych itp.

14 Wielki krok ku rozwiązaniu zagadki błysków gammma
Tomasz Bulik

W modelu kosmologicznym błyski gamma związane są z najbardziej energetycznymi wybuchami we Wszechświecie. W takim błysku wydziela się około 10^{53} ergów w czasie około jednej sekundy. Dla porównania jest to energia jaką nasze Słońce wydzieli w czasie całego swojego życia, czyli około 10 miliardów lat! Jeśli źródła błysków znajdowałyby się w galaktycznym halo to wówczas potrzeba by „jedynie" około 10^{42} ergów na błysk, to jest energia jaką Słońce wypromieniowuje w ciągu mniej więcej ludzkiego życia.

19 **Mgławice planetarne jako narzędzia badań astrofizycznych**
Grażyna Stasińska

Mgławice planetarne zachwycały wiele pokoleń astronomów i miłośników astronomii, zadziwiając ich bogactwem kolorów i kształtów. Z biegiem czasu coraz bardziej się też przekonywano, że mgławice planetarne to również znakomite narzędzia do badań w wielu dziedzinach astronomii.

26 **Burze jonosferyczne, magnetyczne i związane z nimi zjawiska na Słońcu.** *Radosław K. Rek*

Zjawiska zachodzące w atmosferze Słońca wpływają na stan ziemskiego magnetyzmu. Obserwowane są częste i silne burze magnetyczne oraz widowiskowe zorze polarne. Niespokojne Słońce w znaczącym stopniu wpływa także na stan najwyższych warstw ziemskiej atmosfery nazywanych jonosferą. Mają miejsce przerwy łączności, zakłócenia pracy rozciągłych systemów energetycznych, a także usterki w funkcjonowaniu satelitów.

Teleskop Kosmiczny Hubble'a obserwuje: *Kosmiczne kolizje (24); Gwiezdna rodzinka (25); Mars przed lądowaniem Pathfindera (25)*

rozmaitości: *Kosmiczna interferometria radiowa (26); Marsjański zwiad (28); Kosmiczne rany Ziemi (31)*

38 ***Recenzje PA:*** *Pływy na morzach i oceanach; Atlas nieba gwiaździstego; Katastrofy kosmiczne*

Astronomia w szkole: *Astronomia w szkołach średnich — seminarium dla nauczycieli fizyki, Warszawa, 15-17 listopada 1996 (41); Obfitość komet i nauczanie fizyki (42)*

44 **Kalendarz hebrajski**

46 **In memoriam:** *Lyman Spitzer Jr; Martin Schwarzschild; Jurgen Rahe; Eugene M. Shoemaker*

48 **W kraju...** *Granty KBN*

Materiały dotyczące wyników obserwacji teleskopu kosmicznego Hubble'a uzyskano dzięki uprzejmości doktora F. Duccio Macchetto, przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w *Space Telescope Science Institute* w Baltimore (USA)

NA OKŁADCE

Widoczna półkula Marsa na tydzień przed lądowaniem „Pathfindera" z widoczną burzą piaskową nad Valles Marineris oraz marsjański łazik Sojourner pod skałą nazwaną imieniem misia Yogi. Sojourner badał tę „dwubarwną" skałę swoim rentgenowskim spektrometrem APX.
Więcej zdjęć i pierwsze wyniki z tego „marsjańskiego zwiadu" prezentujemy w „rozmaitościach" na str. 26 – 28.

ASTRONOMIA Z KSIĘŻYCA

(kilka przykładów)[1]

Jean-Pierre SWINGS

Księżyc jest często uważany za wyjątkowe dla astronomii miejsce. Oferuje lepsze warunki obserwacyjne niż większość miejsc na Ziemi i posiada tę cenną przewagę nad Ziemią, że umożliwia dostęp do całego zakresu widm elektromagnetycznych, cząsteczkowych i promieniowania kosmicznego. W niniejszym artykule skupiamy się głównie na omówieniu wykorzystania Księżyca do interferometrii fal radiowych o bardzo niskiej częstotliwości i możliwości poszukiwania ciemnej materii przy pomocy księżycowego teleskopu tranzytowego.

Wstęp

Dokument Europejskiej Agencji Kosmicznej SP-1150 „Misja Księżycowa", opublikowany w czerwcu 1992 roku podsumowuje wyobrażenie współczesnych środowisk naukowych dotyczące prowadzenia badań z powierzchni Księżyca i konfrontuje je z obecnymi możliwościami technicznymi i finansowymi ESA. W szczególności rozdziały o astronomii i astrofizyce, fizyce Słońca i fizyce wysokich energii, jasno definiują zagadnienia, których badanie z Księżyca może mieć istotny wpływ na naszą wiedzę. Skupimy uwagę na dwu podstawowych zakresach badań rekomendowanych we wspomnianym dokumencie, to znaczy interferometrii i radioastronomii bardzo niskich częstotliwości (ESA powołała już dwa zespoły badawcze do pracy nad tymi tematami), oraz na nowej propozycji dotyczącej budowy księżycowego teleskopu tranzytowego.

Odpowiednie agendy Wspólnoty Europejskiej odpowiadające za program badań prowadzonych z Księżyca podkreślają wagę metody „małych kroków" dzięki której wszyscy zainteresowani przedstawiciele nauki będą mogli uczestniczyć w tych pracach (patrz broszura ESA BR101 — Maj 1994). W planach dotyczących uprawiania „Nauki z Księżyca" — "Science from the Moon" — astronomia ma oczywiście niebagatelną rolę do odegrania.

Zanim omówimy niektóre problemy astronomii księżycowej, przypomnijmy sobie, co wciąż może ofiarować astronomom Ziemia. Istnieją dobrej jakości, stosunkowo łatwo dostępne miejsca na naszej planecie, takie jak góry w Chile, a w szczególności Mount Paranal, płaskowyże na Wyspach Kanaryjskich, na archipelagu Mauna Kea czy w Azji Środkowej, w których są znakomite warunki obserwacyjne. Jest też nie zniszczona cywilizacją Arktyka, potencjalny prekursor badań astronomicznych z Księżyca. To czego poszukują astronomowie to lokalizacje o suchym, nieruchomym powietrzu, oferujące bardzo ciemne niebo o niewielkim ryzyku wystąpienia niepożądanych interferencji, gdzie zaburzenia zewnętrzne nie ograniczają czasu trwania sesji obserwacyjnych. Wszystkie te warunki są spełnione na Arktyce, gdzie, dodatkowo, bardzo niskie temperatury w znaczący sposób redukują tło termiczne. Są to oczywiste powody dla których USA, Australia i parę innych państw popierają finansowo starania o stworzenie w tym rejonie Ziemi ośrodka badań astronomicznych. Oczywiście, należy się upewnić, że te wspaniałe warunki oferowane przez Arktykę będą zachowane. Te same środki ostrożności należy zachować planując jakiekolwiek przedsięwzięcia naukowe na Księżycu. W opinii autora Arktyka może być rzeczywiście uważana za stół laboratoryjny do testowania przyszłych działań w przestrzeni kosmicznej i/lub na Księżycu, oraz, w szczególności, dla badań związanych z uprawianiem astronomii z powierzchni Księżyca. Można tam testować urządzenia w ekstremalnych warunkach pracy, sprawdzać działanie zdalnego sterowania oraz przeprowadzać różne inne testy.

Astronomia z powierzchni Księżyca: zalety i wady

Chociaż główne cechy charakterystyczne dla uprawiania badań astronomicznych na Księżycu bywają często wymieniane, warto je powtórzyć ponieważ mają one duży wpływ na sposób przeprowadzania doświadczeń i ich rodzaj. Po stronie plusów możemy umieścić następujące cechy naszego naturalnego satelity:

- Księżyc jest wielką, stabilną platformą o dokładnie znanej orientacji i położeniu;
- Księżyc rotuje powoli;
- odwrotna strona Księżyca jest wolna od zakłóceń elektromagnetycznych;
- nie ma atmosfery wokół Księżyca, a więc nie ma takich zakłóceń jak scyntylacje i ekstynkcja (za wyjątkiem, być może, pobliża terminatora). Nie ma wiatrów, korozji, ani jonosfery;
- siła ciążenia jest niewielka (około 1/6 wartości przyciągania na Ziemi);
- kratery księżycowe są prawdopodobnie dobrymi miejscami do badań w podczerwieni ze względu na bardzo niską temperaturę tam panującą (szczególnie kratery w pobliżu bieguna południowego);
- sprzęt, dla ochrony, może zostać zatopiony w regolicie;
- odległość Ziemia–Księżyc jest dobrze znana, a więc interferometria na bardzo długich bazach (VLBI) i wynikająca stąd wysoka rozdzielczość kątowa, jest zachęcająca do podjęcia prób;

[1] Na podstawie referatów Autora przedstawionych na First International Lunar Exploration Workshop, Beatenberg (CH), maj 1994 oraz wykładów w Alpach (A), lipiec 1996 i Kyoto, październik 1996.

☞ niepotrzebne stają się człony rakiet do utrzymywania lub zmiany położenia stacji.

Po stronie „minusów", należy jednak rozważyć:

☞ (mikro-)meteoryty, których uderzenia mogą powodować uszkodzenia sprzętu na Księżycu, unosić chmury pyłu i prawdopodobnie wzbudzać wibracje;

☞ obszar nieba dostępny obserwacjom z Księżyca jest ograniczony;

☞ do interferometrii na powierzchni Księżyca są niezbędne długie linie opóźniające;

☞ na powierzchni Księżyca, za wyjątkiem biegunów, występują znaczne różnice temperatur (paręset stopni, szczególnie pomiędzy księżycowymi dniami i nocami);

☞ istnieje ryzyko zanieczyszczenia pyłem, zwłaszcza jeśli jakieś duże przedsięwzięcia (n.p. górnicze) będą miały miejsce w pobliżu centrów astronomicznych;

☞ energia słoneczna jest dostępna tylko przez połowę czasu, z długimi, czternastodniowymi przerwami;

☞ astronomia, tak jak i inne dziedziny badań, na Księżycu będą bez wątpienia bardzo drogie!

Interferometria

Jednym z głównych celów astronomii będzie niewątpliwie dążenie do większej rozdzielczości kątowej (mniejszej niż jedna tysięczna część sekundy łuku). Będzie to wymagało, jako dodatku do przyrządów optycznych, pracujących w zakresie podczerwieni i fal radiowych umieszczonych na Ziemi, zbudowania w przestrzeni kosmicznej olbrzymich anten, teleskopów i systemów interferometrycznych. Podstawowym celem interferometrii z syntezą apertury będzie więc zapewnienie możliwości uzyskiwania obrazów z bardzo wysoką kątową zdolnością rozdzielczą we wszystkich zakresach fal: wymaga to zastosowania interferometrii poza ziemską atmosferą (choć optyka adaptywna umożliwia uniknięcie pewnych zaburzeń obrazu). Księżyc wydaje się być atrakcyjnym miejscem do tego celu.

Z punktu widzenia strategii inwestycyjnej nie wydaje się potrzebne rozpoczynanie budowy interferometru księżycowego dopóki nie zostaną rozwiązane problemy technologiczne dotyczące innych programów, które mogą być uważane za wstęp do programu księżycowego. W zakresie fal radiowych interferometria VLBI Ziemia–Księżyc będzie dawać bardzo cenne informacje i umożliwi około 50-krotną poprawę rozdzielczości przestrzennej w porównaniu z obecnymi urządzeniami VLBI.

Misja taka jak japońskie przedsięwzięcie pod kryptonimem HALCA polegające na budowie 8 metrowej składanej anteny i rozwinięcie jej w przestrzeni kosmicznej w celu współpracy z antenami naziemnymi może być uważana za olbrzymi krok w kierunku budowy większych anten rozwijanych w przestrzeni kosmicznej i na Księżycu.[2]

Pozostańmy przy interferometrii i jej trzech działach (podział wynika z użycia różnych technik pomiaru): astrometrii, pomiarach dwuaperturowych do granic widzialności i uzyskiwaniu obrazów (studiach morfologicznych).

a) Astrometria

Pomiary astrometryczne można rozważać w dwu wymiarach: astrometrii globalnej, która ustala różnice położeń pomiędzy wyraźnie oddzielonymi na niebie obiektami i astrometrii różnicowej, lub niewielkich obszarów, która mierzy różnice położeń między sąsiadującymi ze sobą obiektami. Niestety, tylko ta ostatnia może być uprawiana z powierzchni Księżyca, podczas gdy pierwsza wymaga udania się w przestrzeń statkiem kosmicznym.

Wśród tematów które mimo ograniczeń mogą być rozwiązywane poprzez astrometrię małych pól, oraz jako dodatek do wspaniałych wyników misji Hipparcosa, wymieńmy kilka przykładów wyników, jakie można by było otrzymać przy pomocy interferometru Wschód-Zachód na Księżycu (baza ≥ 1km):

☞ odległosci do gwiazd poprawione w oparciu o paralaksę trygonometryczną;

☞ prędkości gwiazdowe poprawione w oparciu o ruch własny;

☞ określenie masy gwiazd z obserwacji orbit gwiazd podwójnych;

☞ odnalezienie „niewidocznych towarzyszy" (brązowe karły, planety...)

☞ wyznaczenie odległości między galaktykami i kinematyki ich ruchu;

☞ wyznaczenie masy defleksyjnej.

b) Pomiary dwuaperturowe

Przy pomocy teleskopu o jednym lustrze możemy zaobserwować zmiany jasności obiektu. Interferometr złożony z dwu teleskopów pozwala wyciągać wnioski o średnicy gwiazdy, pociemnieniu brzegowym oraz o tym, czy obserwowana gwiazda jest podwójna. Interferometr tego typu umieszczony na Księżycu dostarczałby wiadomości o bardzo istotnych własnościach fizycznych gwiazd (w szczególności o wielkości i masie obiektów), pozwalając na tworzenie szczegółowych modeli zarówno wnętrza gwiazd (poprzez dokonywanie pomiarów oscylacji gwiazdowych) jak i ich atmosfer.

c) Uzyskiwanie obrazów

Uzyskiwanie obrazów przy pomocy interferometrii o zdolności rozdzielczej 1000 razy lepszej niż zdolność rozdzielcza teleskopu kosmicznego Hubble'a przy pomocy zespołu teleskopów (np. 6 teleskopów 1 metrowych) w ultrafiolecie, zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni miałoby fundamentalne znaczenie w wielu dziedzinach astrofizyki, takich jak:

☞ powierzchnie gwiazd, ich otoczki i wiatry gwiazdowe;

☞ akrecja gwiazdowa (procesy tworzenia gwiazd) fizyka obiektów o dużych gęstościach;

☞ oddziałujące ze sobą pary obiektów;

☞ materia międzygwiazdowa (struktury fali uderzeniowej, kondensacje);

☞ aktywne jądra galaktyk, kwazary;

☞ soczewki grawitacyjne (i ciemna materia);

☞ poszukiwanie egzoplanet.

Z powyższych trzech paragrafów jasno wynika, że uprawianie interferometrii z przestrzeni kosmicznej jest koniecznością. Taki sam wniosek wypływa również z ekspertyzy Europejskiej Agencji Kosmicznej „Horyzont 2000". Pozostaje jednak otwarte pytanie gdzie umieścić duży i drogi interferometr. Czy na Księżycu? A może w punkcie Lagrange'a byłoby lepiej? Dotychczas konstrukcja takiego interferometru musiała być sztywna lub pół-sztywna. Wówczas Księżyc był bardzo logicznym miejscem na umieszczenie interferometru. Ostatnio jednak nastąpił postęp w technologii i wydaje się, że można myśleć o budowie interferometru swobodnie poruszającego się w przestrzeni kosmicznej.

Gdy rozważymy niedogodności Księżyca pod względem dostępności energii, efektywności obserwacji, pokrycia nieba, kompensacji drogi optycznej podczas obrotu Księżyca, masy ładunku, który trzeba dostarczyć itd., łatwo możemy dojść do wniosku, że swobod-

[2] Patrz — „rozmaitości" str. 30.

nie poruszający się w przestrzeni kosmicznej interferometr optyczny jest rozwiązaniem rozsądniejszym i nie potrzebuje być obsługiwany przez ludzi (a więc nie potrzeba budować stacji kosmicznej dla ludzi). Niestety możliwość realizacji takiego planu nie została jeszcze udowodniona w sposób jednoznaczny. Jednym z programów, które zbliżają nas do realizacji takiego pomysłu jest projekt „MOFFIT" finansowany przez ESA (patrz ESA SCI 96-7).

Radioastronomia bardzo niskich częstotliwości

Jednym z zakresów widma elektromagnetycznego, który wciąż pozostaje niezbadany jest część o skrajnie niskich energiach, odpowiadająca częstotliwościom mniejszym niż 15 MHz (fale o długości ponad 20 m). Fale radiowe o bardzo niskich częstotliwościach (VLF) są praktycznie niemożliwe do zaobserwowania z powierzchni Ziemi ze względu na absorpcję w jonosferze i rozpraszanie. Obserwacje dokonywane w zakresie częstotliwości rzędu kilkunastu setek kiloherców byłyby równoważne z osiągnięciem przez astronomię praktycznej granicy możliwości badania promieniowania elektromagnetycznego z wnętrza naszej Galaktyki.

Z powodu znacznej wielkości apertur wymaganych do detekcji indywidualnych, dyskretnych źródeł promieniowania radiowego przy niskich częstotliwościach, techniki interferometryczne powinny być technikami preferowanymi. Jednak, w przypadku astronomii VLF, rozpraszanie międzyplanetarne i międzygwiazdowe ograniczają w sposób zasadniczy osiąganą kątową zdolność rozdzielczą , nawet w przypadku pomiarów dokonywanych z przestrzeni kosmicznej. Ponadto, wiele zakłóceń na tych długościach fal ma swoje źródło w działalności człowieka i nie da się wyeliminować poprzez interferometrię. Jako miejsce lokalizacji interferometru VLF nasuwa się nam sama na myśl odwrotna strona Księżyca.

Najniższą częstotliwością potencjalnie dostępną obserwacjom jest 250 kHz; przy tej częstotliwości, rozpraszanie międzyplanetarne zamazuje strukturę obrazu do około 2 stopni łuku. Możemy przyjąć 10 MHz jako najwyższą częstotliwość dostępną dla astronomii VLF; podczas obserwacji w zakresie 10 MHz średnica rozpraszania odpowiada około 15 sekundom łuku. Taką zdolność rozdzielczą (w tej długości fali) ma interferometr o bazie równej około 300 km. Umieszczony w przestrzeni kosmicznej interferometr radiowy o bazie rzędu kilkuset kilometrów byłby instrumentem już teraz możliwym do zbudowania i byłby w stanie eksplorować bardzo niskie pasmo częstotliwości.

Udostępnienie nowego okna spektralnego badaniom astronomicznym owocowało zawsze wielkimi odkryciami, znaczącym wkładem w proces badań astronomicznych i wzbogaceniem naszego rozumienia Wszechświata. W przypadku VLF, najbardziej podstawowym procesem emisyjnym, który będzie badany, jest promieniowanie synchrotronowe; innym mechanizmem, do studiowania którego radioastronomia VLF jest bardzo odpowiednia, są koherentne procesy radiacyjne. Wymieńmy pewne klasy obiektów, do obserwacji których będzie bardzo przydatny radiospektrometr pracujący w zakresie od 250 kHz do 30 MHz:

- kwazary i radiogalaktyki (fizyka radioźródeł i badanie źródeł o stromych widmach);
- skupiska galaktyk (nietermiczne halo radiowe);
- struktura galaktyk i skład materii międzygwiazdowej (badanie różnych procesów takich jak promieniowanie synchrotronowe, absorpcja swobodno-swobodna, rozpraszanie)
- gwiazdy (studia nad pozostałościami supernowych i pulsarami, poszukiwanie dużych planet,...);
- badania Układu Słonecznego.

Obserwacje prowadzone w zakresie bardzo niskich częstotliwości z odwrotnej strony Księżyca (lub z obiektów pływających swobodnie w przestrzeni kosmicznej) doprowadzą z pewnością do dodatkowego urozmaicenia astrofizyki: dotyczą one jednak tylko ograniczonej liczby obiektów i są ograniczane przez dotkliwy barak kątowej zdolności rozdzielczej. Główną siłą motoryczną projektu VLF będzie niewątpliwie chęć eksploracji kolejnego zakresu widma elektromagnetycznego. Technologia już dojrzała do budowy urządzenia o takim przeznaczeniu i jest stosunkowo niedroga: testy przed zbudowaniem ambitniejszej wersji VLF można przeprowadzić umieszczając odbiorniki „piggy-back" na przyszłych satelitach, np telekomunikacyjnych, oddalonych od siebie o kilkaset kilometrów.

Kosmiczny teleskop tranzytowy w poszukiwaniu ciemnej materii

Całkiem niedawno uzyskano ciekawe rezultaty podczas badania rozkładu ciemnej materii w gromadach galaktyk. Podstawowym pomysłem było użycie stosunkowo gęstej populacji galaktyk tła jako siatki referencyjnej na dużych odległościach we Wszechświecie i poszukiwanie zaburzeń obrazu grawitacyjnego w sposób stochastyczny, aby odnaleźć kontury i masy struktur obecnych na pierwszym planie w zakresie średnich przesunięć ku czerwieni (gromada galaktyk, wielkie ściany, pustki itp). Dokładniej, gdy światło przybywające z tych odległych źródeł przechodzi koło dużej masy defleksyjnej (uginającej promieniowanie) z nadwyżką gęstości $\Delta\rho$ w stosunku do średniej gęstości materii we Wszechświecie ρ_o, każdy z promieni świetlnych jest lekko odchylany i przekrój poprzeczny nabiera lekko eliptycznego kształtu w płaszczyźnie prostopadłej do przyłożonego pola grawitacyjnego: jest to tak zwany efekt odchylenia grawitacyjnego. Systematyczne uporządkowanie grawitacyjne galaktyk tła jako dużych super-pixeli na niebie (400 galaktyk na stopień kwadratowy) może być obserwowane przy pomocy teleskopu naziemnego aż do amplitudy odchylenia 1-5%. Już to pozwoliłoby przeprowadzić badania najgęstszego halo ciemnej materii wokół gromad i grup galaktyk.

Jeśli chcemy wykorzystać tę samą metodę do badań struktur o największej skali w naszym gąbczastym Wszechświecie, musimy mieć możliwość detekcji odchylenia już 3×10^{-4} z rozdzielczością przestrzenną około jednego stopnia. Taka dokładność nie jest możliwa do osiągnięcia podczas obserwacji z Ziemi, nawet przy najlepszych warunkach obserwacyjnych. Dystorsja instrumentalna nie może zostać skalibrowana w wiarygodny sposób z powodu minutowych gięć mechanicznych i drgań śledzącego obiekt teleskopu, gwałtownych zmian widoczności i refrakcji atmosferycznej zachodzącej podczas obserwacji co prowadzi do błędów w pomiarach odchylenia. Jedną z niewielu możliwych dróg do przeprowadzenia takich obserwacji jest zbudowanie na Księżycu lekkiego teleskopu tranzytowego. Jego średnica powinna być większa niż 1 m, a pole widzenia w granicach od 0.5 do 1 stopnia.

Teleskop powinien być całkowicie nieruchomy podczas obserwacji. Księżyc jest stabilną, naturalną platformą, która obraca sie powoli, pozwalając na obserwowanie długich pasów nieba przy pomocy wielkiej mozaiki CCD pracującej w trybie tranzytowym. Wstępne symulacje przeprowadzone przez Forta i jego współpracowników pokazują, że przy pomocy takiego teleskopu gwiazdy w polu widzenia mogą być użyte do pomiaru macierzy dystorsji instrumentalnej z wymaganą dokładnością.

Lekki księżycowy teleskop tranzytowy (o spodziewanej wadze ok. 500 kg) można też uznać za elegancki sposób zdobywania doswiadczeń potrzebnych podczas budowy w pełni zautomatyzowanego teleskopu na powierzchni Księżyca zanim zaczniemy stosować bardziej od niego skomplikowane i droższe systemy interferometryczne.

Z naukowego punktu widzenia opracowanie map rzutu kontrastu gęstości ($\Delta\rho/\rho_0$) powinno dać istotny wkład do kosmologii obserwacyjnej (podobnie jak wyniki COBE dotyczące fluktuacji $\Delta T/T$ w zakresie mikrofal odpowiadających temperaturze 3 K). W dodatku, taki księżycowy teleskop tranzytowy miałby też swój wkład w dziedzinie obserwacji astronomicznych o wysokiej rozdzielczości przestrzennej i mógłby dostarczyć nowej wiedzy np. w następujących dziedzinach:

- określenie absolutnej skali odległości (poprzez detekcję supernowych);
- odkrycie brązowych karłów (powodujących mikrosoczewkowanie);
- prowadzenie monitoringu kwazarów, aktywnych jąder galaktyk, soczewek grawitacyjnych;
- odkrycie bardzo odległych małych planet.

Konkluzje

Księżyc jest niewątpliwie unikatowym miejscem z punktu widzenia astronomii. Czy jednak powinniśmy rozwijać interferometrię i radioastronomię VLF na Księżycu, czy raczej na swobodnie pływających w Kosmosie satelitach? Wymaga to głębokiego zastanowienia w najbliższej przyszłości.

- Księżycowy teleskop tranzytowy pozostaje interesującym instrumentem nie tylko ze względu na potencjalnie interesujące wyniki naukowe, jakich może dostarczyć, ale także jako elegancka metoda zdobycia doświadczenia w budowie i eksploatacji większego, automatycznego teleskopu na powierzchni Księżyca.
- W każdym razie Księżyc jest zdecydowanie atrakcyjną alternatywą wśród rozważanych lokalizacji przyszłościowej placówki astronomicznej.
- W tym kontekście właściwe będzie zakończenie artykułu przedstawieniem rezolucji zatwierdzonej podczas drugiego Międzynarodowego Spotkania Grup Roboczych d/s Eksploracji Księżyca, które odbyło się w Kyoto w październiku 1996 roku (pierwsze takie spotkanie odbyło się w Beatenbergu w maju 1994). Oczywiście, rezolucja ta zawierała następujący paragraf:

"Druga Grupa Robocza „Nauka z Księżyca" podkreśla znaczenie demonstracji możliwości działań technicznych przeprowadzanych w najbliższej przyszłości na powierzchni Księżyca. Mogą i powinny one doprowadzić do budowy na Księżycu wielkich instrumentów astronomicznych. Powinno się podkreślać przydatność tej lokalizacji w dziedzinach, w których wykorzystanie Księżyca daje dostęp do jedynych w swoim rodzaju możliwości.

Księżyc, chroniony przed zanieczyszczeniami, posiada na swej powierzchni wiele miejsc o szczególnym znaczeniu dla badań w następujących dziedzinach:

1) urządzenia VLF umiejscowione na odwrotnej stronie Księżyca do obserwacji zupełnie nowego zakresu widmowego;

2) księżycowy teleskop tranzytowy do poszukiwania ciemnej materii i innych celów;

3) bardzo czuły teleskop pracujący w milimetrowym zakresie długości fali w celu opracowania map tła kosmicznego;

4) teleskop pracujący w zakresie fal podczerwonych w stale kriogenicznym środowisku (to znaczy na księżycowym biegunie południowym);

5) interferometry do poszukiwania planet poza naszym Układem Słonecznym i innych obserwacji;

6) detektory fal grawitacyjnych."

tłumaczenie: *JW*

Dr Jean-Pierre Swings jest astrofizykiem o międzynarodowej renomie. Aktualnie jest Prezydentem (Dyrektorem) Instytutu Astrofizycznego w Ličge (Belgia). Był Sekretarzem Generalnym Międzynarodowej Unii Astronomicznej, przewodniczy m.in. Komitetowi d/s budowy wielkiego teleskopu VLT (16 m) ESO w Chile i Grupie Roboczej ESA d/s obserwacji astronomicznych z Księżyca. Jego zawodową pasją są kwazary i soczewki grawitacyjne.

UWAGA, MIŁOŚNICY ASTRONOMII!

Prywatne Wydawnictwo Naukowe „VEGA", ul. Lotnicza 4A, 95-035 Ozorków, tel. (0-42) 18-86-82, oferuje w sprzedaży wysyłkowej szeroki asortyment literatury astronomicznej oraz sprzętu obserwacyjnego (książki, mapy i atlasy nieba, kalendarze, teleskopy zwierciadlane itp.).

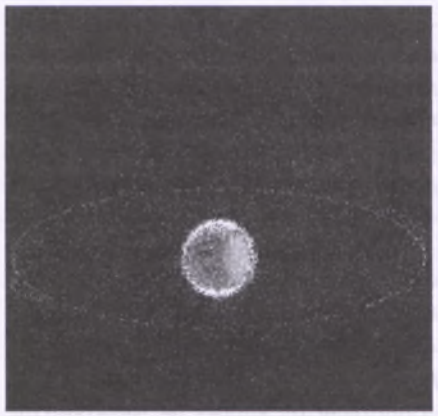
Spośród wielu pozycji wydawniczych polecamy szczególnie nasz kwartalnik **„VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII"**, który zawiera m.in.:

- ✓ kalendarzyk astronomiczny, informujący o najważniejszych zjawiskach astronomicznych i aktualnym położeniu planet na niebie,
- ✓ przewodnik po gwiazdozbiorach, ułatwiający rozpoznanie poszczególnych konstelacji oraz ciekawych obiektów typu mgławic, galaktyk itp.,
- ✓ praktyczne porady z zakresu prowadzenia obserwacji, fotografowania nieba oraz konstrukcji sprzętu obserwacyjnego,
- ✓ ogłoszenia, konkursy, recenzje książek itp.

UWAGA! W każdym numerze naszego kwartalnika znajduje się kompletny wykaz literatury astronomicznej oraz sprzętu obserwacyjnego, który posiadamy w sprzedaży.

Najkorzystniejszą formą zakupu „VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII" jest prenumerata. Cena pojedyńczego egz. razem z wysyłką wynosi 3,40 zł (koszt prenumeraty całorocznej — 13,60 zł). Czasopismo wysyłamy po otrzymaniu listownego lub telefonicznego zamówienia (płatne po odbiorze przesyłki).

ZAPRASZAMY DO PRENUMERATY „VADEMECUM MIŁOŚNIKA ASTRONOMII"



Zagrożenie dla badań kosmicznych i astronomii

Śmieci kosmiczne w przestrzeni wokółziemskiej

Edwin Wnuk

Liczba obiektów wyniesionych z Ziemi w przestrzeń kosmiczną i tam pozostających, obiegając naszą planetę po różnego typu orbitach, ciągle wzrasta. Zagęszczenie przestrzenne tych obiektów w niektórych rejonach zaczyna osiągać niepokojąco wysoki poziom, czego skutkiem jest realne zagrożenie dla czynnych, wykonujących różnego rodzaju zadania sztucznych satelitów Ziemi, dla orbitalnych obserwatoriów kosmicznych, takich jak np. teleskop kosmiczny Hubble'a, jak również dla załogowych misji kosmicznych, w szczególności przygotowywanej międzynarodowej stacji kosmicznej „Alfa".

Ponieważ rozmiary obiektów orbitujących wokół Ziemi są małe w porównaniu z rozmiarami przestrzeni, w której się poruszają, a co za tym idzie, są małe w porównaniu z odległościami pomiędzy poszczególnymi obiektami, to przez wiele lat uważano, że prawdopodobieństwo kolizji dwóch obiektów jest na tyle małe, iż nie ma potrzeby wprowadzania jakichkolwiek ograniczeń w projektowaniu i realizacji misji satelitarnych. Korzystano więc z przestrzeni wokółziemskiej w sposób dosyć swobodny: umieszczając dużą liczbę satelitów na dowolnych orbitach, pozostawiając tam wyposażenie misji satelitarnych, człony rakiet wynoszących satelity na orbitę, doprowadzając do przypadkowych eksplozji, jak również celowo detonując obiekty w ramach doświadczeń z bronią kosmiczną, a także umieszczając satelity zasilane energią nuklearną. Spowodowało to znaczne zaśmiecenie otaczającej Ziemię przestrzeni bezużytecznymi już obiektami, które pozostaną na orbitach przez wiele setek, a nawet tysięcy lat.

Dopiero od kilkunastu lat prowadzi się poważne badania, których celem jest ustalenie rzeczywistej liczby obiektów w przestrzeni wokółziemskiej, ich przestrzennego rozmieszczenia, a także zagrożeń jakie powodują dla czynnych satelitów i stacji kosmicznych. Podejmuje się też szereg działań w skali międzynarodowej w celu zmniejszenia zagrożeń powodowanych przez istniejące już obiekty, jak również w celu zmniejszenia przyrostu ich liczby w przyszłości. Podejmowane są próby prawnego uregulowania zasad korzystania z przestrzeni wokółziemskiej tak, by liczba obiektów w ważnych dla różnego rodzaju zastosowań rejonach nie wzrastała. Zalecane jest takie przygotowywanie programu operacji wykonywanych przez satelity by po zakończeniu ich misji sprowadzać je bezpiecznie na Ziemię, albo umieszczać na takich orbitach, że nie będą zagrażały satelitom operacyjnym. Działania te, choć prowadzone równolegle przez różne organizacje międzynarodowe (ONZ, Committee on Space Research — COSPAR oraz Inter-Agency Space Debris Coordination Committee — IADC) nie przynoszą na razie zadowalających rezultatów.

Od roku 1957, kiedy to wystrzelono pierwszego sztucznego satelitę Ziemi — Sputnik 1, odbyło się ponad 3 500 startów rakiet, które wyniosły na orbity wokółziemskie różnego typu obiekty. Niewielka liczba spośród nich opuściła orbitę wokółziemską (głównie sondy międzyplanetarne i słoneczne) i znajduje się w dalekiej przestrzeni międzyplanetarnej, pewna liczba obiektów weszła w niskie warstwy atmosfery ziemskiej i tam spłonęła lub we fragmentach opadła na Ziemię, większość z nich pozostaje jednak na orbitach wokółziemskich. Tylko niewielka część z krążących wokół Ziemi obiektów to czynne (operacyjne), pozostające pod kontrolą agencji kosmicznych, sztuczne satelity Ziemi. Reszta to zużyte, nieczynne satelity, części ich wyposażenia, przedmioty pozostawione przez misje załogowe, człony rakiet wynoszących satelity, zamrożone w postaci drobnych kuleczek resztki paliwa oraz ogromna liczba różnej wielkości fragmentów satelitów i rakiet powstałych w trakcie około 140 celowych lub przypadkowych eksplozji oraz zderzeń. Wszystkie obiekty nie będące operacyjnymi satelitami noszą nazwę *śmieci kosmicznych* (ang. *space debris*). Czasami dla określenia tych obiektów używa się nazwy „*gruz kosmiczny*" (bardziej zbliżonej do angielskiego określenia) lub „*odpadki kosmiczne*". Wydaje się jednak, że określenie „*śmieci kosmiczne*" najbardziej odpowiada rzeczywistości i zostało już zaakceptowane w polskiej terminologii.

Oprócz obiektów wykonanych na Ziemi i przy pomocy rakiet wyniesionych na orbitę (ang. *man-made objects*) w przestrzeni wokółziemskiej porusza się (w zasadzie tylko przez nią przebiegając) duża liczba ciał naturalnych — meteoroidów, na ogół o rozmiarach mniejszych od 1 mm, a tylko rzadko przewyższających tą granicę. Analizując prawdopodobieństwo uszkodzeń czynnych satelitów przez obiekty poruszające się w przestrzeni wokółziemskiej bierze się więc pod uwagę zarówno obiekty sztuczne jak i naturalne.

Pierwszym, zasadniczym zadaniem, niezbędnym dla prowadzenia dalszych badań jest określenie podstawowych cech populacji obiektów należących do śmieci kosmicznych. Wypracowano kilka sposobów prowadzenia badań w tym zakresie. Obiekty największe są systematycznie śledzone przy pomocy urządzeń radarowych i teleskopów optycznych, przy czym dolna granica rozmiarów dla obserwowanych obiektów, poruszajacych się na niskich, do 2 000 km nad Ziemia, orbitach (and. *Low Earth Orbits* — LEO) wynosi 10–20 cm, a na orbicie geostacjonarnej (ang. *Geostationary Orbit* — GEO) — około 1 metr. Dla tych obiektów systematycznie są wyliczane elementy orbit, są więc one pod ciągła kontrolą.

Liczba, rozmiary, rozmieszczenie przestrzenne oraz pewne inne cechy obiektów najmniejszych, do średnicy około 1 cm, są szacowane na podstawie

analizy śladów zderzeń tych obiektów z przebywającymi na orbicie przez dłuższy czas i następnie sprowadzanymi na Ziemię korpusami satelitów, bateriami słonecznymi, czy też specjalnie do tego celu umieszczanymi powierzchniami (np. na satelicie EURECA). Najtrudniej jest określić populację obiektów o rozmiarach 1–10 cm. Nie można ich śledzić rutynowo pracującymi urządzeniami, a jednocześnie ich liczba jest na tyle mała, że zderzenia, które powodują z innymi obiektami są stosunkowe rzadkie, wobec czego nie jest możliwa analiza statystyczna. Pozostają więc poza kontrolą stanowiąc poważne zagrożenie, gdyż ewentualne zderzenie satelity z obiektem o takich rozmiarach może doprowadzić do zniszczenia satelity.

Śledzenie i katalogowanie obiektów

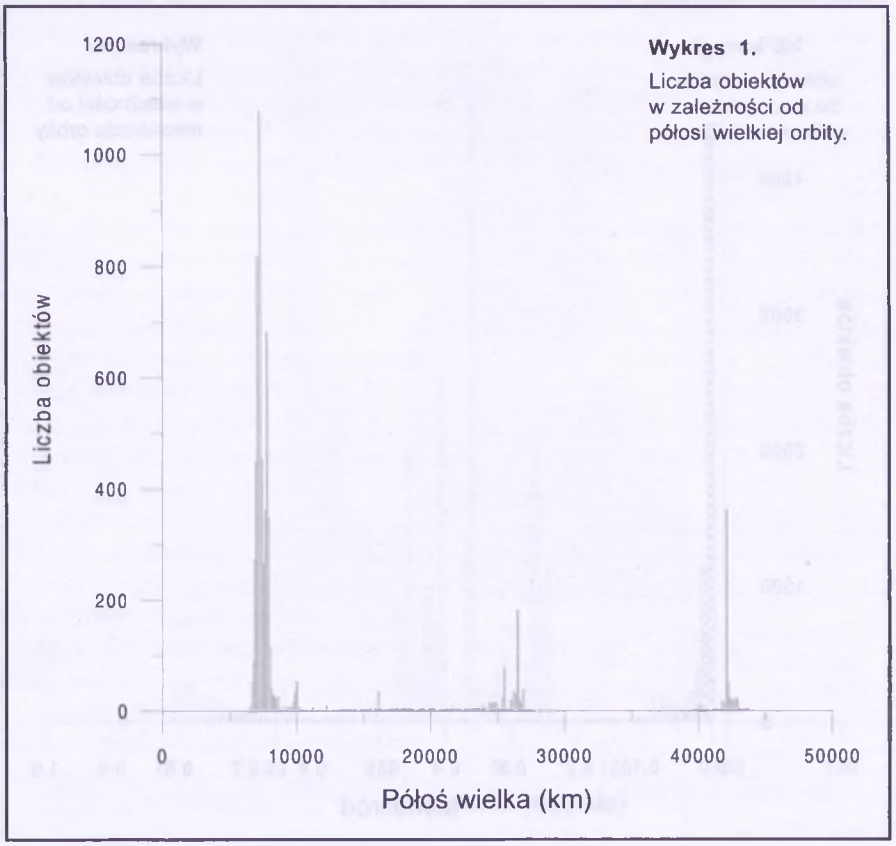
Podstawą informacji o krążących wokół Ziemi obiektach o rozmiarach większych niż 10 cm jest amerykański system ochrony przestrzeni kosmicznej (US Space Command Space Surveillance Network — SSN) składający się z około dwudziestu różnego typu radarów i 3–4 podwójnych teleskopów optycznych rozmieszczonych w różnych punktach na kuli ziemskiej, tak by w maksymalnym stopniu pokryć swym zasięgiem sferę niebieską.

Ponieważ oprócz śledzenia śmieci kosmicznych urządzenia pracujące w ramach SSN wykonują również (a może przede wszystkim) zadania obronne, polegające na wykrywaniu i śledzenia rakiet balistycznych, to większość należących do niego radarów tylko częściwo uczestniczy w tych obserwacjach. W SSN wyróżnia się trzy następujące grupy radarów: dedykowane — służące wyłącznie do śledzenia orbitujących wokół Ziemi obiektów, równoległe — pracujące głównie w systemie obronnym, ale równocześnie systematycznie uczestniczące w SSN, oraz dodatkowe — należące do innych instytucji i tylko w pewnych okresach wspomagające SSN wykonując szczególne zadania. Należące do systemu radary różnią się zarówno pod względem konstrukcji jak i możliwości pomiarowych: od prostych śledzących pojedyncze obiekty do zaawansowanych technologicznie mogących rejestrować jednocześnie setki obiektów. Powoduje to znaczne różnice w zasięgu i dokładności uzyskiwanych pomiarów. Stąd uzyskiwany materiał obserwacyjny jest niejednorodny i w konsekwencji wyznaczane na ich podstawie orbity, nawet tego samego obiektu, posiadają różną dokładność dla różnych epok.

Pracujące obecnie w sieci SSN urządzenia optyczne są podwójnymi teleskopami o średnicy 1 m każdy i polu widzenia 2 stopnie. Uzupełnione są one szukaczami o mniejszych średnicach i większym polu widzenia. Pracują automatycznie rejestrując położenia obiektów względem gwiazd metodą telewizyjną. Teleskopy te zastąpiły uruchomioną w latach sześćdziesiątych sieć teleskopów Baker-Nunn'a rejestrujących obrazy na filmach techniką fotograficzną. Chociaż w porównaniu urządzeniami radarowymi teleskopy optyczne posiadają pewne ograniczenia spowodowane głównie zależnością od warunków atmosferycznych, to spełniają one bardzo ważną rolę. Dostarczają one bowiem większości informacji o obiektach znajdujących się na orbicie geostacjonarnej. Zasięg większości radarów jest zbyt mały by rejestrować położenia obiektów na tej orbicie. Należy wspomnieć, że zasięg radaru zmniejsza się proporcjonalnie do czwartej potęgi odległości, podczas gdy zasięg teleskopu optycznego proporcjonalnie do potęgi drugiej.

W skład systemu SSN wchodzą również centra obliczeniowe-analizujące: jedno należące do sił powietrznych (US Air Force) w Colorado Springs, w stanie Colorado, oraz drugie należące do marynarki wojennej (US Navy) w Dahlgren, w stanie Virginia. Każdej doby uzyskuje się 60 000–80 000 pomiarów położeń krążących wokół Ziemi obiektów, które są następnie analizowane w tych centrach. Po wstępnej identyfikacji obserwacje są przypisywane skatalogowanym, znanym już wcześniej obiektom, po czym następuje poprawianie orbit obsrewowanych obiektów. Obserwacje nieskorelowane z katalogiem mogą być błędne lub mogą należeć do obiektów nieskatalogowanych. Jeżeli następne obserwacje potwierdzą istnienie nowego obiektu i wyznaczy się dla niego orbitę, to trafia on do katalogu, otrzymuje swój numer katalogowy (numer NORAD) i dalej jest systematycznie śledzony.

Dokładność parametrów orbitalnych zależy od wielu czynników: geometrii obserwowanego przelotu, urządzenia wykonującego obserwacje, stanu atmosfery (zależnego od aktywności słonecznej), współczynnika balistycznego danego obiektu, interwału czasu jaki upłynął od epoki użytych elementów orbity oraz od teorii ruchu zastosowanej dla wyznaczania i poprawiania orbity. Typowa dokładność orbity dla obiektu poruszającego się 1 000 km nad Ziemią jest taka, że niepewność wyznaczenia położenia obiektu po okresie 10 dni od epoki elementów jest rzędu kilku kilometrów. Należy zaznaczyć, że dokładność pomiarów radarowych jest dużo lepsza: kilkaset metrów dla



Wykres 1.
Liczba obiektów w zależności od półosi wielkiej orbity.

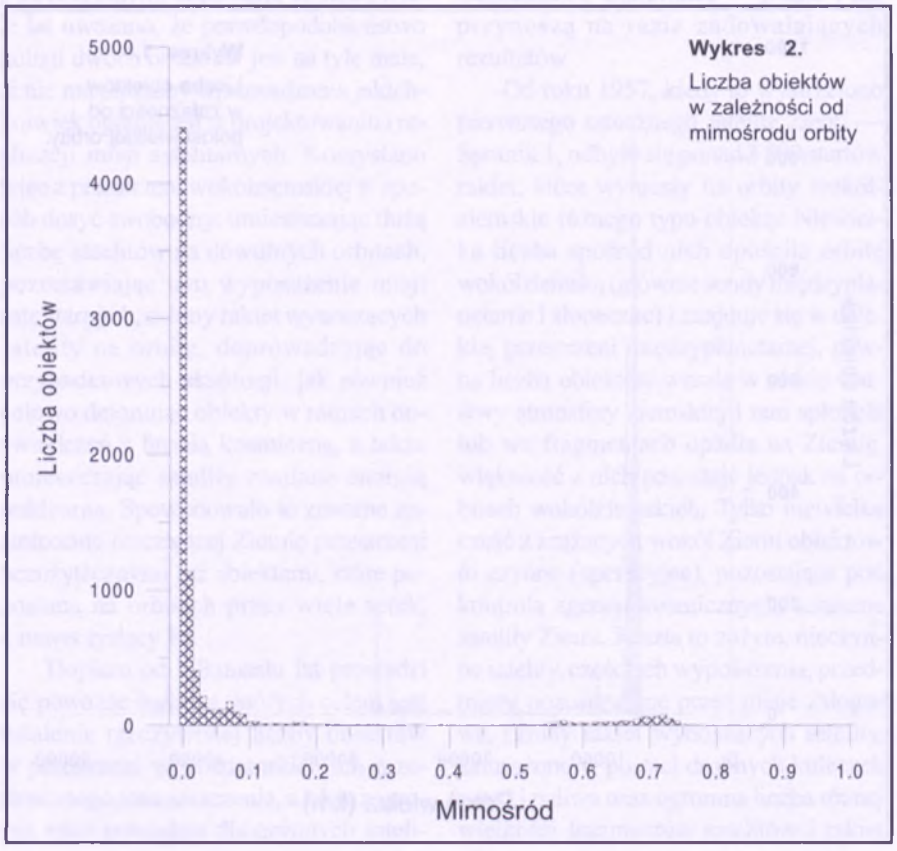
typowych radarów sieci SSN oraz około 10 metrów dla najbardziej dokładnych radarów.

Na podstawie uzyskiwanych obserwacji centra obliczeniowe systemu SSN systematycznie opracowują kilka dokumentów, które w całości, lub z pewnymi ograniczeniami trafiają do różnych użytkowników: wojskowych i cywilnych (zrozumiałym jest, że dane o satelitach wojskowych nie są dostępne dla wszystkich). Najważniejszym produktem SSN jest systematycznie uaktualniany Katalog Satelitów zawierający dane orbitalne o wszystkich obserwowanych przez SSN obiektach. Oprócz tego tworzy się katalogi wszystkich umieszczanych na orbicie satelitów, nowopowstałych obiektów, takich jak na przykład odłamki powstałe w trakcie eksplozji, katalog obiektów które opuściły orbitę spalając się w atmosferze lub spadając na Ziemię oraz informacje o obiektach, które opuszczą orbitę w najbliższym czasie. W ten sposób powszechnie znana jest informacja o wszystkich śledzonych obiektach (oczywiście oprócz wojskowych). Można ją uzyskać również w sieci INTERNET.

Oprócz amerykańskiej sieci SSN obserwacje położeń obiektów należących do śmieci kosmicznych są wykonywane w szeregu innych krajach. Rosja posiada podobny do amerykańskiego system, lecz informacje o nim są niepełne, a opracowywany katalog obiektów nie jest powszechnie dostępny. Sporadycznie wykonuje się obserwacje przy pomocy 34-metrowej, parabolicznej anteny radaru znajdującego się w Wachtenberg-Werthoven w Niemczech. Testowe obserwacje przeprowadzono przy użyciu największych radioteleskopów: 100-metrowego w Niemczech i 300-metrowego w Arecibo. Dla weryfikacji ocen liczby obiektów o rozmiarach rzędu 1 cm kilkakrotnie przeprowadzono kampanie obserwacyjne używając bardzo czułego radaru Haystack znajdującego się w Tyngsboro w stanie Massachusetts.

W ostatnim czasie w wielu krajach rozpoczęto obserwacje optyczne orbitujących wokół Ziemi obiektów przy użyciu techniki CCD wykorzystując teleskopy o średnicy rzędu 1 metra. Obserwacje optyczne wybranych sztucznych satelitów, głównie dla celów geodezyjno-geofizycznych, prowadzono w szerokim zakresie, również w Polsce, w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych używając techniki fotograficznej. Były one jednak niezwykle czasochłonne, a ostateczne wyniki otrzymywało się często po kilku tygodniach lub miesiącach. Zaprzestano ich więc po upowszechnieniu się obserwacji laserowych i dopplerowskich. Po kilkunastu latach przerwy obecnie następuje powrót do tych obserwacji, ale z elektroniczną rejestracją obrazu i automatyczną obróbką wyników. Powodem dla którego nastąpiło zainteresowanie obserwacjami optycznymi sztucznych satelitów jest konieczność znacznie bardziej precyzyjnego niż dotychczas wyznaczania ruchu satelitów na orbitach geostacjonarnych. Orbita ta zapełnia się coraz bardziej, satelity umieszczone na niej pozostaną tam dziesiątki, setki tysięcy lat, gwałtownie więc wzrasta niebezpieczeństwo kolizji w tym rejonie przestrzeni. Trudno sobie wyobrazić współczesny i przyszły świat bez możliwości umieszczania i bezpiecznej pracy satelitów na orbicie geostacjonarnej. Wykorzystuje się je w wielu dziedzinach od telekomunikacji, meteorologii, obronności po różnego rodzaju badania naukowe, głównie w badaniach globalnych procesów zachodzących na Ziemi i w jej otoczeniu, ale także w innych dziedzinach. Dlatego niezbędne jest monitorowanie z dużą dokładnością ruchu wszystkich obiektów poruszających się po orbicie geostacjonarnej i w jej pobliżu.

Od kilku lat wykonywane są z powodzeniem obserwacje satelitów geostacjonarnych z zastosowaniem CCD w obserwatorium uniwersytetu w Bernie w Szwajcarii. Takie obserwacje rozpoczęto również we Francji, USA, Japonii, Niemczech, a przygotowywane są w kilku następnych krajach. Na przykład, Europejska Agencja Kosmiczna wspólnie z Hiszpanią uruchamia jesienią 1997 roku 1-metrowy teleskop w obserwatorium na Wyspach Kanaryjskich.



Wykres 2.
Liczba obiektów w zależności od mimośrodu orbity

Obiekty niekatalogowane

Jak wspomniano wcześniej, obiekty o średnicach mniejszych niż 10–20 cm nie mogą być systematycznie obserwowane. Nie jest więc znana dokładnie ich liczba, nie znane są również ich orbity. Dla oszacowania liczby obiektów o średnicach 0.5–10 cm kilkakrotnie przeprowadzono kampanie obserwacyjne przy pomocy radaru Haystack. Jest to urządzenie, które może rejestrować obiekty o średnicy 1 cm znajdujące się w odległości 1 000 km. Ma jednak poważne ograniczenia: antena tego radaru w tego typu obserwacjach musi pozostawać nieruchoma, a szerokość wiązki wynosi zaledwie 0.05°. Ogranicza to w dużym stopniu obszar sfery niebieskiej, który może przeglądać ten radar. Uzyskane rezultaty pozwalają jednak na pewne oszacowania statystyczne. Wynika z nich, że liczba obiektów poruszających się po orbitach bliższych Ziemi niż 850 km jest mniejsza niż uprzednio szacowano, natomiast na wysokości od

850 km do 1 000 km liczba obiektów jest wyraźnie większa niż przypuszczano i prawdopodobnie przekroczyła tam już wartość krytyczną. Należy zaznaczyć, że w tym rejonie przestrzeni znajduje się większość satelitów poruszających się po orbitach cyklicznych, służących do ciągłego monitorowania powierzchni Ziemi (satelity teledetekcyjne, meteorologiczne — NOAA, ERS-1, ERS-2 i wiele innych). Następne silne zagęszczenie obiektów znajduje się na wysokości 1 500 km nad Ziemią.

Radar Haystack odkrył bardzo dużą liczbę obiektów poruszających się na wysokości 800–1 000 km nad Ziemią po orbitach o nachyleniu 65°: około 100 tysięcy obiektów o rozmiarach rzędu 1 mm, tysiąc o rozmiarach 1 cm i sto obiektów o rozmiarach rzędu 10 cm. Wszystkie charakteryzują się wyjątkowymi zdolnościami odbijającymi. Przypuszcza się, że są to zamrożone krople płynu wydobywającego się z reaktora nuklearnego znajdującego się na pokładzie rosyjskiego satelity RORSAT.

Jak już również wspomniano, dla oszacowań populacji jeszcze mniejszych obiektów, o rozmiarach rzędu 2–5 mm, użyto dużych radioteleskopów. Do tej pory otrzymano jednak jeszcze zbyt mało obserwacji by można wyciągać ogólne wnioski statystyczne. Uzyskane wyniki pozwalały jedynie stwierdzić, że liczba obiektów o tych rozmiarach co najmniej 1 000 razy przekracza liczbę obiektów katalogowanych.

Liczbę obiektów o jeszcze mniejszych rozmiarach szacuje się na podstawie analizy kraterów utworzonych przez nie na powierzchniach urządzeń przebywających przez dłuższy czas na orbicie wokółziemskiej. Dotychczas wykorzystano do tego celu baterie słoneczne teleskopu Hubble'a, korpus satelity Solar Max, przebywającą 6 lat na orbicie specjalną powierzchnię o nazwie Long Duration Exposure Facility (LDEF) oraz przeprowadzono specjalny eksperyment w tym zakresie na satelicie EURECA. Cennych informacji dostarczają również badania powierzchni promów kosmicznych , w szczególności ich okien. Dotychczas ponad 60 okien promów trzeba było wymienić z powodu kraterów powstałych w nich wskutek zderzeń z kosmicznymi śmieciami i meteoridami. Liczba kraterów tworzonych na powierzchniach promów ciągle wzrasta, ocenia się że obecnie wynosi ona średnio 1.1 kratera na dzień lotu.

Mikroskopowa analiza kraterów na ogół pozwala na określenie rozmiarów uderzającego obiektu, jego składu chemicznego oraz prędkości z jaką nastąpiło zderzenie. Można w ten sposób odróżnić kratery powstałe wskutek zderzeń z meteoroidami i sztucznymi obiektami, chociaż nie zawsze. Na przykład, w przypadku LDEF aż 55% kraterów sklasyfikowano jako kratery nieznanego pochodzenia.

Oszacowania statystyczne wskazują, że liczba obiektów o rozmiarach 1–10 cm wynosi od 70000 do 150000, a obiektów większych niż 1 mm jest około 35000000.

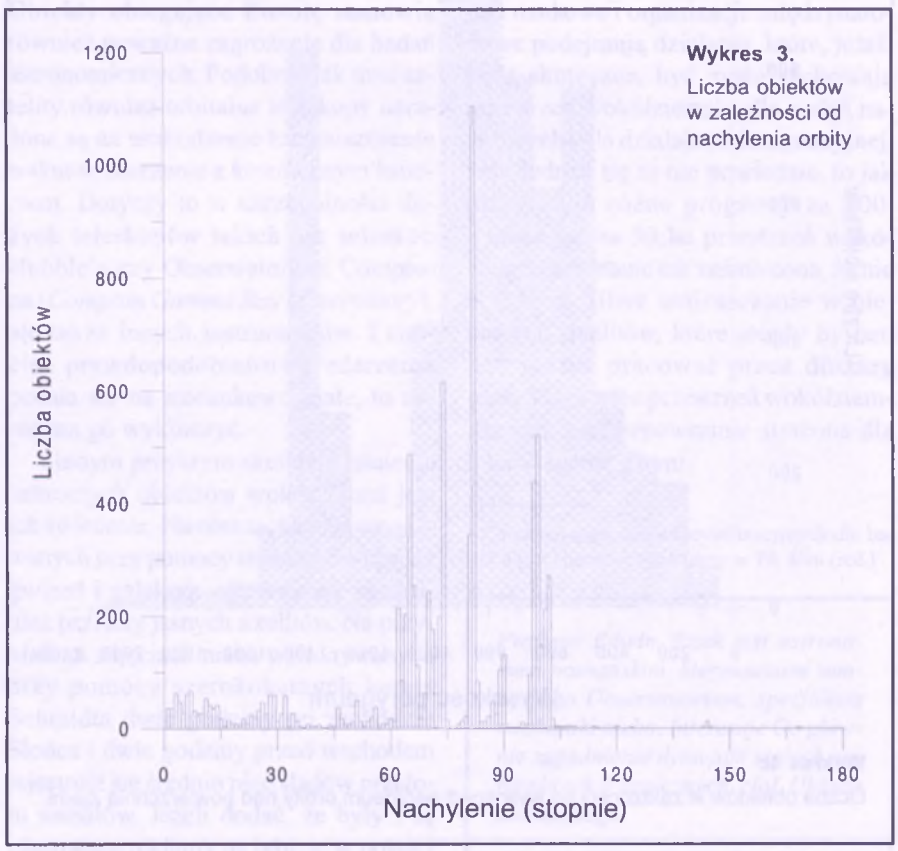
Charakterystyka obiektów katalogowanych

Od początku swej działalności do 30 czerwca 1997 roku Space Surveilance Network skatalogował 24 848 obiektów, z których 16 202 opuściło już orbitę spalając się w atmosferze lub spadając na Ziemię, a 8 646 pozostaje nadal na orbicie. Spośród pozostających na orbicie 2 426 obiektów jest sklasyfikowanych jako satelity (operacyjne i nieoperacyjne), ich wyposażenie oraz człony rakiet, natomiast 6 220 obiektów sklasyfikowano jako fragmenty satelitów i rakiet, odłamki powstałe w trakcie eksplozji i zderzeń.

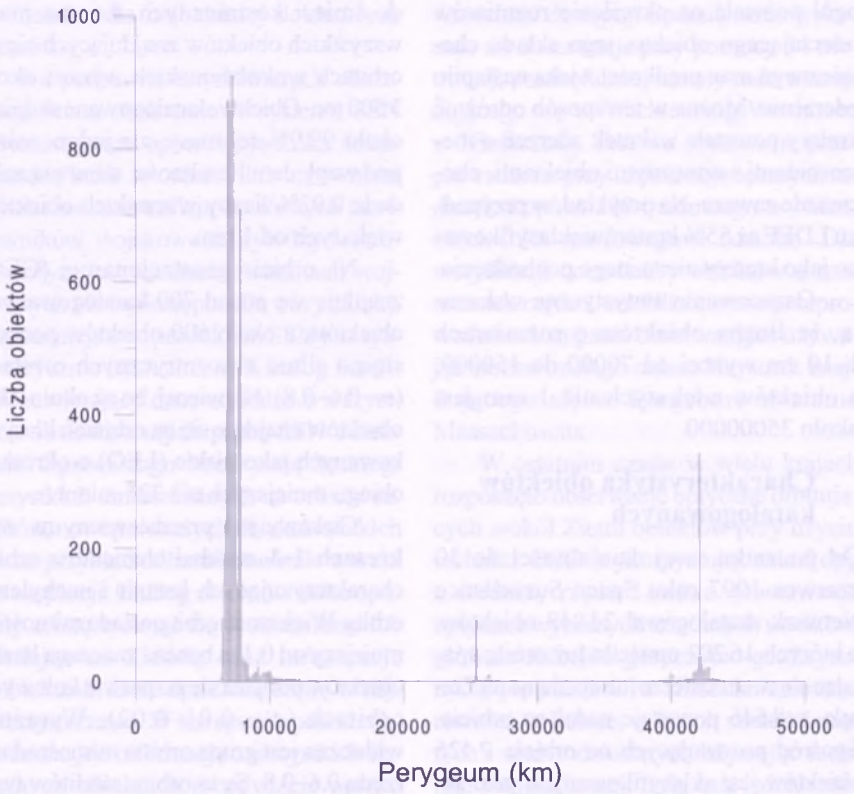
Tylko około 5% z obserwowanych obiektów stanowią operacyjne, będące w użyciu i pod kontolą agencji kosmicznych satelity, pozostałe obiekty należy zaliczyć do śmieci kosmicznych. Łączna masa wszystkich obiektów znajdujących się na orbitach wokółziemskich wynosi około 3 500 ton. Obiekty skatalogowane skupiają około 99.9% tej masy, ale jednocześnie pod względem liczebności stanowią zaledwie 0.02% liczby wszystkich obiektów większych od 1 mm.

Na orbicie geostacjonarnej (GEO) znajduje się ponad 700 katalogowanych obiektów, a około 600 obiektów porusza się po silnie ekscentrycznych orbitach ($e \sim 0.6$–0.8). Najwięcej, bo aż około 73% obiektów znajduje się na orbitach klasyfikowanych jako niskie (LEO) o okresach obiegu mniejszych niż 225 minut.

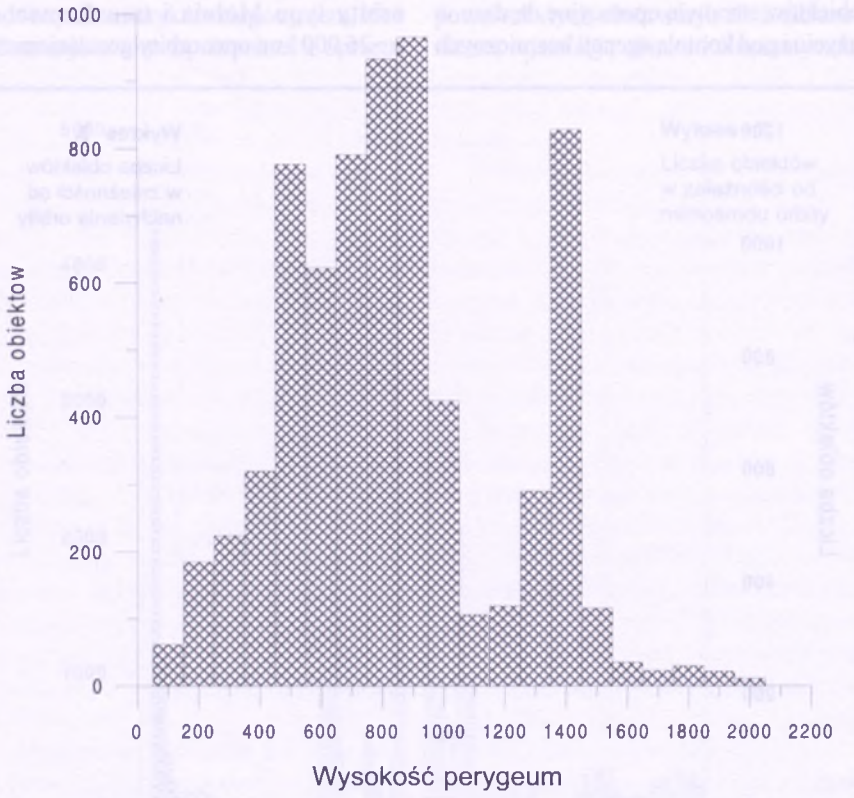
Ciekawy jest przedstawiony na **wykresach 1–3** rozkład elementów orbity charakteryzujących kształt i nachylenie orbity. Większość orbit posiada mimośród mniejszy od 0.1, a bardzo znacząca liczba obiektów porusza się po prawie kołowych orbitach ($e \sim 0.01$–0.02). Wyraźnie widoczna jest grupa orbit o mimośrodach rzędu 0.6–0.8. Są to orbity satelitów typu Mołnia oraz duża liczba obiektów typu GTO (*Geotransfer Orbits*) — członów rakiet wynoszących satelity na orbity geostacjonarne i ich fragmentów. Półosie wielkie orbit grupują się w trzech rejonach: orbity niskie — a = 6800–8000 km, orbity typu Mołnia i transferowe — a ~26 000 km, oraz orbity geostacjonarne



Wykres 3.
Liczba obiektów w zależności od nachylenia orbity



Wykres. 4a
Liczba obiektów w zależności odległości perygeum orbity od środka Ziemi.



Wykres 4b
Liczba obiektów w zależności od wysokości perygeum orbity nad powierzchnią Ziemi.

— $a \sim 42\,000$ km. Rozkład nachyleń również nie jest jednorodny i odzwierciedla związek nachylenia orbit z szerokością geograficzną wyrzutni rakiet wynoszących satelity na orbitę. **Wykres 4** przedstawiający rozkład perygeum orbit wyraźnie uwidacznia duże zgrupowanie orbit na wysokościach 850–1 000 km i 1500 km.

Wśród krążących wokół Ziemi obiektów osobliwą grupę stanowią satelity posiadające na swym pokładzie materiał nuklearny. Budzą one szczególne obawy ze względu na ewentualne skutki zderzeń z innymi obiektami i w efekcie rozproszenie materiałów radioaktywnych w atmosferze. Wszystkie obiekty należące do tej grupy są satelitami serii KOSMOS umieszczonymi na orbicie przez były ZSRR w latach 1967–1986. Ich operacyjna orbita znajdowała się na wysokości 250–280 km. Po zakończeniu misji reaktory nuklearne o masie 500 kg oraz paliwo (50 kg wzbogaconego uranu) tych satelitów zostały umieszczone na orbitach o wysokości 900–1 000 km i tam pozostają pod kontrolą. Istniejące obawy wynikają z tego, że dwa satelity z tej grupy spadły na Ziemię: Kosmos 954 w 1978 roku na terytorium Kanady oraz Kosmos 1402 w 1983 roku do Oceanu Indyjskiego. Wydarzyło się to jednak wtedy, gdy znajdowały się jeszcze na swych niskich, operacyjnych orbitach.

Zagrożenia dla misji kosmicznych

Wzrastająca liczba krążących wokół Ziemi obiektów stanowi poważne zagrożenie dla satelitów operacyjnych, stacji kosmicznych oraz różnych misji załogowych i bezzałogowych. Większość orbitujących obiektów porusza się tak, że ich względna prędkość (prędkość kolizyjna) wynosi 8–13.5 km/s. Nawet małe obiekty niosą więc bardzo dużą energię kinetyczną. Zderzenie z obiektem o średnicy 1 mm może doprowadzić do uszkodzenia aparatury satelity, zderzenie z obiektem o średnicy 1 cm może w znacznym stopniu uszkodzić satelitę, natomiast kilkucentymetrowy obiekt może go całkowicie zniszczyć doprowadzając do fragmentacji. Jeżeli wziąć pod uwagę dużą liczbę 70 000–150 000 obiektów o średnicach 1–10 cm, których orbity nie są znane, wobec tego nie można przewidzieć ewentualnych zderzeń, to oczywistym staje się stopień zagrożenia. Z różnych oszacowań, opartych na testowych obserwacjach przy pomocy urządzeń czulszych od tych, które rutynowo uczestniczą w dostarcza-

niu obserwacji w ramach SSN wynika, że dolna granica 10–15 cm dla katalogowanych obiektów jest bardzo umowna. Szacuje się, że tylko około 50% obiektów z tej dolnej granicy, czyli obiektów o rozmiarach 10–20 cm znajduje się w katalogu. Oznacza to, że zagrożenie jest dużo większe niż wcześniej przypuszczano.

Aby uchronić satelity przed skutkami zderzeń możliwe są dwa zasadnicze rozwiązania: otoczenie satelity warstwą ochronną zmniejszającą skutki zderzeń, lub manewr satelity powodujący uniknięcie zderzenia. Pierwsze rozwiązanie jest możliwe tylko dla ochrony przed małymi obiektami, o małych masach. Nie zawsze jest jednak możliwe ze względu na funkcje jakie wykonuje satelita. Wszelkie osłony powodują ponadto zwiększenie masy satelity i choć wyprodukowano już superlekkie materiały o bardzo dużej odporności na zderzenia, nie można przekroczyć pewnej granicy masy i objętości tych osłon.

Natomiast manewr powodujący uniknięcie zderzenia jest możliwy tylko wtedy gdy satelita posiada silniki umożliwiające zmianę toru oraz odpowiedni zapas paliwa. Ponadto z odpowiednim wyprzedzeniem muszą być znane położenia zarówno satelity jak i obiektu zmierzającego w jego kierunku, przy czym ich dokładność musi być bardzo duża by uniknąć fałszywego alarmu, a konsekwencji niepotrzebnej straty cennego paliwa. Oczywiście możliwe jest uniknięcie zderzenia tylko z obiektem znajdującym się w katalogu, dla którego znana jest orbita.

Dokładność przewidywanych położeń orbitujących wokół Ziemi obiektów zależy od kilku czynników: a) dokładności elementów orbity wyznaczonych z obserwacji, a więc tym samym zależy od dokładności obserwacji, b) modelu sił użytego do modelowania ruchu, c) dokładności zastosowanej teorii ruchu, oraz d) interwału czasu jaki upłynął od epoki elementów do momentu czasu na który wyznacza się pozycję. Każdy z tych czynników posiada określone ograniczenia, które sprawiają, że nie można przekroczyć pewnej granicy dokładności przewidywanych położeń. I tak na przykład, nie można przewidzieć perturbacji wywoływanych przez opór atmosfery z dokładnością lepszą niż 20–30%, gdyż lepiej nie można przewidzieć zmiennego stanu atmosfery. Nawet, wydawałoby się dobrze poznane pole grawitacyjne Ziemi wprowadza niepewności w wyznaczeniu przewidywanych pozycji na poziomie kilkudziesięciu metrów po jednej dobie od epoki elementów. Stosowane teorie ruchu muszą być stosunkowo proste by w przypadku konieczności wyliczania położeń wielu satelitów jednocześnie, czas obliczeń nie był zbyt duży. Przewiduje się na przykład, że dla ochrony Międzynarodowej Stacji Kosmicznej „Alfa" przed zderzeniami z innymi obiektami należy śledzić i przewidywać położenia około 25 000 obiektów o średnicy większej niż 1 cm znajdujących się w rejonie przestrzeni, w którym poruszać się będzie ta stacja. Wykonanie tego zadania jest ekstremalnie trudne nawet dla największych współczesnych komputerów z zastosowaniem przetwarzania równoległego.

Ewentualne zderzenia obiektów w przestrzeni wokółziemskiej nie są tylko przedmiotem rozważań teoretycznych. W przypadku fragmentacji co najmniej jednego satelity (Kosmos 1275) istnieją wysoce uzasadnione przypuszczenia, że został on zniszczony i rozpadł się na wiele części wskutek zderzenia z innym obiektem. Obecnie wśród specjalistów nie ma wątpliwości, że 26 lipca 1996 roku francuski satelita CERISE zderzył się z jednym z fragmentów rakiety Ariane, która eksplodowała i rozpadła się na wiele części, z których 489 zostało skatalogowanych.

Zagrożenia dla astronomii

Obiekty obiegające Ziemię stanowią również poważne zagrożenie dla badań astronomicznych. Podobnie jak inne satelity również orbitalne teleskopy narażone są na uszkodzenie lub zniszczenie wskutek zderzenia z kosmicznym śmieciem. Dotyczy to w szczególności dużych teleskopów takich jak teleskop Hubble'a czy Obserwatorium Comptona (*Compton Gamma Ray Observatory*), ale także innych instrumentów. I chociaż prawdopodobieństwo zderzenia ocenia się na stosunkowo małe, to nie można go wykluczyć.

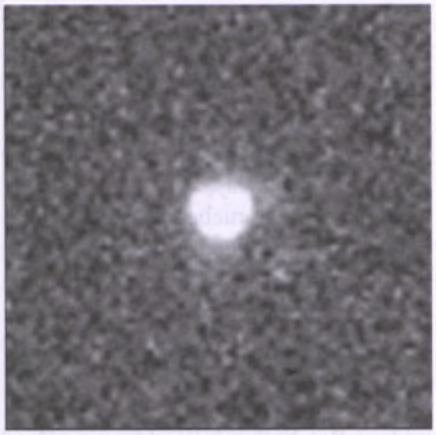
Innym przykrym skutkiem istnienia sztucznych obiektów wokół Ziemi jest ich świecenie. Na obrazach nieba uzyskiwanych przy pomocy teleskopów oprócz gwiazd i galaktyk rejestrowane są również przeloty jasnych satelitów. Na przykład na zdjęciach nieba wykonywanych przy pomocy szerokokątnych kamer Schmidta dwie godziny po zachodzie Słońca i dwie godziny przed wschodem rejestruje się średnio pięć śladów przelotu satelitów. Jeżeli dodać, że były i są planowane reklamy na orbicie w postaci ogromnych świecących powierzchni oraz planuje się umieszczenie na orbicie wielkich baterii słonecznych o powierzchni tysięcy metrów kwadratowych mających tworzyć tzw. elektrownie słoneczne gromadzące i przesyłające na Ziemię energię słoneczną, to niebezpieczeństwo zanieczyszczenia nieba sztucznym światłem staje się niezwykle groźne dla obserwacji astronomicznych w zakresie optycznym.[1]

Poważne zagrożenia istnieją również dla obserwacji w innych zakresach widma. Satelity emitują różnego rodzaju promieniowanie. Na przykład, satelity rosyjskiego systemu nawigacyjnego GLONASS używają częstotliwości 1612 MHz, która ma duże znaczenie w radioastronomii w obserwacjach cząstek OH. Podobnie poważne zagrożenie dla radioastronomii stwarzają wielkie systemy telekomunikacji globalnej składające się z kilkudziesięciu, a nawet kilkuset satelitów. Jednym z nich jest program „Iridium" składający się z 77. satelitów właśnie wprowadzanych na orbitę. Z kolei satelity Rorsat z reaktorami nuklearnymi na pokładzie zakłócają obserwacje astronomiczne w promieniowaniu gamma prowadzone z pokładów satelitów i wysokich balonów.

Czynione są liczne zabiegi w celu ochrony przestrzeni wokółziemskiej przed jej zanieczyszczeniem. Różne gremia naukowe i organizacje międzynarodowe podejmują działania, które, jeżeli będą skuteczne, być może zachowają przestrzeń wokółziemską dla badań naukowych i dla działalności komercyjnej. Jeśli jednak się to nie powiedzie, to jak przewidują różne prognozy za 100, a może już za 50 lat przestrzeń wokółziemska zostanie tak zaśmiecona, że nie będzie możliwe umieszczenie w niej nowych satelitów, które mogły by tam bezpieczne pracować przez dłuższy czas. Może więc przestrzeń wokółziemska stać się bezpowrotnie stracona dla mieszkańców Ziemi.

[1] O innych zagrożeniach cywilizacyjnych dla badań astronomicznych pisaliśmy w PA 4/96 (red.)

Profesor Edwin Wnuk jest astronomem poznańskim, kierownikiem tamtejszego Obserwatorium, specjalistą mechaniki nieba. Interesuje Go głównie zagadnienie dynamiki małych naturalnych i sztucznych ciał Układu Słonecznego.



Wielki krok ku rozwiązaniu zagadki błysków gamma

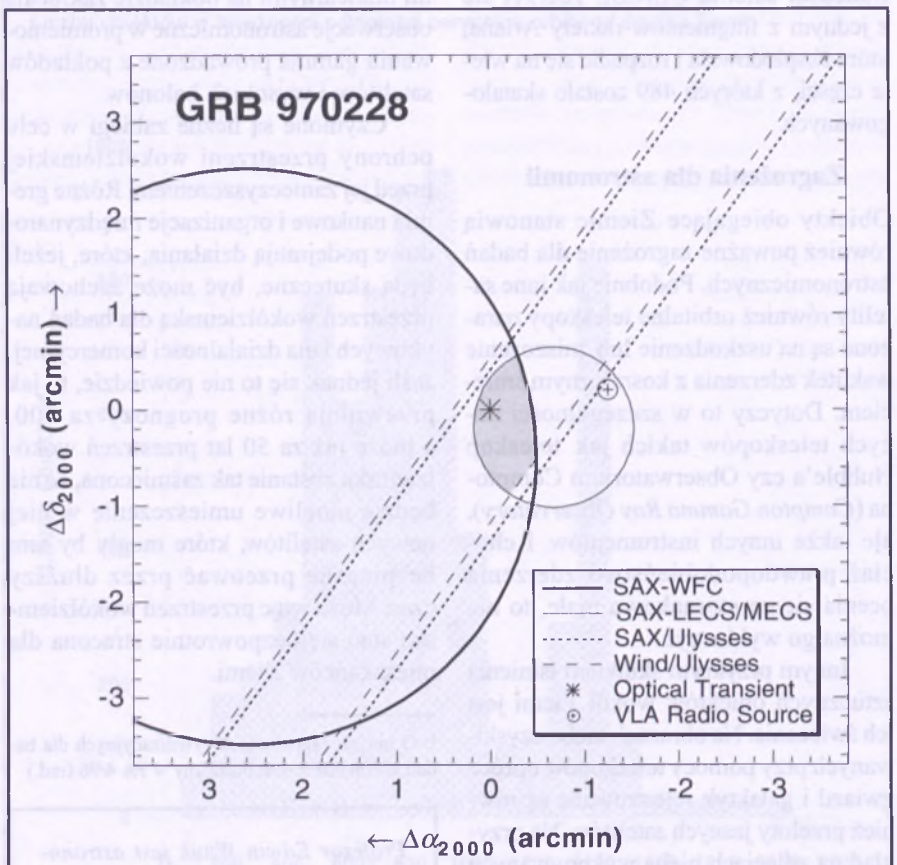
Tomasz Bulik

Zagadka pochodzenia błysków gamma (gamma ray bursts — krótkie, średnio kilkusekundowe rozbłyski obserwowane w zakresie od około 100 keV do 10 MeV, pojawiają się na niebie kilka razy dziennie) to problem który astronomowie próbują rozwiązać już od prawie 30 lat. Wygląda na to, że w ostatnich miesiącach poczyniono wielki krok w stronę jego rozwiązania.

W czerwcu 1996 roku wyniesiony na orbitę został włosko-holenderski satelita Beppo-SAX (Satellite par Astronomia X, nazwany ku pamięci włoskiego astronoma Giuseppe Osselini). Na jego pokładzie umieszczono dwie kamery rentgenowskie, a także mały detektor (monitor) promieni gamma. 28 lutego 1997 roku tenże detektor wykrył dość intensywny błysk promieni gamma, trwający około 80 sekund. Nazwano go, zgodnie z przyjętą konwencją GRB970228. Co ważne udało się zlokalizować tenże błysk na niebie z wysoką jak na astronomię gamma dokładnością — około 3 minuty kątowe, i co ważniejsze w ciągu jedynie paru godzin.

Operatorzy tegoż satelity skierowali w te stronę kamery rentgenowskie już w 8 godzin po wykryciu błysku. Wymagało to nie lada wysiłku. Kamery rentgenowskie skierowane są prostopadle do monitorów promieni gamma. Kontakt z satelitą obserwatorzy nawiązują jedynie raz na około 100 minut, kiedy przelatuje on w zasięgu anten stacji komunikacyjnej która znajduje się w Afryce. W tak krótkim czasie musieli oni zanalizować dane z monitora gamma, przygotować zestaw komend, które nakierują kamery rentgenowskie, przesłać je do satelity i wykonać ten manewr. Wykryto tam dotychczas nieznane źródło promieni rentgena. Obserwacje rentgenowskie powtórzono w trzy dni później i okazało się, że źródło to było już 20 razy słabsze. Jest to pierwsze w historii odkrycie emisji na innej częstości promieniowania związanej z błyskiem gamma. Źródło rentgenowskie zlokalizowane zostało z większą dokładnością niż błysk gamma — około 50 sekund luku.

Wiadomości o tych odkryciach rozesłane zostały do astronomów na całym świecie za pomocą poczty elektronicznej. Ktokolwiek miał taką możliwość i dostęp do teleskopu starał się obserwować ten rejon nieba w poszukiwaniu zmiennych źródeł, które mogłyby być związane z błyskiem GRB970228. Jako pierwszy ogłosił swoje wyniki dr Dale Frail z National Radio Astronomy Observatory. Znalazł on bardzo słabe zmienne źródło radiowe, którego pozycja mieściła się w rejonie wyznaczonym przez obserwacje rentgenowskie i na granicy obszaru wyznaczonego przez obser-



Rys. 1. Lokalizacja błysku GRB970228. SAX-WFC — detektor promieni gamma SAX, pozycja samego błysku. SAX-LECS/MECS — kamera rentgenowska SAX, pozycja poświaty rentgenowskiej. Wind-Ulysses pozycja wyznaczona metodą triangulacji. Optical Transient — znikające (przejściowe) źródło optyczne. VLA — radio source — źródło radiowe znalezione przez VLA. (*Nature*)

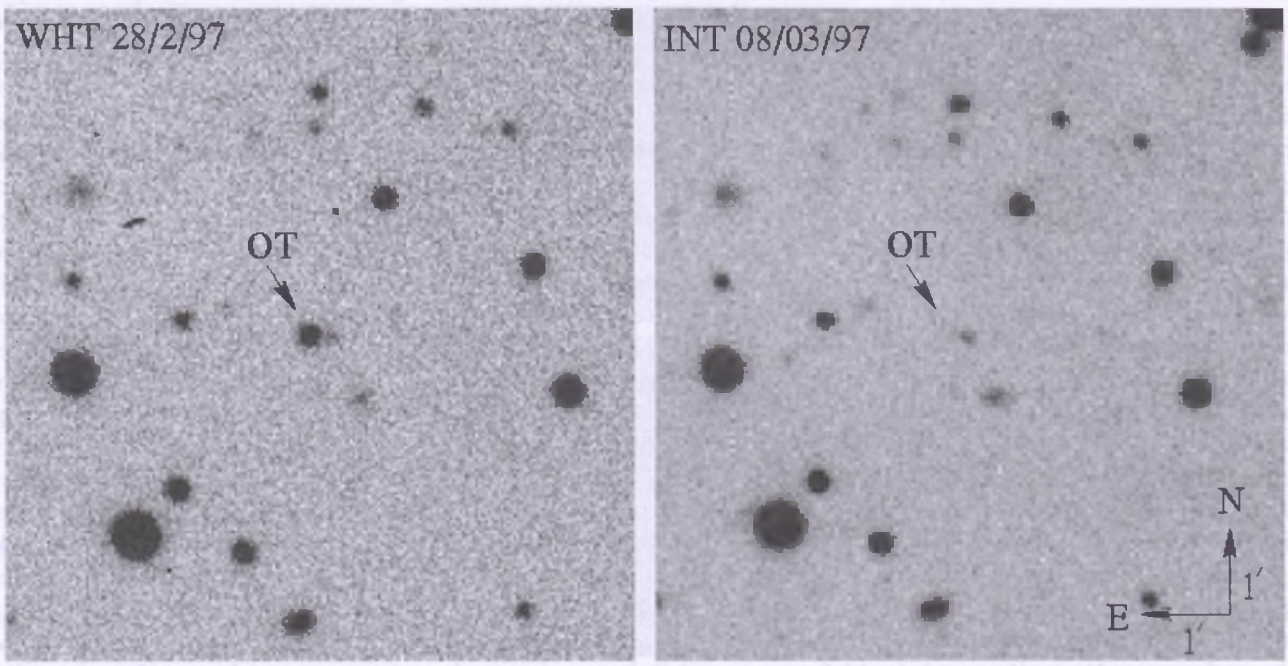
wacje w promieniach gamma. Rozpoczęto bardzo intensywne obserwacje tego źródła w zakresie optycznym i radiowym. Okazało się, że jest to odległa galaktyka i wkrótce dr S. Wagner wraz ze współpracownikami z Uniwersytetu w Cambridge wyznaczyli jej przesunięcie ku czerwieni równe około $z = 0.5$. Znaczy to, że światło z tej galaktyki wysłane zostało do nas gdy Wszechświat był $1/(1+z) = 2/3$ razy mniejszy!

W tym samym mniej więcej czasie dokonano analizy obserwacji GRB970228 za pomocą dwóch innych satelitów: Ulysses i GGS-Wind. Błyski obserwowane za pomocą kilku satelitów można zlokalizować z dużą dokładnością za pomocą metody triangulacji w ramach sieci międzyplanetarnej (IPN — *Interplanetary Network*). Metoda ta polega na porównaniu czasu detekcji danego błysku przez satelity odległe o kilka jednostek astronomicznych i pozwala wyznaczyć pas na niebie, w którym zawarta jest pozycja błysku gamma. Taka analiza trwa od tygodnia do dwóch i pozwala na dokładność rzędu dziesiątków sekund łuku. Okazało się, że galaktyka znaleziona przez dr. Fraila, która wprawdzie leżała w ramach pozycji wyznaczonej przez źródło rentgenowskie jednakże była poza pasem wyznaczonym przez IPN.

Dr Jan van Paradijs — naukowiec pracujący na Uniwersytecie Amsterdamskim oraz University of Alabama w Huntsville prowadził obserwacje miejsc pochodzenia innych błysków gamma za pomocą teleskopu im. Williama Herschla na Wyspach Kanaryjskich, gdy dowiedział się o odkryciu GRB970228. Już pierwszego marca, w około 20 godzin po błysku, wykonał on wraz ze swoimi współpracownikami, T. Galama i Paulem Grootem, serię zdjęć rejonu nieba wyznaczonego przez obserwacje gamma. W tydzień później obserwacje powtórzono za pomocą teleskopu imienia Isaaka Newtona. Porównując te dwie obserwacje znaleziono jeden obiekt, którego jasność zmalała w tym czasie o ponad dwie wielkości gwiazdowe! W dodatku pozycja na niebie tego zmiennego źródła była zgodna ze wszystkimi dotychczasowymi informacjami: lokalizacją za pomocą monitora gamma, teleskopu rentgenowskiego, a także pozycją wyznaczoną za pomocą metody IPN!

Na tym jednak nie koniec. Trzynastego marca przeprowadzono długą, godzinną obserwację dopiero co odkrytego obiektu za pomocą teleskopu ESO. Dokładna analiza tej obserwacji, wykonanej z rozdzielczością 1 sekundy luku pokazała, że zmienny obiekt nie jest źródłem punktowym, lecz jest rozciągłe i ma rozmiary mniej więcej 1″.3 na 1″.0. Wskazywało to na to, że jest to odległa galaktyka. Dr J.L. Tonry wraz z grupą astronomów z Uniwersytetu Hawajskiego podjął próbę zmierzenia przesunięcia ku czerwieni (a zarazem odległości) dla tegoż obiektu jednym z najpotężniejszych instrumentów astronomicznych — 10 metrowym teleskopem Keck II. Na przełomie marca i kwietnia przeprowadzili oni sześć 1000 sekundowych obserwacji. W tym czasie obserwacje te stawały się coraz trudniejsze, gdyż Słońce zbliżało się do pozycji GRB970228. Tak więc można go było obserwować jedynie przez krótki moment przed świtem, kiedy pojawiał się nad horyzontem tuż przed wschodem Słońca. Niestety nie udało się zidentyfikować żadnych linii widmowych, które mówiłyby coś o przesunięciu ku czerwieni.

Do obserwacji przejściowego źródła optycznego użyto też drugiego wielkiego narzędzia współczesnej astronomii — teleskopu Hubble'a. Dr K. Sahu wraz z współpracownikami przeprowadził dwie obserwacje — 26 marca i 7 kwietnia. Obserwacje te pokazały że mamy do czynienia z rozciągłym obiektem wewnątrz którego znajduje się zanikające źródło punktowe. Obserwacje te zostały udostępnione już w jeden dzień po ich przeprowadzeniu i wiele grup astronomów na całym świecie przeprowadziło ich analizę pod różnym kątem. Siedemnastego kwietnia pokazała się analiza

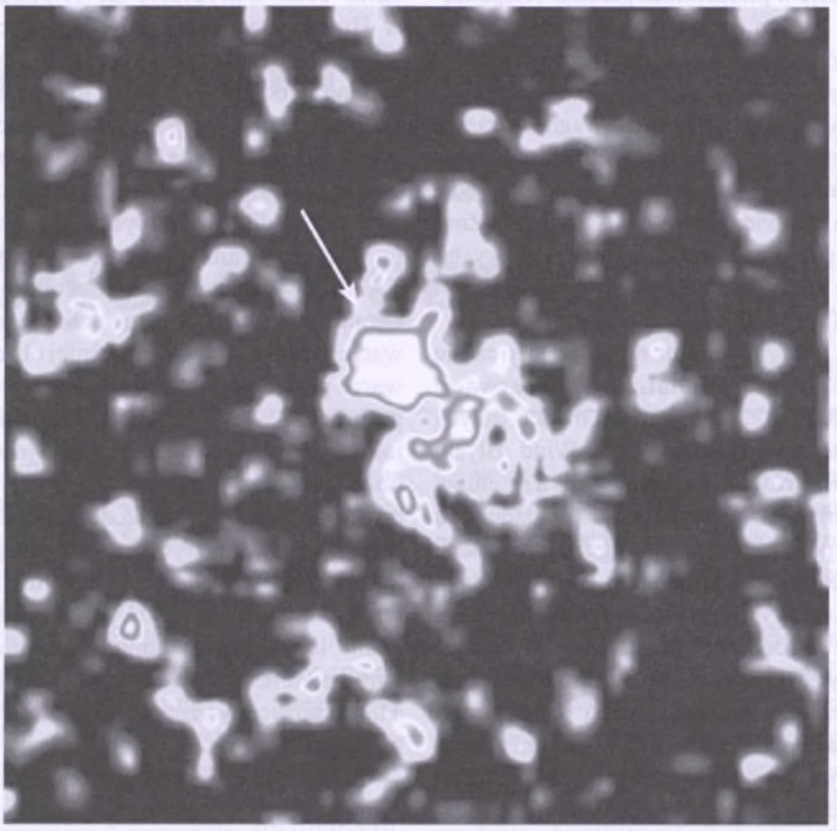


Rys. 2. Po lewej stronie zdjęcie wykonane przez teleskop Williama Herschla 28 lutego 97, po prawej ten sam obszar nieba sfotografowany przez teleskop im. Isaaka Newtona 8 marca 97. Zmienny obiekt zaznaczono strzałką. (*Nature*)

przeprowadzona przez dr Patricie Caraveo z Instituto di Fisica Cosmica w Mediolanie. Porównując dwie obserwacje z teleskopu Hubble'a odkryła, że źródło punktowe zmieniło pozycję pomiędzy dwoma obserwacjami. Odpowiadało to ruchowi własnemu na niebie z prędkością 560 milisekund łuku na rok. Ta analiza wywołała istną burzę wśród naukowców. Taka prędkość kątowa odpowiada liniowej prędkości równej prędkości światła jeśli obiekt znajduje się w odległości około trzystu tysięcy lat świetlnych, czyli w bliskim otoczeniu naszej Galaktyki! Analizę taką powtórzono w Instytucie Naukowym teleskopu Hubble'a, na Uniwersytecie Chicagowskim a także w MIT, i te analizy nie potwierdziły odkrycia dr Caraveo. Jednakże analiza przeprowadzona na Uniwersytecie w Gallway w Irlandii zupełnie niezależnie znalazła ruch własny źródła punktowego w tym samym kierunku z nieznacznie mniejszą prędkością.

Tak więc błysk gamma GRB970228 przyniósł nam pierwsze odkrycie emisji na innych częstościach fal po emisji promieni gamma. Wyczulił więc obserwatorów na kolejne błyski, a także zainspirował teoretyków do prac nad wytłumaczeniem tego zjawiska. Najpopularniejszym modelem fizycznym błysków jest model nad którym pracują prof. Peter Meszaros z Penn State University, wraz prof. Martinem Reesem z Uniwersytetu w Cambridge. W modelu tym błysk gamma związany jest z kolizją dwóch zwartych obiektów, na przykład dwóch gwiazd neutronowych albo gwiazdy neutronowej i czarnej dziury. W wyniku takiej kolizji powstaje fala uderzeniowa poruszająca się z prędkością bardzo bliską prędkości światła. Taka fala z kolei zbiera na swojej drodze materię (innymi słowy zderza się z nią) międzygwiezdną i wypromieniowuje energię jaka jest wydzielana w wyniku takich kolizji. Okazuje się, że zanik promieniowania (krzywa blasku) poświaty rentgenowskiej i optycznej jest w zgodzie z przewidywaniami tego modelu. Istnieją także inne warianty tego scenariusza.

Wiedząc, że tak interesujące rzeczy mogą dziać się po błyskach gamma astronomowie przygotowali się na następne takie wydarzenie. Nastąpiło ono już wkrótce, 2 kwietnia 1997 roku monitor promieni gamma zasygnalizował kolejny błysk. Tym razem był on kilkadziesiąt razy słabszy od błysku GRB970228, i trwał ponad 100 sekund. Podobnie jak w przypadku GRB970228 przeprowadzono bardzo szybko obserwację kamerą rentgenowską. Odkryto znikające źródło promieni rentgena — 3 kwietnia jeszcze było wykrywalne, ale już następnego dnia nie udało się go znaleźć w czasie bardzo długiej obserwacji trwającej 50 tysięcy sekund. Jednakże poszukiwania zmiennych źródeł optycznych nie dały żadnych rezultatów. Gdyby jednak błysk z 28 lutego odsunąć na taką odległość, że byłby tak słaby jak ten z 2 kwietnia to poświata optyczna nie byłaby wykrywalna.



Rys. 3. Zdjęcie poświaty GRB970228 wykonane przez teleskop Hubble'a. W centrum widzimy obiekt rozciągły (odległą galaktykę?) a strzałką zaznaczono pozycję GRB970228. (*K.Sahn, M.Livio, L.Petro, D.Macchetto, Nasa*)

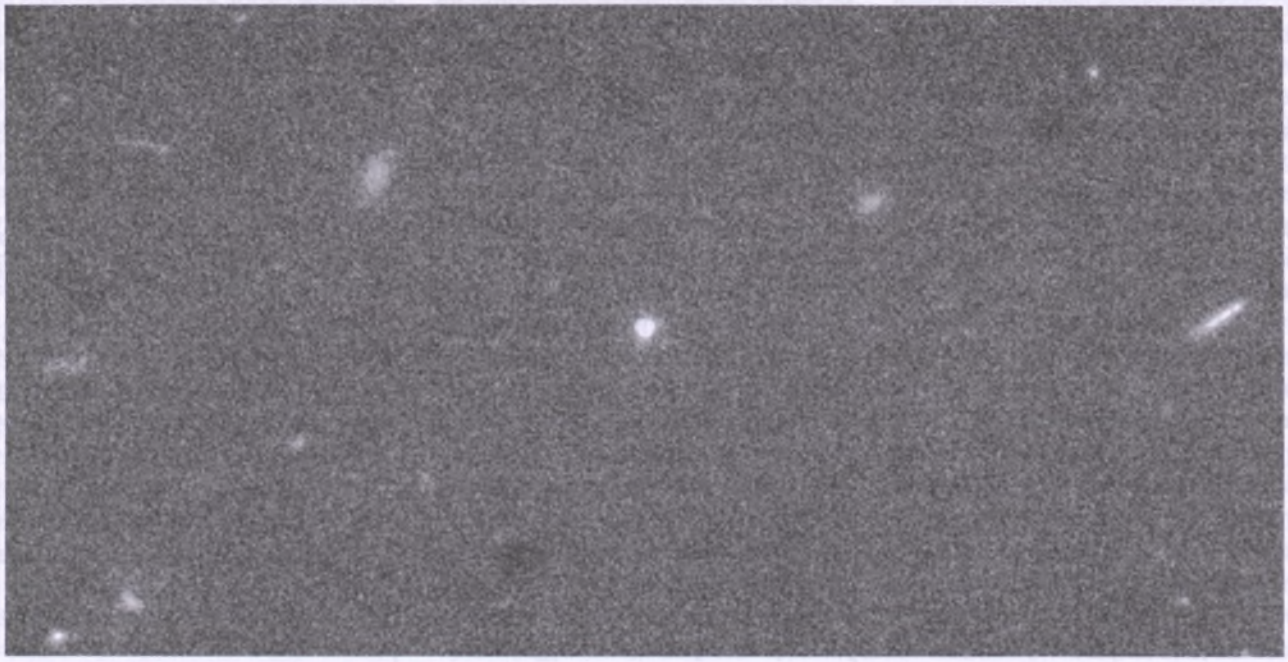
Następny alarm dla poszukiwaczy błysków gamma nadszedł 8 maja 1997. Monitor promieni gamma na satelicie Beppo SAX zasygnalizował słaby, 15 sekundowy błysk, i jego pozycja na niebie została wyznaczona z dokładnością do 5 minut luku. Dr H.E. Bond z Instytutu Naukowego Teleskopu Hubble'a przeprowadził obserwację tego obszaru nieba 90 centymetrowym teleskopem na Kitt Peak już 9 maja, w niecałą dobę po błysku i powtórzył ją następnego dnia. Tym razem znaleziono zmienny obiekt, który w ciągu tej doby pojaśniał o mniej więcej jedną wielkość gwiazdową! Obserwacje teleskopem rentgenowskim przeprowadzone mniej więcej w tym samym czasie znalazły gasnące źródło rentgenowskie. Wiele grup prowadziło obserwacje tegoż zmiennego źródła, które pojaśniało, osiągnęło maksimum jasności mniej więcej 3 dni po błysku i po tym czasie zaczęło zanikać w podobny sposób jak zanikała poświata po GRB970228, jednakże nieco wolniej. Bomba wybuchła, gdy opublikowano wyniki obserwacji jakie przeprowadził dr Robert Metzger z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego 10 metrowym teleskopem Keck II. Grupa pod jego kierownictwem zmierzyła widmo zanikającej poświaty i znalazła w niej linie absorpcyjne przesunięte ku czerwieni ($z = 0.835$). Takie linie widoczne są w widmach odległych galaktyk i mają swoje źródło w absorpcji przez chmury gazu jakie znajdują się na linii pomiędzy daną galaktyką a obserwatorem na Ziemi. Po raz pierwszy określo-

no więc odległość do błysku gamma przez analizę jego widma!

Błyski gamma odkryto na przełomie lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. W latach sześćdziesiątych, u szczytu okresu zimnej wojny, Stany Zjednoczone stworzyły serie satelitów Vela. Miały one za zadanie monitorować próby eksplozji jądrowych na Ziemi i w przestrzeni kosmicznej — podejrzewano, że Związek Radziecki może wykonywać eksplozje jądrowe nawet po niewidocznej stronie Księżyca! Satelity Vela miały na swoim pokładzie detektory promieni gamma, które właśnie są emitowane w wybuchach jądrowych. Jednakże zamiast prób jądrowych satelity te wykryły błyski promieni gamma pochodzenia kosmicznego. W 1973 roku naukowcy byli już przekonani, że błyski gamma to nowe zjawisko. Większość astronomów była przekonana że błyski te związane są z lokalnymi, galaktycznymi gwiazdami neutronowymi. Wskazywały na to obserwacje linii widmowych w widmach niektórych błysków. Były to takie same linie jakie obserwowane są w widmach pulsarów rentgenowskich, o których wiele wiadomo. Są to silnie namagnetyzowane gwiazdy neutronowe na które spada materia z sąsiedniej, normalnej gwiazdy. W widmach tych obiektów obserwowane są linie wywołane przez rozpraszanie promieniowania w silnym polu magnetycznym.

Jeżeli błyski gamma byłyby związane z gwiazdami neutronowymi w naszej galaktyce to ich rozkład na niebie powinien pokrywać się z Drogą Mleczną. W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych kiedy błyski były obserwowane jedynie przez satelity o niskiej czułości, obserwowany rozkład błysków na niebie był bliski izotropii. Interpretowano wówczas ten fakt w ten sposób, że ze względu na niską czułość detektorów widzimy jedynie błyski znajdujące się bardzo blisko, i są one izotropowe na niebie, tak jak i pobliskie gwiazdy. Jeśli by jednak zbudować eksperyment z wystarczająco czułymi detektorami to powinien on zaobserwować rozkład w jakiś sposób związany z płaszczyzną galaktyki. Taką próbę podjęto budując eksperyment BATSE (*Burst and Transient Source Experiment*) umieszczony na pokładzie Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO). Został on wyniesiony na orbitę w kwietniu 1991 roku.

Eksperyment BATSE to zestaw 8 identycznych detektorów umieszczonych na rogach satelity CGRO. Każdy z tych ośmiu detektorów ma szerokie pole widzenia, i w ten sposób BATSE obserwuje całe niebo (z wyjątkiem jego części zasłoniętej przez Ziemię). Po wykryciu błysku gamma można go zlokalizować na niebie znając ustawienie satelity i porównując natężenia promieniowania w poszczególnych detektorach, które zaobserwowały błysk. W ten sposób można znaleźć pozycje błysku na niebie z dokładnością do paru stopni, a nawet z dokładnością do mniej niż jednego stopnia w przypadku bardzo silnych błysków. Już po paru miesiącach pracy BATSE pokazało że nie można liczyć na szybkie rozwiązanie zagadki. Błyski zamiast układać się wzdłuż płaszczyzny galaktyki nadal były izotropowo rozłożone na niebie. Dodatkowo BATSE potwierdził znany uprzednio fakt, że ilość na jednostkę objętości błysków słabych (a więc i dalekich) jest stosunkowo mniejsza od ilości błysków jasnych (czyli bliskich). Obserwacje te wywołały zasadniczy zwrot w poglądach na pochodzenie błysków. Duża część astronomów przesunęła te zjawiska 10 milionów razy dalej, na odległości kosmologiczne. Wówczas izotropia błysków na niebie byłaby wytłumaczona bardzo prosto — błyski byłyby rozłożone tak jak odległe galaktyki, a mniejsza ilość słabych błysków byłaby związana z geometrią rozszerzającego się Wszechświata. Dodatkowo BATSE nie potwierdził istnienia linii w widmach błysków gamma, takich jakie były wykryte uprzednio, co podawało w wątpliwość podstawowy argument za tym, że błyski gamma pocho-



Rys. 4. Poświata po błysku GRB970508 (w centrum) sfotografowana przez teleskop Hubble'a 2 czerwca 97. Z poświatą nie jest związana żadna widoczna galaktyka. W widmie tego błysku znaleziono linie widmowe przesunięte ku czerwieni świadczące o tym że znajduje się on w odległości paru miliardów lat świetlnych. (*E. Pian, A.Fruchter, NASA*)

dzą z lokalnych, galaktycznych źródeł. Należy jednak dodać, że zdolność BATSE do wykrywania takich linii jest wątpliwa dla niektórych naukowców.

Inna grupa naukowców przeniosła błyski „tylko" do galaktycznego halo. Źródłami błysków nadal byłyby gwiazdy neutronowe, lecz o wysokich prędkościach, wystarczających na ucieczkę z naszej Galaktyki. Przeprowadzone symulacje komputerowe pokazały że takie gwiazdy mogłyby mieć rozkład na niebie bardzo bliski izotropii. W takim modelu jednakże oczekuje się że przy obserwacji dużej ilości błysków gamma powinno się znaleźć pewną anizotropię związaną z Galaktyką. Drugim przewidywaniem takiego modelu jest to, że odpowiednio czułe instrumenty (jeszcze czulsze niż BATSE) powinny być w stanie wykryć błyski pochodzące z otoczenia naszej najbliższej galaktyki M31 w gwiazdozbiorze Andromedy.

W ciągu 6 lat pracy BATSE nie wykryto takiej anizotropii, jednakże modele galaktycznego halo nadal pozostają marginalnie w zgodzie z obserwacjami. Większość astronomów uważa jednak że model kosmologiczny stanowi prostsze wyjaśnienie pochodzenia błysków gamma. Należy zwrócić uwagę na to, że w modelu kosmologicznym błyski gamma związane są z najbardziej energetycznymi wybuchami we Wszechświecie. W takim błysku wydziela się około 10^{53} ergów w czasie około jednej sekundy. Dla porównania jest to energia jaką nasze Słońce wydzieli w czasie całego swojego życia, czyli około 10 miliardów lat! Jeśli źródła błysków znajdowałyby się w galaktycznym halo to wówczas potrzeba by „jedynie" około 10^{42} ergów na błysk, to jest energia jaką Słońce wypromieniowuje w ciągu mniej więcej ludzkiego życia.

Ostatnie obserwacje stanowią na pewno bardzo silną wskazówkę w kierunku i tak generalnie akceptowanego modelu kosmologicznego. Poświata rentgenowska, optyczna i radiowa przewidywana jest w takim modelu. Ponadto źródło błysku GRB970228 otoczone jest rozciągłym źródłem, przypominającym galaktykę. Wprawdzie nie zmierzono jak dotychczas jego przesunięcia ku czerwieni, ale na pewno astronomowie podejmą próbę takiego pomiaru już niedługo, kiedy to miejsce na niebie będzie znów obserwowalne, gdy Słońce oddali się od niego. W widmie poświaty po błysku GRB97050 wykryto przesunięcie ku czerwieni, tak jak obserwuje się w widmach odległych galaktyk, co jest najlepszym i niepodważalnym dowodem na to, że znajduje się ono na odległości kosmologicznej.

Czyżby więc tu kończyła się zagadka błysków gamma? Wygląda na to że nie. Błyski gamma już wiele razy wodziły astronomów za nos i tak być może będzie jeszcze nie raz... Wokół poświaty po błysku GRB970508 nie wykryto żadnego źródła rozciągłego. Znajduje się tam kilka słabych galaktyk, jednakże słabe galaktyki widzi się prawie wszędzie na niebie. W modelu kosmologicznym oczekuje się, że błyski są związane z galaktykami, bowiem galaktyki są wyspami materii we Wszechświecie i tam powinny mieć miejsce takie kosmiczne katastrofy jak kolizje zwartych obiektów. Pozostaje też do wyjaśnienia kontrowersja związana z ruchem własnym źródła punktowego wykrytym w poświacie po błysku GRB970228. Mogą tu pomoc kolejne obserwacje optyczne, jakie pewnie wkrótce zostaną przeprowadzone.

Satelita Beppo-SAX utracił w czerwcu zdolność do szybkiego manewrowania wraz z awarią swoich żyroskopów. Będzie, mógł wykrywać błyski gamma, tak jak dotychczas, jednakże nie będzie w stanie wykonać szybkich manewrów, takich jakie umożliwiły obserwacje rentgenowskie w parę godzin po błysku. Pewne nadzieje stwarza kooperacja pomiędzy BATSE a XTE (*X-Ray Timing Explorer* to satelita na pokładzie którego znajduje się wysokiej jakości teleskop rentgenowski). Z chwilą wykrycia błysku gamma przez BATSE uruchamiany jest automatyczny program lokalizacji błysku i jego pozycja przekazywana jest internetem do wielu ośrodków naukowych na całym świecie. Jednym z takich ośrodków jest centrum dowodzenia XTE. Jeżeli jest to możliwe teleskop XTE kierowany jest w kierunku pozycji błysku gamma i tam poszukuje zmiennych źródeł rentgenowskich. Program ten zaowocował wykryciem poświaty rentgenowskiej po błysku gamma wykrytym przez BATSE 16 czerwca 1997 (GRB970616). Mimo bardzo intensywnych poszukiwań nie wykryto jednak żadnych zmiennych źródeł optycznych w miejscu błysku i poświaty rentgenowskiej.

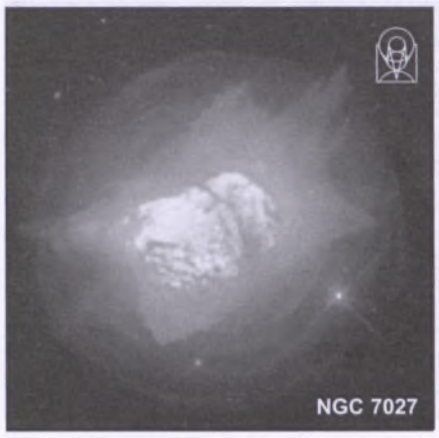
Największe nadzieje niesie ze sobą planowane na koniec przyszłego roku wyniesienie na orbitę satelity HETE-2. Program HETE nie miał dotychczas dużo szczęścia. Satelita HETE był wystrzelony na orbitę za pomocą rakiety Pegasus-II w listopadzie 1996 roku. Jednakże nastąpiła awaria kapsuły i satelita ten nie został wypchnięty na swoja orbitę. Nie mógł rozwinąć anten i baterii słonecznych. Na pokładzie HETE znajdowały się cztery detektory promieni gamma, detektor rentgenowski i kamera ultrafioletowa, wszystkie skierowane w jedną stronę. Taki zestaw instrumentów pozwoliłby na bardzo szybką lokalizację błysków z dokładnością nawet do około 10 sekund łuku jeszcze w czasie trwania błysku. Równocześnie z błyskiem HETE miał przekazywać pozycje błysku bezpośrednio do obserwatoriów na Ziemi, co umożliwiłoby im szybkie obserwacje tego miejsca na niebie i badanie poświaty. Dzięki dużemu wysiłkowi środowiska astronomicznego udało się znaleźć fundusze na odbudowę i powtórną misję satelity, nazwanego HETE-2.

W maju 1995 roku, w 75 rocznicę wielkiej debaty pomiędzy Curtisem i Shapleyem o skali Wszechświata, w Waszyngtonie odbyła się debata pomiędzy prof. Paczyńskim z Princeton a prof. Lambem z Uniwersytetu Chicagowskiego, której tematem była skala odległości do błysków gamma. Profesor Paczyński przedstawiał argumenty świadczące o kosmologicznym pochodzeniu błysków gamma, natomiast profesor Lamb argumentował za tym, że ich źródła znajdują się w galaktycznym halo. Reportaż z tej debaty znajdą Państwo w PA 2/95, str. 52. W wyniku tej debaty uznano, że o skali odległości do błysków gamma mogą rozstrzygnąć obserwacje naszej najbliższej sąsiadki — galaktyki M31 w gwiazdozbiorze Andromedy. Okazało się, że zbliżyliśmy się ku rozwiązaniu tej zagadki dzięki małemu satelicie Beppo-SAX i heroicznemu wysiłkowi międzynarodowego środowiska astronomów. Debata pomiędzy Curtisem i Shapleyem z 1920 roku rozstrzygnięta została w kilka lat. Jesteśmy na najlepszej drodze, by historia się powtórzyła.

Doktor Tomasz Bulik jest astrofizykiem pracującym w Centrum Astronomicznym Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Jego naukową pasją jest astrofizyka wysokich energii.

Mgławice planetarne jako narzędzia badań astrofizycznych[1]

Grażyna Stasińska



WSTĘP

Możemy przyjąć, że mgławice planetarne odkryte zostały w roku 1791 przez Hershella. To on jako pierwszy uznał, że zielonkawe dyski, które mógł obserwować swoim teleskopem, to mgławice fizycznie związane z gwiazdami widocznymi w ich centrum. Od tamtego czasu mgławice planetarne zachwycały wiele pokoleń astronomów i miłośników astronomii, zadziwiając ich bogactwem kolorów i kształtów. Z biegiem czasu coraz bardziej się też przekonywano, że mgławice planetarne to również znakomite narzędzia do badań w wielu dziedzinach astronomii.

W artykule tym dokonamy przeglądu podstawowych zastosowań mgławic planetarnych. Przedstawimy jedynie podstawy fizyki mgławic planetarnych, ponieważ skoncentrujemy się na związkach pomiędzy badaniami mgławic planetarnych a innymi dziedzinami astronomii. Szczególny nacisk zostanie położony na najnowsze osiągnięcia astronomów pracujących na tym polu.

CO TO JEST MGŁAWICA PLANETARNA?

Z punktu widzenia obserwacji, mgławica planetarna to rozszerzająca się otoczka gazowa, zjonizowana przez gorącą gwiazdę znajdującą się w jej centrum. Pierwsza interpretacja tego zjawiska zaproponowana została w roku 1956 przez Szkłowskiego. Szkłowski czuł, że otoczka to nic innego, jak odrzucona atmosfera czerwonego olbrzyma, którego jądro kurczy się, aby stać się białym karłem.

Minęło 40 lat i dziś, korzystając z postępu wiedzy osiągniętego w tym czasie, możemy przedstawić nasz bardziej współczesny pogląd: Mgławice planetarne są produktem ewolucji gwiazd średniomasywnych, tzn. takich, które na ciągu głównym miały masy pomiędzy 0.8 $M_\odot$ a 8 $M_\odot$. Takie gwiazdy tracą masę podczas swej ewolucji. Dopiero jednak po wypaleniu helu w swoich jądrach i ponownym wspięciu się na gałąź czerwonych olbrzymów (dokładniej, na asymptotyczną gałąź olbrzymów), gdy odchodzą ku lewej części wykresu Hertzsprunga-Russella, gwiazdy te stają się zdolne do zjonizowania mgławicy. Powstanie samej otoczki mgławicowej jest wynikiem oddziaływania pomiędzy szybkim wiatrem wypływającym z gwiazdy centralnej a materią powolnego wiatru występującego podczas przebywania na asymptotycznej gałęzi olbrzymów.

MGŁAWICE PLANETARNE — KOSMICZNE LABORATORIA

Emisja linii wzbronionych

Bardzo niskie gęstości spotykane w mgławicach planetarnych (rzędu 10^4 atomów na cm^3, niemal dwadzieścia rzędów wielkości mniejsze niż w atmosferach gwiazd) pozwalają na emisję linii wzbronionych, powstających z poziomów metastabilnych atomów. Takie linie nie mogą być obserwowane w gęstszych ośrodkach, ponieważ rekombinacja poprzez zderzenia jest dla tych poziomów bardziej efektywna, niż rekombinacja z emisją fotonu promieniowania.

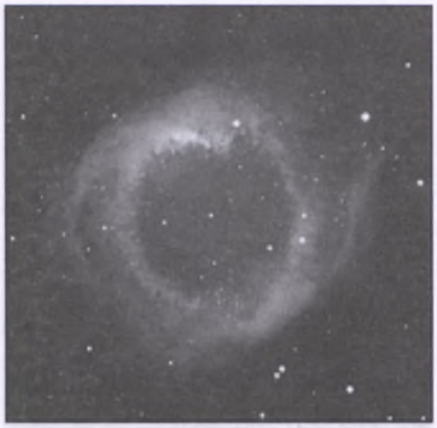
Większość pierwiastków występujących w mgławicach została odkryta dzięki liniom wzbronionym, zaobserwowanym po raz pierwszy właśnie w mgławicach planetarnych. Do niedawna znanych było 17 pierwiastków występujących w mgławicach. Jednak dzięki intensywnym obserwacjom mgławicy planetarnej NGC 7027 udało się tę liczbę powiększyć niemal dwukrotnie. Nowo zidentyfikowane pierwiastki mają liczby atomowe od Z=32 do Z=83.

Z uwagi na sposób w jaki powstają, linie wzbronione mogą stać się źródłem bezpośrednich informacji o plazmie: miernikiem temperatury i gęstości elektronowej oraz obfitości pierwiastków. Wypracowane dla mgławic planetarnych metody tego rodzaju, są obecnie stosowane do układów bardziej złożonych, takich jak galaktyki emisyjne.

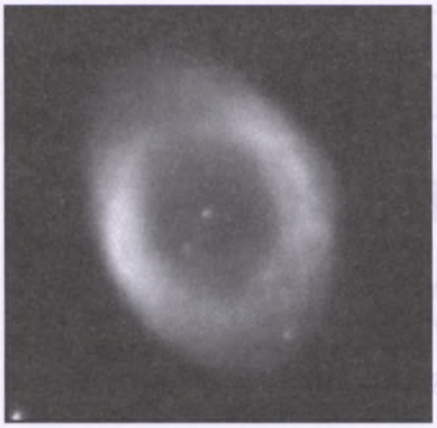
Do diagnostyki plazmy potrzebne są dobre dane atomowe (czasy życia, moc zderzeń). Dzięki wspólnemu wysiłkowi społeczności fizyków atomowych oraz z pomocą coraz szybszych i wydajniejszych komputerów, obliczenia dostarczają dzisiaj wiarygodne wielkości dla wszystkich interesujących jonów. Warto dodać, że czasami, to obserwacje stosunków pewnych linii wzbronionych w mgławicach planetarnych są ostatecznym sprawdzianem poprawności obliczeń.

Stosunki linii wzbronionych mierzone w mgławicach planetarnych wywołały również dyskusję odnośnie własności odbiorników elektonicznych używanych w astronomii. Stosunek linii [OIII] 4959 Å /5007 Å jest niezależny od warunków fizycznych w mgławicy, a równy po prostu stosunkowi prawdopodobieństw przejść promienistych dla tych linii. Jednak obserwacje wykonywane przy wykorzystaniu odbiorników typu IDS (ang. Image Dissector Scanner) wykazały kilkuprocentową różnicę pomiędzy spodziewanym stosunkiem a wartościami mierzonymi. W owym czasie za winowajcę uznano same detektory IDS, gdyż podejrzewano, że ich reakcja na oświetlenie jest nieliniowa. Jednak niedawno, przegląd mgławic planetarnych

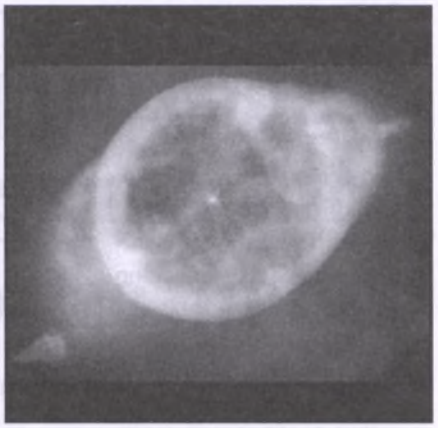
[1] Artykuł jest pokłosiem „zaproszonego referatu przeglądowego" wygłoszonego przez Autorkę w czasie XVII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Astronomicznego w Poznaniu we wrześniu 1995 roku.



Mgławica „Ślimak" w Wodniku (fot. AAO)



M57 w Lutni (fot.N.Caldwell)



NGC 3242 w Hydrze (fot. NASA)

dokonany przy użyciu detektorów IDS oraz detektorów CCD (ang. *Charge Coupled Device*) pokazał, że powyższe rozbieżności nadal istnieją, choć odbiorniki CCD uważane są za w wysokim stopniu liniowe. Tak więc źródło problemu zdaje się leżeć w fizyce atomowej.

Prototypy mgławic zjonizowanych

Mgławice planetarne są obiektami o względnie prostej geometrii, przynajmniej w porównaniu z innymi rodzajami mgławic, co czyni z nich znakomite kandydatki do testowania modeli. Co więcej, niektóre z nich są bardzo jasne i łatwe do obserwacji, co pozwala na narzucenie modelom silnych ograniczeń fizycznych.

Modelowanie fotojonizacji polega na policzeniu struktury jonizacyjnej oraz rozkładu temperatury elektronowej wewnątrz mgławicy przez rozwiązanie równań transferu jonizującego promieniowania. Celem jest odtworzenie obserwowanego widma linii emisyjnych oraz, jeśli to możliwe, różnic w jego wyglądzie w różnych punktach mgławicy, poprzez założenie odpowiednich własności źródła jonizacji oraz rozkładu gęstości i składu chemicznego otaczającej materii.

Rozwiązując tak postawione zadanie można przekonać się, czy wszystkie mikroskopowe procesy biorące udział w oddziaływaniu pomiędzy promieniowaniem a materią mgławicy są dobrze przez nas rozumiane. Na przykład niedoceniano, lub wręcz ignorowano, wagę reakcji wymiany ładunków. Było tak aż do czasu, gdy modele mgławicy NGC7027 pokazały, że są one decydującym procesem dla równowagi jonizacyjnej gazów mgławicowych.

Poprzez poprawne modelowanie fotojonizacji, można uzyskać informacje o właściwościach wywołującego ją źródła (temperaturze efektywnej, rozkładzie widmowym kontinuum Lymana) oraz o składzie chemicznym mgławicy. Tego typu techniki zostały po raz pierwszy rozwinięte do badania mgławic planetarnych, a obecnie są z powodzeniem stosowane do wielu innych obiektów astrofizycznych (obszarów HII, obszarów emitujących linie w galaktykach aktywnych, itp.).

Astrofizyczna dynamika gazów

Mgławice planetarne są zjawiskami dynamicznymi, a ich obecny kształt jest wynikiem całej historii oddziaływań pomiędzy kolejnymi wiatrami gwiazdowymi. Jednak na dynamikę takiego systemu silnie wpływa także promieniowanie. Realistyczne modelowanie wymaga włączenia zarówno dynamiki, jak i procesów promienistych (fotojonizacji, chłodzenia przez promieniowanie). Wraz z najnowszymi generacjami superkomputerów staje się to wykonalne, otwierając drogę nowej dziedzinie astronomii: radiacyjnej dynamice gazów. Niedawno skonstruowane zostały niezależnie, a następnie skonfrontowane ze sobą, dwa programy komputerowe tego rodzaju. W ważnej serii artykułów naukowych ich autorzy starannie przeanalizowali swoje modele mgławic planetarnych i porównali je z rzeczywistymi obiektami. Programy te wykazały, że można z ich pomocą odtworzyć cały zakres obserwowanych morfologii mgławic planetarnych oraz map prędkości mierzonych w różnych liniach emisyjnych. Czyni to z nich niedostępne dotąd narzędzia do poznania początków i ewolucji mgławic planetarnych.

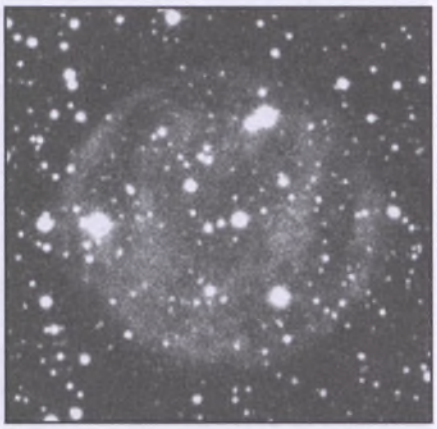
Jednak nie to jest ostatecznym celem autorów tych programów. Dla nich mgławice planetarne są pierwszym krokiem na drodze ku poznaniu bardziej złożonych lub nieuchwytnych klas obiektów, takich jak relatywistyczne dżety w aktywnych jądrach galaktyk lub obiekty typu Herbiga-Haro.

MGŁAWICE PLANETARNE — ŚWIADECTWA EWOLUCJI GWIAZD

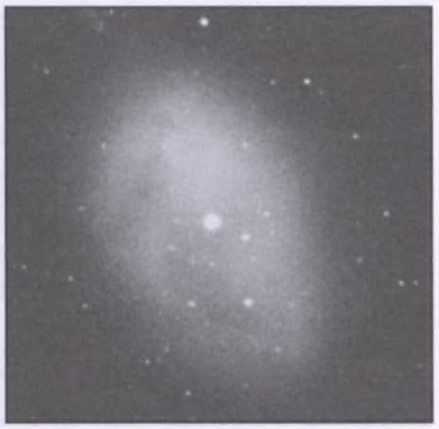
Od asymptotycznej gałęzi olbrzymów do białych karłów

Mgławice planetarne to nie tylko kosmiczne laboratoria, ale przede wszystkim produkty późnych etapów ewolucji gwiazdowej. Etapy te byłyby trudne do zaobserwowania, gdyby nie mgławice planetarne, które są ich manifestacją. W rzeczy samej, gwiazdy są wówczas bardzo słabe w zakresie widzialnym, ponieważ są bardzo gorące. Co więcej, choć w tej fazie ewolucji gwiazda przemierza cały diagram Hertzsprunga-Russella: od asymptotycznej gałęzi olbrzymów aż do obszaru białych karłów, nie trwa to długo — kilka tysięcy lat. Tak więc szanse na jej zaobserwowanie są niewielkie. Na szczęście duża część energii gwiazdy jest zamieniana na kilka linii w zakresie optycznym i ultrafioletowym emitowanych przez otaczającą ją mgławicę planetarną, a te są całkiem łatwe do zauważenia i pomierzenia.

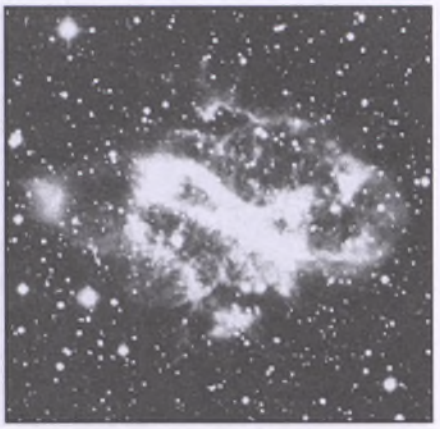
Mgławice planetarne mogą służyć do testowania teorii ewolucji gwiazd średniomasywnych, o ile tylko spełniony jest warunek, że promieniowanie wysyłane przez te obiekty jest interpretowane w sposób właściwy. Testowanie to odbywa się na drodze statystycznej, przez porównanie położeń obserwowanych próbek mgławic planetarnych z torami teoretycznymi. Postępowanie takie może przynieść wiele korzyści, gdyż w ewolucji gwiazdowej liczne zagadnienia pozostają niewyjaśnione: na przykład ro-



Ack 277-03.1 (fot. AAO)



NGC 1360 w Piecu (fot. AAO)



NGC 5189 w Musze (fot. AAO)

dzaj reakcji jądrowych po opuszczeniu asymptotycznej gałęzi olbrzymów, czy źródło i siła procesów utraty masy w różnych fazach ewolucji. Nie powinno się jednak niedoceniać trudności, jakie mogą towarzyszyć wykorzystywaniu mgławic planetarnych jako przewodników do wiedzy o ewolucji gwiazdowej. Na przykład efekty selekcji obserwacyjnej są bardzo ważne i muszą być starannie rozważane. Co więcej, jest bardzo możliwe (biorąc pod uwagę ich ogromną różnorodność), że nie istnieje jeden schemat ewolucyjny pasujący do wszystkich mgławic planetarnych. Na przykład mgławice bipolarne wydają się być wynikiem ewolucji gwiazd podwójnych. Mgławice planetarne z gwiazdami centralnymi typu Wolfa-Rayeta tworzą grupę obiektów, której status ewolucyjny nie jest jeszcze jasny. Niestety, całkowita ilość mgławic planetarnych nie jest duża. Ocenia się, że jest ich w galaktyce około 3000, ale jedynie około 1500 zostało dotąd zaobserwowanych i ta niewielka liczba ogranicza nadzieje związane z badaniami o charakterze statystycznym.

Nukleosynteza i procesy mieszania w gwiazdach

Podczas późnych stadiów ewolucji gwiazdowej, pierwiastki wyprodukowane we wnętrzach gwiazd są wynoszone na powierzchnię a następnie wyrzucane do przestrzeni międzygwiazdowej w postaci mgławicowej otoczki. Nadal nie wiemy wielu rzeczy o mechanizmach, poprzez które się to dzieje.

Pomiary obfitości helu, węgla, azotu i pierwiastków powstających w nukleamym procesie *s* w materii mgławic planetarnych pozwalają nam na testowanie przewidywań modeli nukleosyntezy i mieszania.

Świadectwo utraty masy przez gwiazdy

Jak to już zostało nadmienione, morfologia otoczek tworzących mgławice planetarne mówi nam o historii i geometrii procesów utraty masy przez gwiazdy. Na przykład morfologia rozciągających się wokół mgławicy halo (aureol), występujących niekiedy w postaci wielokrotnych otoczek, stanowi potencjalną wskazówkę do badań nad tym, jak zachodzą procesy utraty masy na asymptotycznej gałęzi olbrzymów. Tak więc na mgławice planetarne można również patrzeć, jak na instrumenty „paleontologii" wiatrów gwiazdowych.

MGŁAWICE PLANETARNE JAKO POPULACJA GALAKTYCZNA

W poprzednich częściach mgławice planetarne były przez nas traktowane jako indywidualne twory, powstające w czasie ewolucji gwiazdowej. Teraz rozważać będziemy mgławice planetarne łącznie, jako całą klasę obiektów i patrzeć na nie, jako na składnik pupulacji galaktycznych.

Tempo umierania gwiazd

Ponieważ mgławice planetarne, to w gruncie rzeczy oznaki umierania gwiazd, mogą one zostać użyte do porównania tempa umierania gwiazd w odległych galaktykach z ogólnymi własnościami galaktyki, jak jasność bolometryczna lub wskaźnik barwy. Jednak interpretacja nie jest prosta, gdyż gwiazdy o różnych metalicznościach ewoluują w odmienny sposób. Na przykład gwiazdy bogate w metale (czyli wg definicji astronomicznej pierwiastki cięższe niż hel) mogą mieć trudności z wyprodukowaniem mgławicy planetarnej z uwagi na silne tempo utraty masy, które mogłoby przesunąć je w lewo na diagramie Hertzsprunga-Russella jeszcze przed osiągnięciem wierzchołka asymptotycznej gałęzi olbrzymów.

Źródło fotonów ultrafioletowych

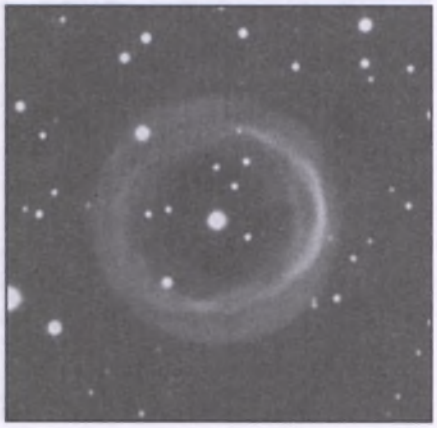
Gwiazdy centralne mgławic planetarnych przechodzą przez bardzo gorące stadia, w których ich temperatury efektywne przekraczają 10^5 K. Ponieważ w wielu przypadkach tylko część ich promieniowania jest absorbowana przez otaczające mgławice oraz z uwagi na to, że w odróżnieniu od gwiazd OB, nie są otoczone lub związane z obłokami molekularnymi, gwiazdy centralne stanowią ważne źródło jonizującego promieniowania dla halo galaktyk.

Poza tym, zgodnie ze standardowymi modelami powstawania populacji gwiazdowych, wydaje się, iż gwiazdy centralne mgławic planetarnych, lub bardziej ogólnie wszystkie gwiazdy po opuszczeniu asymptotycznej gałęzi olbrzymów, są odpowiedzialne za wzrost emisji w ultrafioletowej części widma galaktyk eliptycznych oraz za obserwowaną u wielu z nich obecność słabych linii emisyjnych. Jednak w tych zagadnieniach ciągle potrzebne są pogłębione badania, biorące pod uwagę efekty metaliczności.

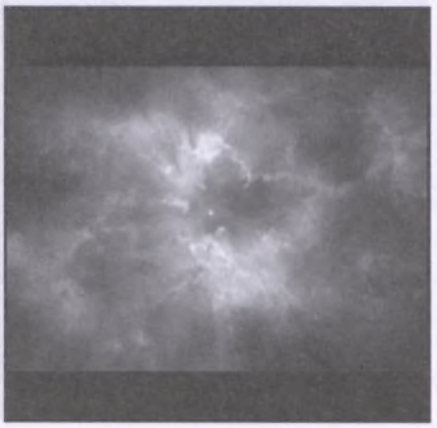
Źródła wzbogacające galaktyki

Mgławice planetarne, gwiazdy OH i chłodne olbrzymy stanowią podstawowe źródło wzbogacania ośrodka międzygwiazdowego w materię. Wyprzedzają je w tym tylko gwiazdy supernowe.

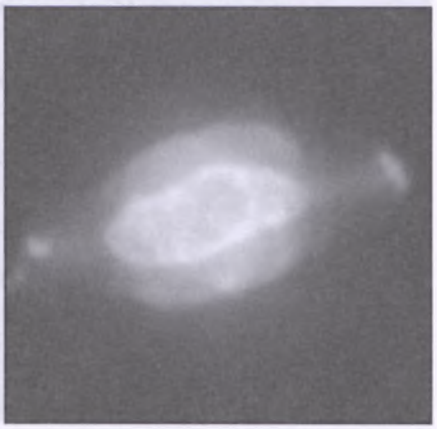
Ponieważ wyrzucony w przestrzeń gaz zawiera nowo powstałe cząstki, mgławice planetarne stanowią istotne źródło wzbogacenia ośrodka międzygwiazdowego w pewne pierwiastki: hel,



Shapley 1 (fot. AAO)



NGC 2440 (fot. NASA)



Mgławica „Saturn" (fot. KPNO)

azot i, co najważniejsze, w węgiel i pierwiastki powstałe w procesie *s*.

Atmosfery chłodnych, zaawansowanych ewolucyjnie gwiazd są szczególnie dobrym miejscem powstawania pyłu i konkurują z jądrami obłoków molekularnych w produkcji pyłu „na skalę galaktyczną". Ocenia się, że mgławice planetarne i ich ewolucyjni przodkowie są najważniejszymi przekaźnikami tworzonych wokół gwiazd ziaren pyłu do przestrzeni międzygwiazdowej. Trzeba tu zwrócić uwagę, że własności cząstek pyłu przekazywanych do ośrodka międzygwiazdowego różnią się od tych, jakie miały one w chwili swego powstania, a to z uwagi na działanie promieniowania gwiazdy centralnej.

MGŁAWICE PLANETARNE — CZĄSTKI PRÓBNE W BADANIU GALAKTYK

Fakt, że mgławice planetarne są stosunkowo prostymi obiektami, łatwymi do zaobserwowania nawet na dużych odległościach, czyni z nich wyjątkowo wartościowe narzędzia do badania galaktyk, które zamieszkują.

Prawo poczerwienienia międzygwiazdowego

Standardowe prawo ekstynkcji oraz jego zmiany na kierunkach przecinających gęste obłoki molekularne zastało wyznaczone na podstawie obserwacji gwiazd z bezpośredniego sąsiedztwa Słońca. Mgławice planetarne pozwalają nam na badanie bardziej odległych części Galaktyki. Staranna analiza poczerwień mgławic planetarnych wyznaczonych dwiema różnymi metodami, pozwoliła na stwierdzenie, że stosunek absorbcji całkowitej do selektywnej jest mniejszy w obszarach między ramionami, niż w ramionach spiralnych naszej Galaktyki. Przypuszczalną przyczyną może być to, że w bardziej rozrzedzonych obszarach ośrodka międzygwiazdowego występują ziarna o mniejszych rozmiarach.

Masy dynamiczne galaktyk

Do niedawna masy dynamiczne galaktyk eliptycznych mogły być wyznaczane jedynie dla ich centralnych obszarów, gdzie gwiazdowe linie absorbcyjne pozwalały na pomiar prędkości radialnych. Dzięki swym silnym liniom emisyjnym mgławice planetarne pozwalają nam na badanie pól prędkości galaktyk daleko poza ich efektywnymi promieniami oraz wyznaczanie mas halo galaktycznych.

Struktura ośrodka międzygwiazdowego

Ponieważ mgławice planetarne oddziaływują dynamicznie z otaczającym je środowiskiem, mogą pozwolić także na badania dynamiki ośrodka międzygwiazdowego. Nie mamy jednak jeszcze niezbędnych narzędzi badawczych aby ten cel urzeczywistnić.

Badanie ewolucji chemicznej galaktyk

Wspomnieliśmy już, że stosunkowo łatwo można z widm wyznaczyć obfitości pierwiastków w mgławicach planetarnych. Zawarty w mgławicowych otoczkach hel, węgiel oraz azot pochodzą częściowo z syntezy w gwiazdach, które mgławice planetarne wykształciły. Inne pierwiastki, takie jak tlen i neon, odzwierciedlają skład ośrodka, z którego powstały owe gwiazdy. Tak więc mgławice planetarne pozwalają nam na badanie zmian składu chemicznego galaktyk w przestrzeni oraz zmian zachodzących w czasie. Czyni to z nich ważne narzędzia do zrozumienia ewolucji chemicznej galaktyk.

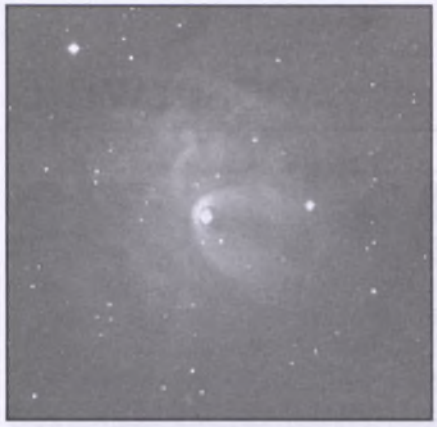
Dla przykładu, obserwowany w obszarach HII gradient (stopień zmienności) obfitości chemicznych wzdłuż promienia Galaktyki, może być wytłumaczony przez wiele różnych modeli. Fakt, że stare gwiazdy w dysku Galaktyki nie wykazują tego gradientu, a mgławice planetarne wykazują gradient mniejszy niż obszary HII, przemawia za modelami ewolucji chemicznej, w których gradient narasta z czasem.

Wykorzystując odpowiednie przyrządy na dużych teleskopach, obfitości mgławic planetarnych mogą być wyznaczone także dla odległych galaktyk. W tym wypadku, w galaktykach wczesnych typów mgławice planetarne będą grać podobną rolę, jak obszary HII w galaktykach, w których trwa powstawanie gwiazd. Pierwsze badania wykorzystujące ten fakt wykazały, że rozmyte galaktyki eliptyczne nie mogą być pozostałościami karłowatych galaktyk nieregularnych, ponieważ obie grupy mają zasadniczo odmienne historie ewolucji chemicznej.

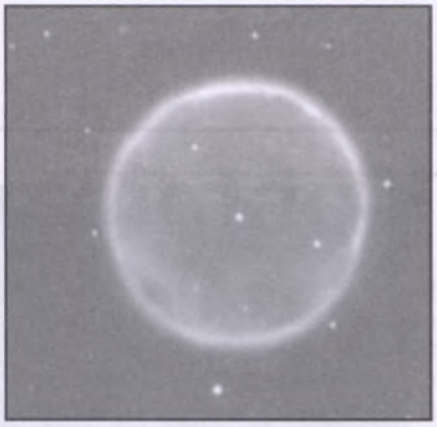
MGŁAWICE PLANETARNE — NARZĘDZIA KOSMOLOGII

Obfitość helu w okresie przedgalaktycznym

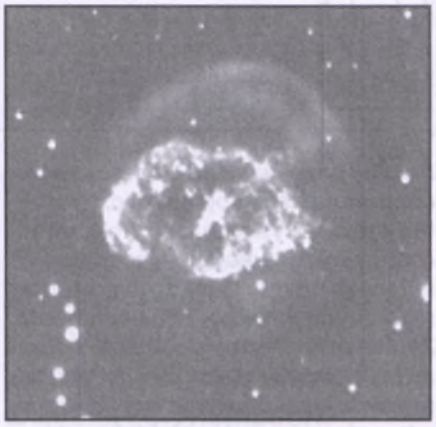
Ilość helu powstałego podczas Wielkiego Wybuchu jest wielkością fundamentalną w kosmologii. Hel obecnie obserwowany w galaktykach pochodzi częściowo z nukleosyntezy w czasie Wielkiego Wybuchu, a częściowo z nukleosyntezy w gwiazdach po utworzeniu galaktyk. Obfitość przedgalaktyczna helu jest wyznaczana ze związku między obfitościami tlenu i helu w galaktykach ubogich w metale poprzez ekstrapolację do metaliczności równej zero. Włączenie mgławic planetarnych do tej



Abell 35 (fot. KPNO)



Abell 39 (fot. KPNO)



Abell 78 (fot. KPNO)

analizy powiększa podstawę tej relacji poprzez rozszerzenie do wyższych metaliczności. Inna metoda wyznaczania przedgalaktycznej obfitości helu wykorzystuje mgławice planetarne z halo galaktycznego, w których obecna obfitość helu jest sumą obfitości przedgalaktycznej plus wzbogacenie pochodzące od macierzystej gwiazdy, które można określić z teorii. Zaletą metody jest jej niezależność od tej pierwszej. Jednak niewątpliwie użycie mgławic planetarnych dla wyznaczenia obfitości helu w okresie przedgalaktycznym nie ma fundamentalnego znaczenia.

Skala odległości międzygalaktycznych

Być może najbardziej znanym zastosowaniem mgławic planetarnych w ostatnich latach jest ich wykorzystywanie w charakterze świec standardowych. Może wydawać się paradoksalne, że metoda wykorzystująca mgławice planetarne jest tak wiarygodnym źródłem odległości do galaktyk, podczas gdy indywidualne odległości do mgławic planetarnych w naszej Galaktyce są tak słabo znane. W istocie, metoda ta oparta jest na wyznaczeniu funkcji jasności mgławic planetarnych, która ma charakter statystyczny i określana jest na podstawie obserwacji dziesiątek lub setek jasnych mgławic planetarnych w danej galaktyce. Funkcja jasności bardzo gwałtownie urywa się dla bardzo dużych jasności, co wynika z ewolucji mgławic planetarnych i ich gwiazd centralnych. Istnieją wyraźne wskazówki, że cały zakres dużych jasności tej funkcji jest niemal niezależny od własności analizowanych galaktyk. Przyczyna zdaje się leżeć w tym, że wszystkie czynniki, które mogłyby wpłynąć na górną część rozkładu funkcji jasności albo są nieistotne, albo wywołują wzajemnie znoszące się efekty o drugorzędnym znaczeniu. Nie jest to jednak jeszcze w pełni zrozumiałe.

W porównaniu z innymi metodami pomiaru odległości pozagalaktycznych, metoda oparta o rozkład funkcji jasności mgławic planetarnych jest prosta, dokładna i może być stosowana do galaktyk o dowolnym typie Hubbla. Może być wykorzystywana do pomiaru odległości sięgających 2×10^7 parseków.

MGŁAWICE PLANETARNE A UKŁAD SŁONECZNY

W poprzednich częściach przedstawiliśmy mgławice planetarne jako drogę do badania odległych części Wszechświata. Istnieje jednak jeszcze inny aspekt badań mgławic planetarnych, może mniej znany, jednak nie bez znaczenia: związki z Układem Słonecznym. Takie związki istnieją przynajmniej na dwa sposoby.

Mgławica planetarna Układu Słonecznego

Ponieważ Słońce jest normalną gwiazdą ciągu głównego o masie 1 $M_\odot$ (oczywiście), to ostatecznie przekształci się w czerwonego olbrzyma i wytworzy własną mgławicę planetarną. Zgodnie z obliczeniami astronomów, ta mgławica będzie miała zapewne kształt eliptyczny, ze względy na efekty dynamiczne wywołane obecnością Jowisza. Powstanie dużej części obserwowanych eliptycznych mgławic planetarnych mogłoby być wytłumaczone przez obecność masywnych planet lub brązowych karłów.

POWSTANIE UKŁADU SŁONECZNEGO

Powstanie pierwotnej mgławicy słonecznej przez kontrakcję (zapadnięcie się) w międzygwiazdowym obłoku molekularnym wymaga zaistnienia jakiegoś mechanizmu, który zapoczątkowałby cały proces. Pierwszy jaki zaproponowano, to wybuch gwiazdy supernowej. Obecnie wydaje się jednak, że gwiazda na asymptotycznej gałęzi olbrzymów, która traci swą otoczkę i właśnie staje się mgławicą planetarną lepiej pasuje do obserwacji. W takim modelu już w młodym Układzie Słonecznym pojawić się mogły radioaktywne pierwiastki glinu i palladu (^{26}Al, ^{107}Pd), co jest zgodne z obserwowanymi stosunkami obfitości.

PODSUMOWANIE

Dokonaliśmy oto przeglądu tych dziedzin astronomii, które czerpać mogą korzyści z badań mgławic planetarnych. Tak krótkie przedstawienie musiało być ze swej natury schematyczne. W rzeczywistości wiele badań tu przedstawionych, w których mgławic planetarnych używa się jako narzędzi, jest bardzo trudnych do prawidłowego przeprowadzenia i często specjaliści prowadzą na ich temat ostre dyskusje. Jednak wydaje się pewne, że lepsze poznanie mgławic planetarnych jest niezbędnym warunkiem do postępu w wielu dziedzinach astronomii.

Tłumaczenie: S.K. Górny.

Doktor Grażyna Stasińska, astrofizyk w Obserwatorium Astrofizycznym w Meudon pod Paryżem, od szeregu lat zajmuje się szeroko pojętymi badaniami mgławic planetarnych. Generalnie interesują Ją procesy fotojonizacji materii i ewolucja chemiczna galaktyk.

Kosmiczne kolizje

Po niedawnej wymianie części instrumentarium, teleskop kosmiczny Hubble'a jest w wyśmienitej formie, co zaowocowało już kolejną porcją fascynujących odkryć i pięknych portretów rozmaitych zakątków Wszechświata. Że nie są to li tylko sielankowe obrazy przekonamy się za chwilę, gdy zaprezentujemy dramatyczne relacje ze zdarzeń w sercach galaktyk.

Pierwszą bohaterką jest 220 obiekt z katalogu osobliwych galaktyk sporządzonego przez Haltona Arpa — czyli galaktyka Arp 220. Znajduje się ona 250 milionów lat świetlnych od nas, w gwiazdozbiorze Węża. Jest ona szczególna już choćby z tego powodu, iż jest to jedna z najbliższych nam galaktyk, spośród klasy, określanej mianem ultra jasnych galaktyk podczerwonych. Są to obiekty intensywnie badane, gdyż istnieje uzasadnione przypuszczenie, że w ich przypadku mamy do czynienia ze stadium ewolucyjnym prowadzącym do powstania kwazarów, owych najpotężniejszych źródeł promieniowania w Kosmosie.

Jeden z dwóch nowych przyrządów HST: kamera podczerwona ze spektrometrem wieloobiektowym (NICMOS), okazał się tutaj niezastąpiony. Arp 220 tak mocno jest skryta w „tumanach" pyłu, iż jej promieniowanie w wizualnej części widma to zaledwie 5% uwalnianej energii. Pozostałe 95% króluje w podczerwieni, gdzie jądro tej galaktyki świeci jaśniej aniżeli 100 Dróg Mlecznych! I właśnie dzięki kamerze podczerwonej możemy „przebić" się przez większość pyłu otulającego Arpa 220 i podejrzeć jej wnętrze.

Zaprezentowane tutaj zdjęcie (**rys. 1**), zostało wykonane 5 kwietnia 1997 roku, przy użyciu trzech różnych filtrów. Kolory zostały następnie tak dopasowane, by barwa niebieska odpowiadała krótszym długościom fal, a czerwona — dłuższym.

Po bliższej inspekcji obrazu, Rodger Thompson, Marcia Rieke, Glenn Schneider oraz Nick Scoville zrozumieli, że są świadkami kosmicznego dramatu rozgrywającego się w centrum galaktyki Arp 220. Wszystko wskazuje bowiem na to, że zderzają się tam ze sobą dwie galaktyki spiralne! Widoczny na zdjęciu jasny półksiężyc to nic innego, jak pozostałość jądra jednego z uczestników „wypadku". Jest to w rzeczywistości gigantyczna gromada gwiazd, licząca jakiś miliard członków. To, że ma ona taki akurat kształt oznacza ni mniej, ni więcej a tylko to, że jej dolna połowa jest zasłonięta przez wielki dysk pyłowy, o średnicy szacowanej na około 300 lat świetlnych. Jądro drugiej niefortunnej galaktyki, to ów jasny okrągły obiekt na lewo od półksiężyca. Oba jądra są odległe od siebie o jakieś 1200 lat świetlnych i krążą dookoła siebie.

Tak naprawdę sama kolizja nastąpiła prawdopodobnie kilkaset milionów lat temu. To co obecnie obserwujemy, to wywołane przez nią skutki. Materia międzygwiazdowa, czyli gaz i pył, normalnie rozlokowana w dysku galaktycznym o promieniu 30 000 lat światła, została porwana i zepchnięta do jądra Arpa 220. Spowodowało to na przykład znaczne zaciemnienie jej jądra przez zebrany pył. Co ważniejsze jednak, w wyniku nagromadzenia wielkich ilości gazu w obszarach centralnych, nastąpiło wzmożone powstawanie nowych gwiazd, określone wręcz mianem wybuchowego. Tak też i kamera podczerwona pokazuje okazałe tego rezultaty: przynajmniej 12, najprawdopodobniej młodych, gromad kulistych, czyli gęstych zbiorowisk kilkuset tysięcy, a nawet kilku milionów gwiazd, w sferycznym wycinku przestrzeni o średnicy kilkudziesięciu lat świetlnych. W ogólności gaz w centralnym dysku najpewniej zasila ciągłe powstawanie młodych gwiazd, odpowiadając za jego wysokie tempo — prawdopodobnie 100 razy większe, niż dla całej Drogi Mlecznej, jednakże skoncentrowane w obszarze o 100-krotnie mniejszym promieniu.

Jak już wspomnieliśmy, Arp 220 to bardzo ważne stadium ewolucyjne. Centralny dysk akrecyjny otacza prawdopodobnie czarną dziurę i przyczynia się systematycznie do budowania supermasywnej czarnej dziury — „docelowo" jakieś 100 milionów mas Słońca — głównego silnika przyszłego kwazara. Poparcie dla takiej wizji rozwoju wypadków pochodzi z obserwacji radiowych, wskazujących na obecność kilku miliardów $M_{\odot}$ gazu i pyłu w obrębie centralnego 1000 lat świetlnych obiektu Arp 220.

Również HST dopomógł astronomom rozwikłać inną zagadkę, nieco mniejszego kalibru, ale również intrygującą. Cała historia znalazła swój początek wtedy, gdy przy pomocy 4-metrowego teleskopu w obserwatorium Kitt Peak w Arizonie oraz satelity rentgenowskiego ROSAT, przyjrzano się dokładniej galaktyce — tym razem „zwykłej", spiralnej — o katalogowym oznaczeniu NGC 6946. Ten położony 17 milionów lat świetlnych od nas w gwiazdozbiorze Cefeusza obiekt, będący zaledwie połówką Drogi Mlecznej, jeśli chodzi o masę i wielkość — zabił naukowcom przysłowiowego ćwieka. Okazało się, że NGC 6946 jest wyjątkowo jasna zarówno w zakresie optycznym, jak i w promieniach X. Zupełnie tak, jakby wybuchła w niej supernowa. I tu niespodzianka: dalsza analiza zebranego materiału „dowodowego" pokazała, iż brak jest należnej w takim przypadku mieszaniny pierwiastków. Co więcej, ów tajemniczy obiekt na obrzeżu NGC 6946 nie ekspandował wystarczająco gwałtownie, by zasłużyć na miano młodej supernowej. Jego charakterystyki odpowiadały bardziej temu, że widzimy, owszem, pozostałość po supernowej, tyle że dużo starszą. (zob. **rys. 2**).

Dlaczego jednak mogła ona być tak jasna? Nie pierwszy już raz trzeba było poczekać, aż HST i tu spojrzy swym „łaskawym okiem". Wykonane przy pomocy kamery WFPC2 zdjęcia przeanalizowali William P. Blair, Robert A. Fesen i Eric M. Schlegel. Otóż ten jasny punkt światła, z Ziemi wyglądajacy jak supernowa, po inspekcji teleskopu Hubble'a okazuje się być zderzającymi się pozostałościami po dwóch lub nawet więcej supernowych. Mówiąc obrazowo, pędzący „gruz" powstały z gwiazd, które wybuchły, uczestniczy w kolizji, jakiej przedtem nie oglądano. Proces taki był co prawda przewidziany przez astronomów, lecz szanse zaobserwowania go były doprawdy niewielkie, gdyż to dramatyczne widowisko rozgrywa się w skali czasowej raptem kilkuset lat, co w specyfice Wszechświata oznacza ledwo dostrzegalny błysk.

Uporządkujmy zatem fakty. Gdy wybucha masywna gwiazda, we wszystkich kierunkach są ekspediowane ogromne ilości materii, poruszającej się z prędkościami dochodzącymi do 36 milionów km/s i tworzące potężną falę uderzeniową. Ściska ona napotkany po drodze gaz, tworząc gęstą otoczkę. I to właśnie kilka takich „wałów" materii zderza się ze sobą w NGC 6946; same presupernowe były odległe od siebie najprawdopodobniej o jakieś 40 lat świetlnych. Jak widać na rys. 2, większość światła pochodzi z małego półksiężyca u dołu po lewej, gdzie ekspandująca otoczka po względnie niedawnej eksplozji supernowej „przebija" się przez starszą i większą otoczkę, pozostała po wcześniejszym wybuchu.

Jak ciekawostkę warto jeszcze na zakończenie dodać, że w galaktyce tej obserwowano już 6 supernowych od roku 1917! Jeszcze tylko jedna inna galaktyka może poszczycić się tak dużą ilością zauważonych supernowych. Oznacza to, że w NGC 6946 nie tylko powstaje dużo gwiazd, ale i wiele z nich ma duże masy.

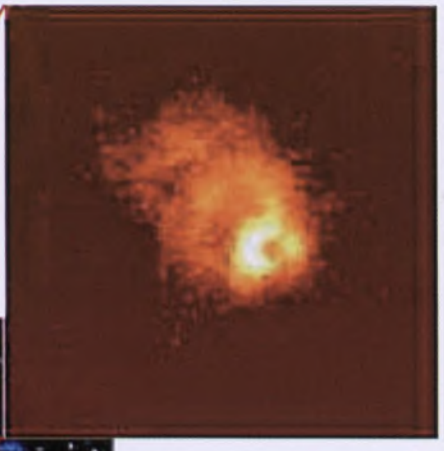
Marek Gołębiewski

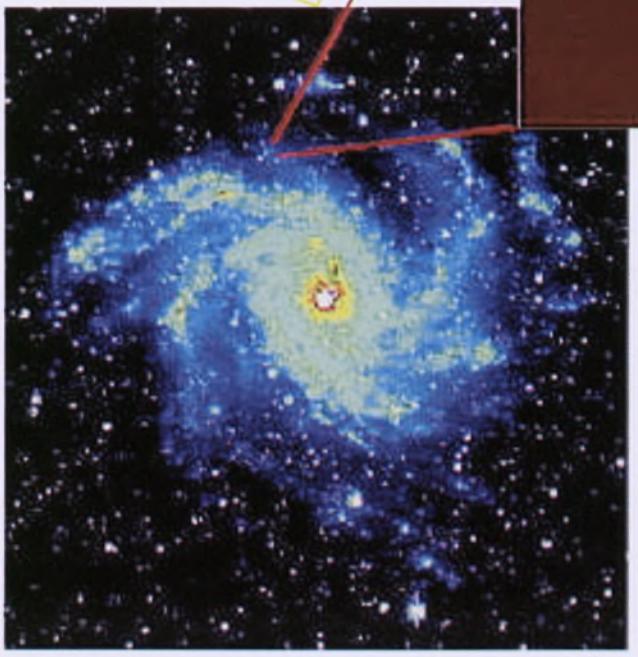
Rys. 1.
Galaktyka osobliwa Arp 220, w której centrum znajduje się pozostałość po zderzeniu dwóch galaktyk spiralnych. Zdjęcie: R. Thompson, M. Rieke, G. Schneider (UA), Nick Scoville (CIT) i NASA.

Arp 220

Kosmiczne kolizje

NGC 6946





Wyżej: obraz uzyskany kamerą WFPC2 (HST).

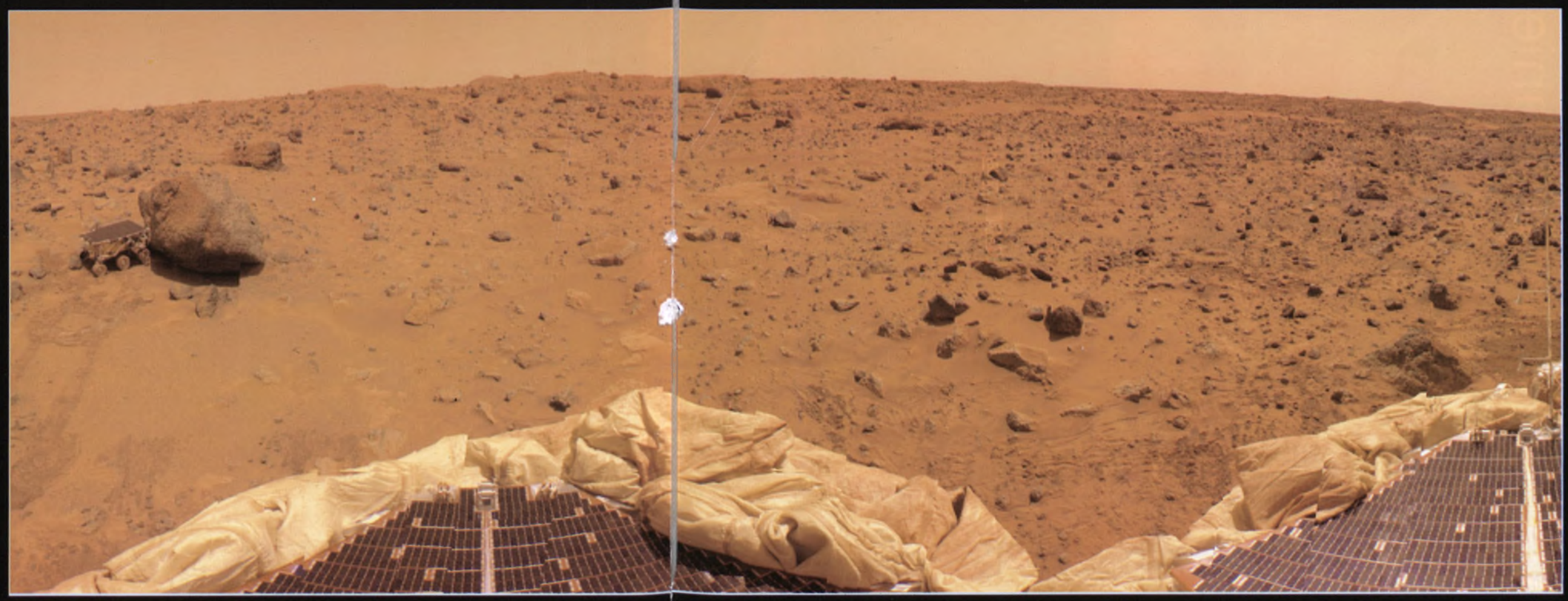
Obok: zdjęcie wykonane teleskopem naziemnym (KPNO 4m, CCD).

Rys. 2.
Zderzające się pozostałości kilku supernowych, na obrzeżu galaktyki NGC 6946.
Zdjęcie: William Blair (JHU) i NOAO/Kitt Peak.

Panorama z Marsa

PA

nasa



Krajobraz Marsa widziany okiem stacji „Sagan Memorial Station" utworzonej na powierzchni Czerwonej Planety po wylądowaniu Pathfindera.
Na dolnym zdjęciu widoczny jest samobieżny pojazd Sojourner przy skale Yogi.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Gwiezdna rodzinka

Mars przed lądowaniem Pathfindera

(patrz teksty na stronie obok)

17.05.1997

27.06.1997

Valles Marineris

27.06.1997

Gwiezdna rodzinka

28 kwietnia 1997 roku, kamera podczerwona NICMOS Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, uzbrojona w trzy filtry 1.1, 1.6 i 2.2 μm, zajrzała do Mgławicy Konus, znajdując tam prawdziwy gwiezdny „żłobek" — „matkę" z sześciorgiem „dzieci".

Zdjęcie z lewej strony to wykonany naziemnym teleskopem obraz odległej o 2500 lat świetlnych Mgławicy, będącej w gwiazdozbiorze Jednorożca. Owego „żłobka" tu wszakże nie widać, gdyż zasłania go pył i gaz; jego położenie wskazuje kwadratowa ramka. Wielki stożek chłodnego molekularnego wodoru i pyłu, wyrastający z lewej krawędzi zdjęcia to materia, która wypłynęła z gwiazdy — „matki", „NGC 2264 IRS". Nazywana ona bywa też źródłem Allena, na cześć swego odkrywcy w 1972 roku. Gwiazda widoczna po prawej stronie jest 2000 razy jaśniejsza niż Słońce. Jej aktywność spowodowała zapoczątkowanie procesu określanego mianem powstawania gwiazd, wywołanego falą uderzeniową (ang. *schock–induced*). Szybkie cząstki pyłu i gazu z młodej, masywnej gwiazdy kompresowały napotykany gaz i pył do momentu, w którym był wystarczająco gęsty, by zainicjować formowanie się nowych gwiazd. W przypadku NGC 2264 IRS powstała w ten sposób gromadka sześciorga gwiezdnych „dzieci". Widać to wyraźnie na reprodukowanym po prawej stronie zdjęciu z kamery NICMOS. Młode gwiazdy leżą w odległości jedynie 0.04 do 0.08 roku świetlnego wzdłuż niewidocznego wału, gdzie wypływająca z masywnej „rodzicielki" materia zderzyła się ze ścianą obłoku molekularnego. NGC 2264 IRS jest zapewne również odpowiedzialna za samą Mgławicę Konus, na co wskazuje geometria całego systemu oraz fakt, że gwiazda jest najjaśniejszym znanym tam źródłem promieniowania.

Pierścienie otaczające masywną gwiazdę i wybiegające z niej promienie to jedynie oznaki prawie perfekcyjnego działanie układu optycznego NICMOS. Takie powinno być bowiem jego działanie w przypadku obserwowania źródła punktowego.

Marek Gołębiewski

Fot. R. Thompson, M. Rieke, G Schneider (UA) i NASA.

Mars przed lądowaniem Pathfindera

Przedstawione obok zdjęcia zostały uzyskane w ramach patrolowania Czerwonej Planety przez teleskop kosmiczny Hubble'a w celu określenia warunków meteorologicznych jakie mogą być w czasie i miejscu planowanego lądowania Pathfindera.

Zdjęcie z dnia 27 czerwca 1997 pokazuje znacznych rozmiarów burze piaskowa. Pokrywa ona prawie caly kanion Valles Marineris i rozciąga się aż po Xanthe Terra, około 1000 km na południe od przewidywanego miejsca lądowania Pathfindera w Ares Vallis.

Na zdjęciach przedstawiających całą widoczną z Ziemi tarczę planety, na czerwcowym obrazie, zmiany burzowe możemy widzieć w odległości ok. 2/3 od środka tarczy planety w kierunku 5–7 godziny zegarowej. Ten obraz został przetworzony na obraz prostokątny (na dole), a miejsce lądowania Pathfindera oznaczone jest zielonym krzyżykiem.

Zauważmy, ze kanion Valles Marineris jest tworem tak wielkim, ze nie ma sobie równego na Ziemi. Jego długość sięga prawie 5 tys. km, a głębokość 5–8 km. Na Ziemi rozciągałby się przez cala szerokość Ameryki Północnej, od Los Angeles do Nowego Jorku. Mimo tak wielkich rozmiarów burzy nie przewidywano jej złych skutków dla przebiegu lądowania Pathfindera jak i warunków obserwacji i badan miejsca lądowania.

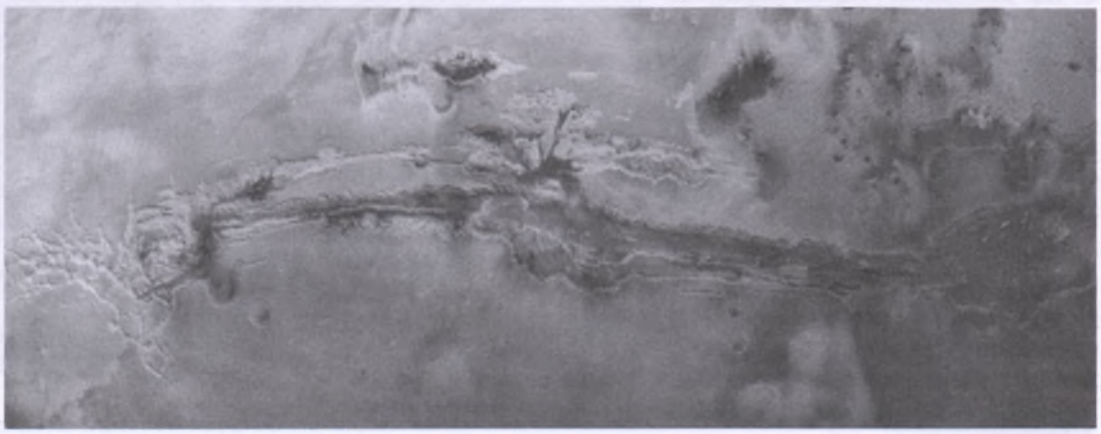
Innym zjawiskiem meteorologicznym jakie ujawniają omawiane zdjęcia są cirrusowe, kłaczkowate chmury (złożone z kryształków lodu wodnego) nad miejscem lądowania oraz bardziej gęste, ciemne chmury na półkuli północnej. Przewidywano, że właśnie wobec obecności tak wielu chmur, burza piaskowa zostanie ograniczona do aktualnych obszarów występowania. Jeśli bowiem pył wzniesie się do wysokości, na których tworzą się chmury, lody kondensując się na ziarenkach pyłu, będą powodowały ich opadanie, a więc nie pozwolą na rozprzestrzeniane się pyłów na inne obszary planety.

Ciemna plamka w rejonie terminatora na czerwcowym zdjęciu (azymut godz. 9), to obraz wystającego ponad chmury szczytu wulkanicznej góry marsjanskiej Ascraeus Mons, która ma wysokość ok. 27 km. Nachylenie osi obrotu Marsa powoduje, że widzimy tylko północną czaszę polarną.

Zespól badaczy śledzących rozwój warunków meteorologicznych na Marsie w okresie poprzedzającym lądowanie Pathfindera składał się z następujących osób: S. Lee i T. Clancy z Boulder, Ph. James i M. Wolf z Toledo oraz J. Bella z Uniwersytetu Cornella i NASA.

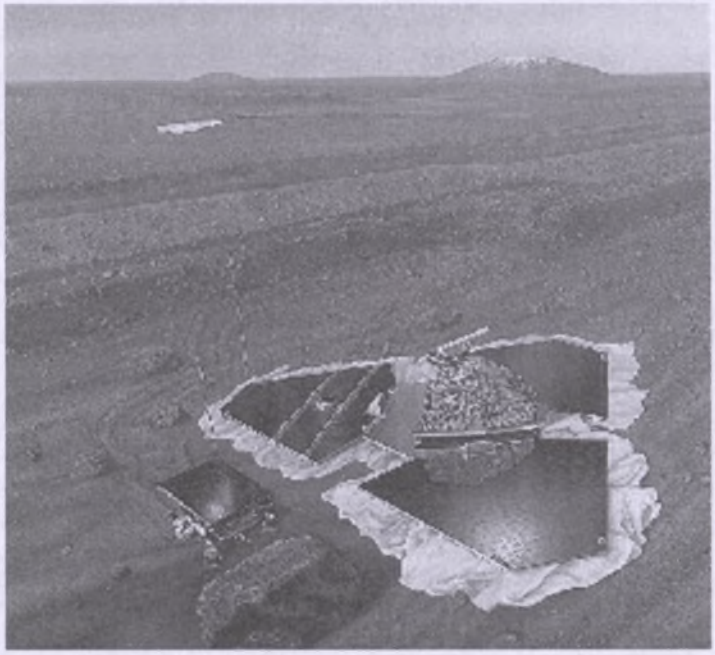
(*aw*)

Na zdjęciu niżej:
Valles Marineris sfotografowany w 1976 roku z pokładu orbitera Vikinga znajdującego się na wysokości 32 tyś. km (fot. USGS, Flagstaff).



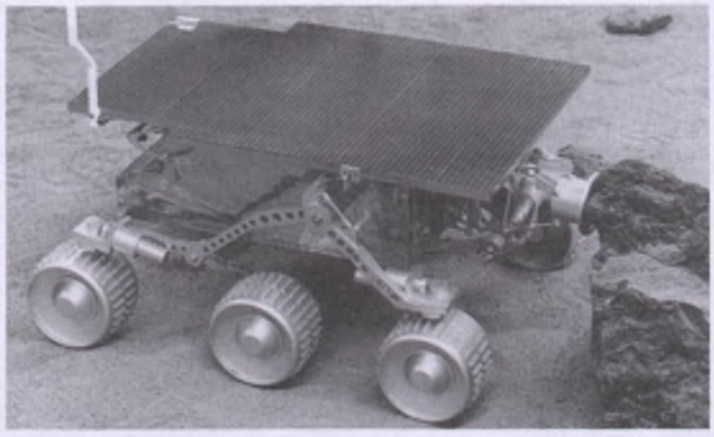
Marsjański zwiad 1997

W dniu 4 lipca br osiadł na Marsie ziemski desant — wylądował pojazd poszukujący nowych dróg wypraw marsjańskich i nowych sposobów badania Czerwonej Planety. Nazwano go Pathfinder — przecieracz szlaków. Ma utorować drogę do przyszłych globalnych badań Marsa przez całą siatkę stacji badawczych osadzonych w różnych miejscach na tej planecie do analizy jej skorupy i atmosfery. Obecną, utworzoną przez Pathfindera i jego łazika, pionierską stację badawczą nazwano imieniem niedawno zmarłego wybitnego badacza planet i poszukiwacza życia we Wszechświecie Profesora Carla Sagana (patrz PA 1/97). Na długo przed początkiem tej misji to właśnie profesor Carl Sagan wybrał miejsce lądowania Pathfindera: na północnej półkuli Marsa, u ujścia Ares Vallis (19.5° N, 32.8° W), w miejscu gdzie prawdopodobnie płynęła kiedyś woda. Pathfinder wystartował z Przylądka Canaveral na Florydzie w dniu 4 grudnia 1996 i już po 7 miesiącach osiadł na Marsie. Nie lądował, tak jak zwykle to robiły aparaty lądujące na Księżycu czy innych planetach, z orbity okołoplanetarnej. Jak meteoryt wpadł do atmosfery Marsa, został w niej wyhamowany m.in. przy pomocy spadochronu i opadł na powierzchnie wielokrotnie na niej podskakując. Przed urazami był chroniony otoczką poduszek powietrznych. Gdy opadł wzniecony tym upadkiem kurz, otworzył swe „wrota", rozejrzał się po okolicy i pozwoił na wydostanie się ze swego wnętrza wędrującego małego robota, powiedzielibyśmy „łazika", nazwanego Sojourner. Łazik, jak dziecięca zabawka, powolutku (1 cm/sek) wędrował po marsjańskim gruncie, rozglądał się, jak gdyby „wąchał" i „smakował" spotykane skałki. I wszystko przekazywał do centrali swej misji w JPL w Pasadenie. Przedstawiamy tu, na kilku stronach bieżącego zeszytu „Postępów Astronomii", szereg przesłanych przez tego kosmicznego zwiadowcę obrazów Marsa i wniosków z prowadzonych przez niego badań. Do bardziej merytorycznego opisu tej misji powrócimy, tym bardziej, że w listopadzie 1996 roku wyruszyła do Marsa inna stacja, „Global Surveyor 1".



Lądownik *Pathfinder*

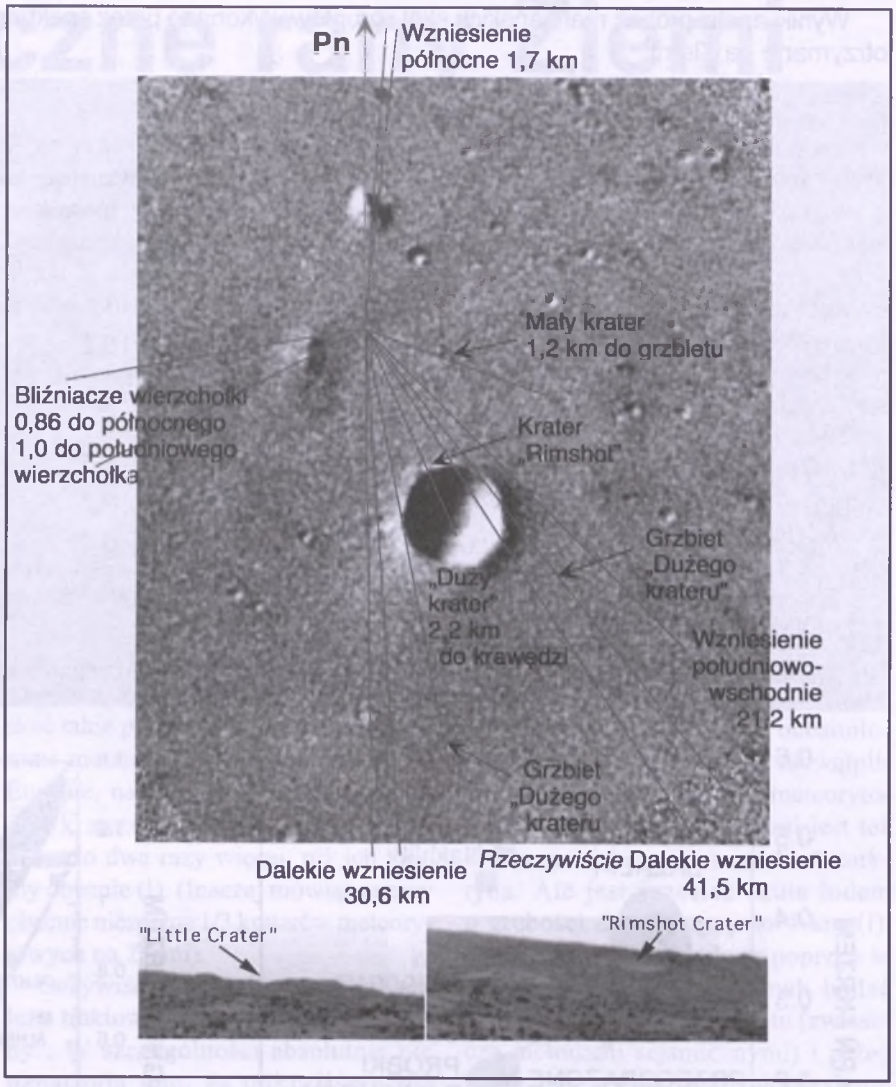
Wymiary: czworościan, trzy ścianki baterii słonecznych ibaza wysokości 0.9 m
Ciężar: 890 kg (990 kg z paliwem)
Wyposażenie naukowe: kamera; magnetometr; wiatromierz; zestaw do badania atmosfery



Łazik *Sojourner*

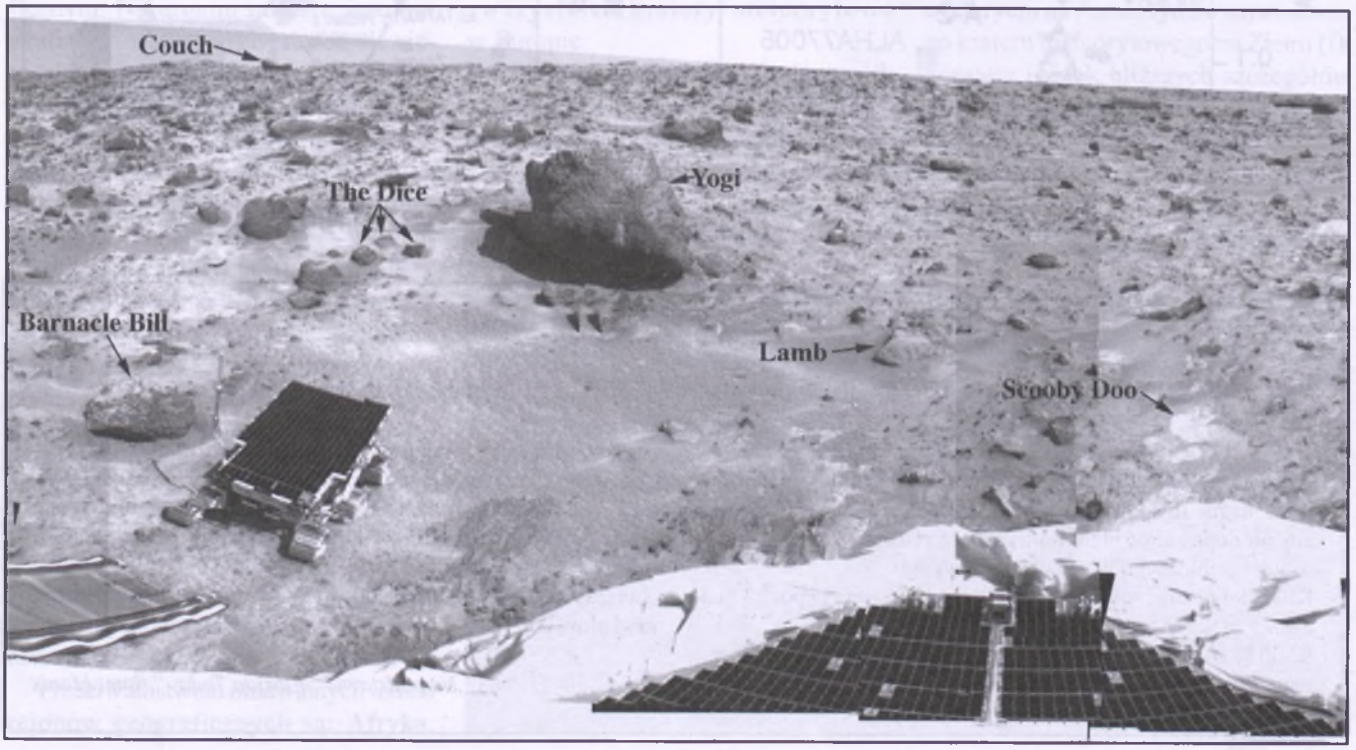
Wymiary: długość 65 cm; szerokość 48 cm; wysokość 30 cm
Ciężar: 10 kg
Aparatura naukowa: spektrometr APX (*alpha proton x-ray spectrometer*); 3 kamery

Ma ona we wrześniu 97 dotrzeć do swego celu i z orbity prowadzić szczegółowe obserwacje powierzchni dostarczając nam m.in. dokładnych map Czerwonej Planety. Wtedy będziemy więc mieli znacznie więcej do przekazania naszym Czytelnikom. Niestety inny zespół aparatów kosmicznych przeznaczonych do badań Marsa pod nazwą „Mars 96" zaraz po starcie z rosyjskiego kosmodromu w grudniu 1996 roku zamiast udać się na zaplanowany szlak wpadł do oceanu Indyjskiego niwecząc wieloletni wysiłek wielu laboratoriów badawczych z różnych krajów w tym i polskiego Centrum Badań Kosmicznych. Jednym ze szlaków jaki przeciera Pathfinder to szlak kosztów tej dalekiej wyprawy. Misja Pathfindera należy do misji tanich: kosztuje tylko ok. 150 mln. dolarów. Przypomnijmy, że lądowanie na Marsie Vikingów w roku 1976 kosztowało przeszło 3 miliardy 200 milionów dolarów. W takim porównaniu możemy powiedzieć, że jest to niezwykle tania wyprawa kosmiczna na Marsa. (*aw*)



Po prawej: zdjęcie miejsca lądowania Pathfindera ze wskazaniem kierunków na charakterystyczne twory ukształtowania terenu i odległości do nich.

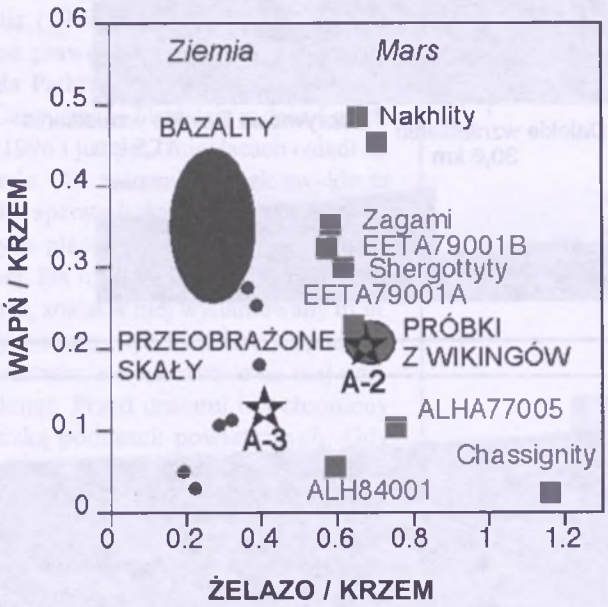
Niżej: Charakterystyczne obiekty w najbliższym otoczeniu Pathfindera i nadane im nazwy własne.

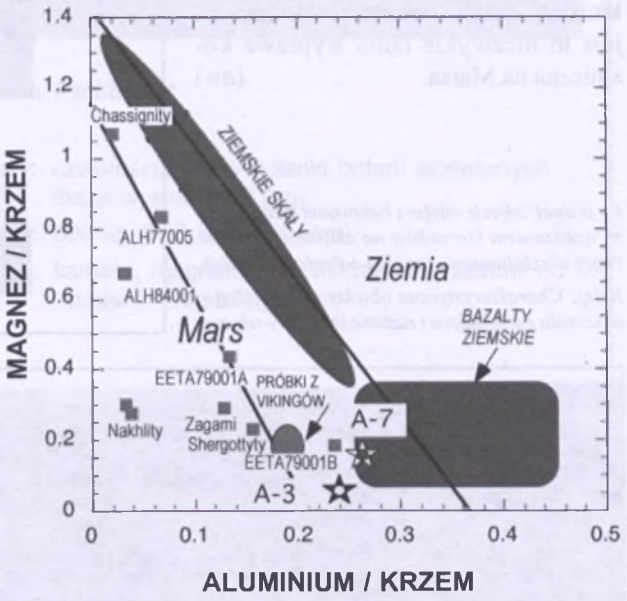


Wyniki analiz próbek marsjańskich skał I gruntów wykonane przez spektrometr APX z "łazika" i podobne parametry otrzymane na Ziemi.

	MARS		METEORYTY MARSJAŃSKIE	ZIEMIA		
	A-3, skała "Barnacle Bill"	A-5, grunt		Skorupa kontynentalna średnia	osady	Skorupa oceaniczna
	% wagowy	% wagowy	% wagowy	% wagowy	% wagowy	% wagowy
MgO	3.1	8.6	9.3 - 31.6	3.1	3.1	7.7
Al_2O_3	12.4	10.1	0.7 - 12.0	15.2	13.0	15.6
SiO_2	55.0	43.8	38.2 - 52.7	60.2	50.0	50.7
K_2O^*	1.4	0.7	0.022 - 0.19	2.9	2.0	0.17
CaO	4.6	5.3	0.6 - 15.8	5.5	8.4	11.4
TiO_2	0.7	0.7	0.1 - 1.8	0.7	0.7	1.5
MnO^*	0.9	0.6	0.44 - 0.55	0.1	0.1	0.16
FeO	12.7	17.5	17.6 - 27.1	8.1	7.5	9.9
FeO/MnO	14.1	29.2	37.0 - 51.5			

* Wartości dla K i Mn są prawdopodobnie zawyżone i będą tematem późniejszych analiz





Humor z NASA

"Oni są na pasie startowym – zacznij odliczanie"

CAPE CANAVERAL, Floryda – Działacze występujący przeciwko wykorzystaniu energii atomowej zobowiązali się przedostać przez bagna rojące się od krokodyli i siąść na pasie startowym, aby nie dopuścić do planowanego wystrzelenia w przyszłym roku sondy kosmicznej o napędzie atomowym.

Kilka dni później, następujące "ogłoszenie" krążyło pocztą elektroniczną w NASA:

KUPIĘ: 10 000 aligatorów. Wszystkie sensowne oferty będą rozpatrzone. Koszty transportu do negocjacji.

"Takie rzeczy czynią ten kraj wielkim"

Podczas gorączki wyścigu w Kosmos w latach 1960 NASA zdecydowała, że potrzebuje długopisu do pisania przy braku grawitacji. Po poważnych badaniach Długopis Astronautów został stworzony kosztem 1 miliona dolarów. Długopis działał i odnosił sukcesy jako nowinka także na Ziemi.

Związek Radziecki, który spotkał się z tym samym problemem, użył ołówka.

Na podstawie „Florida Today" tłum. Manix

Kosmiczne rany Ziemi

Nawiązując do „przerażających" informacji zawartych w ciekawym artykule „Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię przed zderzeniami z kometami i małymi planetkami?" (PA 1/97) warto może spojrzeć na ten temat w nieco innym aspekcie.

Ile naprawdę znamy obecnie kraterów meteorytowych na Ziemi? Katalog zamieszczony w dziele T. Gehrelsa „Asteroids II" liczy 139 pozycji. (Traktuje jednak grupki kraterów — np. Morasko, czy Sikhote-Alin — jako pojedyncze kratery.) Oczywiście bynajmniej nie należy uważać go za ostateczny, bo ciągle przecież odkrywamy nowe kratery meteorytowe. Możliwe jest nawet ocenienie, ile ich jeszcze „powinniśmy" odkryć...

Spójrzmy w tym celu na tabelkę. Jest tak prosta i przejrzysta, że jej sensu nie trzeba właściwie wyjaśniać **(tab. 1)**.

Z tabelki wyraźnie widać, że proporcjonalnie do powierzchni danego kontynentu Ziemi najwięcej kraterów meteorytowych odkryliśmy w Europie. Nic w tym dziwnego. Jest gęsto zaludniona przez ludzi na wysokim poziomie cywilizacyjnym toteż można uznać, że jest najlepiej zbadana pod względem topograficznym i kartograficznym. Na drugim miejscu jest Australia. Ludności tam co prawda niewiele, ale też na wysokim poziomie cywilizacyjnym. Ponieważ przy tym większa część terytorium Australii to sucha pustynia, charakteryzująca się słabą erozją, więc duże kratery meteorytowe zachowują się tam dobrze i są względnie łatwe do odkrycia. (Co prawda w niektórych rejonach Australii zagraża im zasypanie przez pył i piasek nawiewany z okolicy.) Prawie identyczny jest wynik, jeżeli chodzi o Amerykę Północną. Co prawda północna część kontynentu to niemal bezludne kanadyjskie tereny polarne, ale mimo to są one solidnie zbadane pod względem topograficznym, a budowa geologiczna Płyty Kanadyjskiej sprzyja dobremu zachowaniu się nawet bardzo starych kraterów meteorytowych.

Przeciwieństwem omawianych trzech rejonów geograficznych są: Afryka, Ameryka Południowa i Azja. W porównaniu z Ameryką Północną i Australią nasycenie tych rejonów kraterami meteorytowymi jest około 5 razy mniejsze, w porównaniu z Europą — nawet około 9 razy mniejsze (!). Co prawda trudno oczekiwać zachowania się starych kraterów meteorytowych na terenie bagnistej dżungli nadamazońskiej czy kongijskiej, ale przecież stanowią one tylko część Ameryki Południowej czy Afryki. Nie ulega więc najmniejszej wątpliwości, że w Ameryce Południowej, Afryce i Azji jest jeszcze wiele kraterów do odkrycia!...

Jak wiele?

Próbuje to właśnie zasugerować zestawiona przeze mnie tabelka. Aby uzyskać takie pokrycie lądów Ziemi kraterami meteorytowymi, jakie mamy w Europie, należy jeszcze odkryć około 330 kraterów meteorytowych, czyli przeszło dwa razy więcej, niż ich znamy obecnie (!). (Inaczej mówiąc znamy obecnie niespełna 1/3 kraterów meteorytowych na Ziemi).

Oczywiście wywodów tych nie należy traktować w sposób „bezwzględny". W szczególności absolutnie nie oznaczają one, że odkryliśmy już „wszystkie" kratery meteorytowe w Europie.

Przedstawiony przeze mnie wynik jest jednak bardzo zastanawiający. Szczycimy się tym, że mamy sztuczne księżyce Ziemi zdolne do obserwowania na powierzchni naszej planety obiektów o rozmiarach kilkunastu centymetrów (!), a ciągle nie odkryliśmy jeszcze około 2/3 kraterów meteorytowych na naszej planecie (!). To dziwne.

Oczywiście nie sugeruję, że do szukania kraterów meteorytowych na naszym globie należy użyć aparatury obserwacyjnej aż o takiej niezwykłej zdolności rozdzielczej. Wręcz przeciwnie, w pierwszym etapie należałoby użyć aparatury o zdolności rozdzielczej kilkudziesięciu metrów, ale o dużym polu widzenia.

To zdumiewające, ale ciągle aktualna jest paradoksalna sytuacja, że lepiej obecnie znamy ukształtowanie powierzchni Księżyca niż Ziemi... (W szczególności dno oceanów naszej planety to ciągle *terra incognita*, mimo dość intensywnych badań oceanologicznych. Na nim więc też niewątpliwie kryją się duże kratery meteorytowe.) Poza tymi rozważaniami jest też dwa razy większa od Australii Antarktyda. Ale jest przecież skuta lodem o grubości dochodzącej do 4 km (!). Choć z trudem, to jednak poprzez tę warstwę lodu można jednak badać ukształtowanie stałego gruntu (zwłaszcza metodami sejsmicznymi) i przed kilku laty pojawiło się doniesienie o odkryciu na Antarktydzie największego krateru meteorytowego na Ziemi (!). Niestety jednak bliższych szczegółów na ten temat brak, a dokładne spenetrowanie całej Antarktydy pod tym kątem będzie bardzo trudne, pracochłonne i czasochłonne.

Andrzej Marks

Tabela 1.

Kontynent	Powierzchnia w mln km²	Liczba odkrytych kraterów	Liczba kraterów na mln km²	Pozostałe „do odkrycia"
Azja	43.3	18	2.405	154–18=136
Afryka	30.3	12	2.525	107–12= 95
Ameryka Pn.	24.2	49	0.494	86–49= 37
Ameryka Pd.	17.8	7	2.543	63– 7= 56
Europa	10.1	36	0.281	36–36= 0
Australia	7.7	17	0.453	27–17= 10
		139		473 334

Kosmiczna interferometria radiowa — VSOP

Od wielu już lat znana jest technika obserwacji radiowych zwana „interferometrią na bardzo długich bazach", z angielska VLBI czyli „Very Longe Baseline Interferometry". Dzięki tej technice wspólnych obserwacji tych samych źródeł promieniowania przez naziemne radioteleskopy znajdujące się w dużych odległościach od siebie (czasami nawet na różnych kontynentach) radioastronomia uzyskała niebywałą „ostrość" widzenia. Radiowe obrazy kwazarów i innych odległych radioźródeł znamy obecnie ze zdolnościami rozdzielczymi sięgającymi milisekund łuku. Rodzący się obecnie gigantyczny radioteleskop wirtualny czyli system „kosmicznej interferometrii na bardzo dużych bazach" będzie miał zdolność rozdzielczą około 30 mikrosekund łuku (30 milionowych sekundy łuku) czyli 10 razy lepszą niż obecny międzykontynentalny system VLBI i 1000 razy lepszą niż ma w zakresie optycznych długości fal teleskop kosmiczny Hubble'a. Będziemy więc mogli poznawać struktury obiektów leżących na krańcach Wszechświata ze szczegółami, o których poznaniu dotychczas nawet nie mogliśmy marzyć.

Ten nowy kosmiczny instrument badawczy nazywa się VSOP od angielskiego „VLBI Space Orbiting Programme". Pierwszym etapem tworzenia tego instrumentu było wprowadzenie na orbitę okołoziemską w dniu 12 lutego 1997 r. japońskiego radioteleskopu o średnicy 8 m. Nadano mu imię HALCA od „Higly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy", a po japońsku „Haruka" co znaczy „daleki, odległy". W istocie odległość od Ziemi tego kosmicznego radioteleskopu będzie zawarta między 1000 km w perigeum, a przeszło 21250 km w apogeum. Razem z około 40. radioteleskopami w dwudziestu krajach na powierzchni Ziemi (w tym radioteleskop toruński) teleskop ten będzie tworzył (syntetyzował) radioteleskop o średnicy równej prawie trzem średnicom Ziemi. Będzie to w istocie wirtualny megateleskop radiowy. Pracował on będzie na centymetrowych długościach fal, a dokładniej na częstościach 1.6 GHz, 5.0 GHz i 22 GHz i tylko z lewoskrętną polaryzacją kołową. W rok po uruchomieniu radioteleskopu HALCA ma być wprowadzony na podobną orbitę rosyjski satelita RadioAstron z anteną o średnicy 10 m i dodatkową częstością 0.33 GHz (90 cm). Ponieważ orbita tego teleskopu będzie większa, cały instrument osiągnie „rozmiary" 7 średnic Ziemi. Ten „gigantyczny radioteleskop" będzie używany do obserwacji m.in. odległych aktywnych galaktyk, kwazarów, obszarów rodzenia się gwiazd, kosmicznych maserów i innych bardzo zwartych (kompaktnych) źródeł promieniowania radiowego. Na ostatniej stronie okładki prezentujemy obraz pierwszego obiektu — radioźródła PKS 1055+018 — uzyskany tym teleskopem. Około 50% jego czasu obserwacyjnego będzie poświęcone realizacji indywidualnych projektów badawczych zaproponowanych przez astronomów z całego świata. Istotą tych obserwacji będzie globalna, w skali całej naszej planety, współpraca licznych radioteleskopów naziemnych, a ich rezultatem będą najwyższej jakości obrazy wybranych obiektów. Około 25% czasu obserwacyjnego będzie poświęcone pracom przeglądowym, niejako ogólnemu spojrzeniu na radiowe niebo w różnych częstościach, a pozostałe 25% czasu będzie użyte do różnych testów, kalibracji, sterowania i poprawiania orbity satelity. Dwustronna komunikacja między satelitą, a „prowadzącą" stacją naziemną będzie się odbywała na częstotliwości pasma Ku. W czasie rzeczywistym będzie następował przepływ danych astronomicznych z anteny na orbicie do stacji naziemnej, a do anteny kosmicznej będą z Ziemi kierowane niezwykle precyzyjne sygnały czasu i komendy sterujące.

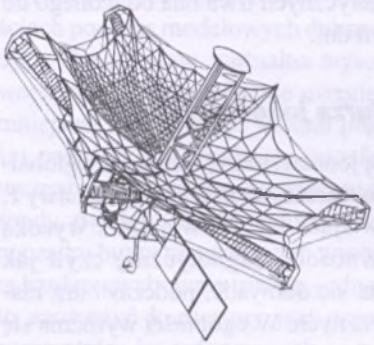
Przybliżone rozmieszczenie około 40 naziemnych anten globalnej sieci radioteleskopów, które będą uczestniczyły w programie kosmicznej interferometrii na bardzo długich bazach (VSOP). Przyjemnie jest nam zauważyć, że w tej liczbie znajduje się też toruński 32 m radioteleskop. Standardową praktyką będzie uczestnictwo w równoczesnych obserwacjach, obok teleskopu na orbicie, co najmniej 10 radioteleskopów naziemnych. Sterowanie i utrzymywanie łączności ze stacją kosmiczną będzie zapewnione przez 7 wyspecjalizowanych stacji naziemnych (tracking stations) w Stanach Zjednoczonych, Japonii i Rosji.

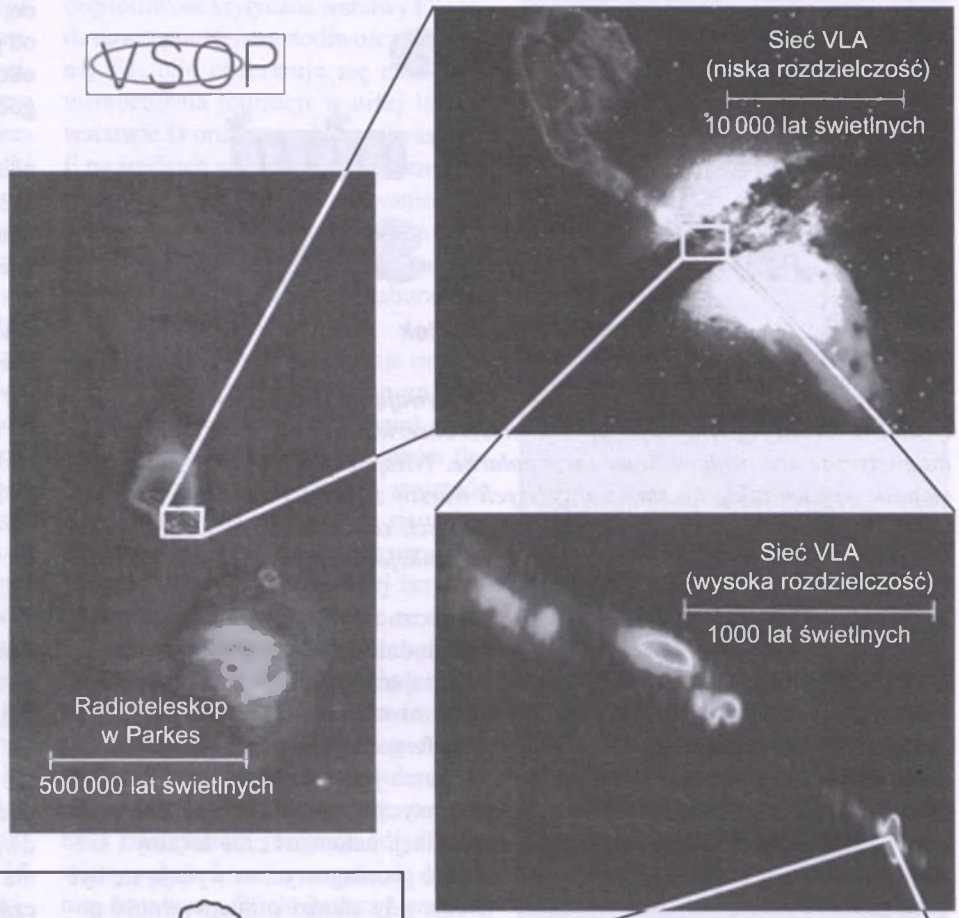
Pierwsze eksperymenty kosmicznej interferometrii radiowej zostały przeprowadzone przez Laboratorium Napędów Odrzutowych w Kalifornii (JPL) w latach 1986-1988. Wykorzystując sieć satelitów przekaźnikowych przeprowadzone obserwacje instrumentem większym niż Ziemia. Pokazano wówczas, że wiele bardzo zwartych aktywnych jąder galaktyk (AGN-ów) może być „dobrze widzianych" dopiero instrumentem o rozmiarach dwa razy większych od średnicy Ziemi.

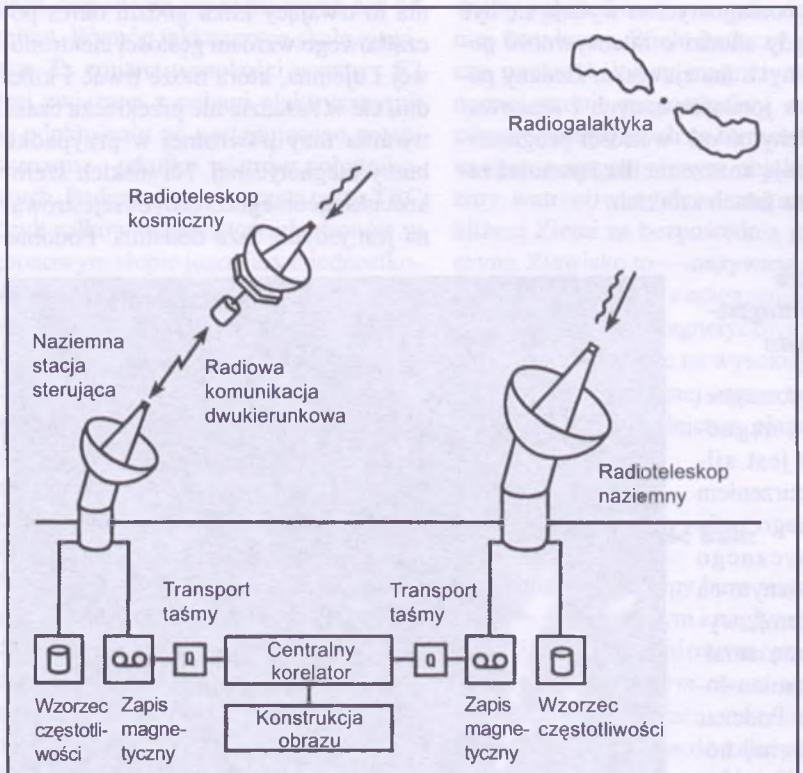
(*aw*)

Pozagalaktyczne radioźródło Centaurus A czerpie swą energię ze znajdującej się w środku „maszyny", która jest mniejsza niż System Słoneczny — ma rozmiary ok. 0.001 roku światła czyli ok. 65 jedn. astr. Wydaje się obecnie, że tą centralną maszyną jest krążący wokół supermasywnej czarnej dziury (i być może na nią spadający) dysk gazowy. Kosmiczna VLBI pozwoli uzyskać liniową zdolność rozdzielczą bliską spodziewanemu rozmiarowi dysku.

Zdjęcia zaczerpnięto z prospektu NASA dotyczącego kosmicznego VLBI.







Radioteleskopy „Kosmicznej Interferometrii na Bardzo Długich Bazach" (VSOP) będą pracowały dokładnie tak, jak pracują na Ziemi sieci VLBI, za wyjątkiem łączności z anteną kosmiczną, która będzie połączona ze swą stacją odbiorczą drogą radiową, a nie jak jest to zwykle, kablem. Korelator działa tak jak ognisko kamery, zbiera zarejestrowane na taśmach dane z różnych radioteleskopów w taki sposób, że może z nich być zrekonstruowany obraz obserwowanego obiektu.

Burze jonosferyczne, magnetyczne i związane z nimi zjawiska na Słońcu

Radosław K. Rek

Zjawiska zachodzące w atmosferze Słońca wpływają na stan ziemskiego magnetyzmu. W latach jego największej aktywności obserwowane są częste i silne burze magnetyczne oraz widowiskowe zorze polarne. Niespokojne Słońce w znaczącym stopniu wpływa także na stan najwyższych warstw ziemskiej atmosfery nazywanych jonosferą. Mają miejsce przerwy łączności, zakłócenia pracy rozciągłych systemów energetycznych, a także usterki w funkcjonowaniu satelitów.

Tytułem wstępu

Magnetosfera jest wyróżnionym w przestrzeni kosmicznej obszarem dominacji ziemskiego pola magnetycznego oddzielonym od plazmy wiatru słonecznego magnetopauzą. Pole magnetyczne umiejscowionej wewnątrz Ziemi oraz otaczające ją jej najbardziej odległe od powierzchni i silnie zjonizowane warstwy atmosfery, bywają silnie zaburzane przez czynniki pochodzenia kosmicznego.

Wyraźne, odróżnialne od zmienności dobowej, zaburzenia ziemskiego magnetyzmu noszą nazwę burzy magnetycznej.

Pojęciem burzy jonosferycznej określa się natomiast reakcje parametrów jonosfery na znaczącą zmianę warunków w wietrze słonecznym i otaczającej ją magnetosferze.

Serwis heliofizyczny warszawskiego CBK PAN, którego działalność koncentruje się na analizie i przewidywaniu podobnych wydarzeń, korzysta z modelu jonosfery niezaburzonej. Podanie prognozowanej średniej miesięcznej liczby Wolfa pozwala wyznaczyć częstotliwość krytyczną i wysokość warstwy F2 podczas dni określanych jako niezaburzone w rożnych strefach geomagnetycznych i różnych porach dnia wg czasu lokalnego.

Możliwe jest zatem odtworzenie warunków w jonosferze i ich czasowej zależności podczas takich właśnie dni, gdy wartość koncentracji elektronowej jest uzależniona wyłącznie od poziomu promieniowania jonizującego Słońca. Model nie znajduje zastosowania w przypadku dni burzowych, co pociąga za sobą konieczność konstruowania innych, uwzględniających zmienione warunki i wikłające dodatkowe parametry — np. zmienioną temperaturę plazmy jonosferycznej.

Burza jonosferyczna, podobnie jak magnetyczna, jest zaburzeniem w skali globalnej, natomiast czas lokalny i szerokość geomagnetyczna wydają się być istotne gdy chodzi o intensywność poszczególnych faz zjawiska. Zmiany parametrów jonosferycznych i szacowanych odchyleń od wartości prognozowanej mają znaczenie dla łączności radiowej na falach krótkich.

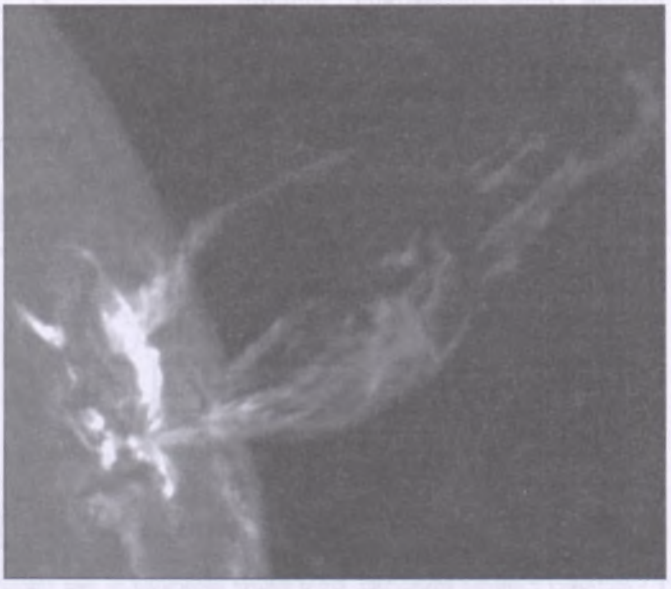
Burza geomagnetyczna

Burza geomagnetyczna (magnetyczna) jest silnym zaburzeniem ziemskiego pola magnetycznego rejestrowanym na całej Ziemi, wyraźnie odróżnialnym od zmian dobowych. Podczas fazy głównej horyzontalna składowa pola na średnich szerokościach geomagnetycznych maleje, stosownie do efektu narastania skierowanego na zachód, a składającego się głównie z protonów, prądu pierścieniowego. Faza ta trwa typowo krócej niż jeden dzień i wydaje się zależeć od pory roku; długość jej zmienia się od około 10. godzin (zimą) do ponad 15. godzin (latem).

Przypuszcza się, że istotnym składnikiem prądu pierścieniowego są jony jonosferyczne, w tym także zjonizowany tlen. Odpowiednio wysoka początkowa energia tworzących go cząstek jest w stanie wytworzyć stosownej wielkości spadek w natężeniu pola magnetycznego Ziemi. W trakcie trwania fazy powrotnej pole magnetyczne powraca do swego normalnego — przedburzowego poziomu. W sprzyjających warunkach geomagnetycznych trwa ona od jednego do dwóch dni.

Burza jonosferyczna

Burzą jonosferyczną nazywamy globalne zaburzenie jonosferycznej warstwy F, pojawiające się w związku z wysoką aktywnością magnetyczną, czyli jak można się domyślić, podczas burz magnetycznych. W ogólności wyróżnia się dwie fazy burzy jonosferycznej. Dodatnia to trwający kilka godzin okres początkowego wzrostu gęstości elektronowej i ujemna, która może trwać i kilka dni, ale w zasadzie nie przekracza czasu trwania fazy powrotnej w przypadku burzy magnetycznej. Na niskich szerokościach geomagnetycznych rejestrowana jest jedynie faza dodatnia. Podobne



Obraz typowej protuberancji wybuchowej, jakie zwykle towarzyszą rozbłyskom chromosferycznym na Słońcu. Wyrzucone w przestrzeń strumienie naładowanych cząstek po dotarciu do Ziemi powodują m.in. zaburzenia ziemskiego pola magnetycznego.

fazy można wyróżnić posługując się częstotliwością krytyczną warstwy F2, która daje się z gęstości elektronowej łatwo wyliczyć. Poszczególne burze są jednak całkiem różne i ich charakterystyki zależą od szerokości geomagnetycznej, pory roku, czasu lokalnego i charakteru poprzedzających je zdarzeń w słonecznej chromosferze i koronie. Początki burzy jonosferycznej i magnetycznej nie pokrywają się ze sobą; burzę w jonosferze zwykła poprzedzać o kilka godzin burza w magnetyzmie.

Podczas burz jonosferycznych dobowa krzywa określająca wartość częstotliwości krytycznej, zawierającą także fazę główną burzy magnetycznej, jest bardziej płaska niż w przypadku typowych warunków na średnich szerokościach podczas modelowych dni spokojnych. Ponadto tzw. wirtualna wysokość warstwy F2 (jej pomiar nie uwzględnia mniejszej niż prędkość światła prędkości propagacji sygnału w jonosferze) wyznaczana na podstawie pomiaru jonosondy, zwiększa się. Dla odmiany tuż po początku burzy magnetycznej wysokość ta bardzo gwałtownie maleje, jednak by to zauważyć konieczny jest przegląd parametrów jonosferycznych w odstępach czasowych nie mniejszych niż 15 minut. Wymóg taki narzuca skala zjawiska. Ta zmiana wysokości warstwy F2 jest związana z polami elektrycznymi, w odróżnieniu od następującego potem wzrostu — skutku wiatrów południkowych. Podczas burzy wzrasta także TEC czyli całkowita zawartość elektronów w pionowym słupie jonosfery o jednostkowym przekroju. Sugeruje to, że rzeczywista wysokość warstwy F2 nie zachowuje się tak, jak wysokość wirtualna, bądź, że przyrost ilości cząstek ma miejsce w górnej jonosferze, a zatem niewidocznej dla stojącej na powierzchni Ziemi jonosondy. Obserwacje satelitarne potwierdzają tę drugą ewentualność. Również względna obfitość jonów jonosferycznych zmienia się w odpowiedzi na zmiany pól magnetycznych i elektrycznych powodujących ich ruch w czasie burz. Ze wszystkich zjawisk związanych z fazami burzy jonosferycznej najistotniejszy wydaje się spadek częstotliwości krytycznej warstwy F2 poniżej rekomendowanej przez model wartości. Ma to wpływ na dalekozasięgową łączność radiową wykorzystującą fale krótkie. W szczególności na zasięg i jakość odbioru, co może być istotne podczas kłopotów z łącznością satelitarną. Latem wyróżnia się dodatkowo warstwę F1, nie wykazującą znaczących odchyleń. Zdarza się jednak, że podczas silnych burz częstotliwość krytyczna warstwy F2 spada nawet poniżej częstotliwości krytycznej F1. Nie obserwuje się natomiast wzmocnienia jonizacji w niżej leżącej warstwie D oraz sporadycznej warstwie E na średnich szerokościach geomagnetycznych. Jedynie promieniowanie rentgenowskie rozbłysków wywołuje takie zmiany w warstwie D, ale nie nazywa się tego burzą tylko nagłymi zaburzeniami jonosferycznymi (SID).

Burza jonosferyczna rozwija się jako rezultat współzawodnictwa pomiędzy dwoma następującymi procesami zmieniającymi względna obfitość jonów tlenu i cząsteczkowego azotu w warstwie F2. Pierwszy jest związany ze zjawiskami zorzowymi, maleje wraz z grzaniem Joule'a i prowadzi do ujemnej fazy burzy. Pojawia się równocześnie ze zmianami w składzie neutralnym i tempie rekombinacji zależnym od względnej obfitości pierwiastków. Przenikanie energii z wiatru słonecznego do magnetosfery i jonosfery poprzez lej polarny to mechanizm kolejny. Proces ten, związany z transportem jonizacji (dryf bądź wiatry południkowe) prowadzi do dodatniej fazy burzy. Wielu badaczy umieszcza początek burzy magnetycznej po nocnej stronie magnetosfery, zaś serie zdarzeń polegających na formowaniu się w ogonie magnetycznym obłoków plazmy wstrzeliwanych w magnetosferę bliższą Ziemi za bezpośrednią jej przyczynę. Zjawisko to — nazywane podburzą — jest związane z magazynowaniem energii w ogonie magnetycznym i dyssypacją w jonosferze na wysokiej szerokości geomagnetycznej czemu towarzyszy spadek przewodnictwa plazmy.

Systematyka i periodyczność burz

Wyróżnia się dwa typy burz magnetycznych — o stopniowym i nagłym początku. Burze o stopniowym początku (gsc — *gradual storm commencement*) zwane są także zaburzeniami rekurencyjnymi. Ich powtarzalność zależy od czasu istnienia dziury koronalnej. Gsc przypisywane długotrwale istniejącym dziurom koronalnym powtarzają się zwykle co około 27 dni, ale ponieważ zależy to również od struktury sektorowej słonecznego pola magnetycznego, a ta się potrafi zmieniać, wzrost aktywności może

Słowniczek

Ap — średnia ośmiu wskaźników opisujących zmiany ziemskiego pola magnetycznego w trzygodzinnych okresach obserwacyjnych (K), uśredniona dodatkowo dla wybranych kilku (USA) bądź kilkunastu stacji rozlokowanych na całym świecie; pozwala wyróżnić trzy klasy burz:
— minor (30-50),
— major (50-100),
— severe (ponad 100).
Warunkom spokoju w magnetyźmie odpowiada zakres wartości Ap od zera do siedmiu.

częstotliwość krytyczna — najwyższą wartość częstotliwości plazmowej jaką można przypisać danej warstwie jonosferycznej. Skrótem „foF2" oznacza się tę częstotliwość w przypadku warstwy F2.

DSF (*Disappearing Solar Filament*) — skrót oznaczający rozpad włókna protuberancji.

Dst — indeks geomagnetyczny opisujący zmiany w prądzie pierścieniowym. Uśredniony pomiar wartości składowej pola magnetycznego przy powierzchni Ziemi z czterech stacji rozlokowanych w pobliżu równika geomagnetycznego.

EPL — *Eruptive Prominence on Limb* (ang. wybuchowa protuberancja na brzegu) — zaktywizowana protuberancja wznosząca się ponad powierzchnią Słońca widziana ponad brzegiem jego tarczy.

fazy burzy jonosferycznej — klasyczny profil zmienności wykazuje fazę podwyższonej (faza dodatnia) i zmniejszonej (faza ujemna) częstotliwości krytycznej dla warstwy F2 w stosunku do przewidzianej dla warunków jonosfery niezaburzonej.

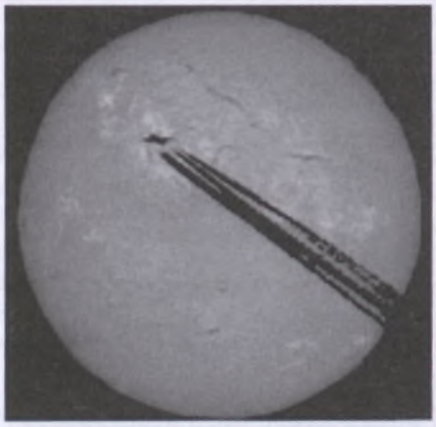
fazy burzy magnetycznej — klasyczny profil przewiduje początkowy wzrost wartości indeksu Dst (faza początkowa), następnie jego malenie (faza główna) oraz powrót do stanu niezaburzonego (faza powrotna) o ile warunki geomagnetyczne temu sprzyjają.

zdarzać się częściej. Zaburzenia tego rodzaju dominują w okresach malejącej aktywności słonecznej 11-letniego cyklu i podczas słonecznego minimum. Burze o nagłym początku (ssc — *sudden storm commencement*) związane są z rozpadami słonecznych włókien protuberancji i przede wszystkim z rozbłyskami. Jest trudno przewidzieć dokładnie te przypadki ponieważ nie są periodyczne. Możliwość pojawienia się energetycznego rozbłysku zależy od wieku i złożoności określonej grupy plam słonecznych, co łączy się ze stopniem komplikacji pola magnetycznego w obszarze centrum aktywnego, oraz z prędkością zwiększania się zajmowanego przezeń rozmiaru. Początek burzy nagłej jest rejestrowany w tym samym czasie przez różne stacje magnetyczne rozmieszczone w szerokim zakresie szerokości geomagnetycznych czy geograficznych. Natomiast burza o stopniowym początku nie zaznacza się wyraźnie i często tylko jedna stacja podaje informacje o początku zaburzenia o określonej godzinie. Różnice są również widoczne w przypadku obserwacji satelitarnych.

Włókna i protuberancje

Włókno (ang. filament) jest potoczną nazwą obrazu protuberancji widzianej na tle słonecznej fotosfery, a nie ponad brzegiem tarczy Słońca.

Rozpad takiego tworu jest źródłem wysokiej energii cząstek, których obecność w polu geomagnetycznym oddziaływuje na pole średnie i powoduje zaburzenia magnetyzmu. Przyczyną rozpadu są często rozbłyski. Powstałe zaburzenie rozchodzi się wtedy koliście w chromosferze jako tzw. fala Moretona i jest doskonale widoczne w skrzydłach linii Hα zachowującej się podobnie do innych linii chromosferycznych (np. dubletu wapnia czy magnezu). Fala taka może zaktywizować protuberancje poprzez zmianę dotychczasowej konfiguracji pola magnetycznego, a w konsekwencji spowodować jej rozpad. Rozrywające się włókna protuberancji, skutkiem spiralnej struktury pola magnetycznego Słońca, mogą oddziaływać na ziemską magnetosferę nawet wtedy gdy źródło jest już skryte poza brzegiem tarczy. Mechanizm rekoneksji w protuberancjach jest rozpoznany jako przyczyna ich niestabilności, w tym także tzw. rozbłysków dwuwstęgowych będących w swej istocie rozpadającymi się protuberancjami. Nazwa „protuberancja" obejmuje również inne zjawiska np. serdze, których natura i parametry plazmy pozwalają odróżnić je od pozostałych. Dotyczy to głównie prędkości wyrzucanej plazmy i profilu energii kinetycznej. Podobnie jak w przypadku rozbłysków — protuberancje są ściśle związane z istnieniem słonecznego pola magnetycznego oraz rotacji różniczkowej i konwekcji. Widoczne są także w linii Hα „zarezerwowanej" dla obszarów o temperaturze typowej dla chromosfery ze względu na niższą temperaturę plazmy uwięzionej w polu magnetycznym. Ustalone statystycznie relacje pomiędzy powierzchnią włókna i czasem pomiędzy jego zanikiem, a początkiem wyraźnych zaburzeń w magnetyzmie pozwalają na ustalenie związku przyczynowego. W przypadku protuberancji pojawiających się na długości heliograficznej wyższej niż 50 stopni, opóźnienie może sięgnąć dziesięciu, a typowo wynosi ono od 3 do 6 dni. Opóźnienie to zależy od powierzchni zajmowanej przez protuberancje, gęstości plazmy a zatem i jej jasności oraz długości heliograficznej. Czas ten jest krótszy dla dużych i ciemnych włókien.



Zdjęcie przedstawia filament — włókno protuberancji unoszące się ponad fotosferą w górnej części tarczy Słońca. Tajemniczy cień to najprawdopodobniej zdjęcie samolotu odrzutowego sfotografowanego na tle tarczy. Zdjęcie wykonane prawdopodobnie w linii Hα.

Rozbłyski słoneczne

Przyjmuje się, że rozbłyski klasyfikowane jako M1 są już w stanie zaburzać pole geomagnetyczne i ziemska jonosferę. Wiadomo jednak, iż zdarzają się takie sytuacje, że jest burza, zaś na Słońcu nie zarejestrowano rozbłysku odpowiedniej mocy, rozpadu protuberancji ani dziury koronalnej o wystarczająco dużej powierzchni by pojawiły się silne zaburzenia. Próbuje się wtedy łączyć takie zdarzenia z praktycznie stale istniejącymi dziurami polarnymi. Może się także zdarzyć, że długotrwały rozbłysk o mniejszym maksimum energii (podstawa klasyfikacji) wywoła burzę magnetyczną, a silniejszy rozbłysk przejdzie zupełnie bez echa. Dlatego też, za geoefektywne uważa się również mniej energetyczne rozbłyski mające długi czas trwania tzw. LDE (*Long Duration Effect*) z dolną granicą czasową określoną na 90 minut Jeśli natomiast po odpowiednio energetycznym rozbłysku nie pojawią się stany burzowe to trafnym może się okazać uwzględnienie spiralnej struktury pola magnetycznego Słońca, zaś istotnym to, czy rozbłysk miał miejsce w grupie plam położonej na zachodniej czy wschodniej połowie tarczy. Podział na klasy dotyczy także rozbłysków obserwowanych w zakresie Hα. Wzrost ciśnienia magnetycznego w części heliosfery jest najlepiej widoczny w przypadku rozbłysków określanych jako jasne — czyli klasy B. Wedle dotychczasowych statystyk mogą one zaburzać ziemski magnetyzm do Kp=6 a nawet wyższych wartości. Innymi słowy są przyczyną burz magnetycznych. Nie należy ich jednak mylić z klasą obejmującą najsłabsze rozbłyski rentgenowskie, a oznaczane tą samą literą. Statystyczne zależności wyznaczone dla obszarów aktywnych pozwalają wyznaczyć prawdopodobieństwowystąpienia rozbłysku. Bezpośrednio przed rozbłyskiem, poziom tła rentgenowskiego Słońca nieco wzrasta. Podobnie strumień fal radiowych o częstotliwości 2.8 GHz (10.7 cm) podnosi się wraz ze wzrastającą aktywnością rozbłyskową centrum.

Rozbłyski mogą być zatem rozpoznawane w rezultacie ciągłego przeglądu widma. Podstawowym jednak źródłem informacji o zmienionej temperaturze w atmosferze słonecznej jest obecność wysoko zjonizowanych linii (Fe XIV i Ca XV), które pojawiają się w temperaturach rzędu milionów stopni. Czasem możliwa jest rejestracja cząstek pochodzących z rozbłysku przy użyciu aparatury naziemnej. Zjawiska powodujące te tzw. GLE (ang. *Ground Level Event*) polegające na większym niż 10 procentowym wzroście w liczebności przy powierzchni Ziemi cząstek promieniowania kosmicznego związanych z protonami o energiach wyższych niż 500 MeV są jednak wyjątkowo rzadkie. W ciągu całego 11-letniego cyklu słonecznego

zdarzeń takich jest kilkanaście (w cyklu XIX — 10, XX — 12, XXI — 12 oraz XXII — 15).

Związane z burzami geomagnetycznymi są także rozbłyski radiowe. Nie wpływają one jednak na magnetosferę w widoczny sposób. Niosą jedynie informację o rozbłysku i nie są przyczyną burz gdyż ich energie są zbyt małe i zaniebywalne w porównaniu z sumą energii potencjalnej, kinetycznej i magnetycznej charakteryzujących formujący się podczas rozbłysku obłok plazmowy. Jedynie promieniowanie rentgenowskie rozbłysków może zwiększyć jonizację w warstwie D, co zwykle jest przyczyną pojawiających się na tych wysokościach zaburzeń oraz zjawiska w magnetyzmie zwanego z francuska „crochet".Nie są one jednak tym samym co burza. Rozbłyski radiowe III typu przypisuje się materii wyrzucanej podczas fazy impulsywnej słonecznego rozbłysku, natomiast pojawienie się emisji synchrotronowej reprezentowanej przez typ IV (wyróżnia się kilka podklas: stacjonarne, poruszające się, mikrofalowe) wskazuje na uformowanie się obłoku plazmowego bądź pętli magnetycznej. Przy prędkościach przekraczających 1000 km/s powstające fale uderzeniowe są przyczyną rozbłysków II typu. Czasem daje się te zdarzenia stosunkowo łatwo powiązać z rozbłyskami rentgenowskimi i rozbłyskom określonej klasy przypisać określone prędkości obłoku plazmowego. Dryf materii w słonecznym polu magnetycznym dostarcza dodatkowo radioemisji ze zmieniającą się częstotliwością. Czasem wykracza on daleko poza granice słonecznej korony i emisja III typu jest również obserwowana gdy materia znajduje się już w pobliżu Ziemi (np. w 0.8 odległości Słońce – Ziemia). Opóźnienie czasowe pomiędzy rozbłyskiem a początkiem burzy nagłej waha się od 20 do 70 godzin.

Dziury koronalne i sektorowa struktura Słońca

Pomiary „miękkiego" promieniowania rentgenowskiego Słońca są wykonywane m.in. przez satelity geostacjonarne GOES 8 i 9 w zakresach energii ograniczonych długościami fal 0.10 i 0.80 nm oraz 0.05-0.40 nm. Od kilku lat badania te są wspomagane przez sondy SOHO i YOHKOH. Widoczne na przekazywanych obrazach ciemne obszary mają otwartą topologię i linie sił pola magnetycznego nie powracają ku Słońcu będąc jednocześnie źródłem także wysokoenergetycznych cząstek. Inna metoda obserwacji pozwalająca identyfikować dziury koronalne polega na przeglądaniu obrazu Słońca i wyszukiwaniu pojaśnień w linii helu He I. Podobną możliwość daje także czerwona linia żelaza Fe X powstająca w koronie. Obserwacje Słońca przeprowadzone w ostatnich latach dostarczyły pewnych przesłanek dotyczących istnienia ewentualnej relacji pomiędzy poszerzeniem dopplerowskim linii i wysokością ponad fotosferą w obszarze dziury koronalnej. Dziury polarne, prawie stale obecne w słonecznej koronie, są związane z sektorową strukturą słonecznego pola magnetycznego, którą współtworzą. Przejściu, zwykle niezbyt szerokiej, granicy pomiędzy przeciwnie spolaryzowanymi obszarami sektorowej struktury Słońca towarzyszyć mogą zauważalne zaburzenia w jonosferze. Odchylenie częstotliwości krytycznej od wartości przewidzianej dla dnia spokojnego jest wyższe gdy przejście granicy sektorów łączy się ze zmianą orientacji składowej pola magnetycznego wiatru słonecznego z północnej na południową i towarzyszy temu dodatkowo wyraźny wzrost prędkości plazmy. Charakter zjawiska zatem conajmniej czasami bywa nieco podobny do znanych z burz magnetycznych. Pamiętać należy jednak, że pole magnetyczne wiatru zwykle nie osiąga podobnie wysokich wartości jak w obłokach plazmowych. Ciekawostką jest także fakt zaobserwowania nieznacznych zmian częstotliwości krytycznej warstwy E podczas przekraczania przez Ziemię granicy sektorów; efekt jest mierzalny na średnich i wysokich szerokościach geomagnetycznych.

Skale czasowe zjawisk

Najbardziej trwałe są dziury koronalne, których czas istnienia sięgnąć może kilku rotacji słonecznych. Drugie pod względem długotrwałości są zaniki włókien protuberancji trwające od dziesiątek minut do dziesiątek godzin (czasem dłużej niż jeden dzień), ale powodujące także stosunkowo najsłabsze zaburzenia magnetyzmu. Najbardziej krótkotrwałe są rozbłyski trwające od kilku minut do ponad godziny. Należy wspomnieć o tym, że struktury znane jako protuberancje spokojne mogą trwać w atmosferze Słońca nie zmienione miesiącami.

grzanie Joule'a — w obszarach jonosfery planetarnej gdzie występuje pole magnetyczne a zatem i płynie prąd elektryczny (electrodzet zorzowy i równikowy) energia prądu elektrycznego jest zamieniana na termiczny ruch cząstek poprzez kolizję cząstek naładowanych co może prowadzić do grzania plazmy.

jonosonda — urządzenie emitujące fale radiowe o zmiennym zakresie częstotliwości, sprzężone z komputerem; wykorzystywane do wyznaczania wysokości warstw w jonosferze i odpowiadających im częstotliwości plazmowych na podstawie analizy opóźnień sygnałów odbitych od warstw jonosferycznych.

Kp — wskaźnik określający różnicę pomiędzy maksymalną i minimalną wartością horyzontalnej składowej ziemskiego pola magnetycznego mierzoną w okresie równym trzem godzinom. Pozwala na wydzielenie stanów burzowych nie będących burzą wg klasyfikacji Ap. Przyjmuje wartości od 0 do 9, a każda z nich (oprócz wymienionych skrajnych) posiada dodatkowo zwiększający precyzje kodu indeks –, 0 lub +. Burzom odpowiadają wartości od 5– do 9. Kp jest uśrednionym pomiarem z kilkunastu stacji rozlokowanych na całym świecie.

prąd pierścieniowy – powstaje jako wynik ruchu cząstek naładowanych uwięzionych w ziemskim polu magnetycznym. Jest silnie wzmacniany podczas burz magnetycznych wskutek injekcji plazmy.

rozbłyski rentgenowskie — klasyfikacja energetyczna:

moc mierzona w przedziale energetycznym od 0.1 do 0.8 nanometrów podczas impulsywnej fazy zjawiska — w ergach·cm^{-2}·s^{-1}:

— B — poniżej 10^{-3}

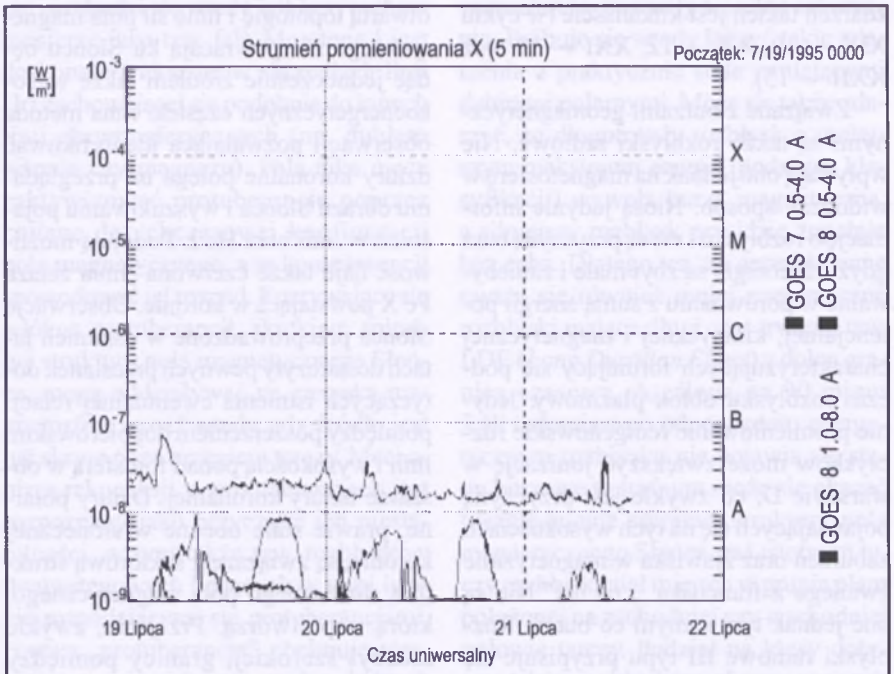
— C — 10^{-3} do 10^{-2}

— M — 10^{-2} do 10^{-1}

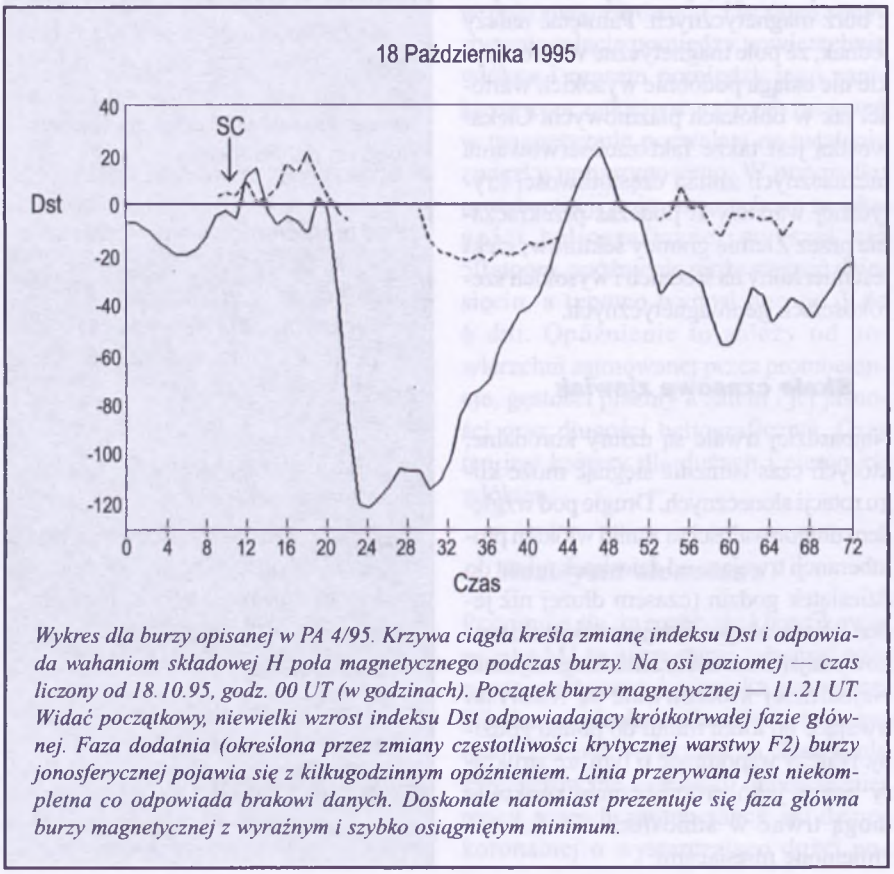
— X — powyżej 0.1

Koronalny wyrzut masy przyczyną burz

Typowa prędkość strumienia cząstek naładowanych wynosi około 330–340 km/s w pobliżu Ziemi dla dni spokojnych. Wartość ta może jednak wzrastać podczas różnych zdarzeń związanych z aktywnością słoneczną. Gęstość wiatru słonecznego maleje ze wzrostem prędkości (zgodnie z równaniem ciągłości). Jej wartość wynosi kilka cząstek elementarnych na centymetr sześcienny w czasie dni określanych jako spokojne i zmienia się po wystąpieniu koronalnego wyrzutu masy (CME). Strumień cząstek o wysokiej energii (także w postaci obłoków plazmowych) osiągający ziemską magnetosferę jest główną przyczyną różnych zaburzeń. Jednak aż 82 procent małych burz, dla których Kp w maksimum nie przekracza 5+ i nie spada poniżej 5– podczas przynajmniej pierwszych 3 godzin ich trwania, nie jest związany z koronalnymi wyrzutami masy i falami uderzeniowymi. Zjawiska te mogą być przypisane dziurom koronalnym. Natomiast wszystkie wyjątkowo silne burze z Kp równym co najmniej 8– wydają się być powodowane przez CME. Plazma o wysokiej gęstości, poruszająca się z naddźwiękową prędkością, dostarcza cząstek tworzących, po kompresji magnetosfery, dodatkowe prądy, których zmienne natężenie i konfiguracja są odpowiedzialne za zmiany faz burzy. Energia promienista pochodząca z rozbłysków jest w stanie zmienić gęstość elektronów jedynie w niższych warstwach, a pojawiające się ze znacznym opóźnieniem odchylenia w warstwie F są związane nie bezpośrednio z dodatkowym prądem pierścieniowym.



Wykres przedstawia tło rentgenowskie Słońca w okresie spokoju. Krzywa z 19 lipca dla promieniowania w zakresie 1 – 8 angstremow dosyc szybko rosnie. Nie osiąga jednak wartości przewidzianych dla najsłabszych rozbłysków klasy B. Gdyby osiągnęła wartość 10^{-7} W/m² byłby to już rozbłysk klasy B0.



Wykres dla burzy opisanej w PA 4/95. Krzywa ciągła kreśla zmianę indeksu Dst i odpowiada wahaniom składowej H pola magnetycznego podczas burzy. Na osi poziomej — czas liczony od 18.10.95, godz. 00 UT (w godzinach). Początek burzy magnetycznej — 11.21 UT. Widać początkowy, niewielki wzrost indeksu Dst odpowiadający krótkotrwałej fazie głównej. Faza dodatnia (określona przez zmiany częstotliwości krytycznej warstwy F2) burzy jonosferycznej pojawia się z kilkugodzinnym opóźnieniem. Linia przerywana jest niekompletna co odpowiada brakowi danych. Doskonale natomiast prezentuje się faza główna burzy magnetycznej z wyraźnym i szybko osiągniętym minimum.

Tranzyt koronalny (CT) jest wyrzutem masy obserwowanym w zewnętrznej koronie Słońca. Skutkiem rozpraszania thomsonowskiego jest on widoczny w świetle białym, a ponadto w promieniowaniu rentgenowskim i linii Fe XIV. Potężniejsze rozbłyski są prawie zawsze związane z CT i były często obserwowane w czasie minimum słonecznego pomiędzy 20 i 21 cyklem słonecznym. Całkowitą energię typowego tranzytu szacuje się na $10^{30} – 10^{31}$ ergów dla rozbłysku i o rząd wielkości mniej dla związanych z EPL. Podobnie jak energia, średnia prędkość jest wyższa w pierwszym przypadku (prawie 700 km/s dla rozbłysku i 420 km/s dla EPL). Interesującym jest fakt, że około połowa „tranzytów" jest związana z EPL i zanikami włókien protuberancji (DSF) nie będąc związaną z rozbłyskami.

Energie

W przypadku dziury koronalnej typowa strata energii jest kilkakrotnie wyższa niż obszaru aktywnego i taka sytuacja utrzymuje się przez dłuższy czas. Natomiast podczas rozbłysku, gdy cząstki są początkowo przyspieszane w fazie impul-

sywnej, oraz podczas fazy kolejnej, gdy wytwarzana jest fala uderzeniowa produkująca rozbłyski radiowe II typu, do plazmy wiatru słonecznego trafiają elektrony o energii rzędu MeV. Daje to pewne pojęcie o wielkości pól magnetycznych w obszarze rozbłysku. Energia magnetyczna uwalniana w polu o indukcji 0.3 G w przypadku rozbłysku trwającego 1000 sekund jest równa około 10^{31} ergów. Tego samego rzędu średnią wartość energii całkowitej otrzymano dla 5 tranzytów koronalnych związanych z rozbłyskami, obserwowanymi w świetle linii Hα z pokładu Skylaba. Dla porównania energia ta oszacowana dla obserwowanych EPL była rzędu 10^{28}-10^{29} ergów oraz 10^{30} ergów w serdzy.

Większość towarzyszących rozbłyskom emisji radiowych IV typu wykazuje polaryzację kołową,a oszacowana dla nich wartość indukcji magnetycznej wynosi około 10 G. Można się zatem spodziewać energii rzędu co najmniej 10^{31} ergów w przypadku koronalnego wyrzutu masy związanego z rozbłyskiem. Pozostałe postaci energii, tzn. termiczna i kinetyczna, nie przekraczają 10^{30} ergów, co wskazuje na naturę tych zjawisk. Spotkać się można z wcześniejszymi opracowaniami, w których teoria rozbłysków wymaga 10^{32} ergów. Podobną wartość energii całkowitej dla powstającego tranzytu można otrzymać korzystając z założenia, że jego rozciągłość w koronie nie przekracza 0.2 promienia Słońca. Natomiast aby zaburzyć strukturę polarnej jonosfery na Ziemi wystarczy „jedynie" 5×10^{19} ergów.

SID

Nazwą SID określa się wiele różnych rodzajów zaburzeń jonosferycznych. Jest to skrót od *Sudden Ionospheric Disturbance*. Większość zaliczanych doń tzw. SWF-ów związana jest z rozbłyskami co najmniej klasy M, a towarzyszące im przerwy w ziemskiej łączności radiowej są spowodowane nagłym wzrostem jonizacji i gęstości elektronowej jonosfery. Nagłe wyciszenie szumów kosmicznych (SCNA) dotyczy zakresu częstotliwości 15-35 MHz, azatem dużo większej niż wartość foF2 w czasie dni spokojnych na średniej szerokości geomagnetycznej, na jakiej położona jest np. Warszawa. Nie należy się zatem spodziewać znaczącego wpływu na łączność krótkofalową. Różne zjawiska zaliczane do klasy SID zachodzą w różnych warstwach ziemskiej jonosfery, zaś stosunkowo największa ich różnorodność pojawia się w najniżej leżącej warstwie D. Jedynie SCNA i SITEC (nagły wzrost w całkowitej ilości elektronów — TEC) dotyczą warstwy F2. SFD obserwuje się w warstwie F1 i odpowiada ono ekspansywnej fazie rozbłysków. Silne rozbłyski rentgenowskie są głównym źródłem tych zaburzeń.

Zakończenie

Podobnie jak sama warstwa F, burze jonosferyczne, ich przebieg i intensywność wykazują efekty sezonowe. Statystycznie problem ujmując, silne burze magnetyczne są związane z potężnymi zaburzeniami jonosferycznymi i spadkami częstotliwości krytycznej przekraczającymi 30 procent wartości prognozowanych na dni spokojne. Jednak, co ciekawe, jedynie 30 do 50% wszystkich zaburzeń w jonosferze jest związana z zaburzeniami magnetyzmu. Pozostałe to niewiadoma. Relacje pomiędzy odchyleniem foF2 od wartości niezaburzonej i wartością parametru opisującego stan prądu pierścieniowego (a zatem pośrednio zmiany ziemskiego pola magnetycznego) mogą być użyteczne w prognozowaniu zaburzeń również na średnich szerokościach Korzyść może być także inna. Otóż wskaźniki pozwalające na identyfikację burzy geomagnetycznej są różne od wskaźników ustalonych dla jonosfery, zaś wspólne parametry praktycznie nie istnieją. Ustanowienie podobnej relacji wiążącej te ograniczenia byłoby wygodnym obejściem problemu i odpowiedzią na pytanie czy zawsze podczas burz w magnetyzmie ziemskim pojawiają się burze jonosferyczne. Warto wspomnieć, iż niektóre z zaburzeń jonosferycznych mogą być powodowane przez źródła leżące poza Galaktyką, o czym wspomina w swej niedawno wydanej książce Rudolf Kippenhahn.

Polecana literatura:

Jan Mergentaler, *Słońce–Ziemia*, Wiedza Powszechna, 1994.

Rudolf Kippenhahn, *Na tropie tajemnic Słońca*, Prószyński i S-ka, 1997.

Mgr Radosław K. REK jest astronomem pracującym w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie, gdzie bada związki zachodzące między zjawiskami na Słońcu i Ziemi.

Poszczególne klasy są wspomagane cyfrą od 0 do 9 w celu bardziej precyzyjnego określenia ilości wyemitowanej energii. Np. M4 oznaczać będzie zmierzona moc równą $4\cdot10^{-2}$ ergów·cm^{-2}·s^{-1}.

SCNA (*Sudden Cosmic Noise Absorption*) — jeden z rodzajów SID, gwałtowne osłabienie promieniowania radiowego pochodzącego ze źródeł kosmicznych.

SID (*Sudden Ionospheric Disturbance*) — nagłe zaburzenie jonosferyczne, klasa porozbłyskowych zaburzeń jonosferycznych.

SITEC (*Sudden Increase in TEC*) jeden z rodzajów SID objawiający się wzrostem koncentracji elektronowej w warstwie F2 powyżej wysokości odpowiadającej częstotliwości krytycznej warstwy.

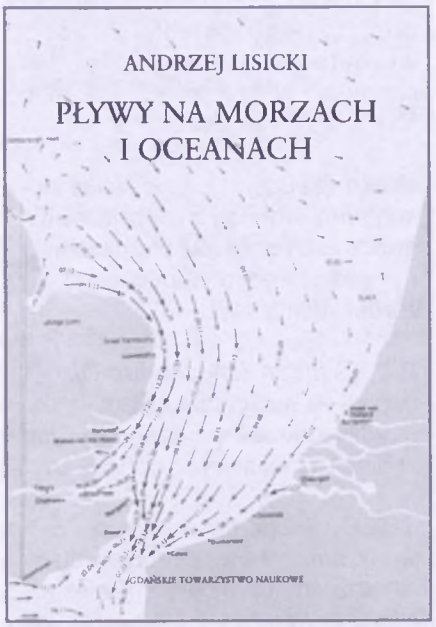
SWF (*Sort Wafe Fade/Fadeout*) — jeden z rodzajów SID podczas którego transmisje krótkofalowe są absorbowane przez okres minut a nawet godzin.

TEC (*Total Electron Content*) — całkowita ilość elektronów wzdłuż trasy pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem, także w pionowym słupie jonosfery o jednostkowym przekroju.

warstwa F2 — najwyższa z wyróżnianych w ziemskiej jonosferze warstwa; wysokość jej podstawy przypada typowo na ponad 200 kilometrów. Widoczna głównie latem w porze dziennej, powstaje wskutek rozwarstwienia warstwy F na F1 i F2. Obszar ten odpowiada maksimum gęstości elektronowej dla jonosfery jako całości.

wysokość wirtualna — wysokość wyznaczana na podstawie pomiaru przy użyciu jonosondy nie uwzględniająca zmieniającej się wartości współczynnika załamania i stąd obarczona błędem.

zaburzenie ziemskiego magnetyzmu — zmiana pola magnetycznego przekraczająca np. Ap=7 (w skali dobowej).



Andrzej Lisicki

„Pływy na morzach i oceanach. Monografia zjawiska".

Gdańsk 1996, 129 s.

Wydana pod koniec 1996 roku przez Gdańskie Towarzystwo Naukowe monografia Andrzeja Lisickiego „Pływy na morzach i oceanach" jest z pewnością wartościową pozycją zarówno dla geografów jak i astronomów. Zagadnienie to po raz pierwszy opisane jest w języku polskim. Autor jest emerytowanym docentem astronawigacji Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni.

Pływy na zamkniętych morzach jak na naszym Bałtyku nie występują wcale lub w niewielkim stopniu. Niemniej jednak szczegółowy opis tego zagadnienia uświadamia nam w jakim stopniu znajomość pływów potrzebna jest w żegludze morskiej. Jest to obok kalendarza drugie praktyczne zastosowanie tak wydawałoby się nie związanej z życiem astronomii.

Autor wspomina również o pływach występujących we wnętrzu Ziemi, co może być związane z wulkanizmem oraz o pływach w atmosferze. Są one trudniejsze do opisania niż pływy na oceanach. Może książka ta zainspiruje astronomów do rozwiązywania tego typu trudnych problemów ludzkości.

Pływy oceaniczne przedstawione są jako długofalowe oscylacje powierzchni morskich wywołane grawitacyjnym oddziaływaniem ze strony Księżyca i Słońca oraz działaniem sił bezwładności w obracającym się układzie Ziemia-Księżyc-Słońce. Wielkość pływu zależy od fazy Księżyca, odległości Księżyca od Ziemi, siły Coriolisa rotującej Ziemi, kształtu linii brzegowej, głębokości, szerokości i rodzaju dna akwenu oraz wielu innych czynników. Wskutek sił pływowych wody oceanu podnoszą się o kilkadziesiąt centymetrów, natomiast przy brzegach spiętrzone wody podnoszą się nawet do kilkunastu metrów.

Pływom oceanicznym towarzyszy powstawanie fal zwanych „bora". W czasie przypływu potężne wody morskie wdzierają się pod prąd w głąb rzek. I tak dla przykładu na Amazonce fala ta sięga 500 (!) km w głąb lądu. Jeśli linia brzegowa tworzy wąskie i głębokie przejścia wokół skalistych wysp prędkość fal pływowych przekracza 2,5 m/sek. U wybrzeży Francji nad kanałem La Manche skok pływu przeważnie przekracza 10 metrów. Oznacza to, że wody pływowe napływające z wielką prędkością w czasie przypływów topiły żądnych przygody jeźdźców konnych.

Wiele portów może egzystować dzięki specjalnie skonstruowanym śluzom zapobiegającym dotykaniu dna przez stępki statków. Sztuka żeglowania wymaga również znajomości opisanych szczegółowo tu prądów pływowych. Znajdujemy w tej książce ciekawie opisaną geografię wybrzeży oceanicznych i morskich świata w aspekcie pływów, dużą liczbę rysunków, map i tabel.

Statyczna teoria pływów zakłada równowagę między siłami grawitacji a siłami bezwładności działającymi na element masy w hydrosferze. Mamy tu szczegółowy opis ruchu wirowego i postępowego Ziemi i Księżyca oraz ich ruchu wokół wspólnego srodka mas. Obrazowo przedstawiono wpływ deklinacji Księżyca i Słońca na przebieg pływów. Dowiadujemy się, że wielkość siły pływowej w apogeum w stosunku do średniej odległości Ziemi od Księżyca wynosi O.84, a w perigeum 1.26, dla Słońca odpowiednio O.94 i 1.06. W oparciu o wzory na pływy i definicję rezonansu hydrodynamicznego autor wylicza skok pływu księżycowego na otwartym oceanie na 54 cm, a słonecznego na 25 cm.

Dynamiczna teoria rozpatruje pływy jako sumę działania pływu księżycowego półdobowego i dobowego oraz pływu słonecznego półdobowego i dobowego z uwarunkowaniami geograficznymi. W warunkach naturalnych liczba oscylacji składająca się na falę pływową jest zaskakująco duża. Jest ona opisywana przez harmoniczną teorię pływów. Obecnie znanych jest ok. 400 składowych harmonicznych pływów. W praktyce nawigacyjnej do wykreślenia krzywych pływów można mówić o 4-ch, 6-ciu lub 15-20 składowych. Książka zawiera szereg wykresów gdzie przedstawione są omawiane krzywe teoretyczne oraz ich porównanie z danymi obserwacyjnymi.

Nadal podstawą do poznania przebiegu pływów jest duża ilość obserwacji, ich analiza i katalogowanie.

Szczegółowe dane i źródła informacji pływowych dla potrzeb nawigacji zawierają mapy nawigacyjne, tablice pływowe, atlasy pływów i prądów pływowych oraz locje.

Książka ta jest wyczerpującym wykładem dla studentów i pracowników naukowych wyższych uczelni, żeglarzy, nawigatorów marynarki handlowej i wojennej, a zawarte obok rozważań teoretycznych interesujące opisy, wykresy i rysunki czynią tę monografię również przydatną dla szerokiego grona czytelników.

Anna Burnicka

Adam Dobrzycki
i Jerzy Dobrzycki

Atlas nieba gwiaździstego, epoka J2000.0.

Mapy kreślili Adam Dobrzycki, Krzysztof Białkowski.
Prószyński i S-ka, Warszawa 1997,
format 24,5 34,5 cm, 24 s., 26 map (88 s.).
Brak inf. o nakładzie. Cena zł 49,-

Jest to już trzecie wydanie tego atlasu. Pierwsze dwa ukazały się w Państwowym Wydawnictwie Naukowym w latach 1956 i 1989. Autorem pierwszego wydania był Jerzy Dobrzycki, a drugiego Jerzy i Adam Dobrzyccy. Z formalnego, wydawniczego punktu widzenia zarówno wydanie drugie, jak i obecne są zupełnie nowo opracowanymi publikacjami. Mimo to narzuca się pokusa porównywania tego atlasu z poprzed-

nimi wydaniami. Przed ośmiu laty napisałem recenzję wydania drugiego. Stąd kolejna pokusa porównania nowej wersji ze sformułowanymi w tamtej recenzji uwagami, propozycjami i życzeniami przekonsultowanymi z obserwatorami — miłośnikami astronomii.

Pierwsze wrażenie przy przeglądaniu tego atlasu jest zdecydowanie pozytywne. I takie pozostaje po dokładnym zapoznaniu się z jego zawartością.

W atlasie przedstawione są gwiazdy do 6.5 wielkości gwiazdowej, a więc tylko nieco słabsze od widocznych gołym okiem przy sprzyjających warunkach obserwacyjnych. Dalej więc aktualny jest postulat wydania w Polsce atlasu nieba z gwiazdami do ok. 8-mej wielkości gwiazdowej z myślą o obserwujących niebo przez lornetki. Nie jest to zarzut pod adresem autorów omawianego tu atlasu, ale okazja do ponownego zgłoszenia takiej potrzeby.

Atlas zawiera 26 map. Całe niebo północne i południowe jest przedstawione na 20 mapach dużego formatu (jedna mapa na dwóch stronach atlasu): cztery z nich obejmują okolice północnego bieguna nieba do deklinacji +40°, cztery — obszar nieba północnego pomiędzy deklinacją +50° i równikiem, cztery — obszar równikowy ±40° oraz dwa razy po cztery mapy dla nieba południowego — analogicznie jak dla nieba północnego. Ponadto na mniejszych mapach przedstawiono obszary obejmujące sześć gwiazdozbiorów — tych które nie mieściły się w całości na żadnej z dwudziestu podstawowych map nieba.

Sąsiadujące ze sobą mapy obejmują duże obszary wspólne, za co należy autorów pochwalić. Również godne odnotowania jest umieszczenie przed i na każdej mapie schematu podającego numery sąsiadujących map oraz obszary wspólne. Natomiast zamieszczenie dodatkowych sześciu map obejmujących obszary gwiazdozbiorów Ryb, Wieloryba, Erydanu, Jednorożca, Hydry i Panny jest z punktu widzenia obserwatora neutralne. Wszak gwiazdozbiory są tworami sztucznymi. Niektórym obserwatorom pomysł ten się jednak podoba.

Atlas został wyposażony w celuloidową nakładkę z siatką współrzędnych zdecydowanie ułatwiającą lokalizację na mapach obiektów o znanej rektascensji i deklinacji.

Około dwadzieścia stron zajmują różne pożyteczne tabele. Są to spisy: wszystkich gwiazdozbiorów, 49 najjaśniejszych gwiazd nieba, 250 gwiazd zmiennych, 64 gwiazd podwójnych i wielokrotnych, 88 gromad otwartych, 61 gromad kulistych, 17 mgławic planetarnych, 17 mgławic gazowych, oraz 76 galaktyk. W tabelach tych oprócz danych, charakterystycznych dla każdej z tych grup, podane są dla każdego obiektu współrzędne równikowe dla epoki 2000.0.

Brak w tym wydaniu tabel z wartościami rocznej precesji w rektascensji i deklinacji, umożliwiającymi przejście na inną epokę. Jest to może o tyle usprawiedliwione, że jesteśmy blisko standardowej epoki 2000 roku. Pozatem atlas tego typu rzeczywiście nie musi tabel takich zawierać.

Zamieszczona jest również mapka Plejad uwzględniająca gwiazdy do 11-tej wielkości gwiazdowej oraz tabela zawierająca współrzędne i jasności 38 gwiazd tej gromady do 8-mej wielkości gwiazdowej. Dla 12 najjaśniejszych gwiazd tego pola podano ich nazwy. W poprzednim wydaniu tabela ta notowała wszystkie 145 gwiazdy uwidocznione na mapce. Niestety nie przywrócono istniejącej w pierwszym wydaniu mapki i tabelki z jasnościami gwiazd Północnego Ciągu Biegunowego, podobnie jak Plejady przydatnego przy wyznaczaniu zasięgu lunet i przy ocenie przezroczystości atmosfery. Gwiazdy te znajdują się zawsze nad horyzontem. Były tam gwiazdy do 13-tej wielkości gwiazdowej, a więc o 2 magnitudo słabsze od gwiazd w Plejadach.

Jak w każdym atlasie zamieszczony został spis gwiazdozbiorów. Podane zostały tam: nazwa łacińska, nazwa polska, skrót nazwy łacińskiej, gwiazdozbiór mieści się w granicach od do (rektascensji i deklinacji), numery map. Nie widzę praktycznego zastosowania podanych w tej tabeli granic gwiazdozbiorów. Natomiast ponownie proponuję, aby podawać w takich spisach dopełniacz łacińskiej nazwy gwiazdozbioru. W przeciwnym razie dalej będziemy słyszeli w ustach młodych (i nie tylko) ludzi odczytanie określenia α *CVn* jako *Alfa Canes Venatici* zamiast prawidłowego *Alfa Canum Venaticorum*.

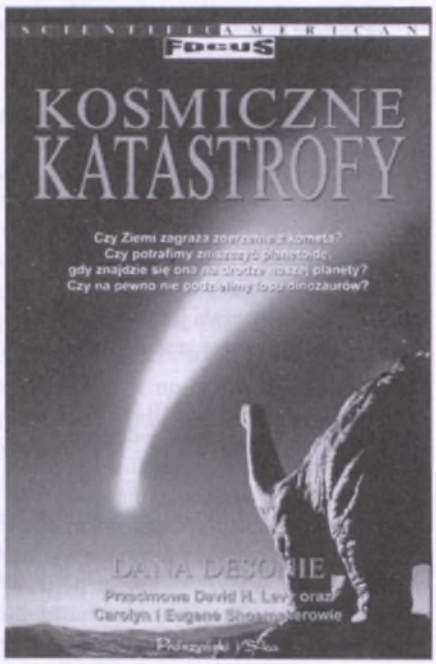
Na koniec przepisuję część nieuwzględnionych postulatów z recenzji wydania drugiego:

1. Warto byłoby przywrócić informacje o barwach niektórych gwiazd podwójnych.

2. W atlasie astronomicznym oprócz map nieba przydałaby się bardzo mapa powierzchni widocznej części Księżyca z listą kilkuset (a choćby tylko kilkudziesięciu) najciekawszych obiektów. W jednej z recenzji wydania z 1956 r. postulat ten już wtedy się pojawił.

3. Naniesienie na mapy równika galaktycznego i biegunów Galaktyki zostałoby bardzo życzliwie przyjęte przez wiele osob.

Alojzy Burnicki



Kilka uwag o książce Dania Desonie *„Katastrofy kosmiczne”* Wyd. Prószyński i S-ka

Nie mogę czasem „zdzierżyć” czytając niektóre obecne „arcydzieła” astronomicznej lub kosmonautycznej literatury popularnonaukowej. Przesyłam więc materiał z tej dziedziny. Obawiam się co prawda, czy nie jest to „walka z wiatrakami”, ale myślę, że obok takich spraw nie można przechodzić obojętnie. Sądzę że jeżeli konsekwentnie będzie się piętnować takie wyczyny wydawnicze, to może niektórzy wydawcy zaczną postępować trochę oględniej.

Str. 18 — To nie „fala uderzeniowa” powstająca w trakcie wybuchu gwiazdy supernowej tworzy ciężkie pierwiastki (!), ale intensywny strumień neutronów!

Str. 18 — „Wzrost momentu pędu — energii rotacyjnej **wirującego** obiektu spowodował — że obłok **zaczął się** wolno obracać.” Co ten bełkot ma oznaczać? Jego „logika” jest nie tylko mętna, ale i sprzeczna!

Str. 19 — „Planetazymale”, później „planetzymale”, później znów „planetazymale”, a więc jak? (czy aby nie inaczej...?)

Str. 20-23 — Opis powstawania Ziemi i innych planet w wyniku grawitacyjnej akrecji materii gazowo-płynnej i większych brył materii — bardzo bałamutny. Autorka najwyraźniej całkowicie nie zdaje sobie sprawy z tego, że w wyniku zderzeń większych brył materii wcale nie dochodzi do ich łączenia się ze sobą (!), ale wręcz przeciwnie — do rozbijania się na drobniejsze!

Str. 23 — „Gdyby we wnętrzu naszej planety nie tkwiło metaliczne jądro, nie istniałoby

ziemskie pole magnetyczne". To nonsens. Temperatura we wnętrzu Ziemi jest o wiele wyższa od Punktu Curie (!) toteż materia traci w tych warunkach właściwości magnetyczne! (Oprócz tego należało wyraźnie powiedzieć, że chodzi o żelazo i nikiel...)

Str. 24 — Powodem płynów na Ziemi jest nie tylko Księżyc, ale także Słońce! (w około 30%)

Str. 24 — Przypuszczenie, że powstającą Ziemię „Być może otaczała jakaś pierwotna atmosfera" jest bałamutne, otaczała bowiem na pewno...

Str. 24-25 — Wiązanie braku atmosfery wokół Księżyca tylko z jego składem chemicznym w dawnych czasach, jest niedorzeczne. Chodzi o to, że ze względu na niewielkie rozmiary Księżyc słabo przyciąga, w związku z czym prędkość ucieczki z niego ma wartość tylko 2.38 km/s, w związku z czym poruszające się z wielkimi prędkościami molekuły gazów ewentualnej atmosfery księżycowej bardzo szybko z niej ulecą w przestrzeń! Aby ciało kosmiczne mogło mieć trwałą atmosferę średnia prędkość ruchu molekuł gazów atmosferycznych musi być około 5 razy mniejsza od prędkości ucieczki z danego ciała (To są sprawy z zakresu elementarnej wiedzy astrofizycznej, ale autorka nie ma o tym pojęcia!).

Str. 26 — Tłumaczenie braku atmosfery na Księżycu „efektami zderzeniowymi" niedorzeczne (Vide uwaga powyżej).

Str. 28 — Twierdzenie, że na widocznej stronie Księżyca jest „30000 kraterów" jest co najmniej nieudolne...

Str. 28 — Badania „geologiczne" Księżyca?! (Chodzi o badania selenologiczne — to samo kilka razy dalej)

Str. 36 — Co to znaczy, że planetoidy są „martwe"?

Str. 37 — Twierdzenie, że „oddziaływanie olbrzymiego Jowisza spowodowało, że (planetoidy) „zaczęły krążyć z dużą prędkością" jest niedorzeczne. Prędkość ruchu planetoid jest wypadkową siły przyciągania Słońca i ich odległości od niego i Jowisz – praktycznie rzecz biorąc – nie ma tu nic do rzeczy...

Str. 38 — Choć nie potrafimy w sposób bezpośredni badać ziemskiego jądra, możemy obserwować planetoidy, które są „**fragmentami jąder swych macierzystych ciał**" (!?). Czyżby? A w ogóle co całe to zdanie znaczy?

Str. 40 — Jeżeli chodzi o gazowe warkocze komet to świecą one nie na skutek „odbijania światła słonecznego", ale na skutek fluorescencji powodowanej przez nadfioletowe promieniowanie słoneczne (!).

Str. 41 — Na rysunku brak napisów Neptun i Pluton.

Str. 42 — Blisko 150 komet, które potrzebują na obiegnięcie swej orbity mniej niż 200 lat, spędza większość swego życia **w wewnętrznych obszarach Układu Słonecznego**. Nonsens. Jest akurat odwrotnie.

Str. 42 — Halley nie „zasugerował", a **obliczył** okresowość komety zwanej jego nazwiskiem.

Str. 43 — Jest nonsensem twierdzenie, że kometa Halleya jest jedyną efektowną kometą, której orbitę dokładnie znamy!

Str. 43 — Charakterystyka orbit planetoid z rodziny Ateny, Apolla i Amora — bardzo nieudolna. Gdyby nie rysunek — nie byłoby wiadomo o co chodzi.

Str. 46 — „Meteoryty to odłamki ciał niebieskich: komet, planetoid, a nawet planet". Nie tylko — jest wśród nich też pierwotna materia z której niegdyś uformował się Układ Planetarny...

Str. 46 — „Małą planetoidę lub starą kometę"... „nazywamy meteoroidem". Protestuję przeciw tego rodzaju „uproszczeniom"!

Str. 46 — Powodem nagrzewania się ciał wpadających do atmosfery z prędkościami kosmicznymi nie jest „**tarcie** o powietrze" (!), ale przede wszystkim, adiabatyczne sprężanie powietrza!

Str. 49 — Twierdzenie, że meteoroid rozgrzewa się do 1600°C jest błędne. Chodzi o temperatury znacznie ponad 10000°C.

Str. 49 (i dalej) — Nazywanie meteorów — explicite — „spadającymi gwiazdami" jest wysoce nieudolne.

Str. 55 — Twierdzenie, że po 573000 lat próbka nie będzie zawierać „ani jednego atomu C^{14}" jest z fizycznego punktu widzenia błędne.

Str. 55 — Węgla C^{14} nie używa się do datowania, wieku skał (!).

Str. 55 — Okres połowicznego rozpadu Uranu 238 wynosi około 4.5 mld lat, a nie 450 mln (!).

Str. 56 — Nie zgadzam się z twierdzeniem autorki, że naturę kraterów meteorytowych na Ziemi rozpoznano dopiero w latach pięćdziesiątych (!).

Str. 57 (i dalej) — Na ogół przyjmuje się, że olbrzymie meteoryty wyparowują nie przed uderzeniem w Ziemię (!), ale właśnie w wyniku uderzenia w Ziemię i że powodowany tym wybuch powoduje właśnie powstanie krateru. Wyjaśnianie więc, że kratery meteorytowe powstają w wyniku oddziaływania „atmosferycznej fali uderzeniowej" jest nieporozumieniem!

Str. 60 — Twierdzenie, że Meteoryt Sichote Akiński (a nie Sichote–Aliński) wybił tylko jeden krater jest błędne, powstało ich bowiem parę dziesiątków.

Str. 64 — Opis Krateru Canion Diablo i prowadzonych w nim badań jest daleki od rzeczywistości i bardzo bałamutny (Vide literatura naukowa na ten temat...).

Str. 65 — Największe (znane) bomby jądrowe mają moc 20 Mt, a nie 1.7.

Str. 66 — Wiek gatunku ludzkiego ocenia się obecnie na 2÷3 mln lat, a nie 400000 lat.

Str. 68 — „Co kilka milionów lat ginie kilka gatunków". Nieprawda — corocznie ginie obecnie kilka gatunków!

Str. 73 — Fotografia — To chyba nie jest fotografia tektytu (!?).

Str. 73 — Angielskie słowo impact nie oznacza tylko „spadku meteorytu" (!), a ogólnie — uderzenie, spadek.

Str. 80 — „Gdy zniknęły dinozaury, gatunki, które przeżyły, zaczęły się rozmnażać". A przed tym to się nie rozmnażały!? (Tego rodzaju usterek logicznych jest bez liku)

Str. 92 — Twierdzi się, że meteoryty które spadły na Ziemię powodowały „ofiary śmiertelne", a zaraz dalej, że nie znamy przypadku zabicia człowieka przez meteoryt. A więc jak było?

Str. 94 — Porównanie rozproszenia się materii komety Shoemaker Levy 9 w atmosferze Jowisza z rozproszeniem się popiołów wulkanu Pinatubo na Ziemi, jest co najmniej niezręczne...

Str. 98 — Czy na Ziemi jest już obecnie $4 \times 1{,}5$ mld = 6 mld ludzi?

Str. 100 (góra) — „1000 – 100000 megaton TNT (kolizja z obiektem o średnicy 100 m – 1 km)". Powinno być 1000 – 1 000 000!

Str. 100 (dół) — Na górze jest 100 m (1000 Mt), a na dole 250 m (1000 Mt), a więc jak?

Str. 100 — „pięciometrowe tsunami". Nie sądzę, aby 5 metrowe tsunami mogło spowodować olbrzymią katastrofę (!).

Str. 109 — „100 do 100000 km... porównywalne z promieniem orbity Księżyca". Czyżby? (Promień orbity Księżyca ma około 400000 km!)

Str. 110 — Wyjaśnienie co to jest radioteleskop bardzo nieudolne. Po prostu — przyrząd do odbioru fal radiowych z Kosmosu.

Str. 113 — Twierdzenie, że planetoida 4179 ma „chaotyczną" orbitę jest bardzo niezręczne!

Str. 119 — Myślę, że jeżeli odkryjemy planetoidę zmierzającą do Ziemi, to nie będziemy jej najpierw badać, ale najszybciej jak się da spróbujemy zmienić jej trajektorię lub rozbić ją w „pył"!

Str. 120 — „Długość życia człowieka wynosi jednak kilkadziesiąt, a nie tysiące, czy miliony lat. **Dlatego** prawdopodobieństwo, że do kolizji Ziemi z dużym obiektem dojdzie jutro, jest bardzo małe". Bardzo dziwna „logika". Co to ma jedno do drugiego?

Str. 128 — Chodzi nie o „dziurę ozonową", ale o stały (choć powolny) **zanik ozonu** w ozonosferze!

Andrzej Marks

Astronomia w szkołach średnich

— seminarium dla nauczycieli fizyki i astronomii Warszawa, 15 – 17 listopada 1996

Po raz trzeci już — dzięki dofinansowaniu z Komitetu Astronomii Polskiej Akademii Nauk — udało się zorganizować astronomiczne spotkanie dla nauczycieli fizyki i astronomii. Miejscem spotkania — tak jak za pierwszym razem — było Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika (CAMK) w Warszawie przy ul. Bartyckiej 18. Dla pozawarszawskich gości zarezerwowano miejsca w hotelu Centrum Badań Kosmicznych oraz w hotelu CAMK. CAMK i CBK sąsiadują ze sobą przez płot więc nie było kłopotów z dojazdami.

Jak poprzednio — celem seminarium było przedstawienie najnowszych osiągnięć współczesnej astronomii oraz przedyskutowanie metod jej nauczania w szkołach ponadpodstawowych. Organizatorzy zakładają bowiem, że astronomia tak szybko rozwija się, że uaktualnianie wiedzy z tej dziedziny wymaga nieustannego śledzenia nowości — na co nauczyciele nie mają na ogół ani czasu ani możliwości.

Zajęcia składały się z części wykładowej i umownie „ćwiczeniowej". Pierwsza to po prostu cykl wykładów na najbardziej aktualne w 1996 r. tematy „astronomiczne". Wykładali oczywiście najlepsi specjaliści polscy, ale relacjonowali osiągnięcia światowej astronomii. Spis wykładów z jesieni 1996 przedstawia się następująco:

- Co nowego w astronomii (Janusz Ziółkowski, CAMK)
- Komety i planetoidy — nowe odkrycia (Krzysztof Ziołkowski, CBK)
- Bardzo ciasne układy podwójne gwiazd (Marek Sarna, CAMK)
- Paradoksy kosmologiczne (Andrzej Sołtan, CAMK)
- Astronautyka i badanie ciał Układu Słonecznego (Paweł Moskalik, CAMK).

W części ćwiczeniowej staraliśmy się spełnić zgłaszane na poprzednich spotkaniach oczekiwania nauczycieli. Często bowiem dosyć prostymi metodami i bez konieczności ponoszenia dużych kosztów można zorganizować na prawdę ciekawe zajęcia astronomiczne. Przykładem tego była bardzo ciekawa prezentacja porowadzona przez członków Warszawskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii (PTMA). Mamy nadzieję, że niektóre pomysły dadzą się wykorzystać.

Nauczyciele przed tą prezentacją podzielili się na grupy i rotacyjnie mieli zajęcia w trzech salach. W pierwszej panowie Roman Fangor, Tomasz Krzyt oraz Janusz Wiland przygotowali wystąpienie pt. Turystyka na niebie. Gdyby była ładna pogoda proponowane obserwacje astronomiczne różnych widocznych obiektów prowadzono by z dachu CAMK (gdzie miłośnicy mają swoje instrumenty i bardzo rzetelnie śledzą wszystko co najciekawsze na niebie — organizując także pokazy dla chętnych). Niestety listopad nie jest najłaskawszym miesiącem — skończyło się „na sucho" w salce seminaryjnej. Ale że były to ostatnie zajęcia w piątkowy wieczór — przeciągnęły się do późnych godzin nocnych. Mamy nadzieję, że zaowocują zajęciami z uczniami. W drugiej sali pan Lucjan Newelski przygotował zajęcia pt. Instrumenty astronomiczne. Mówił tak ciekawie (o zasadach optycznych, o samodzielnym tworzeniu teleskopu , demonstrował instrumentalny dobytek PTMA) i tyle miał do powiedzenia, że trudno było się zmieścić w wyznaczonym czasie — jeszcze następnego dnia wiele osób go męczyło pytaniami.

Ponadto odbyła się demonstracja (wyprodukowanego przez Fabrykę Pomocy Naukowych w Warszawie) tellurium — nie jest to co prawda „instrument astronomiczny", ale na współczesnym modelu, który jest bardzo duży (160 mm średnica globusa) bardzo wyraźnie widać zaćmienia, fazy Księżyca, można regulować kąt nachylenia planety do płaszczyzny orbity i pokazać np.jak obraca się Wenus czy Uran. Gdyby udało się kupić taki model choćby do wybranych szkół — wiele dzieci mających kłopoty z wyobraźnią przestrzenną miałoby duże ułatwienie (a model przydałby się także geografom).

Staraliśmy się też przedstawić oprócz klasycznych pomocy — nowe narzędzia edukacyjne. Odbyła się np. prezentacja astronomicznych komputerowych programów edukacyjnych — ponownie nauczyciele podzielili się na grupy i rotacyjnie odwiedzali trzy osoby (Andrzej Branicki, Mirosław Giersz, Agnieszka Pollo) demonstrujące te programy (po czym uczestnicy Seminarium dostali dyskietki z programami Skymap, Skyglobe, Astronomy Lab i z programami archiwizującymi). Osoby zainteresowane mogły sobie także przegrać na własne dyskietki program Home Planet.

Można było obejrzeć wydane ostatnio w Polsce książki astronomiczne. Wychodzi tak strasznie dużo literatury, która oprócz pięknych obrazków nie ma żadnych innych zalet, że zależało nam na tym by miały szanse się przebić książki rzetelne, sprawdzone.

Jak zwykle wielu spraw nie udało się zmieścić w programie, nie starczyło czasu na wszystkie zaplanowane rozmowy. Trochę dało się porozmawiać podczas uroczystej kolacji w sobotni wieczór, „oficjalna" dyskusja na temat seminarium i planami na przyszłość (prowadzona przez prof. Jerzego Kreinera) miała miejsce w niedzielny poranek.

Z przyjemnością dowiedzieliśmy się, że nauczycielom przydały się już w praktyce poprzednie spotkania, opowiadali kto i co wykorzystał.

Jak zwykle widać było dwubiegunowość opinii — jedni chcieli dostawać „gotowce", najlepiej taśmy video, inni z całym poświęceniem prostymi środkami umieją uczyć ciekawie i pożytecznie. Bezpośrednio po konferencji organizatorzy są na ogół na tyle zmęczeni, że widzą głównie grupę pierwszą i bez entuzjazmu myślą o następnych spotkaniach. Ale po jakimś czasie zwycięża rozsądek i poczucie obowiązku.

(*dokończenie na str. 45*)

Obfitość komet i nauczanie fizyki

W ostatnich latach mieliśmy możliwość obserwacji wielu komet z których wymienimy tylko najjaśniejsze, widoczne już okiem nieuzbrojonym, a mianowicie Hyakutake i Hale'a-Boppa oraz ciekawą z innych względów Shoemaker-Levy 9.

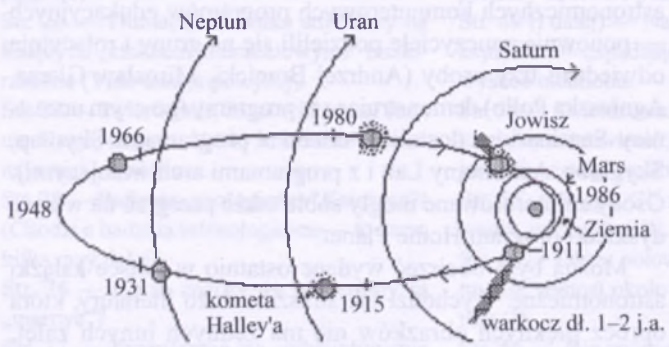
Atrakcyjność zjawiska komety warto wykorzystać dla zwiększenia motywacji uczniów do uczenia się fizyki. Przecież fizyka jest kluczem do wyjaśnienia ruchu komet, powstawania i orientacji ich warkoczy, składu chemicznego i własności ich jąder.

Pamiętam (jd), w dniu 2 września 1994 r., na pierwszej lekcji w kl. I LO zadałem zadanie domowe: W czasie wakacji (w dn. 16-22 lipca) szczątki komety Shoemaker-Levy zderzyły się z Jowiszem. Poszczególne bryły miały średnice rzędu 1 km i gęstość ok. 1g/cm^3. Ich prędkość względem Jowisza wynosiła ok. 60 km/s. Oblicz energię wydzieloną w czasie zderzenia jednej z brył. Porównaj wynik z energią wybuchu bomby atomowej w Hiroszimie (20 kT TNT). Energia wybuchu 1 kg TNT wynosi ok. $4 \cdot 10^6$ J.

Efekt? Kilkanaście przerw „straconych" na dyskusję wyniku i odpowiedzi na pytania sprowokowane zadaniem.

Drogę komety w polu grawitacyjnym Układu Słonecznego (na przykładzie komety Halleya) widzimy na rysunku 1.

Ostatnio obserwowana kometa Hale'a-Boppa najbliżej Zie-

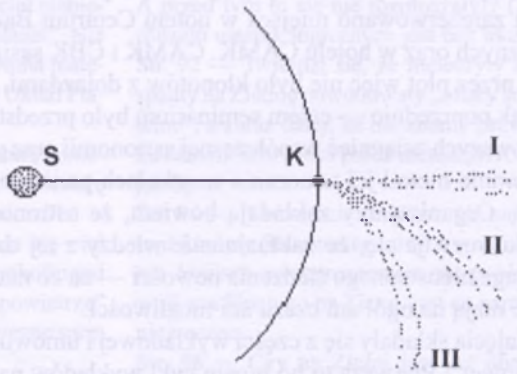


Rys. 1.

mi i Słońca znalazła się wiosną 1997 roku. Był to bardzo jasny obiekt, ok. 1000 razy jaśniejszy od komety Halleya w czasie jej ostatniego przejścia w pobliżu Ziemi. Jej jądro ma średnicę ok. 40 km i okres obrotu 11.4 godziny. Najbliżej Ziemi kometa Hale'a-Boppa znalazła się w dniu 23 marca 1997 roku. Odległość ta wynosiła zaledwie 1.3 j.a. Tak bardzo dogodne warunki pozwoliły uzyskać bardzo dobrej jakości widma komety, które ukazały niezwykłą chemicznie złożoność jej jądra. Stwierdzono obecność węgla, azotu, siarki, tlenków siarki a także molekuł HCCCN. Stwierdzono też w czasie zbliżenia do Słońca zmiany ilości uwalnianych molekuł cyjanowodoru HCN i izocyjanowodoru HNC. Obecność H, O, C, S, CS, OH, C_2, C_3, CN, CO, NH, NH_2, H_2O, CO_2, HCN, CH_3CN stwierdzono we wcześniej badanych kometach. Jądra komet odznaczają się niezwykle małym albedo (są „czarne"), np. jądro komety Halleya miało albedo ok. 0.04.

Jądro komety znajduje się wewnątrz składającej się głównie z wodoru otoczki zwanej komą. Otoczka ma kształt w przybliżeniu kulisty. Koma wraz jądrem tworzy głowę komety. Typowa średnica głowy to 10^5 do 10^6 km (fot. 1 — zdjęcie komety Halleya z 1986 r.).

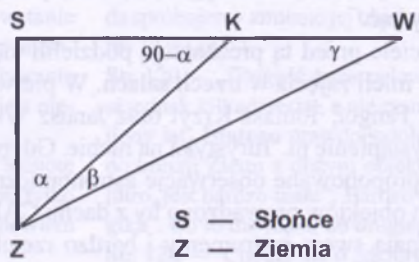
Gdy kometa jest w pobliżu Słońca z jej jądra uwalniają się pyły i gazy które dzięki oddziaływaniu z wiatrem słonecznym tworzą charakterystyczne warkocze (rys 2 i zdjęcia 2 i 3 komety Hale'a-Boppa).



Rys. 2.

Warkocze II i III typu tworzą cząstki gazu i pyłu wypchnięte przez wiatr słoneczny z atmosfery komety, mogą one mieć długość wielu milionów km. Wielka kometa z 1843 roku miała warkocz o największej obserwowanej długości 300 mln. km.

H.Alfven w latach pięćdziesiątych wykazał, że linie pola magnetycznego wiatru słonecznego mogą niejako „wiązać" plazmę wiatru z jonami pochodzącymi z komety tworząc w ten sposób warkocz I typu. Warkocz ten ma z reguły niebieskawe zabarwienie które zawdzięcza obecności jonów CO^+, CH^+, CO_2^+ i H_2O^+. W szczególności CO^+, główny składnik warkocza, ma silne pasma o długości fali rzędu 500 nm. Potwierdzają to odmienne widma warkoczy — w widmach warkoczy I typu znajdujemy pasma emisyjne jonów i zjonizowanych rodników, widma warkoczy II i III typu są widmami ciągłymi.



Rys. 3.

Problem 1. *Problem przedstawił duński nauczyciel astronomii, Knud Jepsen, członek EAAE w pracy „Lenght of a Comet's Plasma Tail". Dotyczy on wyznaczenia długości warkocza plazmowego komety Hale'a-Boppa w konfiguracji, jaka miała miejsce w dniu 1 kwietnia 1997 roku (rys 3). Przedstawimy go w postaci nieco zmodyfikowanej.Ponieważ kąt ZSK był prawie kątem prostym (89.7°) oszacujemy długość warkocza zakładając, że trójkąt ZSK jest trójkątem prostokątnym.*

Z obserwacji uzyskano:
$\alpha = 43.6° \; \beta = 27.7°$
Oblicz długość warkocza plazmowego
Z rysunku mamy :

$$ZK = \frac{ZS}{\cos\alpha}$$

$$\gamma = 90 - (\alpha + \beta) = 27°.$$

Korzystając z twierdzenia sinusów otrzymujemy łatwo

$$\frac{ZK}{\sin\gamma} = \frac{KW}{\sin\beta} \Rightarrow KW = ZK\frac{\sin\beta}{\sin\gamma} = \frac{ZS\sin\beta}{\cos\alpha\sin\gamma} = \ldots = 1{,}01\,j.a.$$

(przyjęcie dokładnej wartości kąta ZSK daje $KW = 0.994$ j.a.).

Problem 2. *Wykaż, że jeśli tylko cząstki pyłu są wystarczająco małe, to działające na nie siły pochodzące od wiatru słonecznego są większe od sił grawitacyjnych Słońca.*

Przyjmijmy, że uwalniane przez kometę cząstki są kulkami o jednakowej gęstości. Wówczas :

przyśpieszenie grawitacyjne a_g jest proporcjonalne do masy (objętości) kulki

$$a_g = Ar^3$$

oraz przyśpieszenie nadawane cząstkom przez wiatr słoneczny (i promieniowanie)

$$a_p = Br^2$$

Stosunek tych przyśpieszeń

$$\frac{a_p}{a_g} = \frac{B}{A}\cdot\frac{1}{r}$$

Jak widać, przy dostatecznie małych promieniach cząstek przyśpieszenie a_p (skierowane od Słońca) jest większe od przyśpieszenia grawitacyjnego.

Problem 3. *Oblicz prędkość komety Hale'a-Boppa w peryhelium które minęła 1 kwietnia 1997. Jej odległość od Słońca wynosiła wówczas q = 0.914129 j.a. (137 mln km). Mimośród orbity e = 0.995112. Oblicz też okres obiegu komety.*

Z zależności $q = a(1-e)$ mamy a = 187.015 j.a.
Z zasady zachowania energii :

$$W_{calk} = W_k + W_p = \frac{mv^2}{2} - \frac{GMm}{a(1-e)} = \ldots = -G\frac{Mm}{2a} = \text{const.}$$

Można zatem napisać

$$W_k = G\frac{Mm}{2a} + \frac{GMm}{a(1-e)} \quad \text{skąd}$$

$$v = \sqrt{\frac{-GM}{a}\left(1 - \frac{1}{1-e}\right)} = 44 \text{ km/s.}$$

Okres obiegu otrzymamy z uproszczonego III prawa Keplera. Szczegółowe obliczenia dają

$T \cong 2380$ lat.

Juliusz Domański, Toruń
Vladimir Stefl, Brno

Literatura

Crovisier J., *The Spectrum of Comet Hale-Bopp*, Science, vol 275, 1997, p.1904

Domański J., *Czy istnieją orbity kołowe?*, Postępy Astronomii 1/1996

Jepsen K., *Lenght of Comet's Plasma Tail*, http://www.eso.org/outreach/info-events/hale-bopp/tailenght.htm

Weaver H., *The Activity and Size of Nucleus of Comet Hale-Bopp*, Science.: vol 275, 1997, p.1900

Włodarczyk J., *Bardzo krótka historia komet*, Wiedza i Życie 3/1997

Kalendarz hebrajski

Kalendarz hebrajski należy do grupy kalendarzy lunisolarnych, bazujących obecnie na obliczeniach, nie zaś obserwacji. Jest on oficjalnym kalendarzem w Izraelu oraz kalendarzem liturgicznym używanym przez Żydów do wyznaczania dat judaistycznych świąt i obrzędów. Główną zasadą jest wyznaczenie początku miesiąca na podstawie tablice Nowego Księżyca (molad). Przy wyznaczeniu tego dnia używa się uśrednionej długości cyklu lunacyjnego.

Drugą podstawą kalendarza hebrajskiego jest cykl Metona, który w ciągu 19 lat zwrotnikowych zawiera w przybliżeniu 235 lunacji.

Zgodnie z tradycją dni kalendarza hebrajskiego oznaczane są przez liczby z wyjątkiem dnia *Sabbath* (dzień odpoczynku) oraz poprzedzającego go dnia przygotowania — *Parasev*. Dni trwają od zachodu do zachodu Słońca. Dzień 1 zaczyna się o zachodzie w sobotę, kończy o zachodzie w niedzielę, *Sabbath* zaczyna się o zachodzie w piątek.

Historia kalendarza hebrajskiego

Współczesna wiedza na temat historii kalendarza hebrajskiego i jego struktury umieszcza jego korzenie w systemie kalendarzowym Babilonii. Sugeruje to nie tylko sam kształt kalendarza opartego w jednym i drugim przypadku na cyklu księżycowo-słonecznym, ale także duża zbieżność w nazewnictwie miesięcy. Żydzi wykorzystali także siedmiodniowy tydzień starożytnych Babilończyków, który przyjął się też w wielu innych systemach kalendarzowych.

Biblia niewiele wspomina na temat kalendarza, a datowanie, na przykład w *Księgach Mojżeszowych* jest bardzo wątpliwe. Pewne wskazówki odnośnie do początków kalendarza stosowanego przez Żydów, przed wprowadzeniem rozwiązań babilońskich, mogą zostać odczytane w nielicznych fragmentach Biblii. I tak na przykład w 1 *Księdze królewskiej* znaleźć można treść z datami odnoszącymi się do budowy Świątyni Salomona.

Tab. 1. Klasyfikacja lat w kalendarzu hebrajskim

	niekompletny chasera	regularny kesidra	kompletny shleima
rok zwykły	353	354	355
rok przestępny	383	384	385

Kalendarz babiloński wprowadzony został w roku 587 p.n.e. po podboju Jerozolimy przez Babilończyków i był w użyciu do roku 70 naszej ery, z wyjątkiem lat panowania Aleksandra Wielkiego i Ptolemeusza (332 — 200 p.n.e.), kiedy używano kalendarza macedońskiego.

W *Nowym Testamencie* nie znajdujemy żadnego odnośnika dotyczącego systemu kalendarzowego. Wiadomo jednak, że aż do około 200 roku n.e. początek miesięcy wyznaczano z obserwacji, a początek roku celebrowano zawsze w okolicy marca (obecnie w dniach 15-22 Nisan (tabela 2) obchodzone jest święto Paschy.)

Tab. 2. Miesiące w kalendarzu hebrajskim

1.	Tishri	30
2.	Heshvan	29*
3.	Kislev	30**
4.	Tewet	29
5.	Shevat	30
6.	Adar	29***
7.	Nisan	30
8.	Iyyar	29
9.	Sivan	30
10.	Tammuz	29
11.	Av	30
12.	Elul	29

* W roku kompletnym Heshvan ma 30 dni

** W roku niekompletnym Kislev ma 29 dni

*** W roku przestępnym Adar ma 30 dni, a po nim następuje Adar II, mający 29 dni

W latach 358-359 patriarcha Hillel II opublikował reguły kalendarza hebrajskiego, gdzie do 19-letniego systemu lunisolarnego Babilończyków dołączył wiele poprawek związanych z żydowskimi rytuałami. Rozpoczęto także, oprócz obserwacji, stosować kalkulacje związane z ruchem Księżyca.

Reguły kalendarza hebrajskiego

Stosowany dzisiaj przez Żydów kalendarz jest lunisolarny. Rok jest w nim podzielony na dwanaście miesięcy oraz na siedmiodniowe tygodnie. Ponieważ dwanaście księżycowych miesięcy stanowi okres krótszy od roku zwrotnikowego, dlatego w 19-letnim cyklu Metona stosuje się dodatkowy 30-dniowy miesiąc w latach 3, 6, 9, 11, 14, 17 i 19.

Dzień rozpoczyna się po zachodzie Słońca, ale doba cywilna rozpoczyna się dla porządku o 18.00 czasu lokalnego Jerozolimy (2 godziny i 21 minut na wschód od Greenwich). Godzina podzielona jest na 1080 części (*halaquim*), a co za tym idzie, każda część (*heleq*) zawiera 3 i 1/3 sekundy.

Kolejne lata początkowo liczono od początku panowania kolejnego władcy, później „od wyjścia z Egiptu", obecnie liczy się „od stworzenia świata", które według Żydów nastąpiło 7 października 3761 roku p.n.e. według kalendarza gregoriańskiego.

Rok rozpoczyna się z dniem 1 miesiąca Tishri (pierwszy dzień Rosh Hashanah lub dzień Nowego Roku), a to, jakim dniem tygodnia jest Tishri 1, determinuje rodzaj roku, jaki nastąpi.

Klasyfikację lat podano w tabeli 1. Miesiące kalendarza hebrajskiego podaje tabela 2.

Jak już wspomniałem, rodzaj roku determinuje dzień 1 Tishri. Związanych jest z tym kilka reguł, zwanych *dehiyyot* (zasady odroczeń).

Wyznaczenie Tishri 1 oparte jest na dokładnych obliczeniach momentu pojawienia się „Nowego Księżyca" (*molad*). Tabela nowych Księżyców odnosi się do roku 1 A.M. (*Anno Mundi*), dnia 2, godziny 5 i 204 *halakim* (Niedziela, 6 październik –3760 roku, 23h 11m 20s). Długość lunacji wyznaczona jest na 29 dni 12 godzin i 793 *halakim* (29.530594 doby).

W 19-letnim cyklu Metona występująca różnica około 3 i 3/4 doby jest uzupełniana wstawianiem dodatkowego dnia do lat rozpoczynających się w niedzielę, środę lub piątek. Dodatkowo też w wybranych latach początek roku przenoszony jest o jeden dzień wcześniej. Jest to skrótowo potraktowana reguła odroczeń, która ściśle określa wszystkie warunki związane z dodatkowymi dniami, a przez to z długością roku (tabela 1)

Leszek P. Błaszkiewicz

Tabela 3. Ważniejsze dni i święta żydowskie

Tishri	1-2: Rosh Hashana (Nowy Rok), 3: Post, 10: Yom Kippur (Dzień Pokuty), 15-21: Sukkot (Tabernakulum), 22: Shemini Atzeret (Ósmy Dzień Uroczystego Zgromadzenia), 23: Simhat Torah (Radość z Praw).
Heshvan	
Kislev	25: Początek festowalu świateł (Hanukka)
Tevet	2 lub 3: Koniec Hanukka, 10: Post Shevat 15: Nowy Rok dla Drzew (Mishna)
Adar	13: Post, 14-15 Purim (Losy)
Adar II	Święto Adaru w latach przestępnych
Nisan	15-22: Pascha
Iyyar	5: Dzień Niepodległości Izarela
Sivan	6-7: Shavout (Uczta Tygodni)
Tammuz	17: Post
Av	9: Post
Elul	

Astronomia w szkołach średnich...

(dokończenie ze str. 41)

Zatem, o ile tylko główny organizator, czyli Mirosław Giersz, zdobędzie na ten cel fundusze, jesienią powinno dojść do skutku kolejne spotkanie. Może się uda spełnić różne życzenia nauczycieli? Jednym z nich było „ujawnienie" pełnej listy uczestników co czynimy od razu:

„Kadra": *Andrzej Branicki* (Białystok), *Juliusz Domański* (Toruń), *Roman Fangor* (PTMA), *Mirosław Giersz* (CAMK), *Magdalena Kożuchowska* (CAMK), *Jerzy Kreiner* (Kraków), *Tomasz Krzyt* (PTMA), *Paweł Moskalik* (CAMK), *Lucjan Newelski* (PTMA), *Agnieszka Pollo* (CAMK), *Andrzej Sołtan* (CAMK), *Janusz Wiland* (PTMA), *Krzysztof Ziołkowski* (CBK).

Nauczyciele pozawarszawscy (alfabetycznie wg miast):

1 LO Białystok *Mirosława Zuber*, (—) *Maria Jakubowska*, ZSB Braniewo *Maria Mordoń*, Frombork *Edith Pilska*, 1 LO Gdańsk *Krystyna Sadłowska*, SP nr 11 Gorzów Wlkp. *Lesław Kumor*, 6 LO Kielce *Joanna Pietruszka*, 1 LO Koszalin *Mirosława Bieńkowska*, 4 LO Kraków *Jolanta Śliwa*, ZS Łasin *Alina Kwasigroch*, 2 LO Olsztyn *Maria Grzegorczyk*, 3 LO Opole *Mariola Bujno-Pomierna*, (—) *Celina Demiańczuk*, ZS Pasłęk *Ewa Skalij*, LO Rydułtowy *Piotr Absalon*, ZSZ Ryglice *Barbara Maciejowska*, 4 LO Toruń *Hanna Osicka*, 14 LO Wrocław *Marek Łaźniak*, (—) *Janusz Skiba*, 1 LO Zielona Góra *Jadwiga Fojt-Jasińska*, (—) *Arleta Hałomacz*, LO Żnin *Tomasz Kanarkowski*, ZSO Żywiec *Marek Gołek*.

Nauczyciele warszawscy:

1 LO *Wiesław Kita*, (—) *Urszula Łucznik*, 1 SLO *Witold Kranas*, 3 LO *Wiesława Pakieła*, 6 LO *Nina Tomaszewska*, 8 LO *Marian Chmielewski*, 23 LO *Alicja Szewczyk*, (—) *Zenobia Mróz*, 26 LO *Aleksandra Godel*, 27 LO *Alicja Cytowicz*, (—) *Barbara Dłużewska*, (—) *Witold Kuran*, (—) *Maria Kuśmierek*, 41 LO *Ewa Plesiewicz*, (—) *Anna Wierzchowska*, 60 LO *Kazimierz Derlacki*, (—) *Piotr Nadratowski*, 64 LO *Wojciech Rupniewski*, 73 LO *Halina Binkiewicz*, 76 LO *Jadwiga Poznańska*, IGUW *Magdalena Wilczyńska–Wołoszyn*.

Jednym z punktów w dyskusji był żenujący poziom programów dla dzieci w telewizji, która to telewizja w minimalnym tylko stopniu nauczycielom pomaga, za to bardzo często szkodzi. Dyskusja zaowocowala listem do prezesa TVP, którego treść była publikowana w poprzednim zeszycie PA.

Magdalena Kożuchowska

Oferta dla szkół i czytelników indywidualnych

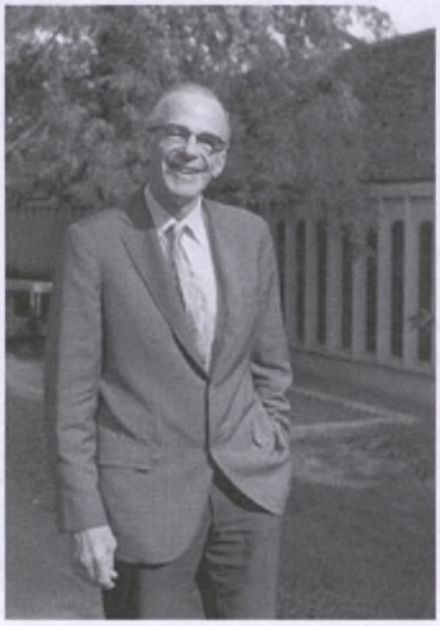
Redakcja posiada jeszcze pewną ilość archiwalnych egzemplarzy od początku istnienia naszego pisma czyli od roku 1953. Posiadane roczniki i pojedyncze zeszyty przekażemy bezpłatnie szkołom, które zgłoszą Redakcji chęć ich otrzymania i zechcą zwrócić koszt przesyłki. Indywidualnym czytelnikom udostępnimy te egzemplarze po symbolicznej cenie i za zwrotem kosztów przesyłki. Zamówienia realizować będziemy w kolejności zgłoszeń, aż do wyczerpania nakładu.

Wszelkich informacji na temat zakupu i prenumeraty „Postępów Astronomii" udziela:

Barbara GERTNER, Centrum Astronomii UMK
ul.Gagarina 11, 87-100 TORUŃ

Tel. (0-56) 65 40 676 wewn. 14; fax: (0-56) 65 40 692 E-mail: basia@astri.uni.torun.pl lub aw@astri.uni.torun.pl

Odchodzą Wielcy Astronomowie...



Lyman SPITZER Jr
1914 – 1997

Nauka straciła w osobie profesora Lymana Spitzera jednego z największych astronomów XX wieku. Był jednym z twórców współczesnej astrofizyki teoretycznej, „ojcem" teleskopu kosmicznego Hubble'a i twórcą słynnego Laboratorium Fizyki Plazmy w Princeton gdzie ciągle przeprowadza się badania jądrowe mające na celu wyjaśnienie procesów jądrowych zachodzących w gwiazdach. Jego wkład do rozwoju astronomii szczególnie zaznaczył się w dziedzinie materii międzygwiazdowej, dynamiki gwiazdowej, fizyce plazmy i w astrofizyce kosmicznej. Już w 1946 roku, na 10 lat przed pierwszym sztucznym satelitą Ziemi, przedstawił projekt budowy i wprowadzenia na orbitę okołoziemską dużego teleskopu, który „pokonałby problem turbulencji atmosferycznej, rozszerzył zakres dostępnego widma elektromagnetycznego i funkcjonował lepiej w warunkach niskiej grawitacji". Później pod Jego kierownictwem zbudowano w Princeton ultrafioletowy teleskop kosmiczny o średnicy 32 cali, który wprowadzony na orbitę w 1972 roku i na cześć Mikołaja Kopernika nazwany „Copernicus" dostarczył m.in. wielu fundamentalnych danych o ultrafioletowych widmach gwiazd i materii międzygwiazdowej. Później Spitzer sterował różnymi etapami rozwoju koncepcji i projektowania teleskopu kosmicznego Hubble'a. Jego monografie „Diffuse Matter in Space" (1968) i „Dynamical Evolution of Globular Clusters" (1987) cieszyły się wielką renomą i były powszechnie uznawane za najlepsze generalne podsumowanie naszej wiedzy w tych dziedzinach astronomii. Uznanie środowisk naukowych i administracji państwowej wyrażało się też w przyznaniu Spitzerowi wielu medali i godności akademickich w tym w 1985 roku Szwedzka Akademia Nauk przyznała Mu Nagrodę Crafoorda, która jest równoważna nagrodzie Nobla w dziedzinach z niej wyłączonych. Lyman Spitzer Jr. urodził się 26 czerwca 1914 roku. Zmarł nagle w wieku 82 lat do końca pracując w swym biurze w Princeton w dniu 31 marca 1997 roku.

Martin SCHWARZSCHILD
1912 – 1997

W dniu 10 kwietnia 1997 roku w Longhorn w Pensylwanii (USA) zakończył życie Wielki Astronom XX wieku Profesor Martin Schwarzschild. Przede wszystkim znany był ze swych pionierskich badań teoretycznych dotyczących budowy wewnętrznej i ewolucji gwiazd oraz struktury Galaktyki. Ale przecierał też szlaki badań spoza atmosfery ziemskiej obserwując powierzchnię Słońca, odległe planety i centrum Galaktyki swymi „teleskopami kosmicznymi" wznoszonymi ponad najgęstsze warstwy atmosfery przy pomocy balonów „Stratoscope I" i „Stratoscope II". Jego monografia „Struktura i ewolucja gwiazd" wydana w 1958 roku stała się podstawowym podręcznikiem teorii budowy wewnętrznej gwiazd dla wielu pokoleń astronomów. Był synem Karla Schwarzschilda, który u progu XX wieku wprowadził do badań astrofizycznych wiele fundamentalnych idei i metod badawczych. I jak Jego Ojciec, Martin był pionierem i twórcą wielu, wspaniale dzisiaj się rozwijających dziedzin astronomii. Był pierwszym, który zrozumiał potęgę nowo rozwijających się elektronicznych maszyn liczących i stosował je do swych badań struktury wewnętrznej gwiazd, czy struktury i dynamiki galaktyk. Razem z Lymanem Spitzerem, następcą H.N.Russella

na stanowisku dyrektora Obserwatorium Uniwersytetu w Princeton, doprowadzili do wielkiego rozkwitu tej placówki, która od kilkudziesięciu lat cieszy się wielką renomą jako ośrodek zarówno teoretycznej, jak i obserwacyjnej astrofizyki. Zainteresowania naukowe i pola badawcze obu panów były wzajemnie uzupełniające się i w tym zapewne miała swe korzenie trwająca przeszło 50 lat ich przyjaźń i współpraca. Lyman Spitzer zmarł 31 marca 97 roku. W 10 dni po śmierci Lymana Spitzera przestało bić serce Martina Schwarzschilda.

Eugene M. SHOEMAKER 1928 – 1997

W dniu 18 lipca 1997 roku zginął w wieku 69 lat w wypadku samochodowym na polnej drodze koło Alice Springs na pustyni Tanami w północnej Australii dr Eugeniusz M. Shoemaker. Wraz z żoną Karoliną wędrował po Australii badając znane kratery meteorytowe i poszukując nowych. Najbardziej znany był społeczności astronomicznej z odkrycia wraz z żoną i kolegą komety Shoemaker-Levy 9, która najpierw została rozerwana siłami grawitacyjnymi Jowisza na przeszło 20 „kawałków", a później, w lipcu 1994 roku, zderzyła się z tą wielką planetą. Geolog z wykształcenia, astronom z zamiłowania, Eugeniusz Shoemaker był profesorem Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego w Pasadenie i twórcą działu „astrogeologia" w Narodowym Instytucie Geologicznym USA we Flagstaff w Arizonie. Badał kratery meteorytowe na Ziemi, Księżycu i innych planetach. Wyznaczył miejsce lądowania na Księżycu statków Apollo i kierował badaniami skorupy naszego satelity. Sam odbył też trening astronauty, jako potencjalny członek jednej z załóg lądujących na Księżycu, ale w ostatniej chwili odkryta u niego choroba Addisona uniemożliwiła Mu tą wycieczkę. Rozwinął program poszukiwania i śledzenia przechodzących w pobliżu Ziemi asteroidów i komet: w 1994 roku na 417 znanych planetoid rodzin Amor, Apollo i Atena, 40 zostało odkrytych przez małżeństwo Shoemakerów, a 13% wszystkich skatalogowanych planetoid zostało odkrytych w programie poszukiwawczym przez niego zorganizowanym. Był uczonym o wielkiej wiedzy w wielu dziedzinach nauki i niezwykle życzliwym Człowiekiem. Całe życie badał efekty zderzeń i katastrof kosmicznych. I los sprawił, że zginął w katastrofie w prawie księżycowym krajobrazie pustyni australijskiej jadąc do kolejnego krateru, świadka katastrofy sprzed tysięcy lat.

Jurgen RAHE 1939 – 1997

W dniu 18 czerwca 1997 roku w spowodowanej huraganem katastrofie zginął w Waszyngtonie profesor Jurgen Rahe. Berlińczyk z pochodzenia, astronom z wykształcenia, Jurgen Rahe przez ostatnie kilka lat był dyrektorem Programu Badań Systemu Planetarnego w NASA w Waszyngtonie. Wcześniej był w Niemczech m.in. dyrektorem Obserwatorium Astronomicznego w Bambergu i profesorem astrofizyki w Uniwersytecie w Erlangen. Jego astrofizyczną specjalnością była fizyka komet. Był jednym z głównych organizatorów ogólnoświatowej kampanii obserwacyjnej komety Halleya i uczestnikiem badań tej komety przy pomocy sondy Giotto. Wcześniej prowadził badania komet przy pomocy rakiet i ultrafioletowego obserwatorium spektroskopowego IUE. Ostatnio odgrywał istotną rolę w realizacji programu Galileo i sond kosmicznych do planetoid.

(*aw*)

Granty KBN

Tradycyjnie już prezentujemy na łamach PA listę grantów przyznanych przez Komitet Badań Naukowych w dziedzinie badań astronomicznych i badań kosmicznych (*red.*).

ASTRONOMIA

Kierownik projektu i tytuł projektu	Kwota (zł)	Czas (mies.)
X KONKURS		
dr hab. Bożena Czerny (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Czy mechanizmy aktywności wewnętrznej galaktyk Seylenta typu 1 i 2 mogą być takie same?*	423 000	36
prof. dr hab. Marek Demiański (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Statystyka wieloskalowych pól gęstości we Wszechświecie.*	7 150	12
prof. dr hab. Marek Demiański (UJ Obserwatorium Astronomiczne) — *Mechanizmy powstawania i ewolucja zaburzeń gęstości oraz fal grawitacyjnych w otwartych modelach wszechświata.*	440 200	36
dr Krzysztof Gęsicki (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Obserwacje i modelowanie linii Ball w otoczkach nadolbrzymów.*	7 000	12
dr hab. Janusz Gil (WSP Zielona Góra Zielonogórskie Centrum Astronomii) — *Obserwacyjne ograniczenie na modele promieniowania pulsarów (promotorski).*	5 000	12
dr hab. Janusz Gil (WSP Zielona Góra Zielonogórskie Centrum Astronomii) — *Modelowanie promieniowania pulsarów (promotorski).*	5 000	12
prof. dr hab. Jerzy Machalski (UJ Obserwatorium Astronomiczne) — *Teoria i obserwacje galaktyk Syferta 1,5-2 (promotorski).*	8 600	12
dr Andrzej Maciejewski (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Poszukiwanie planet wokół gwiazd neutronowych – wszechstronna analiza danych chronometrażowych pulsarów.*	76 900	24
prof. dr hab. Jerzy Madej (UW Obserwatorium Astronomiczne) — *Rozproszenie Comptona w atmosferach gorących gwiazd zwartych.*	61 528	12
mgr Halina Prętka (UAM Obserwatorium Astronomiczne) — *Heliocentryczny ruch komet w polu grawitacyjnym galaktyki.*	5 000	12
dr hab. Marek Sarna (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Ewolucja ciasnych układów podwójnych a faza wspólnej otoczki.*	153 900	35
dr hab. Marek Sikora (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Przyczyny bimodalnego rozkładu aktywności dżetowej kwazarów.*	7 000	12
prof. dr hab. Józef Smak (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Dyski akrecyjne z lepkością konwektywną.*	20 155	12
dr hab. Andrzej Sołtan (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Badanie własności miękkiego rentgenowskiego promieniowania tła.*	92 600	24
dr hab. Barbara Sylwester (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Badanie plazmy termicznej w rozbłyskach słonecznych.*	262 100	36
prof. dr hab. Romuald Tylenda (PAN Warszawa–Toruń Centrum Astronomiczne) — *Badanie ewolucji mgławic planetarnych w oparciu o obserwacje podczerwone.*	234 300	36
XI KONKURS		
dr hab. Irina Dymnikowa (WSP Olsztyn Wydział Matematyczno-Przyrodniczy) — *Badanie dynamicznej zmienności stałej kosmologicznej w modelach wczesnego Wszechświata.*	210 860	36
mgr Dorota Gondek (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Pulsacje i stabilność protogwiazd neutronowych.*	5 000	12
prof. dr hab. Mikołaj Jerzykiewicz (UWr. Wydział Matematyki i Fizyki) — *Fotometryczne badanie obszaru niestabilności pulsacyjnej gwiazd typu widmowego B.*	134 600	36
dr Włodzimierz Kluźniak (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Dynamical instabilites in black hole binares.*	237 300	36
dr hab. Andrzej Królak (PAN Warszawa Instytut Matematyczny) — *Analiza danych z detektorów fal grawitacyjnych.*	86 600	36
mgr Andrzej Maciołek-Niedźwiecki (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Przewodnictwo cieplne w koronacjach dyskowoakrecyjnych.*	5 000	12
Arkadiusz Olech (UW Wydział Fizyki) — *Badanie aktywności rojów meteorów w roku 1996.*	5 000	12
dr hab. Michał Ostrowski (UJ Wydział Matematyki i Fizyki) — *Badanie procesu przyspieszania cząstek promieniowania kosmicznego w falach uderzeniowych i w turbulentnej plaźmie w obecności fal MHD o dużych amplitudach i realistycznych konfiguracji pola magnetycznego.*	210 360	36
dr Bronisław Rudak (PAN Warszawa–Toruń Centrum Astronomiczne) — *Spektroskopia gwiazd neutronowych.*	240 000	36
dr Marek Szydłowski (UJ Wydział Matematyki i Fizyki) — *Chaotyczny ruch cząsteczek próbnych i fotonów w czasoprzestrzeniach.*	35 000	24
dr hab. Edwin Wnuk (UAM Wydział Fizyki) — *Obserwowalne komety międzygwiazdowe — perturbacje galaktyczne i planetarne w ruchu komet jednopojawieniowych (promotorski).*	20 000	26
prof. dr hab. Andrzej Zdziarski (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Promieniowanie rentgenowskie gamma układu podwójnego Cyg X–1 (promotorski).*	7 800	12

BADANIA KOSMICZNE

Kierownik projektu i tytuł projektu	Kwota (zł)	Czas (mies.)
X KONKURS		
dr hab. Waldemar Jakś (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Realizacja skali czasu dla potrzeb badań geodynamicznych (promotorski).*	5 000	12
prof. dr hab. Andrzej Jurewicz (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Badanie gazów i pyłów w otoczeniu Marsa wzdłuż orbity Fobosa. Faza II.*	200 000	36
dr hab. Wiesław Macek (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Analiza nieliniowa i fraktalna wyników pomiarowych sond kosmicznych w magnetosferze i w wietrze słonecznym: fale nieliniowe, chaos.*	179 500	36
dr Paweł Oberc (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Dezintegracja agregatów pyłowych w otoczeniu komety Halley»a.*	57 000	36
dr Daniel Ruciński (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Modelowanie rozkładu cząstek neutralnych i jonów unoszonych w heliosferze z odniesieniem do obserwacji.*	90 000	36
dr hab. Andrzej Sołtan (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Badanie wysokoenergetycznej emisji Galaktyki i obiektów pozagalaktycznych.*	490 000	36
XI KONKURS		
mgr Marek Morawski (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Podsystem elektrycznego wspomagania dla przyrządu EM–X.*	770 000	48
mgr Piotr Orleański (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Opracowanie, wykonywanie bloku elektroniki dla systemu antykoincydencji teleskopu (projekt INTEGRAL, eksperyment IBIS)*	787 000	48
dr Daniel Ruciński (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Modelowanie rozkładu cząstek neutralnych i jonów unoszonych w heliosferze z odniesieniem do obserwacji.*	120 000	36
prof. dr hab. Andrzej Zdziarski (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Udział Polski w misji INTEGRAL (International Gamma-Ray Astrophysical Laboratory).*	200 000	48
prof. dr hab. Andrzej Zdziarski (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Przygotowanie oprogramowania do analizy danych z misji INTEGRAL oraz analiza promieniowania gamma ze źródeł kosmicznych.*	653 700	48

FOTObserwacje

Emocje związane z kometą Hale'a-Bopp'a w zasadzie mamy już za sobą, ale nadal z przyjemnością oglądamy zdjęcia tego — przecież niecodziennego — gościa na niebie. Ponieważ do naszej redakcji dotarło jeszcze ich sporo po ukazaniu się poprzedniego zeszytu PA, jeszcze raz Fotoobserwacje poświęcamy w całości tej właśnie komecie. Przy okazji podajemy parametry zdjęcia zamieszczonego na rozkładówce w poprzednim zeszycie. Pan Pilski używał popularnego w naszym kraju aparatu marki Zenit ze standardowym obiektywem 58 mm. Zdjęcie wykonane zostało na filmie Fuji Super G 800 ASA z czasem ekspozycji 7 minut. (*red.*)

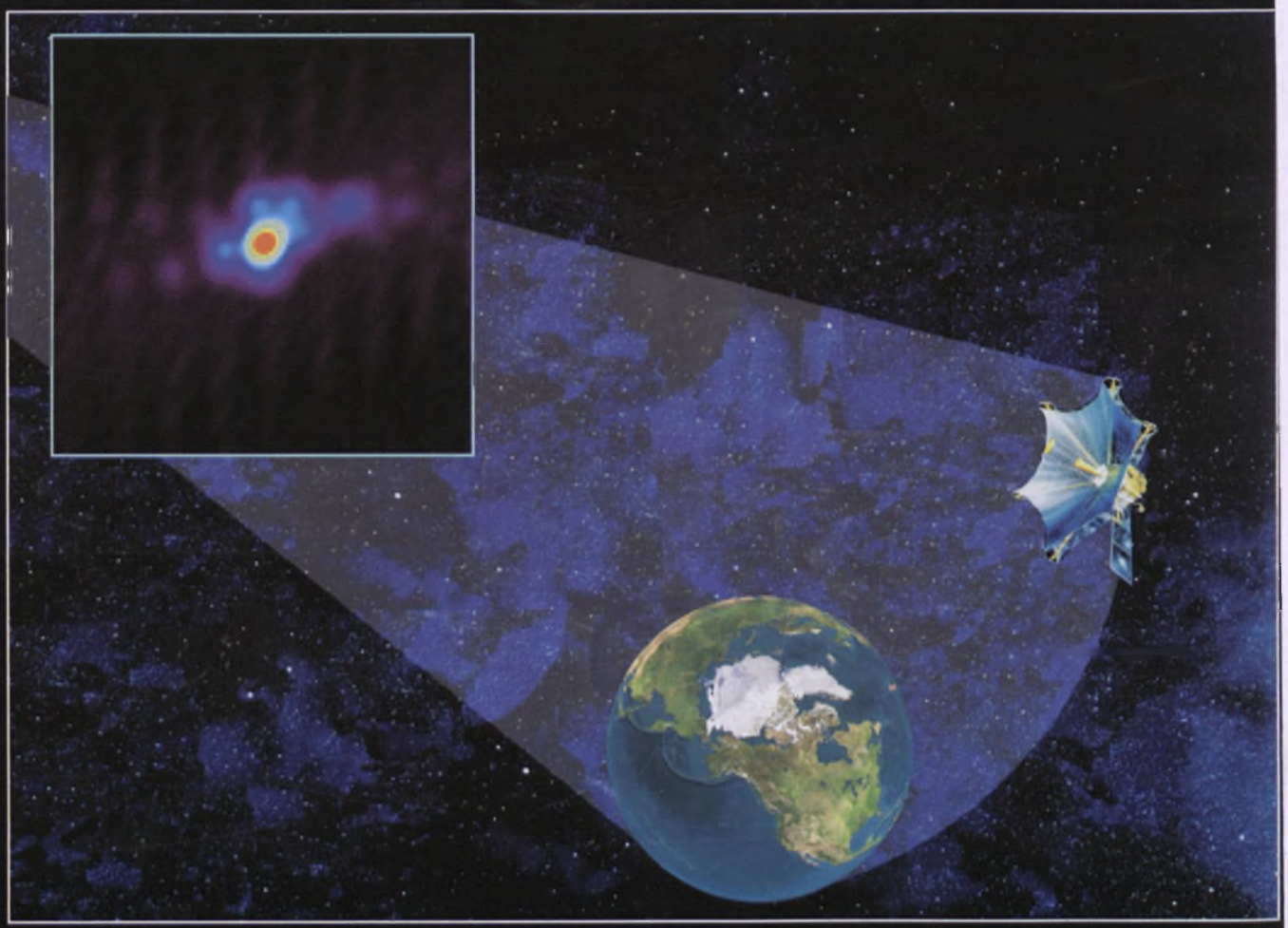
Zdjęcie czarno-białe po lewej stronie wykonał 1 kwietnia br Paweł Buczkowski z Gdańska (f=58 mm, 3200 ASA, t_{exp}=25 s), który stawia dopiero pierwsze kroki w dziedzinie fotografii. Natomiast drugie zdjęcie z obchodzącego swe tysiąclecie Gdańska to dzieło p. Henryka Pietkiewicza (3 kwietnia, f=50 mm, Kodakchrom 200 ASA, t_{exp}=20 s).

Z kolei zdjęcie prezentowane powyżej przywędrowało do nas aż z Trelaze (Francja), a jego autorem jest pan Edward Gac. Zdjęcie to wykonał przy pomocy skonstruowanego przez siebie teleskopu o średnicy zwierciadła 205 mm (Fujicolor 1600 ASA, t=40 s).

Środkowe zdjęcie pochodzi z prywatnego obserwatorium Jerzego Puszcza w Lidzbarku Warm. (7 kwietnia, f=80 mm, Agfachrom 100 ASA, t=7 min).

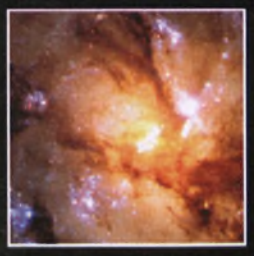
Ostatnie zdjęcia komety wykonali panowie: Leszek Marcinek z Lublina (po lewej —04.04., 300/4, Agfachrome 200 ASA, t=6 min.) oraz Andrzej S. Pilski z Fromborka (po prawej — 25.04., f=58 mm, Fuji Super G 800 ASA, t=5 min.)

Pierwszy obraz uzyskany wirtualnym megateleskopem radiowym



Jest to obraz kwazara PKS 1055+018 znajdującego się w odległości 9 miliardów lat świetlnych od nas. W centrum tego obiektu znajduje się prawdopodobnie bardzo masywna czarna dziura. Obserwacje zostały przeprowadzone w dniu 25 maja 1997 przez radioteleskopy naziemne w Kanadzie, Australii, Południowej Afryce i Japonii oraz kosmiczny radioteleskop HALCA. Synteza danych została dokonana przy pomocy specjalnego superkomputera w Dominijnym Obserwatorium Radioastronomicznym DRAO w Penticton B.C. w Kanadzie. Po prawie dwóch miesiącach pracy, w dniu 29 lipca 1997 roku, obraz ten został po raz pierwszy pokazany publicznie. Kanadzie przypadł zaszczyt inauguracji wirtualnego kosmicznego radioteleskopu VSOP ze względu na jej wkład do realizacji tego projektu, a szczególnie do systemu „opracowania danych". Kierownikiem naukowym VSOP ze strony Kanadyjskiej Agencji Kosmicznej jest dr Terry Hughes. Kanadyjskiemu zespołowi VSOP przewodniczy dr Peter Dewdney z DRAO, a głównym specjalistą od przetwarzania danych jest dr Russ Taylor z Uniwersytetu w Calgary.

Na rozkładówce



Postępy Astronomii

4/97

tom 45

październik – grudzień

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

W numerze:

- *spotkania astronomów*
- *kalibracja odległości do Cefeid*
- *nowa galaktyka w grupie lokalnej*
- *misje nowych sond kosmicznych*

Zderzenia galaktyk

INDEKS ZESZYTÓW PA Z LAT 1991–1997

The Sidereal Times

Kyoto IAU 23

XXIIIrd General Assembly - Kyoto 1997

Editors: *JUN JUGAKU, SETH SHOSTAK, MASAHIDE TAKADA-HIDAI*

No.11: Friday, 29 August

Kioto National Conference Hall. W tym supernowoczesnym budynku, za miastem, wśród wzgórz, nad malowniczym jeziorem, odbywały się obrady XXIII Kongresu Międzynarodowej Unii Astronomicznej. To współczesność Japonii, ...

...a tu przeszłość, świątynia Kinkakuji, tzw. Złoty Pawilon, budowana w roku 1397 — właśnie obchodzi swoje sześćsetne urodziny. (Kopia tej świątyni znajduje się we wrocławskim parku!)

Codzienną gazetą kongresową (o Kongresie MUA w Japonii czytaj na str. 5) był „gwiazdowy" *Times*; obok tytułu symbol wschodzącego Słońca i pięciokondygnacyjna świątynia buddyjska.

***

Moglibyśmy pozazdrościć Japończykom ich osiągnięć na niwie popularyzacji astronomii. W budynku Kongresu oglądać można było dużą mapę Wysp Japońskich, na której zaznaczono obserwatoria wyposażone w teleskopy o średnicy ponad pół metra — jest tam 75 takich placówek! Poniżej jedna z nich, obserwatorium w miasteczku Ayabe, niedaleko Kioto, z teleskopem o średnicy zwierciadła 95 cm.

Drodzy Czytelnicy,

41

Oddajemy w Wasze ręce ostatni, 167. zeszyt kwartalnika „Postępy Astronomii". Nie, nie znikamy z polskiego rynku wydawniczego, ale łączymy się z innym czasopismem astronomicznym, miesięcznikiem „Urania" . I pod tym nowym, ale już 75 lat istniejącym tytułem, będziemy się starali pokazywać Państwu sprawy otaczającego nas Wszechświata.

Założone w roku 1953 „Postępy Astronomii" były początkowo czasopismem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego przybliżającym polskiemu czytelnikowi osiągnięcia światowej astronomii i służyły głównie specjalistom w tej dziedzinie nauki. Trudności wydawnicze lat osiemdziesiątych, transformacja ustrojowa i postępująca za nią łatwość dostępu do fachowej literatury astronomicznej relacjonującej „z pierwszej ręki" dokonujący się postęp w tej dziedzinie badań skłoniły Wydawcę do zmiany profilu pisma. Od roku 1991 „Postępy Astronomii" stały się czasopismem stawiającym sobie za główny cel pokazywanie obiektów i wyjaśnianie zjawisk otaczającego nas świata gwiazd i galaktyk, adresowanym do szerokiego grona Czytelników.
Ta zmiana charakteru pisma zbliżała nas do innego polskiego czasopisma popularyzującego astronomię – do „Uranii". Dlatego wydaje się rzeczą naturalną połączenie wysiłków obu polskich towarzystw astronomicznych dla popularyzacji reprezentowanej przez nie nauki.

Wydawane przez Polskie Towarzystwo Astronomiczne od 1953 roku „Postępy Astronomii" kończą 45 lat swego istnienia. Ukazało się 45 tomów-roczników naszego pisma, które zawierają 166 kwartalnych i jeden dwuroczny zeszyt. Formalnie wydaliśmy, łącznie z bieżącym, 173 numery „Postępów Astronomii", bowiem niektóre zeszyty nosiły podwójną numerację. Jako dodatek do niniejszego zeszytu załączamy spis treści „Postępów Astronomii" za lata 1991-1997. Spis treści wcześniejszych roczników ukazał się w zeszycie 4. tomu 36. z roku 1986 oraz w łączonym tomie 37/38 datowanym na rok 1989/90.

„Urania" jest czasopismem wielce zasłużonym dla polskiego amatorskiego ruchu astronomicznego. Wydawana jest od roku 1922 przez Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii i ostatni jej zeszyt jako „organ PTMA" będzie nosił numer 672. Zgodnie z decyzjami Walnych Zjazdów obu Towarzystw, nowe czasopismo przejmie tytuł URANIA i jej numerację. Będzie też miało podtytuł „Postępy Astronomii". Uformował się już zespół redakcyjny nowej „Uranii". Jego trzon będą stanowili dotychczasowi współpracownicy redakcji obu łączących się czasopism. Liczymy na to, że będziecie Państwo wiernymi czytelnikami i propagatorami nowej URANII. Ośmielamy się nawet mieć nadzieję, że będziecie jej współtwórcami. Prosimy o to bardzo serdecznie.

Obecny zeszyt zawiera szereg ciekawych artykułów i krótszych doniesień o najnowszych rezultatach badań astronomicznych, o odkryciach i misjach kosmicznych, o nowych książkach, o sprawach środowiska astronomów w Polsce i w skali międzynarodowej itp. Najpierw przedstawiamy Międzynarodową Unię Astronomiczną piórem jej wiceprezydenta, profesora Józefa SMAKA, dyrektora Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN. Następnie swymi refleksjami na temat ostatniego, tegorocznego Zjazdu MUA w Kioto, w Japonii, dzieli się z nami jego uczestnik, docent Tadeusz JARZĘBOWSKI z Wrocławia. Satelitarne Obserwatorium Podczerwone (ISO) od dwóch już prawie lat dostarcza astronomom niezwykle interesujących danych o „cieplnym" promieniowaniu chłodnych obiektów otaczającego nas Wszechświata: od najbliższych planet po obszary powstawania nowych gwiazd i być może nowych planet aż do źródeł pozagalaktycznych. Są to rezultaty chyba nie mniej interesujące niż wyniki obserwacji teleskopu kosmicznego Hubble'a w dziedzinie widzialnej. Pisze o nich w ciekawym artykule na str. 8. doktor Ryszard SZCZERBA z Pracowni CAMK-u w Toruniu. Magister Jarosław DYKS, z tej samej pracowni, przybliża nam problem pomiarów odległości do ciał niebieskich na podstawie badania cefeid (str. 14.). Gorąco polecamy ten artykuł, zwłaszcza studentom.

Niektóre fakty z historii polskiej astronomii przypomina nam profesor Jerzy KREINER, Prezes PTA, w krótkim szkicu o krakowskich latach Jana Mergentalera, a historię ostatnich lat „Postępów Astronomii" przedstawiamy na załączonej do tego zeszytu wkładce, w formie plakatu z ostatniego zjazdu PTA w Zielonej Górze.

Doktor Kazimierz SCHILLING z Planetarium Olsztyńskiego prowadzi nas „po krętych ścieżkach nauki" w swym przeglądzie szeregu książek popularnonaukowych, które ostatnio ukazały się w wydawnictwie „Prószyński i S-ka". Nasi czytelnicy doceniają taką pomoc w wyborze pożytecznej literatury i z całą pewnością będziemy ten dział kontynuować w przeobrażonym czasopiśmie.

Z krajowego podwórka astronomicznego pragniemy zwrócić uwagę Państwa na sprawozdanie z XXVIII Zjazdu Referatowego i Walnego Zebrania Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. Na tym zebraniu zmieniono nieco Statut PTA oraz wybrano nowy Zarząd Główny na kadencję 1997-99.

W „Rozmaitościach" znajdziecie Państwo cały szereg doniesień o najnowszych odkryciach i „zdarzeniach" astronomicznych w tym m.in. o najnowszej i zarazem najdalszej podróży międzyplanetarnej, w którą wyruszyła sonda kosmiczna „Cassini".

Na koniec wypada nam pożegnać się z Państwem. Było nam miło służyć Państwu naszą wiedzą i pomagać w poznawaniu i lepszym rozumieniu otaczającego nas świata planet, gwiazd i galaktyk. Niektórzy z nas będą to robić dalej w nowej URANII.

Pragniemy, aby to (formalnie) nowe czasopismo jak najlepiej Państwu służyło w rozumnym odkrywaniu zarówno piękna, jak i tajemnic Kosmosu. Aby było dobrym i mądrym przewodnikiem po świecie ciał niebieskich.

Życzymy Państwu przyjemnej i ciekawej lektury oraz oczekujemy spotkania na łamach nowej URANII.

Radosnej „Gwiazdki" i Do Siego Roku!

UNIWERSYTECKA w Toruniu

Członkowie Redakcji „Postępów Astronomii"
Roman Schreiber Andrzej Sołtan Andrzej Woszczyk

Toruń, w październiku 1997 roku

ZIEMSKIE KRATERY METEORYTOWE

Z zażenowaniem muszę stwierdzić, że krótki artykuł p. A. Marksa (P.A. 3.97) budzi długi szereg zastrzeżeń merytorycznych:

Autor sugeruje emocjonalność artykułu „Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię..." PA 1/97 („przerażające informacje"), podczas gdy emocjonalny i bezkrytyczny jest Jego właśnie artykuł, — Wymienia katalog kraterów meteorytowych T. Gehrelsa, bez podania danych bibliograficznych. Katalog ten podaje tylko 139 pozycji, a więc mniej niż katalog Classena z 1977 roku, zamieszczający 230 kraterów (i grup kraterowych) oraz 78 pseudokraterów (Catalogue of 230 Meteorite Craters, thereto of 78 erroneous objects", Veroffentlichungen der Sternwarte Pulsnitz, nr 12,1977). Spis T. Gehrelsa oparty jest prawdopodobnie na fundamentalnym, choć już mocno nieaktualnym Katalogu Hey'a z 1966 roku (także 139 pozycji) (Catalogue ot Meteorites, London,1966). Jeśli Autor z jakichś względów bardziej ceni Gehrelsa niż Classena, to powinien przynajmniej to wyjaśnić.

Wyznaczanie ilości kraterów na milion km kwadratowych powierzchni kontynentu jest nic nie mówiącą zabawą arytmetyczną i przypomina podział asteroid, wprowadzany przez pewnego autora na: „małe, średnie i duże". Gdyby Autor dzielił powierzchnię kontynentów przez powierzchnię kraterów (a nie przez ich ilość) — otrzymałby inne wyniki, jako że niektóre kratery mają średnice 100–400 km. Tyle, że i ten wynik nic nie mówiłby o charakterze zjawiska, tj. o spadkach masywnych meteorytów. W szczególności nie można wywnioskować z niego, ile jeszcze kraterów zostało do odkrycia. Gdyby nawet kratery rozmieszczane zostały na Ziemi w sposób jednorodny, niczym węzły kosmicznej siatki — jak chce Autor — to i tak w miejscach o dużej erozji zniknęły one raz na zawsze, a więc już się ich nie odkryje. — W istocie powyższe założenie jest zupełnie bezpodstawne, gdyż Ziemia nie jest wcale ostrzeliwana przez ciała kosmiczne w sposób równomierny. Wynika to w sposób prosty z mechaniki nieba. W zależności od parametrów orbity ciała, a w konsekwencji — jego prędkości względem Ziemi, może ono w ogóle nie dolecieć do powierzchni naszej planety, rozpylając się całkowicie w atmosferze (...). Z tego też względu np. na Antarktydzie będzie mniej kraterów, niż w okolicach równikowych. — Wspomniany krater na Antarktydzie nazywa się Ice Cap i ma 240 km średnicy, a odkryto go nieco wcześniej, niż „przed kilku laty", bo wymienia go już w swoim katalogu Classen (1977 rok), a więc dokładnie 20 lat temu. Nie jest on jednak największy na Ziemi, a znajduje się dopiero na piątym miejscu pod względem rozmiarów. — Całkowitym już drobiazgiem jest to, że niezręcznie brzmi owa „terra incognita" w odniesieniu do oceanu(!). (...) Rozmieszczenie kraterów na Ziemi pokazują szkice na s. 145–147 w mojej książce: „Spadające gwiazdy, czyli rzecz o meteorach i meteorytach", KAW,1988. Rozmieszczenie kraterów na Ziemi podaje też książka „Planety, gwiazdy, Wszechświat" T.Z. Dworaka i L. Zajdlera, KAW, Warszawa 1989, s. 85). Od tego czasu znanych kraterów nieco przybyło, ale przecież nie ubyło, jak to chce Autor. Z jednym tylko wypada się zgodzić: że nie znamy wszystkich kraterów na naszej planecie. Co było oczywiste i bez tego artykułu.

dr Honorata Korpikiewicz
Puszczykowo

ERRATA!

Dziękuję za zamieszczenie w nr 3/97 PA aż trzech moich materiałów. Prosiłbym jednak o zamieszczenie następującej erraty: Str. 29 tabela — nagłówek 4-tej kolumny sformułowałem w moim maszynopisie następująco: „1 krater na mln km^2", ale ktoś go poprawił na „Liczba kraterów na mln km^2" i wprowadził w ten sposób rzucający się w oczy rażący błąd. (Spodziewam się, że zauważy to wielu Czytelników i wytknie mnie nieznajomość arytmetyki — ale to nie ja się pomyliłem...)
Str. 40. lewa kolumna, 7. wiersz — wydrukowano „płynów", a winno być „pływów".
Str. 40, środkowa kolumna, 7 wiersz od dołu — wydrukowano „Sichote-Akiński", a powinno być „Sichote-Aliński".
(Te dwie drobne literówki też wyszły nie spod mojego „pióra").

Łączę wyrazy szacunku.
Z poważaniem

A. Marks
Warszawa

***Red.**: To oczywiście wina naszego redakcyjnego chochlika, który szczególnie uaktywnił się w trakcie przygotowywania poprzedniego zeszytu PA do druku (chcieliśmy zdążyć przed Zjazdem PTA).*
Przepraszamy!

CO NA TO EINSTEIN?

Od dnia wczorajszego jestem szczęśliwym posiadaczem najnowszego numeru „PA" (bardzo interesującego zresztą). Podczas lektury artykułu pt. „Kosmiczne kolizje" (strona 24, prawa kolumna, drugi akapit od dołu) udało mi się odnaleźć takie oto ko(s)miczne odkrycie — cytuję:

„Uporządkujmy zatem FAKTY (podkreślenie moje — lj). Gdy wybucha masywna gwiazda, we wszystkich kierunkach są ekspediowane ogromne ilości materii, poruszającej się z prędkościami dochodzącymi do 36 milionów km/s i tworzące potężną falę uderzeniową".

I tylko jedno pytanie zamiast komentarza: Co by na to powiedział kolega Einstein, gdyby mógł przeczytać tak niezwykłą informację?

Pozdrawiam

Jarosław Lubczyński
Łódź

*****

Jestem zaskoczony decyzją (?) o połączeniu z „Uranią". Czy to zgodne ze statutami obu organizacji PTA i PTMA?

Piszę krótko: nie podoba mi się forma decyzji — otrzymaliśmy komunikat, natomiast ja wolę, by mnie, wieloletniego prenumeratora OBU czasopism, ktoś zapytał o zdanie. Nie pytany podaję:

JA CHCĘ MIEĆ MOŻLIWOŚĆ CZYTANIA DWU czasopism, jednego, na bardzo popularnym poziomie (Urania) i drugiego, popularyzującego wiedzę astronomiczną na wyższym poziomie.

Czy decyzje Panów nie będą tak szkodliwe, jak te kiedyś, dawno temu, pewnie ze 20 lat wstecz podjęte przez ówczesne MEN o likwidacji osobnego przedmiotu: ASTRONOMIA? Jest wiele pośrednich sposobów wybrnięcia z ewentualnych kłopotów finansowych (czego się domyślam). Decyzję Panów uważam za pośpieszną rezygnację ze starań i prób wybrnięcia z kłopotów finansowych: to jest bierne oddawanie pola urzędnikom z MEN, którzy bez wątpienia marnują pieniądze — czego dowodem było wystąpienie przedstawiciela MEN podczas ostatniego Zjazdu Fizyków w Katowicach. To są pozorowane próby uzdrawiania oświaty, a Panowie tym próbom się „podkładacie".

Być może nie mam pełnych informacji, być może, że na Zjeździe PTA przedstawiono sytuację? Mimo wszystko, nie podoba mi się forma decyzji, w której nie zapytano nas, czytelników.

Pozostaję z szacunkiem, wyrażając wielkie uznanie za dotychczasowe „Postępy", na które czekam zawsze z wielką niecierpliwością.

Longin Gładyszewski
Kierownik Zakładu Fizyki
Ogólnej i Dydaktyki Fizyki
UMCS w Lublinie

*****

Połączenie *Uranii* i *Postępów Astronomii* uważam za dobry pomysł. Choć mam obawy, czy uda się zrobić ciekawe czasopismo zarówno dla astronomów jak i dla takich jak ja miłośników, bo przecież obecnie dużo miłośników astronomii (wśród tych, których znam) nie kupuje *Uranii* ani *PA*, bo pierwsza za droga, a *PA* za trudne.

Życzę Panu i sobie, by ta sytuacja zmieniła się i nowe czasopismo miało dużo czytelników.

Mam również nadzieję, że wyniki ciekawych obserwacji wykonanych przez amatorów będą miały swoje miejsce w *Uranii-PA*.

Krzysztof Socha,
Kolonia, Baćkowice

***Red.** Dziękujemy wszystkim za wypowiedzi w sprawie łączenia pism. Wszelkie uwagi będą nam pomocne w przygotowaniu nowego pisma, które, jeśli nie wszystkich, to może zadowoli większość dotychczasowych Czytelników obu pism.*

Studienstiftung des Deutchen Volkes, niemiecka organizacja wspierająca studentów, organizuje w dniach 12–26 sierpnia 1998 r. w Krakowie seminarium na temat „**Cząstki elementarne w astrofizyce**". Program będzie dostosowany do poziomu ambitnych studentów III roku fizyki i astronomii. Niezbędnym warunkiem jest biegła znajomość języka angielskiego. Koszty utrzymania polskich studentów będą pokryte przez niemieckich sponsorów. Bardziej szczegółowe informacje można znaleźć pod adresem: http://www.physik.tu-muenchen.de/ krakau98/ Można tez pisać w tej sprawie do polskiego organizatora seminarium dr Lecha Mankiewicza: E-mail lech@sun.camk.edu.pl

Postępy Astronomii

(PL ISSN 0032-5414)

są kwartalnikiem poświęconym popularyzacji astronomii. Pismo jest oficjalnym organem Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, założonego w roku 1923. *POSTĘPY ASTRONOMII* ukazują się od 1953 roku, a od 1991 roku w zmienionej formie i nowej szacie graficznej.

Redaktor naczelny:
Andrzej Woszczyk (CA UMK Toruń)

Kolegium redakcyjne:
Roman Schreiber (CAMK Toruń)
Andrzej Sołtan (CAMK Warszawa)

Opracowanie graficzne i skład komputerowy:
Jacek Drążkowski

Korekta: Bożena Wyrzykowska

Redakcja w Toruniu:
ul. Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. (0-56) 260-18 w. 51
fax (0-56) 621 9381

Poczta elektroniczna (e-mail adress):
aw@astri.uni.torun.pl

Redakcja w Warszawie:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Adres WWW:
http://postepy.camk.edu.pl

Druk:
Zakład Poligraficzno-Wydawniczy *POZKAL*, Inowrocław

Dystrybucja:
Barbara Gertner, UMK,
ul. Chopina 12/18, 87-100 Toruń
tel. (0-56) 65 4 0 676 wewn. 14
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

Numer zamknięto w listopadzie 1997

*** Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca * Przedruk materiałów i zdjęć tylko za zgodą Redakcji * Opinie i poglądy formułowane przez Redakcję i autorów nie reprezentują oficjalnego stanowiska Towarzystwa ***

© POSTĘPY ASTRONOMII 1997

W NUMERZE

4 **Międzynarodowa Unia Astronomiczna**
Józef Smak
Międzynarodowa Unia Astronomiczna została powołana do życia w Brukseli w 1919 roku. Odbywane przez nią co 3 lata kongresy stały się pierwszymi, odbywającymi się regularnie międzynarodowymi konferencjami naukowymi. Pierwszy kongres odbył się w roku 1922, a ostatni, XXIII, miał miejsce w sierpniu 1997 roku w Kioto w Japonii. Pisze o nim poniżej Tadeusz Jarzębowski. Natomiast tym artykule Autor przedstawia rys historyczny, oraz obecną strukturę i rolę MUA.

5 **W kraju Wschodzącego Słońca (zjazd astronomów w Kioto)**
Tadeusz Jarzębowski
Zjazd ten był pierwszym na ziemi japońskiej i drugim (po Indiach) na kontynencie azjatyckim. Kioto, które gościło uczestników, założone zostało w VII wieku pod nazwą Heian. Przez czterysta lat, od roku 794 do 1192, była to stolica cesarstwa — a siedziba cesarza przez jeszcze następne sześć stuleci. Dla Japończyków Kioto jest tym, czym Kraków dla Polaków.

8 **ISO: Satelitarne Obserwatorium Podczerwone**
Ryszard Szczerba
Obserwacje satelitarne w podczerwieni stały się dostępne dla celów pozamilitarnych w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych. Po sukcesach satelity IRAS, kolejnym satelitą do badań w podczerwieni jest ISO, wprowadzony na orbitę w listopadzie 1995 roku. Dostarcza on obecnie całe mnóstwo niezwykle interesujących danych o cieplnym promieniowaniu chłodnych obłoków — od najbliższych planet po obszary powstawania gwiazd i być może nowych planet aż po odległe źródła pozagalaktyczne.

14 **Cefeidy, HST, Hipparcos — mniej szczebli w drabinie odległości**
Jarosław Dyks
Obserwacje cefeid wykonane przez astrometrycznego satelitę Hipparcos oraz teleskop kosmiczny Hubble'a zredukowały liczbę pośrednich kroków w procedurze kalibracji galaktycznej i pozagalaktycznej skali odległości. Wynikły stąd wzrost precyzji, z jaką znane są wielkości fizyczne obiektów astronomicznych, pozwolił uzyskać szereg kapitalnych rezultatów, z których na czoło wysuwa się wyznaczenie wartości stałej Hubble'a oraz wieku najstarszych gromad kulistych z nieosiągalną dotychczas dokładnością.

20 **Antlia — świeża krew Grupy Lokalnej**
Marek Gołębiewski
Nasza najbliższa kosmiczna rodzina, Grupa Lokalna, powiększyła się! Nowy krewny to sferoidalna galaktyka karłowata Antlia. Aby ją znaleźć, astronomowie musieli najpierw przeanalizować zbiór 894 dużych klisz tworzących Przegląd Nieba Południowego, przewertować wiele katalogów i wykonać nowe zdjęcia podejrzanych obszarów nieba.

Teleskop Kosmiczny Hubble'a obserwuje: *Owocne zderzenia galaktyk (25); Czarna dziura w NGC 6251 (25); Tajemnicze pary i gwiazdowi wygnańcy (26)*

rozmaitości: *Pochmurny dzień na Jowiszu (24); Nowe pomiary pierścieni Saturna (24); Astronomia na Antarktydzie (24); Mira znaczy Cudowna (28); Misja sondy Cassini-Huygens (30);*

32 ***Z historii polskiej astronomii:*** *Krakowskie lata Jana Mergentalera ...*

34 ***Recenzje PA:*** *Dalszy ciąg pasjonującej wędrówki po krętych ścieżkach nauki (34); Recenzenckie katastrofy (36)*

38 **W kraju:** *XXX YERAC Kraków '97 (38); XXVIII Zjazd PTA (39); Czas na Marsa (40); Granty KBN (42)*

43 **In memoriam:** *Stefania Grudzińska 1939–1997*

44 ***Kepler czy Tycho?***

44 **Astronomia w szkole:** *Zabawa w głuchy telefon; Edukacja astronomiczna na Kongresie MUA w Kioto*

46 *Felieton: Śladami „Bramy Nieba"*

48 *Indeks tomu 45 „Postępów Astronomii"*

NA OKŁADCE

Obraz zderzających się galaktyk NGC 4038 i NGC 4039 uzyskany teleskopem kosmicznym Hubble'a w dniu 20 stycznia 1996 roku. Leżą one w odległości 63 milionów lat św. od Słońca w gwiazdozbiorze Kruka, na południowym niebie. Naziemny, czarno-biały obraz pokazany po lewej stronie, usprawiedliwia popularną nazwę tej podwójnej galaktyki: Antena. Istna orgia barw widoczna na zdjęciu kolorowym świadczy o bogactwie zjawisk zachodzących w czasie tej wielkiej katastrofy kosmicznej. Odkryto w tej galaktyce m.in. ponad 1000 jasnych (widocznych tu jako niebieskie), nowo utworzonych, gromad gwiazdowych (zob. też wkładkę i komentarz na str. 24)

Materiały dotyczące wyników obserwacji teleskopu kosmicznego Hubble'a uzyskano dzięki uprzejmości doktora F. Duccio Macchetto, przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) w *Space Telescope Science Institute* w Baltimore (USA)

Międzynarodowa Unia Astronomiczna

Józef Smak

W dniach od 18 do 30 sierpnia 1997 roku odbył się w Kioto (Japonia)XXIII Kongres (*General Assembly*) Międzynarodowej Unii Astronomicznej. Na program naukowy tego kongresu złożyły się 3 *Invited Discourses*, 6 sympozjów, 23 *Joint Discussions* oraz 3 sesje specjalne. O najciekawszych wynikach i problemach dyskutowanych podczas kongresu pisze w swoim artykule docent Tadeusz Jarzębowski. Artykuł niniejszy będzie natomiast dotyczył spraw ogólniejszych, związanych z rolą i funkcjonowaniem Unii.

Międzynarodowa Unia Astronomiczna (MUA) została powołana do życia na międzynarodowej konferencji astronomów w Brukseli, w lipcu 1919 roku, a jej pierwszy kongres odbył się w roku 1922. Potrzeby utworzenia takiej organizacji istniały znacznie wcześniej. Dla przykładu, dla realizacji dużych przedsięwzięć, takich jak programy *Selected Areas* i *Carte du Ciel*, tworzone były już od 1887 roku międzynarodowe zespoły lub komisje. Wcześniej też, bo już w 1904 roku, powstała Międzynarodowa Unia Słoneczna (*International Solar Union*), która istniała aż do powołania MUA. Działalność nowej Unii miała być znacznie szersza. Zwoływane co 3 lata kongresy stały się pierwszymi, odbywającymi się regularnie, konferencjami naukowymi; rolę tę pełniły zwłaszcza wchodzące w skład programu każdego kongresu zebrania komisji. Publikowane w sprawozdaniach (*Transactions*) Unii raporty Komisji były tym, czym znacznie później stały się wydawnictwa lub artykuły przeglądowe. Rozwój astronomii sprawił, że na przestrzeni dziesięcioleci zakres i formy działania Unii musiały ulegać rozszerzeniu. Dla przykładu, w latach pięćdziesiątych zainicjowane zostały pierwsze sympozja, a wkrótce potem kolokwia, organizowane i sponsorowane przez Unię.

Na początku lat dziewięćdziesiątych Komitet Wykonawczy Unii, dostrzegając potrzebę zreformowania dotychczasowej struktury Unii i programu jej kongresów, podjął decyzję wprowadzenia dwu zasadniczych zmian. Po pierwsze, zostały utworzone Oddziały (*Divisions*), obejmujące po kilka zbliżonych tematycznie komisji. Takich oddziałów jest obecnie jedenaście, co w porównaniu z liczbą komisji (ponad 50), stwarza możliwości znacznego usprawnienia działalności organizacyjnej, np. w odniesieniu do planowania sympozjów i kolokwiów. Prezydenci oddziałów już teraz uczestniczą w pracach Komitetu Wykonawczego Unii, a przewiduje się, że w najbliższej przyszłości (po wprowadzeniu odpowiednich zmian do Statutu Unii) staną się oni jego członkami (najprawdopodobniej na miejsce dotychczasowych sześciu wiceprezydentów MUA). W tym miejscu wypada wspomnieć, że prezydentem jednego z Oddziałów (*Division* V — *Variable Stars*) na kadencję 1997–2000 został wybrany w Kioto prof. Mikołaj Jerzykiewicz z Wrocławia.

W aspekcie naukowym znacznie ważniejszą była zasadnicza reforma programu kongresów. Pierwotnie w skład kongresu wchodziły dwie sesje *General Assembly*, poświęcone sprawom organizacyjnym (wybory nowych władz Unii, prezydentów komisji, przyjęcie rezolucji, itp) oraz zebrania komisji, w tym *business sessions*, poświęcone sprawom organizacyjnym oraz krótkie *scientific sessions*. Te ostatnie jednak, organizowane najczęściej *ad hoc*, stanowiły tylko nikłą namiastkę sympozjów lub kolokwiów, ustępując im znacznie zarówno rangą jak i poziomem. Pewnym wzbogaceniem części naukowej kongresów były wprowadzone przed laty trzy tzw. *Invited Discourses* oraz kilka jednodniowych *Joint Discussions*. Generalnie jednak powszechnym stawało się odczucie, że ranga naukowa kongresów, a w szczególności ich atrakcyjność dla społeczności naukowej stale maleją. W tej sytuacji oczywistą stała się potrzeba znacznego wzbogacenia programu kongresów w części naukowej. Nowy program ramowy spełnił te oczekiwania przez zwiększenie liczby *Joint Discussions* do 12 oraz wprowadzenie — jako nowości — 6 sympozjów. Program taki, zrealizowany po raz pierwszy w 1994 roku w Hadze, a w trzy lata później także w Kioto, spowodował niewątpliwy wzrost zainteresowania kongresami, zwłaszcza że strony młodych astronomów. Uczestnicy obydwu kongresów przyjęli też z aprobatą tak znaczne wzbogacenie programu naukowego. (Na marginesie można wspomnieć, że idea włączenia sympozjów do programu kongresów nie była nowa. Nadzwyczajny Kongres MUA, zorganizowany w Polsce w 1973 roku z okazji rocznicy kopernikowskiej, składał się właśnie z sześciu sympozjów).

Działalność Unii to nie tylko kongresy. Wprawdzie największe i najkosztowniejsze programy instrumentalne są dziś realizowane przez liczne — znacznie bogatsze — organizacje narodowe i międzynarodowe, takie jak NASA, ESO czy ESA, ale Unia nadal odgrywa znaczącą lub wiodącą rolę w wielu dziedzinach. Działalność Unii to m.in. wspomniane wyżej sympozja i kolokwia MUA, których do dziś odbyło się łącznie ponad 350. To także wspomaganie rozwoju astronomii w krajach uboższych finansowo lub kadrowo. Temu celowi służą stypendia Unii, umożliwiające młodym astronomom udział w sympozjach i kolokwiach, a także wyjazdy stażowe do najlepszych ośrodków (stypendia Unii przeznaczone są na pokrycie kosztów podróży) oraz szkoły młodych astronomów organizowane przez Unię (z reguły w krajach trzeciego świata). To wreszcie także ważna funkcja Unii w zakresie nazewnictwa obiektów astronomicznych (Układ Słoneczny, gwiazdy zmienne, itp), pełniona przez jej komisje i wyspecjalizowane zespoły. Unikalnie ważną funkcją Unii jest jej rola reprezentanta interesów astronomii na arenie międzynarodowej. Tu, dla przykładu, trzeba wspomnieć działalność Komitetu Wykonawczego MUA oraz uchwały kongresów MUA mające na celu ochronę ważnych dla astronomii przedziałów częstości radiowych.

Nie ulega chyba wątpliwości, że Unia jest nadal organizacją potrzebną, a jej działalność dobrze służy rozwojowi astronomii.

Profesor Józef Smak, Dyrektor Centrum Astronomicznego PAN im. Mikołaja Kopernika w Warszawie, pełnił funkcję wiceprezydenta Międzynarodowej Unii Astronomicznej w latach 1991–1997.

W KRAJU WSCHODZĄCEGO SŁOŃCA

Zjazd astronomów w Kioto

Tadeusz Jarzębowski

Uczestników XXIII Międzynarodowej Unii Astronomicznej przyjmowała Japonia, jej była stolica Kioto. Na spotkanie w roku 2000 (7–19 sierpnia) astronomowie zostali zaproszeni do Manchesteru. Jubileuszowy, XXV zjazd, odbędzie się w roku 2003 w Sydney.

Władze Unii w okresie 1997–2000: prezydent — Robert Kraft (Stany Zjednoczone), sekretarz generalny — Johannes Andersen (Dania).

Międzynarodowa Unia Astronomiczna — *International Astronomical Union, Union Astronomique Internationale* — powstała po pierwszej wojnie światowej. Historię — jak też zadania Unii — omawia bliżej w swym artykule profesor Józef Smak, dotychczasowy wiceprezydent tej organizacji.

Zjazdy Unii odbywają się co trzy lata, po raz pierwszy astronomowie zebrali się w Rzymie w roku 1922. Druga wojna światowa spowodowała jedenastoletnią przerwę; pierwszy powojenny zjazd (VII) odbył się w Zurychu w roku 1948. Następstwem zimnej wojny był później odstęp czteroletni, gdyż nie odbył się przewidziany na rok 1951 kongres w Leningradzie (Pułkowie).

Patrząc z naszej, polskiej perspektywy, można by wspomnieć, że XIII zjazd miał miejsce w niedalekiej Pradze; był to rok 1967 (następnego lata stłumiono „praską wiosnę"). W dość nietypowy sposób, bo jachtem z Gdyni, wybrali się polscy astronomowie na kolejny kongres do Brighton. Natomiast w roku 1973, niezależnie od kongresu w Australii, odbył się nadzwyczajny zjazd Unii w Warszawie, Krakowie i Toruniu, zwołany dla uczczenia pięćsetlecia urodzin Mikołaja Kopernika.

Przyjętym, miłym zwyczajem jest wydawanie codziennego pisma kongresowego. Na X zjeździe w Moskwie był to „Cosmos", w Pradze — „Nuncio Sidereo", w Brighton — „The Assembly Times", W Buenos Aires, gdzie niebo zdobi Krzyż Południa — „Cruz del Sur"; na dwóch ostatnich kongresach astronomowie czytali „The Sidereal Times". Czasami można się też było i pośmiać, czytając na przykład, że w trosce o zachowanie japońskiej świętej góry, wulkanu Fudżi, zostanie ona pocięta na dziesięciocentymetrowe sześcianiki i potem poskładana... na Okinawie.

***

Zjazd ten był pierwszym na ziemi japońskiej i drugim (po Indiach) na kontynencie azjatyckim. Kioto, które gościło uczestników, założone zostało w VII wieku pod nazwą Heian. Przez czterysta lat, od roku 794 do 1192, była to stolica cesarstwa — a siedziba cesarza przez jeszcze następne sześć stuleci. Dla Japończyków Kioto jest tym, czym Kraków dla Polaków. Plusem dla Krakowa jest jednak to, że jego centrum zachowało swój średniowieczny wygląd, podczas gdy tu wtargnęła prawie wszędzie nowoczesność. Kioto ominął los pobliskiej Osaki, wojny miasto to nie zaznało; zachowały się bardzo liczne pamiątki przeszłości, zwłaszcza dziesiątki budowanych z drzewa świątyń sinto i buddyjskich, niektóre nawet o ponad tysiącletniej przeszłości.

Międzynarodowa Unia Astronomiczna liczy obecnie około 8 tysięcy członków. Na liście uczestników figurowało ponad dwa tysiące nazwisk. Najliczniejszymi byli Japończycy, ale ich przewaga była wręcz zaskakująca: 750 osób, tj. blisko 40% uczestników. Tu, na wyspach japońskich, astronomia jest bardzo popularną dziedziną wiedzy. Ujawnia się to zwłaszcza w bardzo gęstej sieci przeznaczonych do popularyzacji placówek. Jakże wymownym jest fakt, że spośród tych popularnych obserwatoriów aż 75 wyposażonych jest w teleskopy o średnicy zwierciadła ponad pół metra; w trzech są teleskopy metrowe, w budowie jest placówka z teleskopem półtorametrowym. Zdjęcie jednego z takich obserwatoriów można zobaczyć na drugiej stronie okładki niniejszego zeszytu PA.

W uroczystości otwarcia zjazdu wziął udział cesarz Akihito wraz z małżonką. Jest on najstarszym synem cesarza Hirohito, który zmarł w roku 1989 po 63 latach panowania. Obecny cesarz jest absolwentem tokijskiego uniwersytetu, specjalistą w dziedzinie ichtiologii, posiada sporo publikacji naukowych. W swym wystąpieniu mówił o japońskiej astronomii w przeszłości, o przyjęciu przez Japonię w VI wieku chińskiego kalendarza, a w wieku XVIII heliocentrycznego systemu Kopernika. Obecność cesarza na uroczystości otwarcia zjazdu wywołała jednak pewną kontrowersję, której źródłem jest nie rozliczona wojenna przeszłość jego ojca. Kilkunastu japońskich astronomów przedstawiło na łamach pisma kongresowego swoje *votum separatum*, swój "dissenting view".

***

Wysoki poziom reprezentuje japońska nauka, zwłaszcza nauki ścisłe. Pamiętamy, jak przed dziesięcioma laty detektor neutrin Kamiokande, usytuowany w kopalni cynku Kamioka, wyłapał 11 spośród 10^{58} wyemitowanych przez supernową 1987A (a jednocześnie detektor w Ohio — 8). To były wielkie chwile astrofizyki neutrinowej; japońskiej fizyce poświęcony został cały grudniowy numer '87 miesięcznika „Physics Today".

Prace z dziedziny fizyki kosmicznej zainicjowane zostały na Uniwersytecie w Tokio, gdzie w roku 1964 powstała pierwsza, poświęcona tej tematyce jednostka organizacyjna. W roku 1981 **ISAS** — *The Institute of Space and Astronautical Science* — przekształciła się w międzyuniwersytecką organizację, koordynującą całokształt prac z tej dziedziny. ISAS współpracuje w szczególności z takimi organizacjami jak NASA czy ESA (Europejska Agencja Przestrzeni Kosmicznej).

Pierwszy japoński sztuczny satelita zaczął obiegać naszą planetę w roku 1970. Nazwano go **Ohsumi** — od nazwy półwyspu na Kiusiu, skąd wystartował. Zrealizowali też Japończycy dwie misje ku komecie Halleya. Były to: **Sikagake** (Pionier) i **Suisei** (Kometa).

Jednym z wyróżniających się tematów jest astrofizyka rentgenowska. Na swym koncie Japończycy mają już cztery udane eksperymenty satelitarne. Tym pierwszym — rok 1979 — był **Hakucho** (co po japońsku znaczy łabędź; w gwiazdozbiorze o tej nazwie znajduje się ów znakomity obiekt rentgenowski Cyg X-1). W 1983 wystartowała **Tenma** (Pegaz), w 1987 **Ginga** (Galaktyka). Wreszcie w roku 1993 zaczęła obiegać Ziemię **ASCA** (akronim od *Advanced Satellite for Cosmology and Astrophysics*) z czterema teleskopami rentgenowskimi. Dodajmy, że na rok 2000 zaplanowano start kolejnego, piątego satelity do badań w tym zakresie widma; jego tymczasowe oznaczenie **Astro-E**.

Wielkim sukcesem — co podkreślano w Kioto — był pomyślny start w lutym 1997 roku japońskiego satelity **HALCA** (*Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy*). To już radioastronomia, tematyka interferometrii wielkobazowej VLBI w przestrzeni kosmicznej, określana akronimem VSOP — od *VLBI Space Observatory Program*. Po wejściu na orbitę rozwinęła się tu ośmiometrowa antena w kształcie parasola. Jest to obiegający Ziemię radioteleskop. W apogeum jego odległość od powierzchni planety wynosi 21 250 km. Sprzężenie z naziemnymi antenami stwarza tu bazę o rozmiarach do 30 tysięcy km. Pierwszą stacją naziemną, z którą wykonywano interferometryczne pomiary, był sześćdziesięcioczterometrowy teleskop Usuda. Uzyskano już pierwsze obrazy kwazarów.

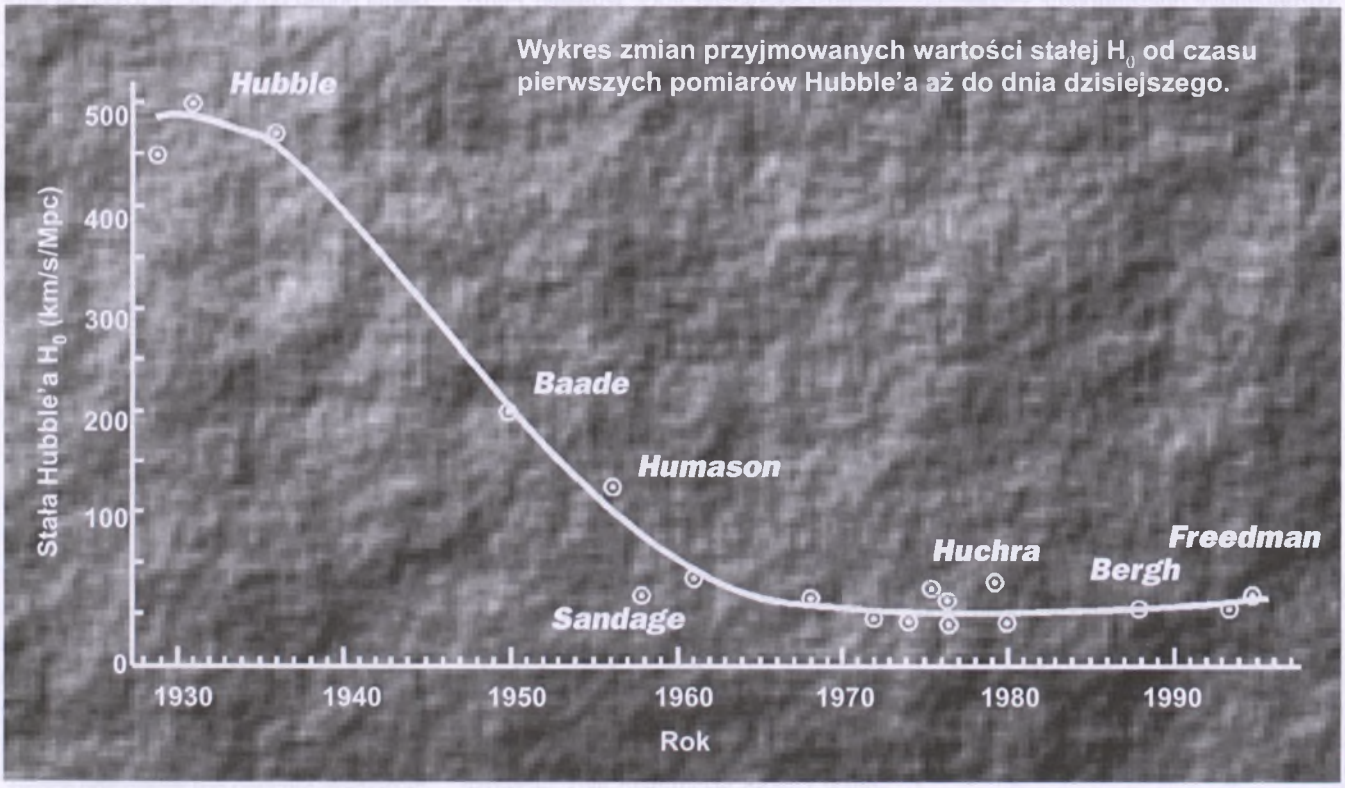
Tematyka prac ISAS zawiera też badania w podczerwieni. W roku 1995 zakończył misję satelita **IRTS**; oryginał tej aparatury — sprowadzony na Ziemię przez wahadłowiec Endeavour — eksponowano w budynku kongresowym. Na rok 2002 zaplanowano start następnego satelity z aparaturą do badań w podczerwieni, **Astro-F**.

Dla całokształtu obrazu dodajmy, że ISAS przewiduje misję do Marsa, **Planet-B** projekt; byłby to sztuczny satelita tej planety. Ma też być wysłany pojazd obiegający Księżyc, **Lunar-A** project. Start obydwu przewidziany na rok przyszły.

***

Program dwutygodniowego zjazdu był bardzo bogaty. W ciągu roboczych 12 dni odbyło się sześć sympozjów, dwadzieścia trzy tzw. *joint discussions*, tj. sesji referatowych poświęconych omawianiu określonej tematyki, trzy sesje specjalne dotyczące wydarzeń najaktualniejszych (misja Galileo, Infrared Space Observatory — ISO, kometa Hale'a-Boppa). O bogactwie programu świadczy choćby fakt, że gruba księga ze streszczeniami referatów i posterów zawierała 1500 pozycji.

Na kongresach Unii odbywają się ponadto wykłady wieczorowe (*invited discourses*); wszyscy uczestnicy mają możność wysłuchania ich. Propozycja wygłoszenia takiego wykładu jest wyróżnieniem, dowodem uznania za prowadzone prace. W Kioto występowali: Robert Williams ze Stanów Zjednoczonych, który mówił o najnowszych odkryciach za pośrednic-



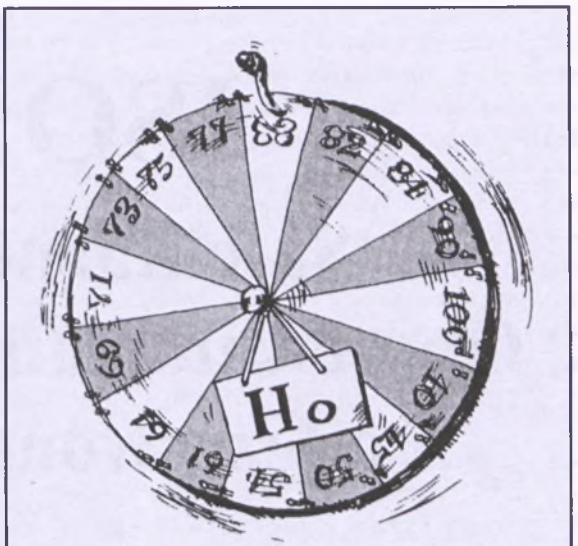
Wykres zmian przyjmowanych wartości stałej H_0 od czasu pierwszych pomiarów Hubble'a aż do dnia dzisiejszego.

twem HST, o obserwacjach fragmentu nieba z setkami galaktyk do 30 magn. (tytuł wykładu *The Hubble Deep Field*), Brian Warner z Rep. Południowej Afryki, który omawiał tematykę gwiazd zmiennych kataklizmowych, wreszcie Igor Nowikow — już nie z Rosji, ale z Danii — poruszał jakże pasjonujący temat czarnych dziur.

Z sympozjów, odbywających się w pierwszym tygodniu, dużym zainteresowaniem cieszyło się 183. pt. *Parametry kosmologiczne i ewolucja Wszechświata*. Przewijał się tu oczywiście problem stałej Hubble'a, H_0. Jak zmieniała się nasza wiedza o tym parametrze od czasów Hubble'a po dzień dzisiejszy, ukazuje wykres. Widać tu pewne stabilizowanie się w ostatnim ćwierćwieczu, dane zdają się oscylować między liczbami 65 a 85. Na ukazanej obok humorystycznej ilustracji jest oczywiście nadmierny pesymizm, niemniej z niepewnością rzędu co najmniej 20% trzeba się tu liczyć. Pani Wendy Freedman z Pasadeny zapowiedziała wszechstronny program badawczy, zwłaszcza z wykorzystaniem HST i wyraziła optymistyczny sąd, że do następnego zjazdu Unii w roku 2000 winniśmy znać wartość H_0 z błędem już może tylko 10%. Posłuchamy w Manchesterze.

W drugim tygodniu jednym z trzech było sympozjum nr 188, *Gorący Wszechświat*. Bardzo aktualnym tematem są tu błyski gamma, GRB. Zarejestrowano ich już ponad 1500, napisano na ich temat około 2500 prac naukowych, ale jak i gdzie powstają? — na to pytanie odpowiedzi stale brakowało. I oto zdaje się, że ta, jakże nieuchwytna, tajemnica astrofizyki wysokich energii znajdzie rozwiązanie, że potwierdzi się tu koncepcja kosmologiczna (*PA* 3/97, *Świat Nauki* 9/97). Referujący donosili o odkrywanych poświatach błysków w innych niż gamma zakresach widma; do Kioto przekazywane były „na gorąco" najświeższe wyniki obserwacji. Przypominało to trochę atmosferę sprzed trzech lat, z Hagi. Tamten zjazd Unii niebiosa uświetniły wybuchem nowej rentgenowskiej w Skorpionie; na salę obrad docierały najświeższe wieści z kosmosu. „Black Hole Binary Candidate Flares!" to główny tytuł pierwszej strony jednego z numerów „The Sidereal Times" z 1994 roku.

Dużo mówiło się na zjeździe o misji **Hipparcos** (akronim od *High Precision Parallax Collecting Satellite*, mający przypominać nazwisko greckiego astronoma Hipparcha). Pomiary realizowane tu były od roku 1989 do 1993. Jak wiadomo, start nie udał się, zamiast na geostacjonarną, satelita wszedł na orbitę mocno eliptyczną. Mimo to misja okazała się wielkim sukcesem, dokładność pomiarów przewyższyła oczekiwania. Uzyskane z Hipparcosa dane stanowią cenny materiał dla szeregu dziedzin astronomii i astrofizyki, w szczególności w kosmologii. Uzyskano np. tą drogą po raz pierwszy bezpośrednie pomiary paralaks cefeid; okazuje się, że znajdowałyby się one o jakie 10% dalej niż przyjmowano dotychczas — są zatem jaśniejsze, a to modyfikuje skalę odległości we Wszechświecie. Jednym z wynikających stąd wniosków byłby ten, iż wiek gwiazd w gromadach kulistych jest niższy, rzędu 11 miliardów lat. Jesteśmy tu być może na drodze do rozwiązania nurtującej ostatnio sprzeczności, iż Wszechświat byłby młodszy od wchodzących w skład jego gwiazd.



Rys. Kazuhiro Matsuyama / The Sidereal Times

Plon pracy misji Hipparcos ukazuje się właśnie drukiem, są to dwa wielotomowe katalogi: Katalog Hipparcos i Katalog Tycho — obydwa w zatwierdzonym właśnie przez Unię nowym, pozagalaktycznym systemie odniesienia, ICRS (*International Celestial Reference System*). Pierwszy zawiera dane o pozycjach, ruchach własnych, paralaksach dla 118 000 gwiazd. Drugi — nazwany tak dla uczczenia Tycho Brahe — zawiera pozostałe, mniej dokładne już dane dla ponad miliona gwiazd. Dokładność danych z Katalogu Hipparcos przewyższa około dziesięciokrotnie możliwości dotychczasowe i jest blisko milion razy większa niż w katalogu gwiazd .... Hipparcha.

Sukces Hipparcosa stał się bodźcem do planowania następnych tego typu misji. Ambitnym projektem Europejskiej Agencji Przestrzeni Kosmicznej jest **GAIA** (*Global Astrometric Interferometer for Astrophysics*). Będą tam najprawdopodobniej cztery interferometry Fizeau o kilkumetrowej bazie. Dokładność nacelowania byłaby rzędu 10 mikrosekund kątowych dla gwiazd 15 magn. W programie obserwacje około 50 milionów gwiazd. Początek misji około roku 2010.

Znacznie wcześniej, już około roku 2003, dzieło Hipparcosa zacznie przypuszczalnie kontynuować mniejszy satelita, **DIVA** (*Double Interferometer for Visual Astrometry*). Dokładność pomiarów pozycji i paralaks byłaby tu rzędu 0.8 ms kątowej; dla ruchów własnych — w połączeniu z danymi Hipparcosa — uzyskałoby się tu ±0.15 ms/rok; dokładność pomiarów fotometrycznych ~ 0.002 magn.

Planowanym szeregu nowym instrumentom poświęcona była odrębna sesja. Nie sposób omawiać to wszystko. Może w zamian tylko anegdotyczny szczegół, przytoczony przez jednego z referujących. Otóż, gdy młody Michael Faraday zaczął pasjonować się nauką o elektryczności, nie miała ona wówczas praktycznego zastosowania, nie było znane jeszcze zjawisko indukcji elektromagnetycznej, nie urodził się jeszcze wynalazca żarówki Edison. Na pytanie jednego z urzędników, po co te badania, komu to się przyda, Faraday miał odpowiedzieć "One day, Sir, you may tax it". I tak się stało.

Do widzenia w Anglii. Po japońsku brzmiałoby to

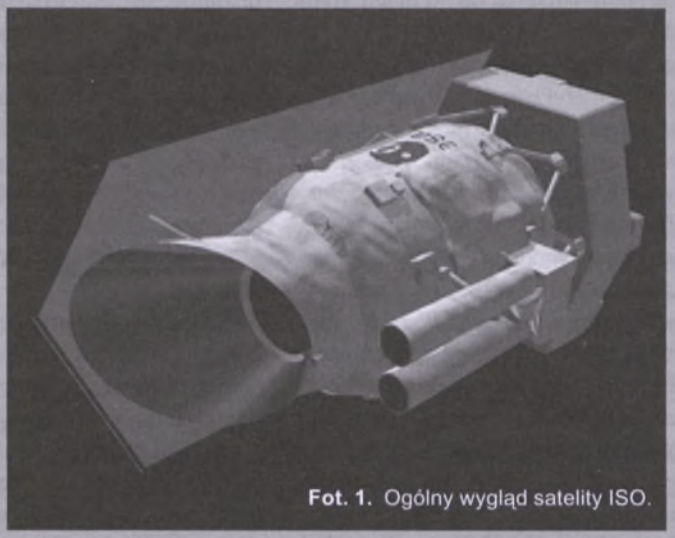
sayonara igirisu-de.

***

Tadeusz Jarzębowski znany jest naszym czytelnikom z lektury Jego artykułów w poprzednich rocznikach Postępów Astronomii. Międzynarodowej społeczności astronomicznej znany jest jako astronom poliglota i cyklista. Na rowerze jeździł do wielu obserwatoriów świata i na liczne konferencje m.in. na XXII Kongres MUA w Hadze w roku 1994. Bardzo żałuje, że nie wybrał się rowerem do Kioto, ale obiecuje, że do Manchesteru, na następny Kongres MUA, pojedzie tylko rowerem.

ISO: Satelitarne Obserwatorium Podczerwone

Ryszard Szczerba



Fot. 1. Ogólny wygląd satelity ISO.

Wstęp — czyli trochę o wszystkim

W moim krótkim szkicu poświęconym spektakularnemu obiektowi przedmgławicowemu jakim jest Mgławica Owalna (R. Szczerba, PA 1/1996) wspomniałem, że możliwość badania obiektów niewidocznych dla Teleskopu Kosmicznego Hubble'a (HST – od *Hubble Space Telescope*) daje, realizowana od końca 1995 roku, misja ISO (*Infrared Space Observatory*). Podzieliłem się wówczas z czytelnikami *Postępów Astronomii* przekonaniem, że program ten przyniesie nie mniej rewelacyjnych odkryć niż słynny HST. Pomimo iż „rewelacyjność" jest raczej niewymierna, wydaje się, że ISO nie zawiódł pokładanych w nim nadziei a analiza ciągle napływających danych pozwala sądzić, że jeszcze wiele nowych odkryć jest przed nami. Ale zacznijmy od początku — od historii, która dla prawdziwego historyka byłaby z całą pewnością teraźniejszością.

Obserwacje satelitarne w podczerwieni stały się dostępne dla celów pozamilitarnych w pierwszej połowie lat osiemdziesiątych. To wówczas po sukcesie pierwszej misji satelitarnej zakończonej w 1984 roku (program IRAS — *InfraRed Astronomical Satelite*) zaczynała nabierać realnych kształtów idea nowego, bardziej precyzyjnego i nowoczesnego Satelitarnego Obserwatorium Podczerwonego — ISO. Innymi słowy, historia ISO liczy niewiele więcej niż 15 lat! No cóż, tempo zmian (np. biorąc pod uwagę tylko rozwój komputerów) we współczesnym świecie może niejednego z nas przyprawić o zawrót głowy.

ISO jest projektem Europejskiej Agencji Kosmicznej ESA (*European Space Agency*), do którego, w końcowej fazie realizacji, dołączyły Stany Zjednoczone i Japonia. Powodem rozszerzenia liczby kooperantów była chęć maksymalnego wykorzystania możliwości obserwacyjnych satelity poprzez otwarcie drugiej stacji naziemnej w Stanach Zjednoczonych. Funkcjonowanie tej stacji zostało sfinansowane ze środków NASA (*National Aeoronautics and Space Administration*) w USA oraz ISAS (*Institute of Space and Astronomical Science*) w Japonii, a sama stacja IPAC (*Infrared Processing and Analysis Center*) znajduje się w Goldstone, Kalifornia. Natomiast europejska stacja do łączności z ISO znajduje się w miejscowości Villafranca (*Villafranca Satellite Tracking Station*) pod Madrytem. Jak większość obytych z astronomią czytelników zdaje sobie sprawę, jest to ośrodek wykorzystywany uprzednio do łączności z niezapomnianym satelitą IUE (*International Ultraviolet Explorer*).

Budowę satelity ISO rozpoczęto w 1988 roku w Europejskim Centrum Badań i Technologii Kosmicznych (ESTEC — od *European Space Research and Technology Center*) w Noordwijk w Holandii. Centrum to przygotowuje i nadzoruje realizację programów badawczych ESA. Po fazie testów naziemnych ISO został wyniesiony na orbitę w nocy z 16 na 17 listopada 1995 roku przez rakietę Ariane 4 z kosmodromu Kourou w Gujanie Francuskiej i od lutego 1996 roku, po sprawdzeniu poprawności działania wszystkich systemów, prowadzi codziennie „rutynowe" obserwacje. Satelita o łącznej długości 5.3 m, szerokości 2.3 m (zobacz zdjęcie 1) i wadze początkowej około 2500 kg znajduje się na 24-godzinnej orbicie eliptycznej z apogeum bliskim 70000 km i perygeum około 1000 km. Orbita została zaplanowana w taki sposób, że obserwatorium jest niewidoczne tylko przez 30 min w ciągu pełnego obiegu wokół Ziemi. Niestety, obserwacje mogą być efektywnie prowadzone tylko przez około 16 godzin. Pozostałe 8 godzin jest stracone ze względu na przejście satelity przez pasy radiacyjne i efekty wywołane zaabsorbowanym w tym czasie promieniowaniem.

Zakres długości fal, na których mogą obserwować instrumenty obserwatorium podczerwonego, rozciąga się od 2.5 do 240 μm (pamiętajmy, że jeden μm to tysiączna część milimetra). Instrumenty te nie mogłyby pracować w teleskopach naziemnych, z jednej strony ze względu na nieprzepuszczalność atmosfery (absorpcja przez zawartą w atmosferze ziemskiej wodę i dwutlenek węgla), a z drugiej na ogromny wkład promieniowania termicznego otaczających nas przedmiotów. Fale o takiej długości nie są rejestrowane przez nasze oczy, natomiast nasza skóra może wyczuwać to promieniowanie jako „ciepło". Istnieje bardzo prosta zależność wiążąca długość fali, na której przypada maksimum rozkładu energii z temperaturą emitującego obiektu. Mianowicie: temperatura (w K) razy długość fali (w μm) ≈ 3000. Tak więc obiekt o temperaturze 300 K (około +27°C) będzie emitował z maksimum na 10 μm, podczas gdy ciało o tempera-

turze 30 K (–243°C) będzie „świecić" głównie na 100 μm. Z tych prostych oszacowań widać, że ISO obserwuje głównie bardzo chłodne obszary otaczającego nas Wszechświata. Są to zarówno bliskie nam obiekty (planety, komety, asteroidy) jak też i bardziej odległe (obszary powstawania nowych gwiazd i być może nowych układów planetarnych, gwiazdy kończące swoją ewolucję), ale również źródła pozagalaktyczne.

Aby instrumenty teleskopu ISO mogły pracować efektywnie, muszą być chłodzone do ekstremalnie niskich temperatur od 2 do 8K, a co więcej, odseparowane od obudowy teleskopu, która jest znacznie cieplejsza (osłona przeciwsłoneczna z umieszczonymi na jej powierzchni bateriami słonecznymi ma temperaturę około –150°C, tj. około 123 K!). Utrzymanie tak niskich temperatur przez okres całej misji wymagało zabrania na pokład satelity dużej ilości (około 2300 litrów) nadciekłego helu, który bezpośrednio lub też w procesie powolnego parowania chłodzi instrumenty wewnątrz satelity do jednych z najniższych we Wszechświecie temperatur. Warto w tym momencie wspomnieć również o strachu, jaki przeżyli astronomowie, gdy „nieopatrznie" teleskop spojrzał przez chwilę (około 2 minuty!) na ... Ziemię. Dziwnym zbiegiem okoliczności fakt ten miał miejsce podczas konferencji poświęconej omówieniu pierwszych wyników uzyskanych przy pomocy ISO. Instrumenty nagrzały się wówczas do niebezpiecznie wysokich temperatur (od 10 do 40 K!) i ponowne ich schłodzenie zajęło kilkadziesiąt godzin. A co więcej, nie było oczywiste, czy w wyniku „przegrzania" nie nastąpiło trwałe uszkodzenie ważnych dla dalszej pracy elementów. Na szczęście skończyło się na strachu — wszystkie instrumenty we wszystkich modach pracy zadziałały poprawnie. Wspomniane wyżej 2300 litrów nadciekłego helu miało wystarczyć początkowo na około 1.5 roku pracy. Po przeprowadzeniu pierwszych pomiarów zużycia helu okazało się, że satelita będzie „żył" do końca 1997 roku, a analiza przeprowadzona w czerwcu 1997 roku „wydłużyła" czas życia satelity do końca kwietnia 1998.

Instrumenty na pokładzie ISO i ich możliwości obserwacyjne

Po tak obszernym wstępie warto poświęcić trochę miejsca opisowi instrumentów znajdujących się na tym satelicie. ISO składa się z teleskopu wyposażonego w 60-centymetrowe zwierciadło pierwotne oraz z czterech instrumentów naukowych z maksymalnym polem widzenia 3 minut łuku. Przyjrzyjmy się bliżej możliwościom tych instrumentów:

1. **CAM** (od *camera*) został zbudowany w Sacley we Francji. Jest to kamera składająca się z dwóch kanałów (krótkofalowego: od 2.5 do 5.5 μm i długofalowego: od 5.5 do 18 μm) umożliwiająca tworzenie map obiektów przy pomocy 11 lub 10 filtrów stałych (w zależności od kanału – zobacz Tabela 1) i 3 filtrów o zmiennych parametrach (zobacz Tabela 2 gdzie FWHM — *Full Width at Half Maksimum* — oznacza szerokość całkowitą w połowie maksimum). Detektory dla każdego z kanałów składają się z 32×32 pikseli, a zestaw 4 soczewek umożliwia obserwacje ze zmiennym polem widzenia pojedynczego piksela — 1.5, 3, 6 i 12 sekund łuku. Dodatkowo, promieniowanie docierające do detektorów CAM, może przechodzić przez jedną z trzech siatek polaryzacyjnych, umożliwiając tym samym tworzenie map obiektów w świetle spolaryzowanym. Parametry CAM pozwalają na jego zastosowanie przy badaniu bardzo szerokiej gamy problemów astrofizycznych. Przykładowe zastosowania to badanie struktury komet, materii międzygwiazdowej i obszarów powstawania gwiazd oraz mgławic planetarnych, budowy galaktyk a także ich ewolucji poprzez obrazy tych obiektów w liniach molekularnych i w zakresach spektralnych zdominowanych emisją pyłu (filtry zostały tak dobrane, aby obejmowały ważne przejścia różnych molekuł i cechy spektralne typowe dla różnych rodzajów pyłu).

2. **PHT** (od *photometer*) został skonstruowany przez naukowców w Heidelbergu w Niemczech. Jest to fotopolarymetr umożliwiający obserwacje w w zakresie od 2.5 do 240 μm i złożony w rzeczy samej z trzech podinstrumentów:

(a) **PHT-P**: jest to wielopasmowy, wieloaperturowy fotometr z trzema niezależnymi detektorami (**P1**, **P2**, **P3**) dającymi możliwość obserwacji w zakresie od około 3 do 120 μm (Patrz tabela 3, w której podano parametry filtrów). Dostępne apertury (w większości kołowe) to: 5.0, 7.6, 10, 13.8, 18, 20×32, 23, 52, 79, 99, 120, 127×127 oraz 180″. Tu również dostępne są 3 siatki polaryzacyjne i właściwie każda kombinacja kąta polaryzacji, apertury i filtru jest dozwolona.

Tabela 1. Stałe filtry CAM dla kanału krótko- i długofalowego

Nazwa filtru	λ centralne [μm]	Δλ	λ/Δλ [μm]	Nazwa filtru	λ centralne [μm]	Δλ [μm]	λ/Δλ
SW1	3.57	3.05–4.10	3	LW1	4.50	4.00–5.00	5
SW2	3.30	3.20–3.40	17	LW2	6.75	5.00–8.50	2
SW3	4.30	4.00–5.00	5	LW3	15.00	12.0–18.0	3
SW4	2.77	2.50–3.05	5.5	LW4	6.00	5.50–6.50	6
SW5	—	3.00–5.50	2	LW5	6.75	6.50–7.00	24
SW6	3.72	3.45–4.00	7	LW6	7.75	7.00–8.50	5
SW7	3.05	2.90–3.20	10	LW7	9.62	8.50–10.7	4
SW8	4.06	–	33	LW8	11.4	10.7–12.0	9
SW9	3.88	3.76–4.00	20	LW9	15.0	14.0–16.0	8
SW10	4.70	4.53–4.88	13	LW10	11.5	8.00–15.0	2
SW11	4.26	4.16–4.37	20				

Tabela 2. Zakres parametrów dla filtrów zmiennych CAM

Nazwa filtru	$\lambda_{min} \rightarrow \lambda_{max}$ [μm]	FWHM [μm]	R = λ/Δλ
CVF SW	2.273→5.122	0.0954→0.125	41
CVF1 LW	4.956→9.583	0.062→0.0483	37→43
CVF2 LW	9.003→16.52	0.258→0.336	35→51

Pamiętać należy jednak, że wybór apertur znacznie mniejszych od rozmiaru pierwszego krążka dyfrakcyjnego nie jest zalecany (patrz Tabela 3).

(b) **PHT-C** jest to kamera do obserwacji w dalekiej podczerwieni składająca się z 2 detektorów: **C100** (3×3 piksele) i **C200** (2×2 piksele). Pole widzenia pojedynczego piksela wynosi 43.5×43.5″ dla detektora C100 i 89.4×89.4″ dla C200. W Tabeli 4. zebrano podstawowe informacje o filtrach używanych z tymi detektorami. Podobnie jak w przypadku PHT-P, trzy polaryzatory mogą być użyte do otrzymania obrazów w świetle spolaryzowanym.

(c) **PHT-S** Ten podinstrument składa się z 2 spektrometrów małej rozdzielczości $\lambda/\Delta\lambda < 100$), które mierzą spektra w zakresie od 2.5–5 oraz 6–12 μm przy użyciu dwóch 64-elementowych detektorów. Apertura wejściowa ma rozmiar 24×24″

Tabela 3. Parametry filtrów używanych w PHT-P

Nazwa	λ centralne [μm]	Δλ [μm]	średnica krążka dyfrakcyjnego [″]	minimalna apertura sugerowana
P1				
3.29	3.30	0.22	2.8	5
3.6	3.59	1.00	3.0	5
4.85	4.86	1.55	4.1	5
7.3	7.43	3.38	6.2	7.6
7.7	7.64	0.84	6.4	7.6
10.	9.99	1.86	8.4	10
11.3	11.36	0.77	9.5	10
11.5	11.89	6.51	10.0	10
12.8	12.83	62.33	10.8	10
16.	15.14	2.86	12.7	13.8
P2				
20.	21.08	9.43	17.7	18
25.	23.81	9.18	20.0	23
P3				
60.	60.06	25.48	50.3	52
100.	101.63	40.15	83.9	79

3. **SWS** (*Short Wavelength Spectrometr*) został skonstruowany przez zespół w Groningen w Holandii. Jest to spektrometr krótkofalowy umożliwiający obserwacje ze średnią i dużą rozdzielczością ($R = \lambda/\Delta\lambda = 1000–20000$) w zakresie od 2.38–45.2 μm. Poprzez wprowadzenie filtrów Febry-Pérot można osiągnąć zdolność rozdzielczą rzędu 30000 w zakresie od 15 do 35 μm. Te długości fal są bardzo istotne dla celów naukowych, albowiem duża ilość linii atomowych, molekularnych i pasm emisyjnych pyłu występuje właśnie w tym zakresie widma. Ich pomiar daje możliwość badania warunków chemicznych i fizycznych w różnorodnych obiektach i obszarach kosmosu „ukrytych" dla zakresu widzialnego. SWS pozwala również na badanie obiektów pozagalaktycznych ze względu na wysoką czułość.

4. **LWS** (*Long Wavelength Spectrometr*) powstał w Queen Mary and Westfield College w Londynie. Jest to spektrometr długofalowy umożliwiający obserwacje w zakresie od 43 do 196.9 μm ze średnią ($R = 150–200$) lub wysoką zdolnością rozdzielczą ($R = 6800–9700$) uzyskiwaną przy pomocy interferometru Fabry-Pérot. Instrument ten pozwala badać dotychczas prawie nieznany zakres widma. Główne cele postawione przed tym urządzeniem to detekcja, identyfikacja oraz zbadanie profili i wyznaczenie natężeń nowych cech spektralnych pyłu, linii atomowych i molekularnych.

Tabela 4. Parametry filtrów używanych w PHT-P

Nazwa	λ centralne [μm]	Δλ [μm]	średnica krążka dyfrakcyjnego [″]
C100			
50	67.3	57.8	41.9
60	60.8	23.9	50.3
70	80.1	49.5	58.7
90	95.1	51.4	75.5
100	103.5	43.6	83.9
105	107.0	37.4	88.1
C200			
120	119.0	43.6	101
135	161.0	82.5	113
160	174.0	89.4	134
180	185.5	71.7	151
200	204.6	67.3	168

Reasumując przegląd instrumentów warto zauważyć, że podstawowym celem postawionym podczas konstrukcji tego satelity było rozszerzenie badań, jakie zapoczątkował przegląd dokonany przez satelitę IRAS. W porównaniu z IRAS ISO daje możliwość obserwacji w znacznie szerszym zakresie długości fal, z większą rozdzielczością przestrzenną i większą czułością, posiada bardziej zawansowane instrumenty (w szczególności do spektroskopii), pozwala na prawie jednoczesne obserwacje w zakresie od bliskiej do dalekiej podczerwieni, obserwacje ze zmienną aperturą, a ponadto ma znacznie dłuższy czas życia. W następnym rozdziale przyjrzymy się bliżej, czego już „dokonały" te instrumenty. Warto podkreślić jednak, że większość zebranych danych nie została jeszcze opublikowana i że z całą pewnością będziemy świadkami jeszcze niejednego zaskakującego odkrycia.

Możliwość wykonania obserwacji za pomocą instrumentów zgromadzonych na pokładzie ISO w zasadzie była przewidziana tylko dla krajów członkowskich ESA, USA i Japonii. Jednak projekty obserwacyjne mogli składać wszyscy zainteresowani astronomowie. Tak naprawdę, nie cały czas obserwacyjny był dostępny dla „przeciętnych badaczy kosmosu" (to analogia do przeciętnych zjadaczy chleba). Mianowicie, część dostępnego czasu została zagwarantowana dla zespołów budujących instrumenty i dla krajów zaangażowanych finansowo w projekt ISO i jego podział został rozstrzygnięty w ramach konkursu zamkniętego. Pierwszy konkurs otwarty na projekty obserwacyjne dla szerokiej społeczności astronomicznej został rozstrzygnięty na przełomie 1994 i 1995 roku. Z dużym zadowoleniem przyjęliśmy wiadomość, że projekt zaproponowany przez nasz toruński zespół (Górny, Szczerba, Tylenda) został zaakceptowany do realizacji. Projekt nasz dotyczył badania stosunkowo nielicznych,

ale niezwykle spektakularnych, mgławic planetarnych z gwiazdami centralnymi o silnym wietrze gwiazdowym (tzw. gwiazdy centralne typu Wolfa-Rayeta [WR]). Po stwierdzeniu, że ISO będzie „żył" dłużej (jest to wynikiem głównie mniejszego o około 17% niż oczekiwano zużycia nadciekłego helu w przestrzeni kosmicznej) ogłoszono drugi konkurs otwarty i ... tu autor tego artykułu musi nieskromnie przyznać, że ... aż 4 projekty jego autorstwa lub współautorstwa zostały zakwalifikowane do realizacji. Jeden z tych projektów zaproponowany przez naszą grupę toruńską ma za zadanie poszukiwanie obiektów przedmgławicowych, które mają szansę stać się jądrami mgławic planetarnych typu [WR]. Pozostałe trzy projekty powstały we współpracy z naukowcami z Niemiec, Francji i Kanady.

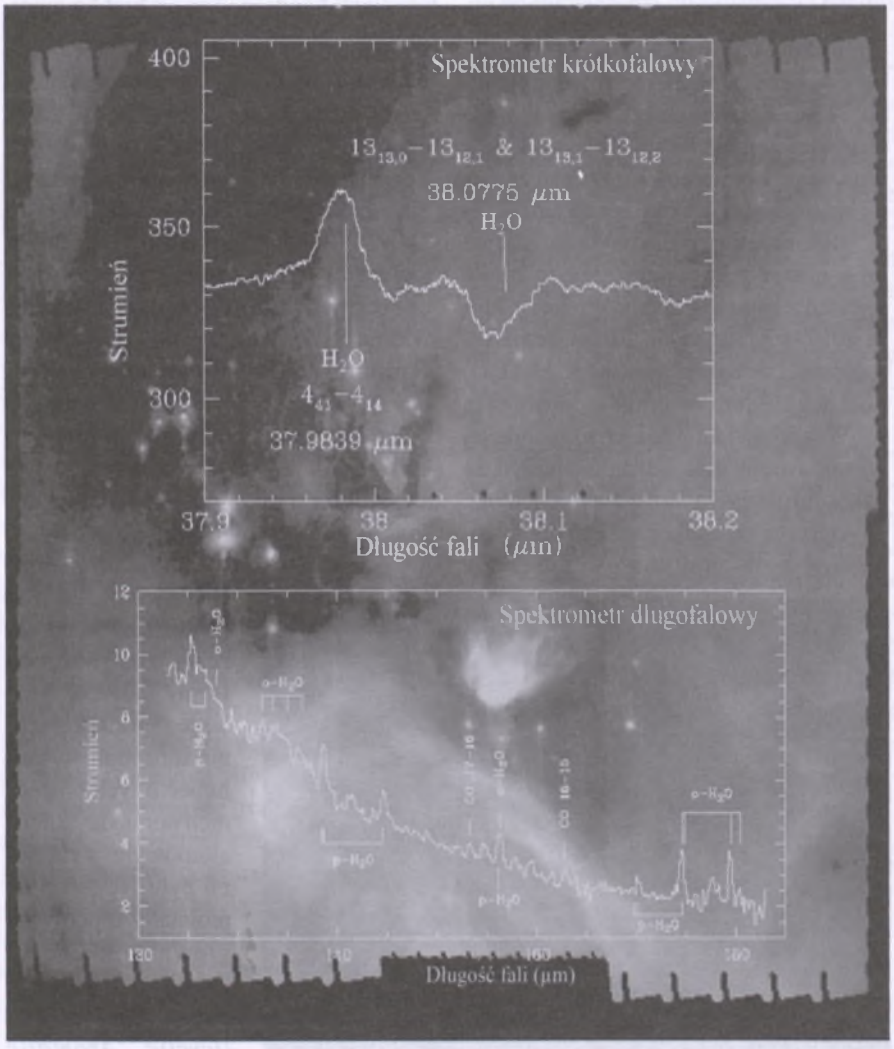
Na zakończenie tego rozdziału parę słów o ogólnej organizacji obserwacji i losie zebranych danych astronomicznych. Obserwacje do wykonania za pomocą instrumentów umieszczonych na satelicie ISO planowane są na cały dzień z wyprzedzeniem około trzytygodniowym. Przygotowany optymalny ciąg komend i czasów ich wykonania jest weryfikowany ze względu na ograniczenia wynikające z unikania „gorących" źródeł (jak wspomniano wyżej, takim niefortunnym źródłem była już Ziemia), a następnie przesyłany w czasie rzeczywistym z Villafranca lub Goldstone do satelity. Na pokładzie ISO nie zaplanowano nośników dużej ilości danych i z tego powodu obserwacje przesyłane i gromadzone są na Ziemi. Dane są wstępnie redukowane i gromadzone w kilku archiwach, skąd są następnie rozsyłane do głównych obserwatorów na dyskach CD. W ciągu pierwszego roku, licząc od momentu, gdy proces redukcji i kalibracji zostanie uznany za ostateczny, dane obserwacyjne są dostępne wyłącznie dla głównego obserwatora. Po upływie jednorocznego okresu karencji dane będą dostępne dla ogółu astronomów. Warto jednak podkreślić, że jak dotychczas brak ostatecznej wersji programów redukcyjnych uniemożliwia włączenie zegarów mierzących czas niedostępności danych nawet dla obserwacji zrobionych na początku 1996 roku. Astronomom, którzy nie mieli własnych obserwacji na ISO lub też chcącym tylko skorzystać z danych uzyskanych przez innych, przyjdzie więc jeszcze trochę poczekać na ich „uwolnienie".

Pierwsze wyniki pracy satelity ISO

W maju 1996 roku w siedzibie Europejskiego Centrum Badań i Technologii Kosmicznych w Noordwijk w Holandii miała miejsce konferencja poświęcona omówieniu pierwszych wyników uzyskanych przy pomocy ISO. Udział w tej konferencji wzięło ponad 250 naukowców z całego świata, którzy przedstawili w ciągu 3 dni najważniejsze wyniki uzyskane dotychczas dzięki obserwacjom ISO. Wygłoszone referaty zostały opublikowane w specjalnym wydaniu *Astronomy & Astrophysics* (listopad 1996 rok) w formie 91 listów.

Omówienie odkryć dokonanych przy pomocy ISO rozpocznijmy od omówienia dwóch osiągnięć o znaczeniu szczególnym. Pierwszym jest detekcja przy pomocy SWS, nigdy dotąd nie obserwowanego, przejścia rotacyjnego na długości fali 28 μm w molekule H_2. Linia ta była zbyt słaba, aby zostać zarejestrowaną przy pomocy innych pozaziemskich obserwacji. Słabość tej linii wynika z zasad mechaniki kwantowej mówiących, że symetryczna molekuła (a taką jest H_2) emituje promieniowanie kwadrupolowe, które jest o rząd wielkości słabsze w porównaniu z emisją dipolową molekuł asymetrycznych (np. najczęściej spotykanego w kosmosie tlenku węgla — CO — czy jak kto woli czadu!). Detekcja przejścia na 28 μm daje możliwość lepszego oszacowanie zawartości molekularnego wodoru w różnych obszarach Wszechświata.

Drugim spektakularnym wynikiem jest detekcja emisji termicznej wody i to zarówno przez SWS, jak też i LWS (zobacz zdjęcie 2). Woda, bez której nie byłoby nas i życia na Ziemi, powstaje wokół gwiazd z połączenia pierwotnego wodoru z wytworzonym w wyniku reakcji jądrowych tlenem. Zawartość wody w atmosferze ziemskiej nie pozwalała dotychczas na powszechne obserwacje

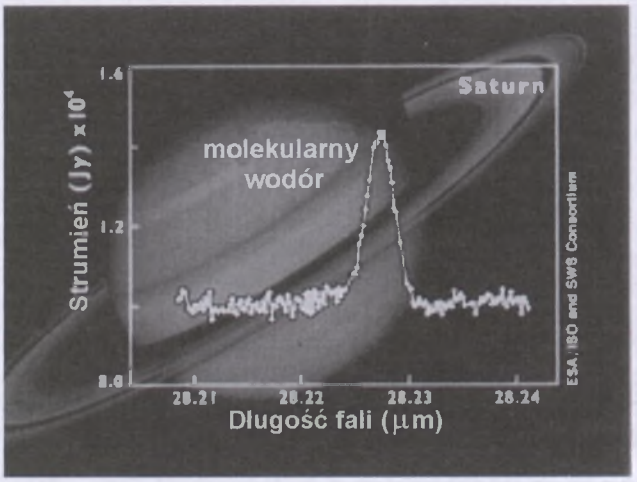


Fot. 2. Widma SWS i LWS nałożone na zdjęcie obszaru, w którym powstają gwiazdy (ρ Ophiuchi) otrzymane z pomocą kamery ISOCAM. W widmach widać wiele przejść molekularnych wody.

jej linii. Emisja termiczna wody została zaobserwowana przez ISO z otoczek wokół zaawansowanych ewolucyjnie gwiazd tlenowych, z obiektów protogwiazdowych, z mgławic planetarnych, z obłoków ciemnej materii (tu widać charakterystyczne cechy spektralne wody w absorpcji) jak i z wielu innych obszarów zagęszczonych w wyniku przejścia fal uderzeniowych. Powszechnie przypuszcza się, że woda jest najważniejszym czynnikiem odpowiedzialnym za chłodzenie obłoków, z których powstają gwiazdy. Bez wody niemożliwe byłoby odprowadzenie nagromadzonego ciepła i gwiazdy nie mogłyby „zapadać się" pod wpływem grawitacji. Obserwacje z ISO pozwolą na zbadanie, w jakim stopniu nasze teoretyczne przypuszczenia są słuszne. Oszacowanie zawartości wody w ośrodku międzygwiazdowym pozwoli również lepiej ocenić stosunek węgla do tlenu — dotychczasowe szacunki były obarczone dużym błędem ze względu na nieznaną zawartość tlenu „ukrytego" w wodzie. Wodę, o temperaturze około 0 stopni Celsjusza, znaleziono również w atmosferach planet: Saturna, Urana i Neptuna. Jako że planety te są zbyt odległe, aby uwolnić wodę pod wpływem promieniowania słonecznego, powstaje zagadka, skąd się ona tam wzięła. Być może przyczyną są zderzenia tych planet z kometami, jak to miało miejsce z kometą Shoemaker-Levy, która w 1994 zderzyła się z Jowiszem. Reasumując, woda jest trzecią (po H_2 i CO) pod względem ważności molekułą we Wszechświecie. Tak powszechne jej występowanie pozwala nam wierzyć, że nasza forma życia może nie być jedyną.

Ogromnym zaskoczeniem dla astronomów było zaobserwowanie wody w mgławicy planetarnej NGC 7027, powszechnie znanej jako węglowa. Zaskoczenie brało się stąd, że powstawanie molekuły CO jest na tyle efektywne, że nadwyżka jednego z pierwiastków (albo tlenu, albo węgla) zostaje całkowicie „zużyta" na budowę CO. Fakt, że obiekt jest węglowy, oznacza, że cały dostępny tlen został związany w molekule CO i nie ma go w dostatecznej ilości na tworzenie innych związków zawierających tlen. Tak więc obecność wody (H_2O) w węglowej mgławicy planetarnej była wyzwaniem dla teoretyków. No i stanęli oni na wysokości zadania. Tworzyli teorie, skąd wzięła się tam woda i ile jej jest, a w końcu doszli do wniosku, że to LWS (linia wody została odkryta na 180.5 μm) ma jakiś feler, albowiem wychodziło im, że również przejścia na innych długościach fal też powinny być obserwowane, a nie są. Szumu było sporo, a rozwiązanie okazało się zgoła nieoczekiwane. Linia na 180.5 μm pochodzi nie od wody, jak początkowo przypuszczano, ale od opartej o węgiel jednokrotnie zjonizowanej molekuły CH^+ (brak innych linii wody staje się wówczas oczywisty). Jeszcze raz okazało się, że teorie astrofizyczne muszą być jednak weryfikowane obserwacyjnie, albowiem fantazja ludzka granic raczej nie zna.

W obłokach gazowo-pyłowych zakrywających szczelnie (w zakresie optycznym) nowo powstałe gwiazdy, widma SWS pokazały po raz pierwszy w historii obserwacji podczerwonych cechy spektralne typowe dla zamrożonego dwutlenku węgla. Przestrzeń międzygwiazdowa jest na tyle chłodna, że gaz z łatwością zamarza na powierzchni dostępnych ziaren pyłu (mniej więcej tak, jak powstaje szron w zimie na Ziemi).



Fot. 3. Widmo SWS nałożone na obraz otrzymany przy pomocy teleskopu HST. W widmie zaznaczona jest linia wodoru molekularnego na 28.23 μm.

Nadmieńmy, że ISO „widzi" zarówno gazowe jak i zmrożone formy molekuł. Mówiąc o molekułach, nie sposób nie wspomnieć o tych pośrednich pomiędzy kilkuatomowymi a ziarnami pyłu. Te ogromne molekuły zbudowane głównie z węgla i wodoru (stąd ich nazwa PAH – od *Policyclic Aromatic Hydrocarbon*) mają bezpośredni związek z historią naszego układu planetarnego, jako że są obserwowane i w kometach, i meteorytach. W widmie SWS jednego z obiektów obserwowanych w ramach naszego projektu poświęconego badaniu mgławic planetarnych typu [WR] znaleźliśmy także cechy spektralne PAH-ów. Jest to o tyle znamienne, że widmo otrzymane za pomocą satelity IRAS nie było na tyle „czyste", aby dostrzec te cechy.

ISO dostarczyło również bardzo ważnych danych w zakresie badania naszego układu planetarnego. Dla przykładu: w widmach Saturna odkryto wiele molekuł (w tym H_2 i amoniak) obecnych w różnych warstwach jego atmosfery (zobacz zdjęcie 3). Pozwoli to zbadać „pogodę" na Saturnie, a między innymi warunki powstawania chmur.

LWS pomogło również wykryć ciężką molekułę HD (linie emisyjne na 56 i 112 μm) złożoną z normalnego wodoru i deuteru (dodatkowo jeden neutron w jądrze atomowym). Stosunek zwykłego wodoru do deuteru jest szczególnie ważny, ponieważ deuter powstał w pierwszych kilku sekundach po wielkim wybuchu i w ciągu dalszej ewolucji Wszechświata jego zawartość malała. Planety olbrzymy, które rosły w wyniku akrecji gazu z mgławicy słonecznej, zachowały jednak pierwotny stosunek deuteru do wodoru. Pozwoli to nam ocenić zawartość deuteru w mgławicy, z której powstał nasz układ planetarny.

Spektakularne również są wyniki obserwacji komety Hale'a-Boppa. Komety są pozostałością mgławicy, z której powstał nasz układ planetarny i badanie ich składu daje informację o początkowym składzie chemicznym. Obserwacje przy pomocy różnych instrumentów ISO pokazały, że poza parującymi „lodami" H_2O, CO i CO_2 (tempo ich parowania w trakcie zbliżania się komety do Słońca, w odległości 444 milionów km od Słońca, oceniono na 10 ton wody, 11 ton CO i 5 ton CO_2 w ciągu 1 sekundy), w komecie występuje krystaliczna forma krzemianów (mianowicie minerał o nazwie forsteryt — jest to oliwin wzbogacony w Mg). Nadmieńmy, że wnętrze Ziemi zbudowane jest z tego minerału (skorupa ziemska zbudowana jest z innego minerału krzemianowego zwanego pyroksenem). Krystaliczny oliwin został zaobserwowany przez ISO również wokół młodych, jak też i zaawansowanych ewolucyjnie gwiazd (w widmach SWS widać wyraźne cechy spektralne tego materiału na 24 i 34 μm).

Poprzednio znane były tylko formy niekrystaliczne tego materiału. Dzięki ISO znaleźliśmy więc pomost łączący ewolucję gwiazd z powstaniem naszego układu planetarnego. Innymi słowy, nasza planeta to nic innego jak ... ogromny konglomerat pyłu (kurzu) kosmicznego, który produkowany jest z pierwiastków powstałych w trakcie ewolucji gwiazd, wyrzuconych w przestrzeń kosmiczną w końcowych etapach ich życia.

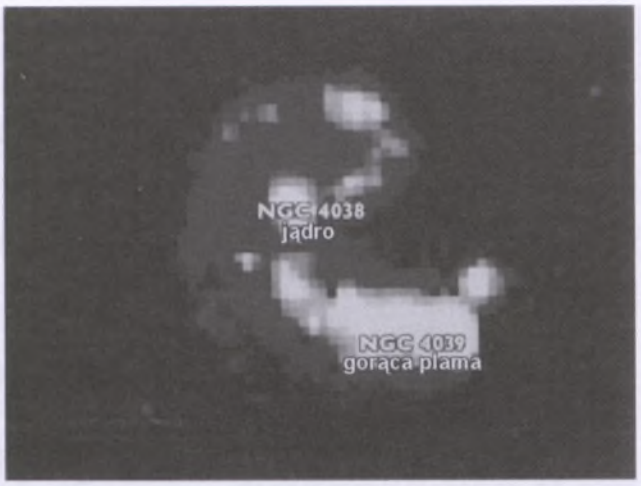
Jednym z ważniejszych osiągnięć misji IRAS było odkrycie dysków pyłowych wokół młodych gwiazd (prototypem została jasna gwiazda Wega), z których mogą powstawać układy planetarne. Badania wykonane przez ISO potwierdziły istnienie dysku wokół Wegi, ale i znalazły kilka nowych dysków wokół młodych gwiazd o masach zbliżonych do masy Słońca. Widać z tego, że takie dyski są dość powszechnie spotykane, ale z całą pewnością nie wokół wszystkich nowo powstałych gwiazd.

ISO obserwuję również pracę „kosmicznej lodówki", jaką jest linia o długości fali 158 μm emitowana przez jednokrotnie zjonizowany atom węgla (C^+). Linia ta jest widoczna w różnorodnych obiektach, poczynając od obiektów gwiazdowych, poprzez obłoki H II, a na galaktykach kończąc. Pomiary natężenia tej linii są istotne dla zrozumienia równowagi energetycznej w obiektach astronomicznych.

Dzięki obserwacjom przy pomocy instrumentów ISO udało się również zrobić zdjęcia, w świetle niewidzialnym bezpośrednio dla naszego oka, zderzających się galaktyk. Jednym z takich obiektów jest para galaktyk nazwana, ze względu na ich kształt, anteną (zobacz zdjęcie 4). Jest to niezwykle gwałtowny proces — jeden z najbardziej spektakularnych od momentu wielkiego wybuchu. Szacuje się, że zderzenia pomiędzy galaktykami mogą być na tyle częste, że należy je uwzględniać przy badaniu ewolucji galaktyk we Wszechświecie. Zderzenie takie daje początek nowemu, gwałtownemu procesowi formowania się gwiazd, który skryty w bardzo gęstych obszarach pyłowych jest niedostępny nawet dla HST. Na otrzymanych przez ISO obrazach widać wyraźnie obszar intensywnego formowania się nowych gwiazd w obszarach centralnych zderzających się galaktyk. Szacuje się, że efektywność „narodzin" nowych gwiazd jest wielokrotnie większa niż w przypadku naszej Galaktyki.

Mówiąc o galaktykach, należy wspomnieć o znamiennej „współpracy" pomiędzy HST i ISO. Mianowicie teleskop kosmiczny HST dokonał najgłębszego jak dotychczas przeglądu nieba w zakresie od 3000 do 9000 Å (od 0.3 do 0.9 μm) na bardzo małym obszarze o rozmiarach 5 minut kątowych. W styczniu 1996 roku dane te zostały udostępnione społeczności astronomicznej. Dokonano wówczas pomiaru przesunięć ku czerwieni dla najjaśniejszych galaktyk z tego przeglądu przy pomocy największego teleskopu, jakim jest 10 metrowy Keck zainstalowany na Mauna Kea na Hawajach (przesunięcie ku czerwieni zwyczajowo podaje się przy pomocy wielkości zwanej *z*: im większe *z* tym młodsza jest galaktyka). Dla słabszych galaktyk przesunięcia ku czerwieni wyznaczono pośrednimi metodami. Konkluzja była taka, że zaobserwowane galaktyki mają bardzo duże *z* (w większości pomiędzy 2 i 4), co przetransponowane na wiek oznacza, że większość galaktyk w próbce ma wiek od 1 do 3 miliardów lat. Co więcej, kolory najsłabszych (najmłodszych) galaktyk wskazywały na proces intensywnego formowania się gwiazd. Skoro tak, to do akcji wkroczyło ISO, albowiem tam, gdzie tworzą się gwiazdy, powinno być dużo promieniowania podczerwonego. I rzeczywiście, w wyniku obserwacji przeprowadzonych w lipcu 1996 roku okazało się, że niektóre z nich emitują większość ich energii w podczerwieni. Oceniono, że proces formowania się gwiazd jest tam nawet 10 000 razy efektywniejszy niż w naszej Galaktyce. Jest to o tyle ważne, że widzimy galaktyki, które są w stadium głównego (pierwszego) formowania się gwiazd, a co za tym idzie i pierwotnej produkcji ciężkich pierwiastków (tlen, węgiel, azot).

Spektakularne są również badania obszarów, gdzie rodzą się gwiazdy w naszej Galaktyce. Kokony pyłowe otaczające nowo narodzone gwiazdy silnie emitują w podczerwieni. W takich obszarach odkryto wiele zamrożonych molekuł, niektóre z nich nie były widoczne nigdy przedtem. Szczegółowe badania nowo rodzących się gwiazd są istotne z punktu widzenia zrozumienia procesu, który doprowadził do powstania naszego układu planetarnego.



Fot. 4. Obraz zderzających się galaktyk otrzymany przy pomocy kamery ISOCAM na fali o długości 15 μm.

Badanie trzech najjaśniejszych w zakresie podczerwonym galaktyk przy pomocy instrumentów ISO pokazało, że do wytłumaczenia obserwowanej energii nie są potrzebne aktywne jądra ze sztandarową czarną dziurą. Problem rozwiązano przy pomocy widm SWS, w których, w przeciwieństwie do galaktyk z aktywnymi jądrami, nie ma linii wysoko wzbudzonych pierwiastków, są natomiast linie jednokrotnie zjonizowanego neonu typowe dla galaktyk z intensywnym procesem formowania się gwiazd. Oczywiste, że rodzi się natychmiast pytanie, jak długo proces ten będzie na tyle wydajny, aby takie galaktyki były jednymi z najjaśniejszych w podczerwieni.

Podsumowując pobieżne przedstawienie uzyskanych dotychczas wyników, można pokusić się o stwierdzenie, że ISO zrobiło krok milowy w kierunku lepszego zrozumienia ewolucji galaktyk i gwiazd poprzez identyfikację wielu nowych ważnych składników biorących udział w procesach fizyko-chemicznych we Wszechświecie. Poza tym wydaje się już teraz, że program ISO jest programem co najmniej zasługującym na miano najlepszego w tym dziesięcioleciu.

Dr Ryszard Szczerba jest astrofizykiem pracującym w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, zajmującym się od wielu lat m.in. badaniem późnych etapów ewolucji gwiazd w oparciu o obserwacje w zakresie podczerwonym.

Cefeidy, HST, Hipparcos — mniej szczebli w drabinie odległości

Jarosław Dyks

Wyznaczanie dokładnych odległości ciał niebieskich należy do najważniejszych, a zarazem najtrudniejszych zadań astronomii. Waga tych pomiarów bierze się stąd, że od ich wyniku zależą wartości oraz niepewności wszystkich fizycznych parametrów obiektów astronomicznych. Trudność dotyczy szczególnie pomiaru odległości obiektów pozagalaktycznych. Ich odległość można wyznaczyć jedynie dwiema pierwotnymi metodami. Jedną z nich jest pomiar widomej jasności obiektu o znanej mocy promieniowania, drugą — pomiar kątowych rozmiarów obiektu o znanej wielkości. Istnieje wiele klas obiektów astronomicznych (wyznaczników odległości), których jasności lub rozmiary są znane z dobrą dokładnością. Nie ma wśród nich jednak żadnego, który byłby widoczny i rozpoznawalny w dostatecznie szerokim zakresie odległości i występował w tych odległościach wystarczająco często.

Henrietta Swan Leavitt (1868–1921). Astronomka amerykańska, od 1895 na stanowisku asystenta w Obserwatorium Harwardzkim. Głównym przedmiotem jej badań była fotometria fotograficzna. Około roku 1910 odkryła, że cefeidy „odsłaniają swoją fizyczną jasność" poprzez tempo, z jakim pulsują. Fakt ten jest podstawą najdokładniejszej obecnie metody wyznaczania odległości pozagalaktycznych.

Zakres odległości, o jakim mowa, jest zaiste imponujący. Z jednej strony, fizyczne parametry wyznacznika odległości powinny być znane możliwie dokładnie. Sprowadza się to do żądania, aby jego odległość można było wyznaczyć przy minimalnej liczbie pośrednich kroków. Najlepiej, żeby znajdował się on w zasięgu najbardziej fundamentalnej metody pomiaru odległości, jaką jest metoda paralaks trygonometrycznych, co do niedawna oznaczało bezpośrednie sąsiedztwo Słońca. Z kolei, jeśli interesują nas odpowiedzi na fundamentalne pytania dotyczące rozmiarów, tempa ewolucji oraz wieku Wszechświata, powinniśmy mierzyć odległości gromad galaktyk odległych o setki, a nawet tysiące megaparseków.

Oczywiście, nie ma mowy o tym, aby obiekt występujący w zasięgu metody paralaks trygonometrycznych był obserwowalny w odległościach ważnych kosmologicznie. Dlatego wyznaczanie odległości gromad galaktyk wymagało utworzenia „drabiny odległości", w której „pierwotne" — kalibrowane w Galaktyce wskaźniki odległości służyły do kalibracji parametrów fizycznych wskaźników wtórnych, a te z kolei pomocne były przy definiowaniu wskaźników trzeciego rzędu. Kumulacja błędów, która ma miejsce w takim procesie wyznaczania odległości, przez kilkadziesiąt lat nie pozwalała osiągnąć zgodności wyników pomiarów przeprowadzanych przez różnych obserwatorów. Skrajne poglądy na temat skali odległości prezentowali: Gerard de Vaucouleurs — zwolennik małych — oraz Allan R. Sandage i G.A. Tammann — zwolennicy dużych odległości obiektów pozagalaktycznych.

Eleganckim sposobem wyjścia z impasu jest zredukowanie liczby pośrednich kroków w procesie wyznaczania odległości. Udało się tego dokonać dzięki obserwacjom cefeid, przeprowadzonym przez dwa obserwatoria orbitalne: Teleskop Kosmiczny Hubble'a oraz astrometrycznego satelitę Hipparcos. Teleskop Kosmiczny pozwolił rozszerzyć stosowalność cefeid na obszar, który pierwotnie był domeną wtórnych wskaźników odległości. Pomiary pozycji cefeid, wykonane przez Hipparcosa, nareszcie pozwoliły wyznaczyć paralaksy trygonometryczne tych gwiazd. Znaczenie tych obserwacji najłatwiej jest docenić po bliższym przyjrzeniu się dotychczasowym staraniom, które miały na celu wycyzelowanie dostarczanej przez cefeidy metody pomiaru odległości.

Kariera cefeid jako świec standardowych rozpoczęła się około roku 1910, kiedy to Henrietta Leavitt wyznaczyła okresy zmian blasku szesnastu z ponad tysiąca siedmiuset odkrytych przez nią gwiazd zmiennych w Obłokach Magellana i zauważyła, że ich widoma jasność w minimum i w maksimum blasku systematycznie wzrasta z okresem. Odkryta zależność okres-jasność (lub PL od ang. *period-luminosity*) miała postać $m = a \log P + b$ i powinna obowiązywać również dla jasności absolutnych, ponieważ wszystkie gwiazdy Wielkiego Obłoku Magellana leżą w przybliżeniu w tej samej odległości.

Znaczenie tej relacji w problemie pomiaru odległości urzeczywistnił w 1913 roku E. Hertzsprung, który obserwowane przez Leavitt gwiazdy zmienne zidentyfikował jako cefeidy. Na początku tego wieku w Galaktyce obserwowano kilkadziesiąt cefeid, spostrzeżenie Hertzsprunga pozwalało więc wyznaczyć punkt zerowy *b* zależności okres-jasność poprzez wyznaczenie odległości chociażby jednej cefeidy galaktycznej. Zadanie to okazało się być jednak niezmiernie niewdzięczne. Żadna ze znanych cefeid nie posiadała mierzalnego przesunięcia paralaktycznego wywołanego ruchem orbitalnym Ziemi. Ba, najbliższe cefeidy są odległe o około 200 pc, co nawet dzisiaj wyklucza naziemne próby pomiaru ich paralaks trygonometrycznych. Mała gęstość przestrzenna cefeid wynika stąd, że są one dość masywnymi gwiazdami (3–10 $M_\odot$) w krótkiej fazie ewolucyjnej. Przekraczają one pas niestabilności pulsacyjnej na diagramie HR w fazie „spalania" helu w jądrze.

Trzeba więc było uciec się do metody statystycznej. Prędkość tangencjalna gwiazdy wyraża się tylko przez jej ruch własny oraz odległość. Przyrównując średnią prędkość radialną trzynastu cefeid galaktycznych do ich prędkości tangencjalnej, Hertzsprung wyznaczył ich paralaksę statystyczną, ustalając tym samym punkt zerowy relacji okres-jasność. W roku 1918 Shapley zrewidował paralaksę wyznaczoną przez Hertzsprunga oraz określił zunifikowaną postać zależności okres-jasność, opierając ją na danych o cefeidach w Obłokach Magellana, gromadach kulistych oraz o bliskich cefeidach galaktycznych. Pomimo znacznych niedoskonałości narzędzie to stało się podstawą wielu fundamentalnych odkryć astronomicznych tego wieku. Shapley użył cefeid do wyznaczenia pozycji Słońca w Galaktyce. W latach 1925–1926 Hubble odkrył cefeidy w M31, M33 i NGC 6822, co pozwoliło mu raz na zawsze ustalić pozagalaktyczną naturę „mgławic spiralnych", a później umożliwiło mu użycie tego rezultatu w tworzeniu podstaw współczesnej kosmologii.

O użyteczności cefeid w pomiarach odległości, obok zwartej zależności okres-jasność, zadecydowały ich duże jasności absolutne ($M_V = (-1) - (-6)$ mag) oraz ułatwiające identyfikację znaczne amplitudy zmian blasku (rzędu 1 mag). Wspomniane niedoskonałości relacji okres-jasność szybko jednak dały znać o sobie. Okazało się, że jasności nowych i gromad kulistych w M31 różnią się o 1.5 mag od jasności nowych i gromad galaktycznych. Poza tym wyznaczona po raz pierwszy przez Hubble'a i Humasona wartość stałej Hubble'a wynosiła 559 km s^{-1} Mpc^{-1} i prawie o rząd wielkości przewyższała wartość przyjmowaną obecnie. Błąd, jakim była ona obarczona (zdaniem autorów miał on wynosić około 10%!), w znacznej mierze spowodowany był złą wartością punktu zerowego zależności okres-jasność. Jak wykazał Baade w roku 1954, dokonana przez Shapleya unifikacja cefeid populacji pierwszej z gwiazdami typu W Wirginis (populacja II) była błędna. Jasności absolutne gwiazd typu W Wirginis okazały się być średnio o 1.5 mag. mniejsze od jasności cefeid klasycznych. Wynikająca stąd poprawka punktu zerowego doprowadziła do dwukrotnego wzrostu skali odległości.

W połowie lat pięćdziesiątych zwrócono uwagę na to, że niektóre cefeidy wchodzą w skład gromad otwartych. Fakt ten pozwolił wyznaczyć jasności absolutne oraz barwy cefeid z dokładnością zdecydowanie większą niż pozwala na to pomiar paralaksy statystycznej. Metoda polega na porównaniu diagramu barwa-jasność gromady zawierającej cefeidę z diagramem gromady, dla której odległość i ekstynkcja są znane. Dokładność tej metody jest tym większa, im mniejsza jest różnica wieku i składu chemicznego obydwu gromad. Do niedawna była ona podstawą kalibracji jasności absolutnych cefeid. W praktyce jednak precyzja wyznaczenia modułu pojedynczej gromady prawdopodobnie nie może być większa od ±2 mag (co odpowiada 10-cio procentowemu błędowi odległości). Spowodowane jest to głównie tym, że gromady zawierające cefeidy posiadają małą liczbę gwiazd ciągu głównego, których członkostwo w gromadzie może być dodatkowo wielce niepewne, a także dużą i zmienną wartością ekstynkcji tych gwiazd. Poza tym tylko 17 spośród około czterystu cefeid znanych w Galaktyce jest członkiem czternastu gromad otwartych, a ich okresy są krótsze od dwunastu dni. Osiem cefeid o okresach od piętnastu do siedemdziesięciu dni jest członkami asocjacji.

Pierwotnie gromadą, do której diagramu barwa-jasność porównywano diagramy innych gromad, były Hiady. Ich niewielka odległość (46 pc) mogła być wyznaczona metodą gromad ruchomych. Znaczny wiek tej gromady oraz jej wy-

Cefeidy

Cefeidy są gwiazdami fizycznie zmiennymi, pulsującymi (nazwa ich pochodzi od jednej z pierwszych znanych gwiazd omawianego typu — δ Cephei). Jasność ich zmienia się o czynnik bliski 3 w czasie kilku dni lub tygodni. Gwiazdy te leżą w wąskiej strefie diagramu HR zwanej pasem niestabilności pulsacyjnej.

Fizycznie cefeidy są olbrzymami pierwszej populacji o masach kilkakrotnie wyższych od masy Słońca i mocach promieniowania kilkadziesiąt tysięcy razy przewyższającymi słoneczną dzielność promieniowania. Radialne pulsacje cefeid podtrzymywane są dzięki zjawiskom zachodzącym w warstwie częściowej jonizacji helu (dokładniej: *drugiej* jonizacji helu). Opis ich zawiera np. książka Marcina Kubiaka „Gwiazdy i materia międzygwiazdowa", PWN, 1994. W dużym uproszczeniu każdy cykl pulsacji przebiega następująco: tworzony wewnątrz gwiazdy strumień promieniowania jonizuje He^+ w atmosferze gwiazdy (tworząc He^{++}), co czyni ją bardziej nieprzezroczystą (współczynnik nieprzezroczystości w warstwie częściowej jonizacji, wbrew generalnemu trendowi, *rośnie* wraz ze spadkiem temperatury. Ciśnienie promieniowania rozdyma więc atmosferę gwiazdy, powodując jej stygnięcie i rekombinację jonów dwukrotnie zjonizowanego helu. To z kolei pociąga za sobą kurczenie się atmosfery.

Zmianom jasności cefeidy towarzyszą zatem zmiany jej temperatury efektywnej (obserwowane jako zmiany wskaźnika barwy i typu widmowego) oraz zmiany prędkości radialnych (rys. 4). Podstawowe fizyczne oraz obserwacyjne parametry cefeid wraz z ich typowymi amplitudami zmienności przedstawia poniższa tabela:

okres	1–50 dni
MKSp	F6–K2, Ia–II
M_V	–0.5 – (–5)
T_{ef} [103 K]	5–7
$M/M_\odot$	4–14
$R/R_\odot$	10–150
populacja	I
ΔV [mag]	1–1.5
ΔV_{rad} [km/s]	50
ΔT_{ef} [K	1000
ΔR [%]	10

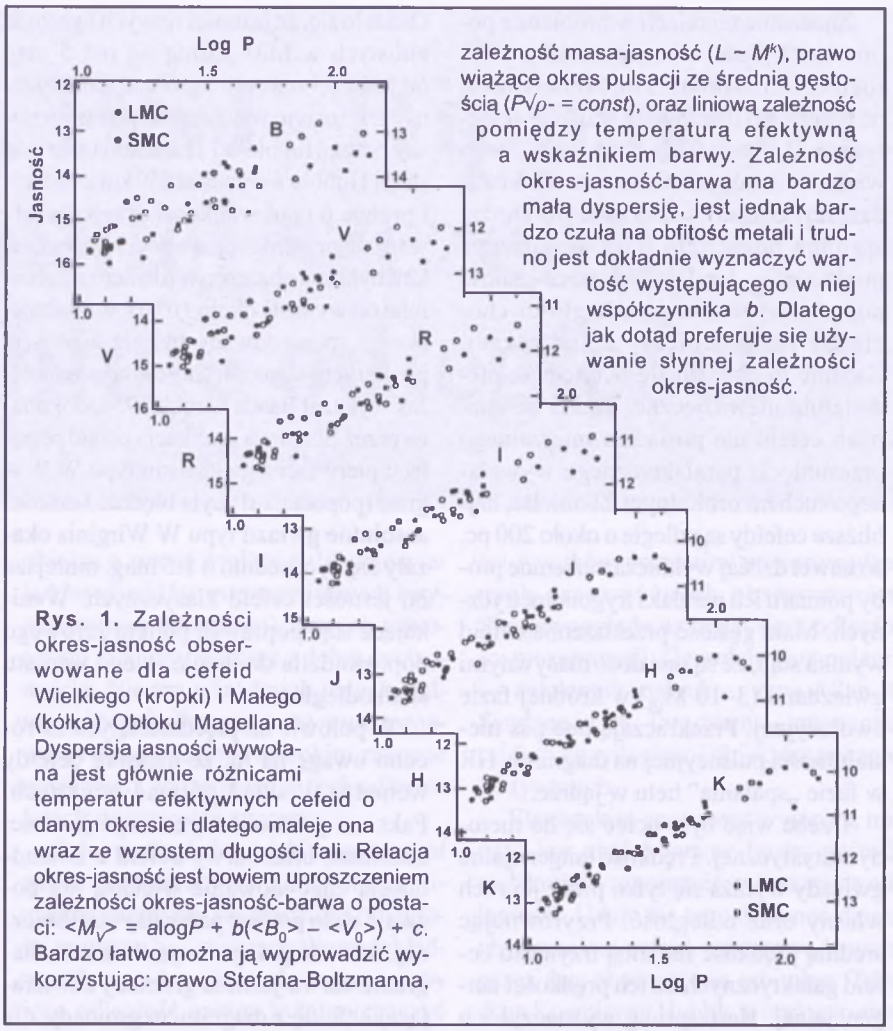
soka zawartość metali czyniły ją jednak niezbyt odpowiednią dla porównania z młodymi gromadami zawierającymi cefeidy. Dlatego stosowaną ostatnio gromadą były Plejady, których odległość (116 pc) wyznaczano przez porównanie ich gwiazd do bliskich gwiazd ogólnego pola galaktycznego o znanych paralaksach. Odległość Plejad kalibrowano również na podstawie odległości Hiad, uwzględniając różnicę składu chemicznego tych gromad.

Warto zwrócić uwagę na to, że kalibracja omawianego „pierwotnego" wskaźnika odległości powyższą metodą wymaga wspięcia się na dość wysoką „drabinę odległości galaktycznych", której szczeble tworzą: bliskie gwiazdy o znanych paralaksach trygonometrycznych, Plejady, gromady otwarte zawierające cefeidy i wreszcie same cefeidy.

Próbowano więc wyznaczyć odległości cefeid metodami mniej pośrednimi. Metoda, która podobnie jak poprzednia uchodziła za dość wiarygodną, polega na pomiarach średnic kątowych cefeid, których średni promień (w jednostkach długości) może być określony metodą Baadego-Wesselinka (patrz ramka). Astronomowie ci jako pierwsi opisali, jak krzywe zmian jasności oraz wskaźnika barwy w powiązaniu z całkowaną krzywą zmian prędkości radialnej mogą zostać użyte do wyznaczenia rozmiarów cefeidy. Promień kątowy cefeidy można określić metodami bezpośrednimi lub też na podstawie pomiarów fotometrycznych. Największe średnice kątowe cefeid wynoszą od 1.0 do 1.5 milisekund łuku. Bezpośrednie techniki ich pomiaru obejmują okultacje księżycowe (np. ζ Gem, X Sgt, W Sgt) oraz (potencjalnie) interferometrię Michelson'a: kilkanaście cefeid znajduje się w programie obserwacyjnym interferometru SUSI (*Sydney University Stellar Interferometer*). Metody fotometryczne opierają się na wyznaczaniu jasności powierzchniowej cefeid, albowiem (pominąwszy absorpcję) jest ona jedynym czynnikiem, który oprócz rozmiarów określa jasność obiektu:

$$V_0 = c_1 \cdot F_V + c_2 \cdot \log \phi .$$

W powyższym wzorze V_0 jest poprawioną na ekstynkcję jasnością cefeidy obserwowaną w pasmie V, c_1 i c_2 są stałymi a ϕ poszukiwaną średnicą kątową. Jasność powierzchniową F_V (w ogólności F_λ) wyznacza się, wykorzystując jej liniową zależność od wskaźnika barwy, która zachodzi dla gwiazd typów F i G. Kalibracja tej relacji oparta jest o precyzyjne pomiary interferometryczne olbrzymów lub ich zakrycia przez Księżyc. Ważną zaletą metody Baadego-Wesselinka jest jej stosowalność dla wielu dostatecznie jasnych cefeid pola galaktycznego o szerokim zakresie okresów.



Rys. 1. Zależności okres-jasność obserwowane dla cefeid Wielkiego (kropki) i Małego (kółka) Obłoku Magellana. Dyspersja jasności wywołana jest głównie różnicami temperatur efektywnych cefeid o danym okresie i dlatego maleje ona wraz ze wzrostem długości fali. Relacja okres-jasność jest bowiem uproszczeniem zależności okres-jasność-barwa o postaci: $\langle M_V \rangle = a \log P + b(\langle B_0 \rangle - \langle V_0 \rangle) + c$. Bardzo łatwo można ją wyprowadzić wykorzystując: prawo Stefana-Boltzmanna, zależność masa-jasność ($L \sim M^k$), prawo wiążące okres pulsacji ze średnią gęstością ($P\sqrt{\rho} = const$), oraz liniową zależność pomiędzy temperaturą efektywną a wskaźnikiem barwy. Zależność okres-jasność-barwa ma bardzo małą dyspersję, jest jednak bardzo czuła na obfitość metali i trudno jest dokładnie wyznaczyć wartość występującego w niej współczynnika b. Dlatego jak dotąd preferuje się używanie słynnej zależności okres-jasność.

Jasności absolutne cefeid wyznaczano na jeszcze inne sposoby. Szacowano jasności absolutne towarzyszy cefeid wchodzących w skład układów podwójnych. Błąd tej metody był jednak znaczny, jako że towarzysz odgrywa w niej rolę, jaką w metodzie gromad otwartych pełni cały ciąg główny. Próbowano kalibracji opartej na zastosowaniu teorii ewolucji oraz szczegółowych modeli pulsacji w odniesieniu do cefeid w gromadach otwartych Wielkiego Obłoku Magellana. W tym przypadku dokładność została ograniczona ostrą zależnością jasności od przyjętego modelu konwekcji. Próbowano niezależnie oszacować odległość Wielkiego Obłoku Magellana, między innymi obserwując rozproszone na materii międzygwiazdowej światło wyemitowane podczas wybuchu supernowej SN 1987A. Większość metod dawała wyniki zbieżne na poziomie około 0.2 mag i tyle wynosił też błąd najdokładniejszych z nich. Na podstawie zgodności pomiędzy kalibracją kinematyczną (ostatnio wyznaczona paralaksa statystyczna) i fotometryczną (gromady otwarte) z całą pewnością można było jedynie stwierdzić, że błąd punktu zerowego jest mniejszy od 0.3 mag, czyli że odległości nawet na tym najniższym szczeblu znane są z dokładnością nie mniejszą niż marne 15%.

Ambaras związany z kalibracją jasności absolutnych cefeid z dokładnością wyższą niż ~0.2 mag prysnął z chwilą opracowania danych z satelity Hipparcos. Bezprecedensowa, wynosząca jedną milisekundę łuku dokładność pomiarów pozycyjnych tego instrumentu pozwoliła wreszcie wyznaczyć paralaksy najbliższych cefeid. W oparciu o dane 26-ciu cefeid Feast i Catchpole (patrz bibliografia) wyznaczyli punkt zerowy zależności okres-jasność z dokładnością 0.10 mag. O trudności pomiaru paralaks cefeid najlepiej świadczy to, że błędy owych 26 paralaks typowo wynoszą aż

kilkadziesiąt procent (średnio około 60%; paralaksy tylko trzech cefeid są wyznaczone z dokładnością lepszą niż 20%). Otrzymana na ich podstawie zależność okres-jasność ma postać:

$$<M_V> = -2.81 \log P - 1.43 .$$

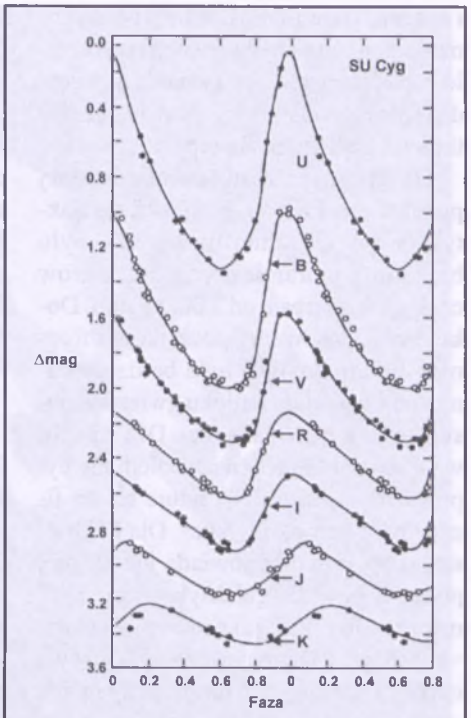
Przyjęta została jak zwykle wartość nachylenia oparta o cefeidy Wielkiego Obłoku Magellana, ponieważ pobliskie cefeidy mają bardzo krótkie okresy — — prawie wszystkie są mniejsze od 10-ciu dni. Powyższa zależność, jeśli jest umiejętnie użyta, pozwala wyznaczać odległość z dokładnością bliską 5%.

Pod „umiejętnym użyciem" kryje się m.in. uwzględnienie wpływu ekstynkcji międzygwiazdowej na obserwowane jasności cefeid. Z powodu właściwych sobie zawiłości problem dokładnego wyznaczania absorpcji cefeid do dzisiaj nie znalazł zadowalającego rozwiązania. Jedna z przybliżonych metod polega na wykorzystaniu zależności okres-barwa: $<B>_0 - <V>_0 = a \log P + b$. Pomiar okresu pulsacji oraz widomego wskaźnika barwy $<B> - <V>$ umożliwia wyznaczenie nadwyżki barwy $E_{(B-V)}$ oraz absorpcji, ponieważ $A_V \equiv R \cdot E_{(B-V)}$. Procedurę tę zastosowano przy wyznaczaniu współczynników podanej wyżej zależności okres-jasność opartej na danych Hipparcosa.

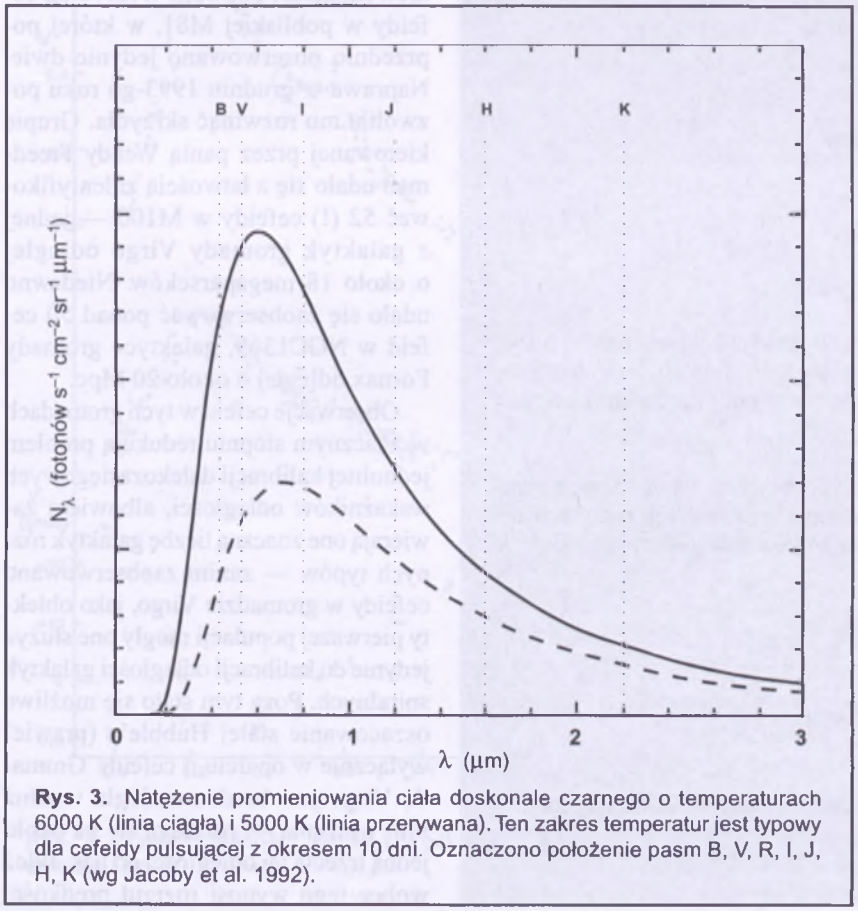
Czasami, zamiast biedzić się nad rozwiązaniem jakiegoś problemu, warto potrudzić się nad uniknięciem konieczności jego rozwiązywania. W przypadku ekstynkcji oczywistym fortelem jest określenie zależności okres-jasność w podczerwieni. Typowa wartość ekstynkcji w barwie niebieskiej dla cefeid w Wielkim Obłoku Magellana wynosi $A_B = 0.32$ mag. Dla 2.2 mikronów odpowiada jej już tylko wartość $A_K = 0.05$ mag. Wielkość ekstynkcji w bliskiej podczerwieni jest więc porównywalna do wartości samych błędów, z jakimi wyznaczana jest ona w optycznym obszarze widma!

Obserwacje w bliskiej podczerwieni cechują jeszcze inne zalety. Należy do nich wyraźne zmniejszenie dyspersji zależności okres-jasność widoczne na rys. 1. Efekt ten spowodowany jest głównie tym, że zakres temperatur efektywnych cefeid o danym okresie, będący podstawową przyczyną obserwowanej dyspersji relacji okres-jasność, powoduje znacznie większe różnice jasności w widzialnym obszarze widma niż w podczerwieni. Ilustruje to rysunek 2. Dokładnie z tego samego powodu amplitudy zmian blasku pojedynczych cefeid również maleją ze wzrostem długości fali, na jakich się je obserwuje (rys. 3). Zmiany jasności cefeid w wizualnym zakresie widmowym są bowiem przede wszystkim wywołane wahaniami ich temperatur efektywnych. Kilkuprocentowe zmiany wartości ich promieni mają dla zmian jasności drugorzędne znaczenie. Jasności cefeid obserwowanych w podczerwieni w jednej, przypadkowej fazie są więc bliższe ich uśrednionym w czasie wartościom niż analogicznie otrzymane jasności w barwie niebieskiej. Przy przejściu od pasma B do K amplituda zmian blasku typowej cefeidy spada od 1.0 mag do 0.2 mag, podczas gdy szerokość relacji okres-jasność maleje od 1.6 mag do 0.5 mag. Liczba obserwacji żądanych, aby dać średnią jasność cefeidy o zadanej dokładności, jest proporcjonalna do kwadratu amplitudy zmian blasku. W rezultacie nawet pojedyncze, wykonane w przypadkowej fazie, podczerwone obserwacje cefeid o znanych okresach użyte do wyznaczenia odległości dają dokładność porównywalną do kilkunastu czy kilkudziesięciu obserwacji w paśmie B.

Okresy pulsacji wielu cefeid pozagalaktycznych zostały już określone z fotograficznych, długotrwałych badań przeprowadzonych przez takich astronomów, jak Hubble, Baade, Sandage, Swope, Payne-Gaposchkin



Rys. 2. Krzywe zmian blasku typowej cefeidy galaktycznej obserwowanej w siedmiu barwach. Wyraźnie widoczne są zmiany amplitudy i fazy maksimum blasku w funkcji rosnących długości fali (wg Madore & Freedman 1991).



Rys. 3. Natężenie promieniowania ciała doskonale czarnego o temperaturach 6000 K (linia ciągła) i 5000 K (linia przerywana). Ten zakres temperatur jest typowy dla cefeidy pulsującej z okresem 10 dni. Oznaczono położenie pasm B, V, R, I, J, H, K (wg Jacoby et al. 1992).

i innych. Dało to możliwość (po wykonaniu ponownych obserwacji tych cefeid w podczerwieni) otrzymania nowych, dokładnych odległości, prawie nie dotkniętych efektami absorpcji.

Do niedawna zastosowanie bliskiej podczerwieni nawet dla bliskich galaktyk Grupy Lokalnej utrudnione było brakiem panoramicznych detektorów czułych w zakresie od 1 do 2.5 mm. Dokładność stosowanej początkowo fotometrii diafragmowej była bardzo ograniczona z powodu natłoku gwiazd w obserwowanym obszarze. Dla cefeid w Obłokach Magellana problem nie był poważny: apertura 5″ rzutuje się na fizyczny obszar około 5 pc^2. Dla M31 tej samej aperturze odpowiada już 80 pc^2, podczas gdy dla galaktyk grupy M81 mierzyłoby się jasność z obszaru ~18 000 pc^2! Dwuwymiarowa, cyfrowa obróbka obrazu, jaką umożliwiły nowe, panoramiczne odbiorniki promieniowania czułe w bliskiej podczerwieni, znacznie zredukowała ten problem.

Innym sposobem uchylenia się od wyznaczania absorpcji cefeid jest użycie wolnego od efektów ekstynkcji sformułowania związku okres-jasność. Takim niezależnym od ekstynkcji wariantem zależności okres-jasność jest funkcja Wesenheita W zdefiniowana następująco:

$$W \equiv V - R\cdot(B-V) = V_0 - R\cdot(B-V)_0.$$

Podobnie jak jasność tak i powyższa kombinacja jasności i wskaźnika barwy jest liniową funkcją okresu. Wartość funkcji Wesenheita obliczona w oparciu o jasności obarczone ekstynkcją jest jednak identyczna z wartością opartą o jasności fizyczne. Pozostaje ona w cieniu słynnej relacji okres-jasność, ponieważ jako kombinacja liniowa jasności w pasmach B i V obarczona jest większym od nich błędem.

Od niedawna wiadomo, że średnia temperatura cefeidy o danym okresie zmienia się dość znacznie wraz z obfitością pierwiastków ciężkich. Implikuje to większą niż uprzednio podejrzewano czułość relacji okres-jasność na metaliczność. Konieczne zatem staje się szacowanie różnicy pomiędzy metalicznością cefeid, do których zależność ta ma być zastosowana, a metalicznością bliskich cefeid, których użyto do jej sformułowania.

Misja Hipparcosa odbyła się w bardzo stosownym momencie, albowiem od kilku lat prowadzi się obserwacje nowych cefeid w ramach kluczowego projektu badawczego wykorzystującego Teleskop Kosmiczny Hubble'a. Strategia projektu polega na wykryciu cefeid w około dwudziestu galaktykach pola, bliskich grup oraz gromad Virgo i Fornax, a następnie na użyciu otrzymanych w ten sposób odległości do kalibracji dalekozasięgowych wskaźników odległości. Tak precyzyjna kalibracja wskaźników odległości trzeciego rzędu umożliwić miała nareszcie ich krytyczne porównanie. Teleskop Kosmiczny nie zawiódł pokładanych w nim nadziei. Nawet podczas swej fatalnej początkowej niewydolności pozwolił wykryć 82 cefeidy w pobliskiej M81, w której poprzednio obserwowano jedynie dwie. Naprawa w grudniu 1993-go roku pozwoliła mu rozwinąć skrzydła. Grupie kierowanej przez panią Wendy Freedman udało się z łatwością zidentyfikować 52 (!) cefeidy w M100 — jednej z galaktyk gromady Virgo odległej o około 18 megaparseków. Niedawno udało się zaobserwować ponad 50 cefeid w NGC1365, galaktyce gromady Fornax odległej o około 20 Mpc.

Obserwacje cefeid w tych gromadach w znacznym stopniu redukują problem jednolitej kalibracji dalekozasięgowych wskaźników odległości, albowiem zawierają one znaczną liczbę galaktyk różnych typów — zanim zaobserwowano cefeidy w gromadzie Virgo, jako obiekty pierwszej populacji mogły one służyć jedynie do kalibracji odległości galaktyk spiralnych. Poza tym stało się możliwe oszacowanie stałej Hubble'a (prawie) wyłącznie w oparciu o cefeidy. Gromada Virgo jest bardzo rozległa wzdłuż linii widzenia — rozciąga się na około jedną trzecią jej odległości od nas. Tyleż wobec tego wynosi rozrzut prędkości

Metoda Baade'go-Wesselink'a

Metoda polega na wyznaczeniu rozmiarów cefeidy w oparciu o krzywe zmian jasności, wskaźnika barwy oraz prędkości radialnej (rys. 4).

Efekt równoczesnych zmian promienia i jasności powierzchniowej można rozseparować:

$$\Delta m = \Delta m_{F_V} + \Delta m_R$$

gdzie:

$$\Delta m_{F_V} = -2.5 \log \frac{I_1}{I_2}$$

$$\Delta m_R = 5 \log \frac{R_1}{R_2}.$$

Indeksy 1, 2 odnoszą się do dwóch różnych faz.

Jeśli jasność powierzchniowa F_V jest jednoznaczną funkcją wskaźnika barwy $(V-I)$ podczas cyklu pulsacji to dla dwóch faz, dla których $(V-I)_1 = (V-I)_2$ mamy również $F_V{}^1 = F_V{}^2$, oraz $\Delta m_{F_V} = 0$. Dla każdej takiej pary faz zmiana jasności jest wywołana tylko zmianą promienia: $\Delta m = \Delta m_R$.

Załóżmy, że obserwowana prędkość radialna poprawiona na efekt pociemnienia brzegowego i projekcji na kierunek widzenia reprezentuje ruch tych samych warstw fotosfery, które są źródłem promieniowania mierzonego fotometrycznie (słaby punkt metody). Wówczas:

$$dR / dt = -kv_r$$

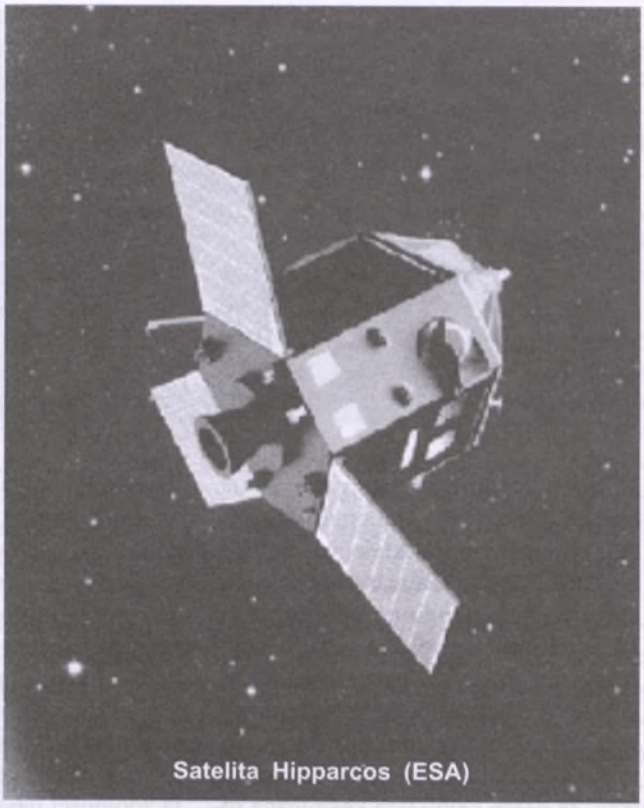
$$R_1 - R_2 = -k \int_{t_1}^{t_2} v_r \, dt$$

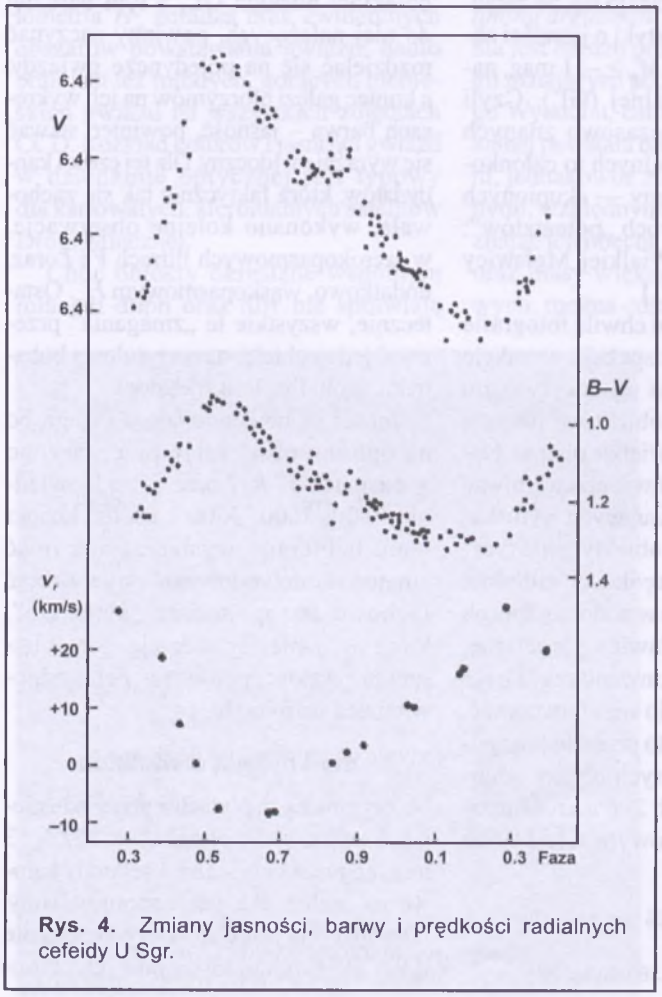
Znając stosunek promieni, oraz ich różnicę można obliczyć wartości promieni cefeidy dla dowolnej pary faz.

radialnych jej galaktyk. Virgo posiada też znaczny ruch „własny", nie związany z ekspansją Wszechświata — stąd jej galaktyki nie nadają się do wyznaczenia stałej Hubble'a. Dość dokładnie znany jest jednak stosunek odległości gromad Virgo i Coma, a ta ostatnia jest zdecydowanie bardziej odległa (o jakieś 100 Mpc), co pozwala już wyznaczyć stałą Hubble'a w oparciu o pomiar prędkości ucieczki jej galaktyk. Wynik nie odbiega od wartości otrzymanej przy użyciu większości pozostałych metod.

Oparta na obserwacjach odległych cefeid kalibracja wielu wskaźników odległości trzeciego rzędu wskazywała na wartość stałej Hubble'a wynoszącą 75–80 km s^{-1} Mpc^{-1}. Wymuszona przez Hipparcosa poprawka modułu odległości Wielkiego Obłoku Magellana o +0.2 magnitudo pociąga za sobą dziesięcioprocentowy wzrost skali odległości i tylokrotny spadek wartości stałej Hubble'a (do blisko 70 km s^{-1} Mpc^{-1}). Wiąże się z tym wzrost oceny wieku Wszechświata do wartości około 14 miliardów lat (w standardowym modelu, przy braku spowolnienia ekspansji; w przypadku, gdy gęstość przyjmuje wartość krytyczną wiek ten wynosi dwie trzecie powyższej wartości).

Równocześnie zmalały oszacowania wieku najstarszych gromad kulistych, których skala odległości oparta jest na jasnościach absolutnych gwiazd zmiennych RR Lyrae. Dostarczona przez Hipparcosa zależność okres-jasność umożliwiła nową kalibrację mocy promieniowania tych gwiazd, poprzez wyznaczenie odległości Obłoków Magellana i M31. Jak się okazuje, gwiazdy RR Lyrae są aż o 0.3 magnitudo jaśniejsze niż przypuszczano, co pociąga za sobą rewizję wieku najstarszych gromad kulistych — obecne oszacowania wskazują na około 11 miliardów lat (Feast, Catch-pole 1997).





Rys. 4. Zmiany jasności, barwy i prędkości radialnych cefeidy U Sgr.

Obserwacje odległych cefeid pozwoliły po raz pierwszy na bezpośrednią kalibrację jasności absolutnych ośmiu supernowych typu Ia. Okazało się, że ich jasności mogą się różnić aż o czynnik bliski 20! (Van den Bergh 1996). Naprawdę nieprzekonywająco wygląda więc niska wartość stałej Hubble'a uzyskana w oparciu o supernowe ~ 50 km $^{-1}$ Mpc^{-1}).

Powyższa lista (niekiedy dość zaskakujących) remanentów wydłuży się wraz z pojawianiem się kolejnych publikacji. Część z nich dotyczyć zapewne będzie konfrontacji wyników różnych metod wyznaczania punktu zerowego z wartością uzyskaną w oparciu o paralaksy trygonometryczne Hipparcosa. Jak dotychczas taką próbę jakości zwycięsko przeszła metoda gromad otwartych, gdy ich skala odległości oparta została również na Hipparcosowych paralaksach, (wśród których znajdują się m.in. paralaksy gwiazd Hiad i Plejad). Tymczasem wykorzystanie supernowej SN 1987A do kalibracji odległości Wielkiego Obłoku Magellana daje wyniki niepokojąco odmienne od metody paralaks trygonometrycznych.

Polecana literatura:

B.F. Madore, W.L. Freedman 1991, PASP, 103, 933.

G.H. Jacoby et al., 1992, PASP, 104, 678.

S. van den Bergh, 1996, PASP, 108, 1091.

M.W. Feast, R.M. Catchpole, 1997, MNRAS, 286, L1-L5.

Jarosław Dyks jest tegorocznym absolwentem studiów astronomicznych UMK. Artykuł powstał na bazie jego pracy seminaryjnej. Obecnie jest pracownikiem CAMK-u w Toruniu i zajmuje się badaniami pulsarów gamma.

Antlia — świeża krew Grupy Lokalnej

Marek Gołębiewski

W zeszłym roku opisaliśmy szeroko na łamach „Postępów Astronomii" dwa modele powstawania galaktyk (zob. nr 3/96, str. 125). Bezpośrednim tego pretekstem stały się udostępnione społeczności astronomicznej rewelacje, odnośnie nieregularnej galaktyki karłowatej WLM, która posiadając stare halo gwiazdowe, narobiła sporego zamieszania w tych teoriach. Obecnie miło nam jest zaanonsować, że nasza najbliższa kosmiczna rodzina, znana pod nazwą Grupy Lokalnej powiększyła się, a nowy krewny to

Antlia

Swoją nazwę obiekt ten, należący do klasy sferoidalnych galaktyk karłowatych, oznaczanych w literaturze angielskojęzycznym skrótem dSph, zawdzięcza lokalizacji na naszym niebie. Przypada ona na gwiazdozbiór Pompa, położony na południe od równika niebieskiego, a którego łacińska nazwa to właśnie Antlia. Autorami odkrycia są Alan B. Whiting oraz George K.T. Hau z Uniwersytetu w Cambridge, którzy razem z Mike'iem J. Irwinem (Royal Greenwich Observatory) i pod jego opieką sporo się napracowali, nim mogli poszczycić się znaleziskiem, które opiszemy. O zaiste niebagatelnym nakładzie pracy niezbędnym do uwieńczonego potencjalnym sukcesem programu poszukiwania nowych galaktyk dSph, obiektów bardzo słabych i z racji swej natury raczej trudno odróżnialnych od tła, niech świadczy opis drogi badawczej przedsięwziętej w danym przypadku. Za bazę wyjściową posłużył astronomom pokaźny zbiór 894 wielkich fotografii tworzących przegląd nieba, obejmujący całą jego półkulę południową. Większość uprzednich badań była ideowo skupiona na znajdowanie galaktyk o wysokich jasnościach powierzchniowych, co stwarzało możliwość głębszego sięgnięcia w „trzewia" Kosmosu, jak i gwarantowało dobrą statystykę pomiarową. Niestety, w obliczu ekstremalnych przypadków „karłowatości" wśród galaktyk czy też obiektów o małej i bardzo małej jasności powierzchniowej, sytuacja jest o wiele trudniejsza i można liczyć jedynie na lokalne znaleziska. Oczywiście, za ową bliskością kryje się astronomiczna miarka, więc i tak odległości wchodzące tutaj w grę przekraczają zdolności naszej wyobraźni. Intuicje takie mają swoje uzasadnienie statystyczne. K.-H. Schmidt i T. Boller w 1992 roku opublikowali listę galaktyk, w zamierzeniach kompletną do odległości 10 Mpc[1]. Okazało się, że zasadniczo wszystkie galaktyki o jasności absolutnej w paśmie B, $M_B > -11$ mag, należą do Grupy Lokalnej (GL). Czyli większość z dotychczasowo znanych przypadków ekstremalnych to członkowie GL, jak pamiętamy — skupionych generalnie wokół dwóch „potentatów": naszej Galaktyki i Wielkiej Mgławicy Andromedy, czyli M31.

Wspomniane przed chwilą fotografie poddano wizualnej inspekcji, w trakcie której skupiano się na wychwytywaniu słabych, rozmytych obiektów, tworzących na zdjęciach niewielkie plamki. Następnie należało cierpliwie przewertować szereg katalogów opisujących wyłuskane już w przeszłości obiekty galaktyczne, mające znane prędkości radialne; dodatkowo wypadało w podobny sposób odrzucić znane mgławice planetarne, wchodzące w skład „inwentarza" Drogi Mlecznej. Kiedy udało się z tym uporać, przez opisane gęste sito przeszło pomyślnie 75 obiektów, których obrazy zdigitalizowano. W dniach 2–6 marca bieżącego roku, 1,5-metrowym teleskopem należącym do Cerro Tololo Inter-American Observatory w Chile, wykonano dodatkowe obserwacje już tylko owych kandydatów. Zastosowana kamera CCD pozwalała uzyskiwać rozdzielczość 0.″24 na piksel, z którą pokrywano pole o rozmiarach nieco ponad 8′ × 8′. Początkowo poprzestano na 20-minutowych ekspozycjach w podczerwonym paśmie fotometrycznym R, co przy seeingu zawierającym się typowo pomiędzy 0.″9 – 1.″4, pozwalało sięgać aż po obiekty o jasności w tym paśmie ≈23 mag. Taka procedura była podyktowana faktem, iż przy takiej głębokości obserwacji, obrazy obiektów bliskich GL, a tym bardziej do niej należących, powinny zaczynać rozdzielać się na pojedyncze gwiazdy, a koniec gałęzi olbrzymów na ich wykresach barwa – jasność, powinien stawać się wyraźnie widoczny. Dla tej części kandydatów, która faktycznie tak się zachowała, wykonano kolejne obserwacje, w szerokopasmowych filtrach V i I oraz, dodatkowo, wąskopasmowym H_α. Ostatecznie, wszystkie te „zmagania" przetrwał jeden obiekt, nasza tytułowa bohaterka. (zob. fot. 1 na wkładce)

Jej też poświęcono sporo uwagi, bo na opisane obserwacje przeznaczono w pasmach V, R, I oraz $H\alpha$ odpowiednio 4800, 3600, 3600 i 1800s. Dzięki temu uzbierano wystarczającą ilość „materiału dowodowego", by wszcząć fachowe astronomiczne „śledztwo", które w — miejmy nadzieję — najbliższej przyszłości pomoże w pełni odpowiedzieć na pytanie, co

mali mówią o wielkich

Na oryginalnych płytach z przeglądu nieba, Antlia to słaba plamka o wielkości 3 mm, co przekłada się na 3 sekundy kątowe na niebie. Jak już wspominaliśmy, taka aparycja jest charakterystyczna nie tylko dla ewentualnych nowych człon-

[1] 1 parsek (pc) = 3.26 lat świetlnych = $= 3.0856 \cdot 10^{16}$ m

1 Mpc = 1 mln pc = 3.26 mln lat św.

ków GL, ale i dla całego mrowia „intruzów" takich, jak mgławice planetarne, mgławice refleksyjne czy wreszcie odległe galaktyki o małych jasnościach powierzchniowych. Czasami w ten sposób manifestują się jeszcze galaktyki leżące tuż poza GL; tak też stało się w trakcie omówionej analizy — w gwiazdozbiorze Kil, wypatrzono przy okazji galaktykę ochrzczoną jako Argo (fot. 2 na wkładce), korzystając ze starej nazwy konstelacji Argo Navis (Statek Argonautów), podzielonej na kilka mniejszych. O tym, że Argo leży tuż za GL, w odległości galaktocentrycznej około 4Mpc, świadczą niebieskie i czerwone nadolbrzymy wyraźnie w niej widoczne, jak i rejestracja w linii wodoru neutralnego, wskazująca na typową nieregularną galaktykę karłowatą, czyli reprezentanta klasy dIrr. W przypadku Antlii, widoczne w niej czerwone olbrzymy, sytuują ją w obrębie Grupy Lokalnej.

Nowo odkryty obiekt wydaje się być podobny do innych galaktyk dSph: najjaśniejsze gwiazdy są łatwo rozróżnialne, sama galaktyka zaś charakteryzuje się całkiem gładką morfologią, pozbawioną jakichkolwiek wyrazistych skupisk gwiazd czy też ich gromad. Głęboka fotometria H_α zdradza brak ewidentnych obszarów powstawania gwiazd; nadto brak jest też młodych, gorących niebieskich gwiazd na wszystkich zdjęciach CCD. Rozkład kolorów i jasności gwiazd w dziedzinie optycznej jest typowy dla karłowatych, sferoidalnych satelitów Drogi Mlecznej.

Choć obiekty określane wspólnym mianem dSph oraz dIrr nie sprawiają swym wyglądem imponującego wrażenia, to są w stanie dostarczyć kluczowych informacji odnośnie swych większych krewnych. Rozkład przestrzenny galaktyk karłowatych i dodatkowo funkcja ich jasności, to kluczowe ograniczenia wobec teorii powstawania galaktyk. Nie do przecenienia są również dane, które dostarczają one teoriom próbującym uchwycić naturę ciemnej materii, jak i tym zajmującym się problematyką powstawania gwiazd w środowiskach o małej gęstości materii. Rozważania skupione wokół wewnętrznej dynamiki galaktyk karłowatych dostarczyły dowodów na niezwykle wysoki stosunek materii ciemnej do świecącej, a sama złożoność scenariusza powstawania gwiazd w pobliskich sferoidalnych galaktykach karłowatych Grupy Lokalnej, to nieustające wyzwanie dla teorii powstawania gwiazd w ogólności. Badając ruchy bardziej odległych karłów, wiele można powiedzieć o halo ciemnej materii GL jako całości, ale także — co ciekawsze — podać niezależne oszacowanie wieku Wszechświata, nie wymagające znajomości wartości stałej Hubble'a H_0. Dokonuje się tego przy wykorzystaniu techniki znanej pod angielską nazwą *timing arguement*, której myśl przewodnia jest bardzo prosta. Według kosmologii uznających poprawność idei Wielkiego Wybuchu, całość „ekipy" Grupy Lokalnej powstała blisko siebie w przestrzeni, jednakowoż ze sporymi indywidualnymi, względnymi prędkościami. Zatem znając ich obecne odległości i prędkości oraz masy większych galaktyk składowych, można cofnąć się za pomocą odpowiednich rachunków wstecz, czego „produktem ubocznym" jest właśnie ocena wieku Wszechświata.

Jakby mało jeszcze było zalet galaktyk karłowatych, spełniających niewątpliwie regułę postulującą, że „małe jest piękne", w specyficznych przypadkach oddają one wręcz fantastyczne zasługi dla zrozumienia mnóstwa rzeczy. Dzieje się tak, gdy uda się znaleźć obiekty zajmujące w Grupie Lokalnej izolowane miejsce, przez co ich niezaburzona egzystencja daje szansę na wgląd w jej historię, u samego jej zarania. I Antlia jest właśnie takim obiektem. Będąc w odległości galaktocentrycznej wynoszącej 1.15 ± 0.10 Mpc, leży ona blisko granicy GL. Mając średnicę rzędu 1–2 kpc, mieści w sobie zaledwie około miliona gwiazd. Najbardziej podobna jest do galaktyki karłowatej Tucana, jedynego innego znanego przykładu izolowanej sferoidalnej galaktyki karłowatej (galaktyka WLM, aczkolwiek również pędząca swój żywot w izolacji, należy do klasy dIrr). Wciąż nie koniec to listy ciekawostek związanych z Antlią; gdy przyjrzymy się bliżej tej galaktyce, odkryjemy

Tabela 1. Wielkości charakteryzujące galaktykę karłowatą Antlię.

Odległość	$(m - M)_0$	25.3 ± 0.2
	Mpc	1.15 ± 0.10
Metaliczność	[Fe/H]	-1.6 ± 0.3
Jasność widoczna	m_V	14.8 ± 0.2
	m_R	14.3 ± 0.2
Ekstynkcja	E(B–V)	0.05
	A_V	0.2
Jasność absolutna	M_V	-10.7 ± 0.3
Eliptyczność	e	0.35 ± 0.03
Położenie	α	$10^h01^m47^s.5$
	δ	$-27°05'15''$
	l	263.°1
	b	22.°3

jeszcze dwie zagadki

W tym celu podamy trochę liczb opisujących Antlię, szkicując zarazem drogę postępowania, pozwalającą je uzyskiwać. Nim wymienieni na początku naukowcy mogli rozpocząć drobiazgową analizę, należało uzyskane obrazy poddać skomplikowanej obróbce, by możliwie maksymalnie wyodrębnić Antlię z tła. Gdy to zostało wykonane, wiele parametrów zyskało konkretne wartości — tabela 1 podaje sporo fundamentalnych danych o naszej bohaterce. Korzystając z dostępnego oszacowania odległości oraz mając na uwadze widomą jasność galaktyki można policzyć, że jej jasność absolutna $M_V = -10.7 \pm 0.3$, a wskaźnik barwy $V–R \approx 0.5$. Żeby wartości te miały dla nas jakąś konkretną wymowę trzeba powiedzieć, że są one podobne do tych, które charakteryzują jaśniejsze galaktyki dSph Drogi Mlecznej oraz bardzo bliskie tych dla sferoidalnych galaktyk karłowatych orbitujących wokół M31: And I, II i III. Przykładowo, w 1992 roku R.J. Lavery i K.J. Mighell oszacowali, iż dla galaktyki Tucana $M_V = -9.5$ i $B–R \approx 1.1$.

Jeśli skonstruujemy dla Antlii wykres barwa–jasność (rys. 1) to okaże się, iż nie widać tam żadnych jasnych, niebieskich gwiazd z młodej populacji gwiazdowej, jak również najwyraźniej brakuje rozległego składnika AGB (asymptotycznej gałęzi olbrzymów) pośredniego wieku, chociaż w tym drugim przypadku trzeba by wykonać jeszcze czulsze obserwacje, by to potwierdzić. Na obecnym etapie badań można zatem konkludować, iż gwiezdna zawartość Antlii jest najprawdopodobniej zdominowana przez starą populację gwiazdową, podobną do tej, która występuje w większości

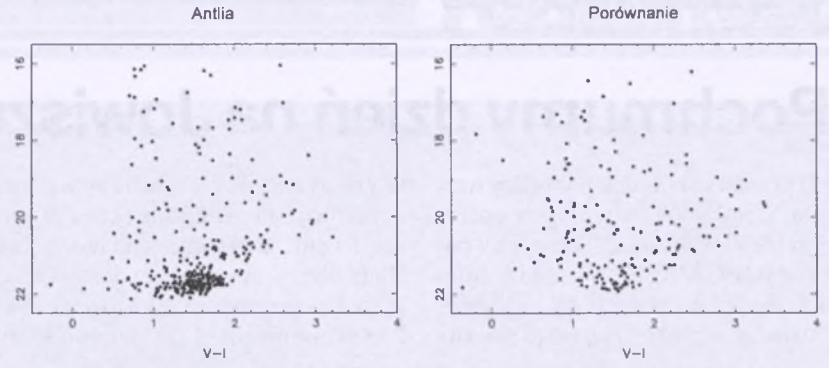
Grupa Lokalna

Jako pierwszy, tę jednostkę hierarchicznej budowy Wszechświata wyodrębnił Edwin Hubble, gdy po raz pierwszy mierzył odległości do galaktyk. Spostrzegł on, iż istnieje wyrazista różnica pomiędzy tymi obiektami, w których łatwo było dojrzeć poszczególne gwiazdy, a pozostałymi. Wniosek z tego był taki, że Droga Mleczna to część małej lokalnej gromady galaktyk; obecnie znamy jej trzydziestu paru reprezentantów. Poniższa tabela, dostępna również pod adresem `http://www.ast.cam.ac.uk/~mike/local_members.html`, charakteryzuje ich dokładniej, a jej druga część wymienia galaktyki będące prawdopodobnie tuż za Grupą Lokalną. Rys. 2 pokazuje strukturę jej zewnętrznych części.

Nazwa		Współrzędne (α, δ)		Typ	D (kpc)	M_V	V_0 (km/s)
M31	NGC 224	00 40.0	+40 59	Sb	725	–21.1	–299
Galaktyka		17 42.4	–28 55	Sbc	–20.6		
M33	NGC 598	01 31.1	+30 24	Sc	795	–18.9	–180
LMC		05 24.0	–69 48	Irr	49	–18.1	270
IC 10		00 17.7	+59 01	Irr	1250	–17.6	–343
NGC 6822	DDO 209	19 42.1	–14 56	Irr	540	–16.4	–49
M32	NGC 221	00 40.0	+40 36	E2	725	–16.4	–190
NGC 205		00 37.6	+41 25	E5	725	–16.3	–239
SMC		00 51.0	–73 06	Irr	58	–16.2	163
NGC 3109	DDO 236	10 00.8	–25 55	Irr	1260	–15.8	403
NGC 185		00 36.2	+48 04	E3	620	–15.3	–208
IC 1613	DDO 8	01 02.2	+01 51	Irr	765	–14.9	–236
NGC 147	DDO 3	00 30.5	+48 14	E4	589	–14.8	–157
Pegasus	DDO 216	23 26.1	+14 28	Irr	1800	–14.6	–181
Sextans B	DDO 70	09 57.4	+05 34	Irr	1300	–14.3	301
Sextans A	DDO 75	10 08.6	–04 28	Irr	1300	–14.2	325
WLM	DDO 221	23 59.4	–15 45	Irr	940	–14.0	–116
Sagittarius		18 51.9	–30 30	dE7	24	–14.0	140
Fornax		02 37.8	–34 44	dE3	131	–13.0	53
Leo I	DDO 74	10 05.8	+12 33	dE3	270	–12.0	285
And II		01 13.5	+33 09	dE3	587	–11.7	
And I		00 43.0	+37 44	dE0	790	–11.7	
SagDIG		19 27.9	–17 47	Irr	1150	–11.0	–79
Antlia		10 01.8	–27 05	dE3		1150	–10.7
Sculptor		00 57.6	–33 58	dE	78	–10.7	107
And III		00 32.6	+36 12	dE6	790	–10.2	–299
Leo II	DDO 93	11 10.8	+22 26	dE0	230	–10.2	76
Sextans		10 10.6	–01 24	dE4	90	–10.0	224
Phoenix		01 49.0	–44 42	Irr	390	–9.9	56
LGS 3		01 01.2	+21 37	Irr/dE	760	–9.7	–277
Tucana		22 38.5	–64 41	dE5	900	–9.6	
Carina		06 40.4	–50 55	dE4	87	–9.2	223
Ursa Minor	DDO 199	15 08.2	+67 23	dE5	69	–8.9	–250
Draco	DDO 228	17 19.2	+57 58	dE3	76	–8.6	–289
EGB0427+63	UGC-A92	04 27.4	+63 30	Irr	800	–10.0	–105
Aquarius		20 44.2	–13 01	Irr	3000:		–131
Leo A	DDO 69	09 56.5	+30 59	Irr	2300:		+26
GR 8	DDO 155	12 56.2	+14 29	Irr	2000:		+216
IC 5152		21 59.6	–51 32	Irr	1600:		+121
UKS 2323–326		23 23.8	–32 40	Irr	1300:		+62
2318–42		23 18.1	–42 00	Irr			+16
Argo		07 04.5	–58 27	Irr	3500:		554

sferoidalnych galaktyk karłowatych Grupy Lokalnej. Co widać na rysunku 3, klarownie zaznaczona jest gałąź czerwonych olbrzymów. Jeśli dla tego wykresu sporządzimy histogram, to kraniec owej gałęzi wyraźnie wypada w miejscu $I = 21.4 \pm 0.1$, $V-I = 1.55 \pm 0.05$.

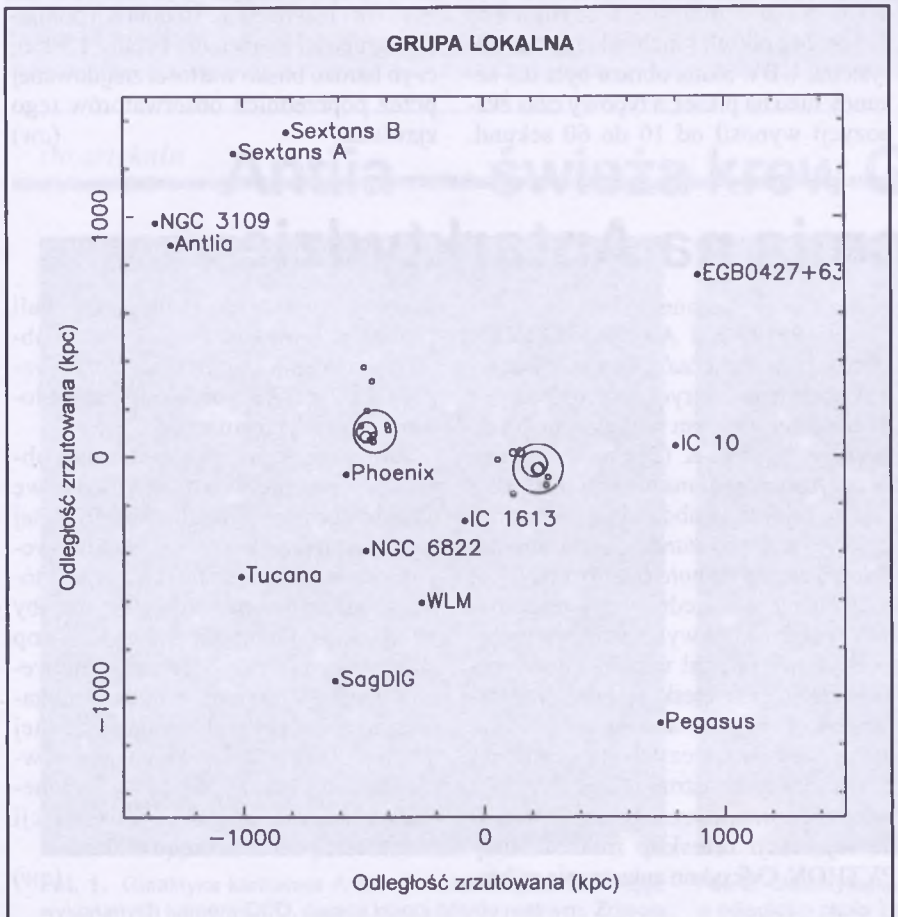
Chociaż optycznie przypomina zwykłe sferoidalne galaktyki karłowate, jest ona obiektem intrygującym choćby dlatego, że



Rys. 1. Wykres barwa-jasność w pasmach *V*, *I* dla Antlii — wyraźnie zaznaczona jest gałąź czerwonych olbrzymów. Z prawej strony, dla porównania pokazano taki sam wykres dla zewnętrznych części tych samych zdjęć CCD, gdzie widać brak populacji czerwonych olbrzymów (wykres zaczerpnięty z pracy autorów odkrycia).

Antlia ma gaz

Szacunkowa masa jej wodoru neutralnego HI, wskazuje na wartość rzędu $(8 \pm 2) \times 10^5$ $M_\odot$. Chociaż w ten sposób plasowałaby się bezproblemowo na przedłużeniu dobrze zdefiniowanej korelacji pomiędzy masą HI, a jasnością w paśmie *B*, dla galaktyk o małej jasności powierzchniowej, to stanowiłaby jednak unikat w klasie dSph. Powód jest prosty — jedną z cech charakterystycznych takich obiektów jest właśnie *brak* gazu. Wychodząc z przypuszczenia, że karłowate galaktyki będące satelitami Drogi Mlecznej, zostały pozbawione gazu w wyniku działania sił pływowych podczas wielokrotnie powtarzającego się oddziaływania z macierzystym systemem, wysunięto hipotezę, iż ich prekursorami mogły być liczne nieregularne galaktyki karłowate dIrr znalezione w odosobnionych obszarach GL. Przykładowo, LGS3 i Phoenix, obie dIrr, mają populacje młodych gwiazd i zaobserwowano w nich gaz, podczas, gdy Tucana wydaje się być pozbawioną gazu sferoidalną galaktyką karłowatą.



Rys. 2. Widok na Grupę Lokalną w rzucie na płaszczyznę. Dużymi kółkami zaznaczono Drogę Mleczną (po lewej) i M31 (po prawej), otoczone przez swoje satelity. Antlia jest blisko galaktyki NGC3109, ale odległa od prawie wszystkich pozostałych galaktyk karłowatych na obrzeżu Grupy Lokalnej (schemat zaczerpnięty z pracy autorów odkrycia).

Na koniec pozostała nam do omówienia jeszcze jedna ciekawa kwestia, której bohaterkami są

Antlia i NGC 3109

Ta ostatnia leży na niebie w odległości tylko 1.°2 od Antlii i w porównywalnej odległości galaktocentrycznej. Sugeruje to pytanie, czy aby przypadkiem galaktyki te nie tworzą związanej fizycznie pary. Dla Antlii, jej całkowitą masę oszacowano na $3.3 \pm 1.3 \times 10^7$ $M_\odot$, a porusza się ona z prędkością $\approx$78 km/s względem środka masy GL. Dla NGC3109 prędkość ta wynosi $\approx$120 km/s, natomiast masę oszacowali w 1990 roku M. Jobin i C. Carignan na $8.6–8.9 \times 10^9$ $M_\odot$. Na podstawie widocznego rozdzielenia na niebie wiemy, że minimalna możliwa odległość pomiędzy tymi galaktykami to $\approx$26 kpc. W takim przypadku, różnica całkowitej prędkości powinna być mniejsza niż ~54 km/s, by Antlia była satelitą tej drugiej galaktyki. Z drugiej strony, czysto grawitacyjne kryteria pokazują, że przy założeniu całkowitej masy Grupy Lokalnej równej w przybliżeniu 3×10^{12} $M_\odot$, jej pole pływowe przewyższa oddziaływanie NGC 3109 na Antlię, jeśli ta byłaby odległa o bardziej niż około 130 kpc od swojej sąsiadki; jak widać jest to nawet słabsze ograniczenie, aniżeli poprzednie. Niemniej jednak, aby stwierdzić, czy obie galaktyki karłowate tworzą fizycznie związaną parę, niezbędne są dodatkowe, jeszcze dokładniejsze obserwacje.

Marek Gołębiewski jest doktorantem w Centrum Astronomii UMK i wiernym współpracownikiem naszej Redakcji.

Pochmurny dzień na Jowiszu (jak co dzień)

Obraz przedstawia widok pomiędzy warstwami obłoków Jowiszowych oparty na obrazach i widmach uzyskanych z pokładu sondy GALILEO. Zarówno odległości między warstwami jak i wysokości struktur obłoków są większe niż w rzeczywistości. W niższej warstwie obłoków jasnoniebieskie twory są wyższe i rzadsze niż czerwonawe obłoki. Białe obłoki są wysokie i gęste. Obszary suche i przezroczyste kodowane są kolorem niebieskim. Prawdopodobnie w jedną z takich „dziur" wpadł próbnik atmosferyczny, który odłączył się od sondy GALILEO (wejście w atmosferę Jowisza nastąpiło 7 grudnia 1995 roku). Górna warstwa obłoków ma grubość kilkudziesięciu mil. (*rs*)

Nowe pomiary grubości pierścieni Saturna

Jedną z interesujących i znaczących cech pierścieni Saturna jest ich grubość. Pierwsze ilościowe pomiary tego parametru zostały wykonane w roku 1966, w czasie przejścia Ziemi przez płaszczyznę pierścieni. Posługując się metodami fotometrii fotograficznej, Kiladze, Focas i Dollfuse stwierdzili wtedy, że grubość pierścienia Saturna mieści się w granicach od 1.4 do 2.8 km. Pomiary wykonane przez Andrzeja Brahica wraz ze współpracownikami w roku 1980 wskazywały, że najprawdopodobniej grubość pierścieni Saturna wynosi 1.4 km. Oceny dokonane już rok później, na podstawie obserwacji sondy Voyager 2 wskazywały na znacznie mniejszą grubość, tylko 0.15 km.

W czasie ostatniego Kongresu Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Kioto w Japonii trzej gruzińscy astronomowie z Obserwatorium Astrofizycznego w Abastumani, R.I. Kiladze, T.M. Kvernadze i M. Gigoshvili, przedstawili wyniki obserwacji wykonanych w czasie ostatniego przejścia Ziemi przez płaszczyznę pierścieni tej ciekawej planety w roku 1995. Obserwacje były wykonywane w ognisku pierwotnym teleskopu 125 cm pracującym w systemie Ritchie-Chretiena. Użyto kamery CCD typu SBIG ST-6 z matrycą o rozmiarach 375 × 242 pikseli i niebieskiego filtru B systemu UBV. Skala obrazu była 0.3 sekundy łuku na piksel, a typowy czas ekspozycji wynosił od 10 do 60 sekund. Obserwowano w czasie 12 nocy w okresie od 20 lipca do 27 sierpnia 95. Przejście Ziemi przez płaszczyznę pierścieni przypadało na noc 10/11 sierpnia. Autorzy wyznaczyli ten moment na 11 sierpnia godz. 01 min. 03 ± 10 minut czasu lokalnego. Pomierzona przez nich grubość pierścienia wynosiła: 4 km — pierścień C, 6 km — pierścień B, 4 km — pierścień A i 3 km — pierścień F. Wszystkie wyznaczenia obarczone były błędem ± 0.5 km. Autorzy zauważają, że gdyby pominęli pomiary wykonane w noc tranzytu 10/11 sierpnia, to średnia ich pomiarów grubości pierścienia byłaby 1.3 km, czyli bardzo blisko wartości znajdowanej przez poprzednich obserwatorów tego zjawiska. (*aw*)

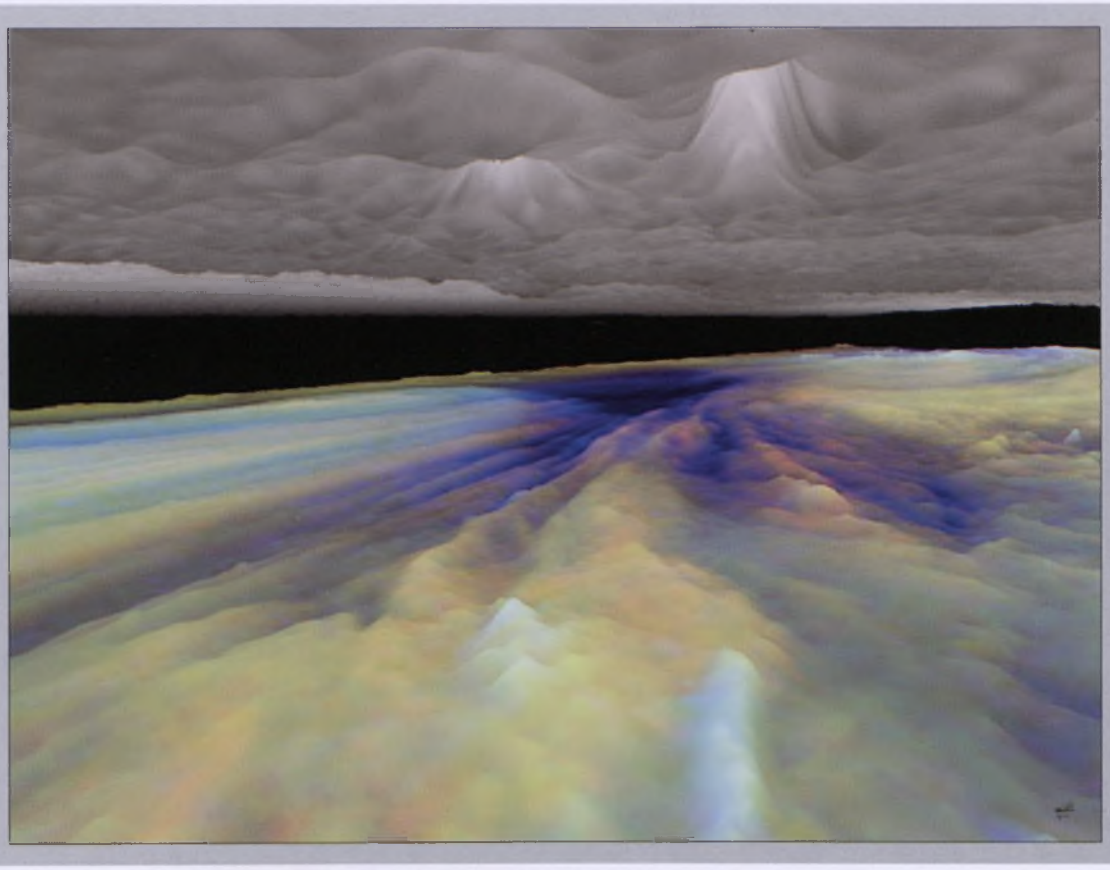
Astronomia na Antarktydzie

W ostatnich latach Amerykańska Fundacja Nauki i Techniki utworzyła Centrum Badań Astrofizycznych w Antarktyce CARA (*Center for Astrophysical Research in Antarctica*) oraz obserwatorium astronomiczne w pobliżu południowego bieguna Ziemi nazwane Stacją im. Amundsena-Scotta (*Amundsen-Scott South Pole Station*). Biegun skusił astronomów doskonałymi warunkami obserwacyjnymi: bardzo niska temperatura wysusza powietrze i redukuje tło termiczne, dając wspaniałe warunki dla obserwacji w zakresie długości fal od 2 mikrometrów do 1 milimetra. Ponadto wiejące tam wiatry są stosunkowo łagodne. Już od paru lat astronomowie zbierają tam dane o ciałach niebieskich przez 6 miesięcy arktycznej nocy w temperaturze otoczenia 190 K.

Regularnie czynne są tam dwa teleskopy.: SPIREX i AST/RO. SPIREX (*South Pole InfraRed EXplorer*) jest teleskopem fotometrycznym o średnicy 60 cm obserwującym w bliskiej podczerwieni w pasmie K (2.3 mikrometra). W przyszłym roku ma obserwować również w rejonie lambda ok. 3 mikrometrów. AST/RO (*Antarctic Submillimeter Telescope and Remote Observatory*) jest instrumentem o średnicy 1.7 m do badań spektroskopowych i fotometrycznych w zakresie fal w pobliżu 600 mikrometrów. Oba teleskopy są zdalnie sterowane. Przyjmowane są propozycje projektów badawczych do realizacji za pomocą tych instrumentów. W czasie ostatniego antarktycznego lata pracował na tej stacji teleskop mikrofalowy PYTHON. Odkrył on anizotropię mikrofalowego promieniowania tła w skali 1 stopnia. Dwa nowe teleskopy do obserwacji kosmicznego tła mikrofalowego,VIPER i DASI, będą tam zainstalowane w najbliższym czasie.

Dotychczasowe doświadczenia obserwacyjne stanowią dobrą podstawę do dalszego rozwoju instrumentarium tej stacji. Istnieje projekt Międzynarodowego Obserwatorium Antarktycznego, którego podstawowym instrumentem byłby 10-m teleskop submilimetrowy. Teleskop taki byłby zdolny do odbierania liniowego i ciągłego promieniowania protogalaktyk w odległości kosmologicznej $z = 3$ w ciągu godziny. Planuje się również budowę teleskopów klasy 2 i 3 metrów przeznaczonych do obserwacji w zakresie podczerwonym widma. (*aw*)

Sprostowanie: *W poprzednim zeszycie PA na rozkładówce błędnie podaliśmy NASA jako właściciela prezentowanej tam panoramy Marsa. Prawa autorskie do tych zdjęć, jak i wszystkich innych, wykonanych za pomocą stacji im. Sagana, należą do California Institute of Technology. Za pomyłkę przepraszamy.*



Przestrzenny obraz chmur na Jowiszu modelowany na podstawie obrazów i danych spektralnych uzyskanych z lądownika sondy Galileo.

Opis na str. 24.

Fot. JPL/NASA

Do artykułu na str. 20.

Antlia — świeża krew Grupy Lokalnej

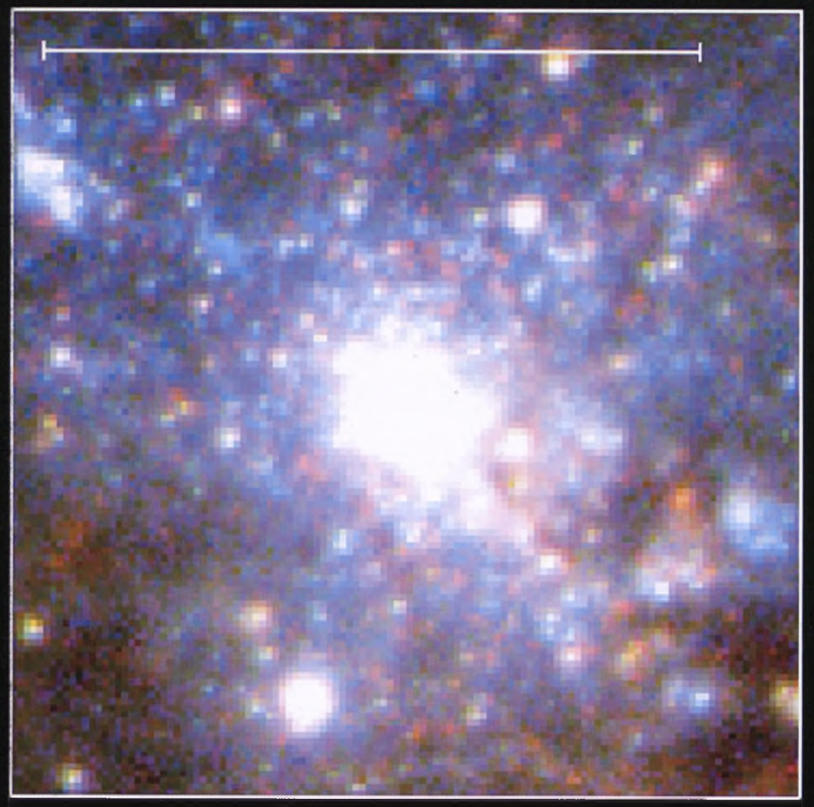
Fot. 1. Galaktyka karłowata Antlia — kombinacja trzech zdjęć wykonanych kamerą CCD, dająca kolory bliskie realnym. Zdjęcie obejmuje pole 4′×4′, północ jest na górze, a zachód na lewo. Do obserwacji wykorzystano 1.5-metrowy teleskop w obserwatorium CTIO w Chile. Wyraźnie widoczne są pojedyncze gwiazdy.

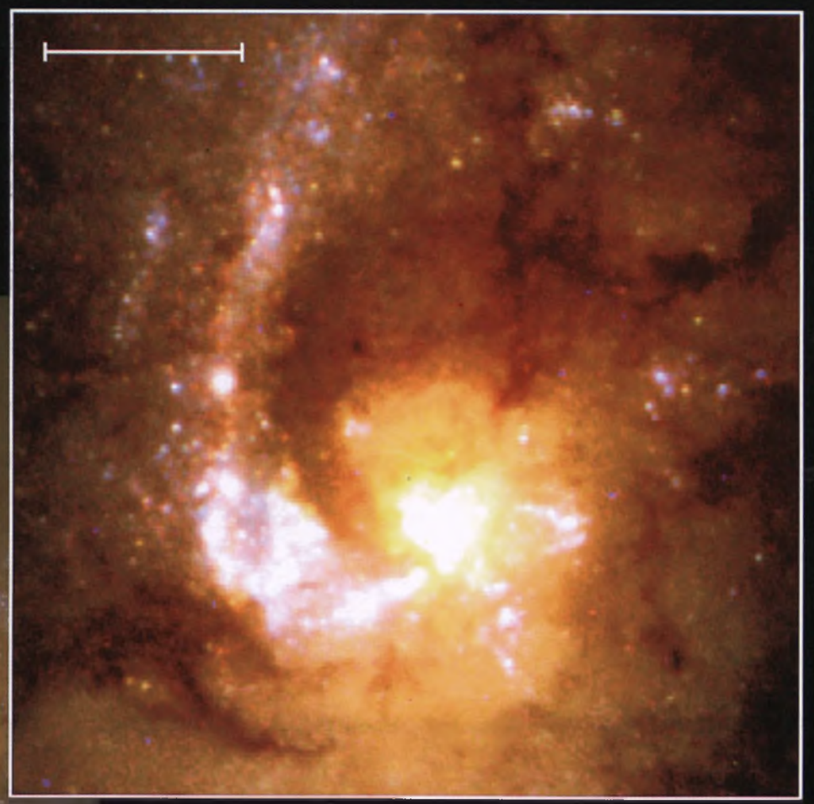
Fot. 2. Galaktyka karłowata Argo, leżąca tuż za Grupą Lokalną, w odległości około 13 milionów lat świetlnych. Zdjęcie zostało wykonane analogicznie jak podaje opis do rys.1. Widać czerwone nadolbrzymy, a także gorące, niebieskie obszary, w których powstają gwiazdy.

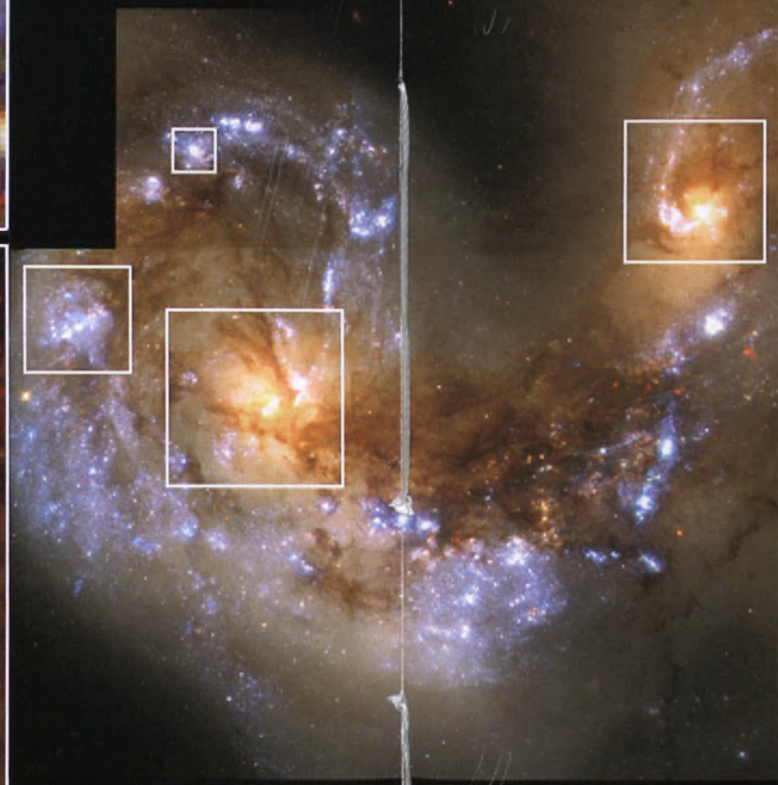
Zdjęcia: M. Irwin (RGO), A. Whiting i G. Hau (Uniwersytet w Cambridge).

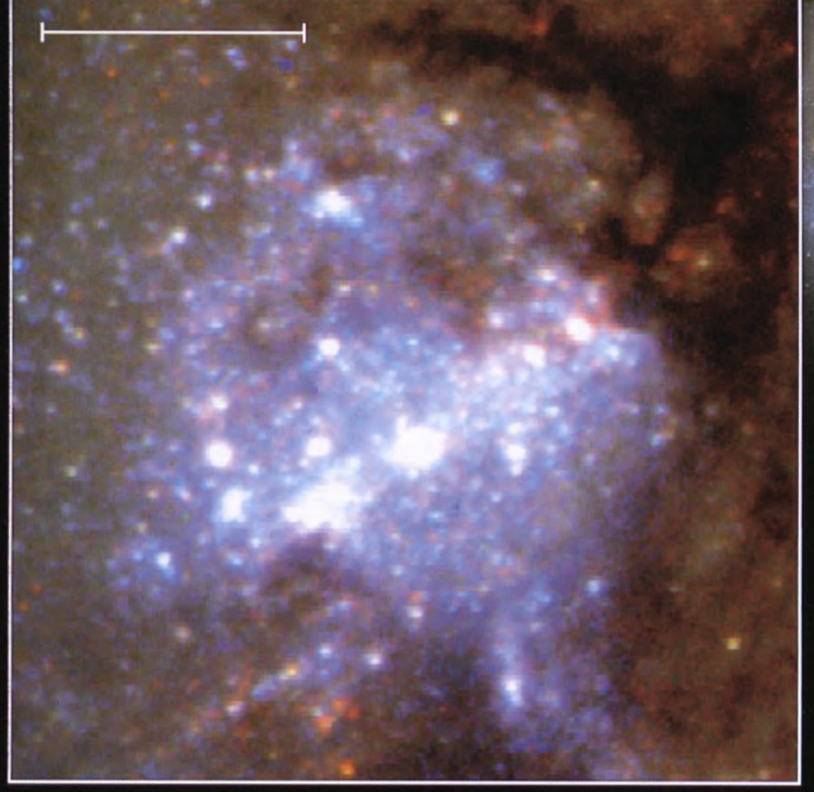
Zderzenia galaktyk

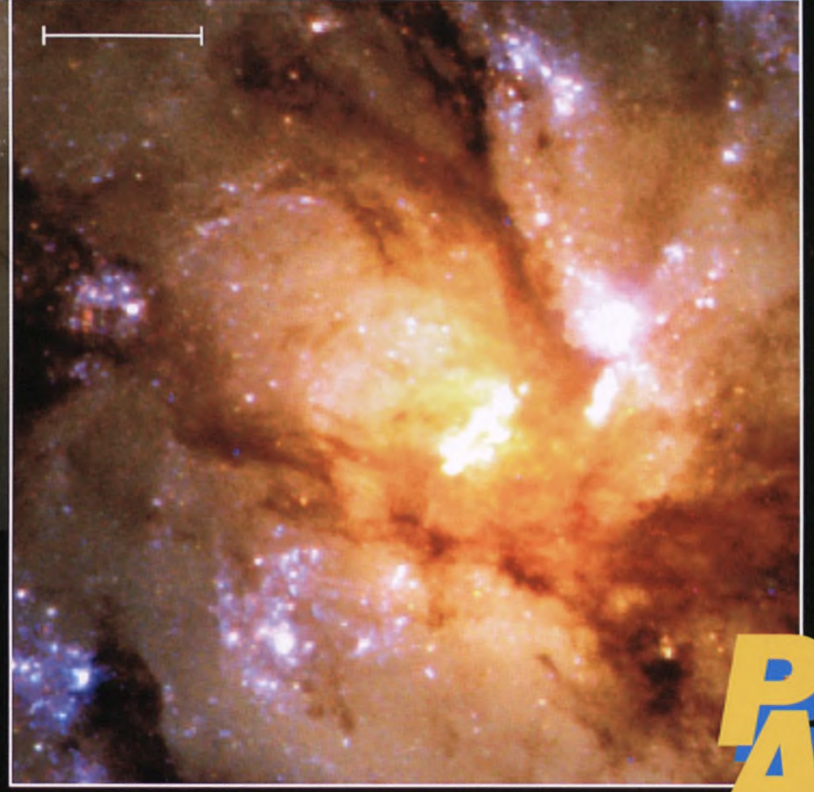
Opis na str. 25.











NGC 4038
NGC 4039

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Czarna dziura w NGC 6251

(Opis ilustracji na str. 25.)

Czarna dziura w NGC 6251

Wykorzystując kamerę słabych obiektów FOC, jeden z instrumentów Teleskopu Hubble'a, Philippe Crane i współpracownicy mogli przyjrzeć się aktywnej galaktyce NGC 6251 znajdującej się w gwiazdozbiorze Panny, 300 milionów lat św. od nas. Osiągnęli rozdzielczość pozwalającą dojrzeć w niej szczegóły o wielkości 50 lat św. Dzięki temu mogli oni ujawnić znajdujące się w jej centrum wielce ciekawe struktury. Przede wszystkim jest tam najprawdopodobniej obecna masywna czarna dziura, która dosłownie i w przenośni rzuca nowe światło na zagadnienia właściwości środowisk wokół tych intrygujących obiektów. Dotychczas odkryte czarne dziury były skryte w torusie pyłowym. W takich przypadkach promieniowanie wyświecane przez niewiarygodnie gorący gaz „złapany" przez ich potężne pola grawitacyjne było ograniczone przestrzennie do wąskiej wiązki, wydobywającej się z dziury w torusie. Tutaj zaś czarna dziura jest „eksponowana" — to właśnie ta jasna plama w centrum zdjęcia, po lewej stronie. Tak naprawdę obraz ten jest mozaiką: na zdjęcie wykonane kamerą WFPC2 nałożono obraz z FOC (kolor niebieski). Obraz nadfioletowy to światło odbite od dysku czy też pierścienia pyłowego, o szerokości 1000 lat świetlnych, otaczającego czarną dziurę. Wyraźnie widoczna asymetria wskazuje na to, że jest on wygięty (co pokazuje obrazowo umieszczona w owalu ilustracja wykonana przez Jamesa Gitlina z STScI), przez co widzimy promieniowanie odbite od jego jednego boku. Wygięcie takie może być spowodowane perturbacjami grawitacyjnymi w jądrze galaktyki, które zapobiegają temu, by dysk był płaski. Może to być również efekt precesji osi obrotu czarnej dziury względem osi obrotu galaktyki.

Co prawda, masa czarnej dziury nie została jeszcze określona na podstawie pomiarów prędkości uwięzionej materii, ale pośrednim dowodem jej istnienia jest prostopadły do dysku dżet wysokoenergetycznych cząstek i promieniowania, o długości 3 milionów lat św. Nadto, u podstawy dżetu, prostopadle do niego, znajduje się osobliwy obiekt w kształcie palca; posiłkując się zdjęciem z WFPC2 można stwierdzić, że biegnie on równolegle do dysku pyłowego.

Zdjęcie z lewej strony u dołu zostało wykonane teleskopem naziemnym, a kwadrat wskazuje pole widzenia HST.

Marek Gołębiewski

Zdjęcia: Philippe Crane (ESO) i NASA.

Owocne zderzenia galaktyk

W gwiazdozbiorze Kruka, 63 miliony lat świetlnych stąd, znajduje się podwójna galaktyka NGC 4038/4039, popularnie zwana Anteną. Obraz czarno-biały z obserwatorium naziemnego, zaprezentowany z lewej strony na okładce, wyjaśnia skąd taka nazwa: w rzeczywistości dwom zderzającym się galaktykom towarzyszą smugi materii przypominające antenę czy jak chcą inni — owadzie czułki. Zdjęcia kolorowe prezentowane zarówno na okładce, jak i na środkowych stronach wkładki, są kompozycją w kolorach naturalnych, uzyskaną ze złożonych czterech obrazów czarno-białych zrobionych szerokokątną kamerą planetarną WFPC2 teleskopu kosmicznego Hubble'a w dniu 20 stycznia 1996 roku. Rozdzielczość obrazu wynosząca 15 lat św. na piksel pozwala bez trudu dostrzec wiele szczegółów. Poszczególne jądra galaktyk, widoczne tutaj jako pomarańczowe plamy, poprzecinane są włóknami ciemnego pyłu. Pomiędzy nimi rozciąga się szerokie pasmo chaotycznie ułożonego pyłu, pochodzącego z obu galaktyk. Rozległe, podobne do spirali wzory, wyznaczane przez jasnoniebieskie gromady gwiazd, to rezultaty gwałtownego powstawania gwiazd, zapoczątkowanego przez zderzenie. Astronomowie doliczyli się tam 1000 takich gromad, a pamiętajmy, że tego rodzaju gromady, to skupiska około miliona gwiazd! Gromady są niebieskie, ponieważ są bardzo młode. Najmłodsze mają tylko parę milionów lat, co jest okresem bardzo krótkim w astronomicznej skali czasu. Na zbliżeniach paru fragmentów tej mgławicy (obrazy na wkładce), skalę zdjęcia wyznacza jasna kreska: jej długość równa się 1500 lat świetlnych.

Komentując te odkrycia, ich autor Brad Whitmore z Instytutu Naukowego Teleskopu Kosmicznego STScI w Baltimore podkreślił, że będą one nieocenioną pomocą w utworzeniu chronologicznego ciągu ewolucyjnego zderzających się galaktyk. Gromady kuliste w aktualnie zderzających się obiektach są bowiem bardzo jasne i niebieskie, podczas gdy w starszych pozostałościach po kolizjach galaktyk — słabsze i bardziej czerwone. Co więcej, być może zbliżymy się do rozwiązania zagadki, dlaczego niektóre galaktyki są spiralne, a inne eliptyczne. Z kolei François Schweizer z Carnegie Institiution w Waszyngtonie, dzięki takim zdjęciom HST ma nadzieję na szybki postęp w rozumieniu mechanizmów prowadzących do powstawania gromad kulistych z obłoków wodorowych w przestrzeni kosmicznej. Uważa też on, że ta galaktyka jest doskonałym laboratorium dla badania procesów formowania się gwiazd i gromad gwiazdowych, ponieważ jest najbliższym nam i najmłodszym przykładem pary zderzających się galaktyk.

Scenariusz rodzenia się gwiazd w wielkich obłokach molekularnych w zderzających się galaktykach jest w skrócie następujący: kolizja powoduje wzrost ciśnienia gazu wokół takich obłoków i ich penetrację przez fale uderzeniowe. Te z kolei zapoczątkowują procesy formowania się gwiazd, które zużywają większość dostępnego w obłokach gazu. W ten sposób powstają bogate gromady gwiazd, z których każda zawiera nawet do miliona gwiazd. Dotychczas wykonane obserwacje za pomocą teleskopu Hubble'a sugerują, że wiele z takich nowych gromad pozostaje związanych wpływem własnej grawitacji i ewoluuje do postaci gromad kulistych. Wniosek jest więc stąd taki, że gromady kuliste niekoniecznie są reliktami wcześniejszych generacji gwiazdowych powstałych w galaktyce, co dotychczasowo powszechnie przyjmowano, ale mogą również stanowić swoisty zapis „kopalny" niedawnych zderzeń.

Wcześniejsze zdjęcia z teleskopu Hubble'a wskazują na to, że prawie jedna trzecia bardzo odległych galaktyk z zamierzchłej przeszłości Wszechświata, wydaje się być oddziałującymi ze sobą obiektami. W szczególności, bardzo długa ekspozycja wybranego fragmentu nieba, znana pod nazwą Hubble Deep Field, ujawniła wręcz nadmiar dziwnie ukształtowanych, wyglądających jak rozerwane, galaktyk. Wygląda więc na to, iż kiedyś zderzenia galaktyk były raczej regułą, aniżeli wyjątkiem.

M.G.

Tajemnicze pary i gwiazdowi wygnańcy

Teleskop Kosmiczny Hubble'a — HST dokonuje ciągle nowych i zagadkowych odkryć astronomicznych. Do takich można niewątpliwie zaliczyć zarejestrowane ostatnio przez HST i opisane poniżej zjawiska: dwa z nich związane są z gwiazdami podwójnymi w gromadach kulistych, trzecie dotyczy obecności gwiazd w przestrzeni międzygalaktycznej.

1. Tajemnicze pary

Gromady kuliste są ogromnymi skupiskami zawierającymi do miliona gwiazd poruszających się we wspólnym polu grawitacyjnym gromady. W naszej Galaktyce znamy około 150 takich systemów, a jest ich prawdopodobnie trzykrotnie więcej. Gromady kuliste zmieniają się z czasem. W pewnych okresach ich życia centralne obszary gromad kurczą się. Powoduje to znaczne zgęszczenie gwiazd w tych obszarach. Taki kolaps jądra gromady przypomina fazę czerwonego olbrzyma w ewolucji gwiazdy, podczas której zewnętrzne warstwy gwiazdy ekspandują przy równoczesnym „zapadaniu się" obszarów centralnych. Skala kolapsu gromady jest jednakże nieporównanie większa. Obserwacje HST ujawniły, że gęstości gwiazd w obszarach centralnych gromad kulistych sięgają 30 000 gwiazd w kuli o promieniu około jednego roku świetlnego. Dla porównania w tej samej objętości w otoczeniu Słońca znajduje się statystycznie około 0.003 gwiazdy. Przypuszcza się, że w dynamicznej ewolucji gromad kulistych szczególną rolę odgrywają znajdujące się w nich gwiazdy podwójne. Związane jest to z właściwością pochłaniania przez te układy energii pobranej od przechodzących w pobliżu gwiazd lub przekazywania tym gwiazdom energii wewnętrznej układu. Takie procesy, szczególnie aktywne w gęstych, centralnych obszarach gromad mogą opóźniać, zatrzymać albo nawet odwrócić kolaps gromady. Poza tym zbliżenia gwiazd z układami podwójnymi są prawdopodobnie odpowiedzialne za powstanie różnorodnych egzotycznych obiektów w gromadach kulistych. Np. w centralnych obszarach gromad obserwuje się m.in. „niebieskich maruderów" (gwiazdy wyglądające na młodsze niż są w rzeczywistości), milisekundowe pulsary (gwałtownie rotujące, bardzo zwarte obiekty), słabe i silne źródła promieniowania X, jak również zmienne kataklizmiczne (ciasne układy podwójne wysyłające „błyski"). Stąd też obecność i własności układów podwójnych w gromadach kulistych od dłuższego już czasu przyciągają uwagę badaczy.

Jedną ze szczególnie intensywnie badanych gromad kulistych jest odległa zaledwie o 16 000 lat świetlnych od Słońca bardzo masywna gromada 47 Tuc. Wiele wskazuje na to, że zbliża się ona do krytycznego momentu kolapsu jądrowego. Wykonane ostatnio przez grupę badaczy z Niemiec, USA i Australii obserwacje centralnego obszaru tej gromady za pomocą HST pokazały, że jeden z jej rozpoznanych uprzednio układów podwójnych nazwany AKO 9 nieoczekiwanie, w okresie zaledwie 1 godziny, pojaśniał prawie siedmiokrotnie, stając się najjaśniejszym obiektem w centrum gromady. Istniejące modele układów podwójnych przewidują wprawdzie możliwość gwałtownych pojaśnień, ale dopuszczają jedynie pojaśnienia wyraźnie słabsze albo też znacznie silniejsze od zaobserwowanego. Np. w układach podwójnych, składających się z gwiazdy typu słonecznego i drugiej zimniejszej, ale bardziej masywnej, aktywność magnetyczna w górnych warstwach tej ostatniej może prowadzić do nagłego wzrostu jasności, ale nigdy takiego, jak dostrzeżona w AKO 9. Innej możliwości dostarcza układ złożony z dużej, zimnej gwiazdy z małym, zwartym towarzyszem tzw. białym karłem. Biały karzeł otoczony jest przez rotujący dysk materii. Sporadycznie pojawiające się niestabilności w tym dysku mogą powodować wzrost emisji promieniowania X, a także prowadzić do znacznego wzrostu jasności układu w zakresie ultrafioletowym. Jednakże szereg obserwowanych własności AKO 9 nie wskazuje, aby był to system podwójny tego typu. Gwałtowne pojaśnienie można by też próbować wyjaśnić zjawiskiem nowej — spowodowane nagłą jądrową eksplozją w atmosferze białego karła. Lecz w takim przypadku wzrost jasności byłby dużo większy niż obserwowany w AKO 9. Obserwowany rozbłysk AKO 9, nie mieszczący się w przewidywanym przez znane mechanizmy zakresie, trudno zrozumieć bez założenia występowania w tym układzie (a może gromadzie?) nieznanego dotychczas zjawiska towarzyszącego ewolucji układu podwójnego, ewolucji gwiazd lub ewolucji całych masywnych systemów.

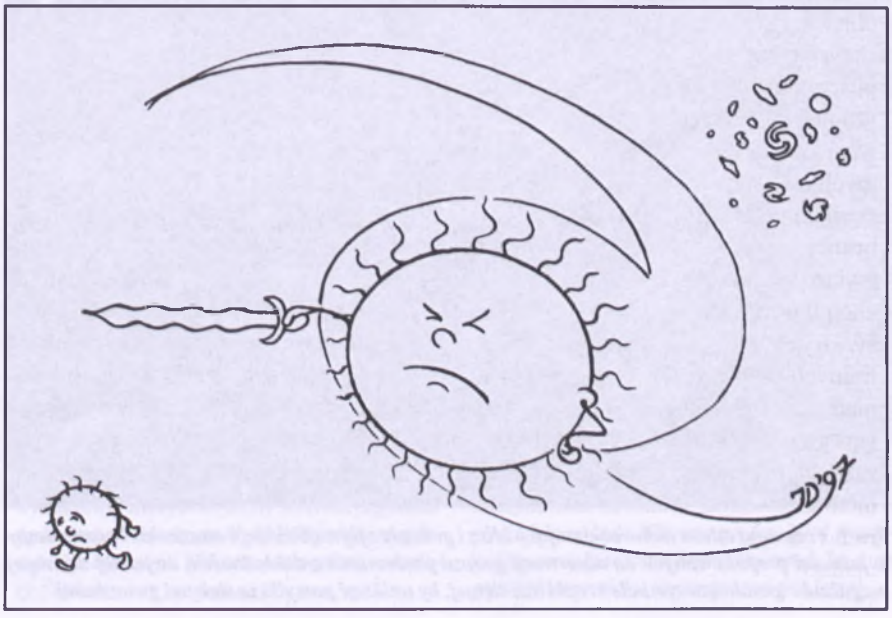
Innej zagadki dostarczyły obserwacje gromady kulistej NGC 6624 położonej w odległości 26 000 lat świetlnych od Słońca w kierunku centrum Galaktyki. Wśród tysięcy gwiazd tej gromady dostrzeżono układ podwójny, w którym jeden ze składników jest „zjadany" przez drugiego. Para ta emituje w trakcie procesu „zjadania" intensywne promieniowanie krótkofalowe, głównie ultrafioletowe i rentgenowskie. Na źródło silnej emisji promieniowania X w NGC 6624 zwrócono uwagę już w połowie lat 70-ych, kiedy gromadę tę zidentyfikowano jako jedną z pierwszych gromad kulistych emitujących takie promieniowanie. Promieniowanie X wykazywało 11-minutowe zmiany, co wskazywało na obecność w gromadzie układu podwójnego z gwiazdą neutronową. Obserwacje tego układu w zakresie ultrafioletowym teleskopami umieszczonymi na Ziemi okazały się zbyt trudne. Atmosfera Ziemi bowiem nie tylko przesłania światło ultrafioletowe, ale także rozmywa obrazy obiektów astronomicznych. To rozmywanie jest szczególnie istotne w przypadku zatłoczonych gwiazdami gromad kulistych. Dopiero użycie w 1993 r. HST umożliwiło odkrycie w jądrze NGC 6624 jasnego, ultrafioletowego obiektu, którego niezwykła intensywność sugerowała jego identyczność z dostrzeżonym wcześniej źródłem promieni X. Potwierdzeniem takiej identyfikacji mogłyby być, obserwowane w promieniowaniu X, 11-minutowe zmiany jasności nowo odkrytego obiektu. Niestety, w 1993 roku nie posiadano dostatecznych danych dla potwierdzenia takich zmian w zakresie ultrafioletowym. Ostatnio zespołowi złożonemu z pracowników Uniwersytetu Wa-

szyngtońskiego, Uniwersytetu Arizony oraz Instytutu Teleskopu Kosmicznego w Baltimore udało się, za pomocą Spektrografu Słabych Obiektów umieszczonego na teleskopie kosmicznym, uzyskać pierwsze ultrafioletowe widmo źródła w NGC 6624. Obserwacje potwierdziły, że znane od dawna źródło promieniowania X i zaobserwowane źródło promieniowania ultrafioletowego są jedną i tą samą gwiazdą podwójną. Podwójna w NGC 6624 składa się z gwiazdy neutronowej, bardzo zwartej i gęstej, o średnicy 10-ciu kilometrów i masie równej 1.5 masy Słońca, której intensywna grawitacja powoli wysysa materiał z powierzchni jej towarzysza — białego karła. Ten wypalony korpus podobnej do Słońca gwiazdy obiega gwiazdę neutronową w czasie 11 minut, w odległości zaledwie 120 000 kilometrów od niej. Jest to najkrótszy okres orbitalny wśród wszystkich znanych układów podwójnych. Tak krótki, że biały karzeł musi poruszać się po orbicie z prędkością prawie 5 milionów kilometrów na godzinę. Prawdopodobnie gaz wysysany z białego karła zbiera się w dysku akrecyjnym, a następnie opada po krzywej spiralnej na gwiazdę neutronową. Opadająca materia gwałtownie ogrzewa się i wytwarza promieniowanie X, którego część uderza w ten obszar białego karła, który jest zwrócony ku gwieździe neutronowej, podwyższając jego ultrafioletową emisję. Ogrzewana przez promieniowanie X część białego karła jest na przemian zakrywana i odsłaniana podczas jego obiegu wokół gwiazdy neutronowej, dając efekt przyciemniania promieniowania ultrafioletowego z okresem 11 minut. To przyciemnianie potwierdza obecność białego karła w układzie tych gwiazd. Badania tego układu mogą pomóc w zrozumieniu powstania i ewolucji systemów podwójnych w gromadach kulistych. Niezwykle interesujące wydaje się również pytanie, czy dwie gwiazdy w obserwowanym układzie są bliskie połączenia się i jaki nowy obiekt utworzą po złączeniu.

2. Gwiazdowi wygnańcy

Trzecie odkrycie wiąże się z problemem tzw. ciemnej materii i dotyczy gwiazd pozagalaktycznych. Międzygalaktyczne gwiazdy mogą występować w gromadach galaktyk jako wynik oddziaływań pomiędzy galaktykami. Bliskie wzajemne przejścia galaktyk mogą wyrywać z nich gwiazdy i wrzucać je w przestrzeń międzygalaktyczną, gdzie poruszają się one uwolnione od wpływu grawitacyjnego jakiejkolwiek określonej galaktyki. Takie izolowane gwiazdy zaobserwowano w gromadzie galaktyk położonej w gwiazdozbiorze Panny i odległej o około 60 milionów lat świetlnych od naszej Drogi Mlecznej. Przewidywano, że międzygalaktyczne gwiazdy powinny ujawniać się jako rozproszona nadwyżka światła w ciemnych (pustych) obszarach gromady. Już wcześniejsze obserwacje gromady Panny z powierzchni Ziemi donosiły o odkryciu takich nadwyżek. Jednakże pomiary z Ziemi są obarczone tak dużymi niepewnościami, że obserwowane rozmycie mogło pochodzić zarówno od jednolitego tła „samotnych" gwiazd, jak i bardzo słabych, niewykrywalnych, pojedynczych galaktyk. Na możliwość istnienia międzygalaktycznej populacji gwiazd w gromadzie Panny zdawało się także wskazywać przypadkowe odkryciew tej gromadzie, w 1996 r. „samotnej" mgławicy planetarnej odległej od poszczególnych galaktyk gromady. Obserwując ciemną, centralną część gromady Panny i porównując ten obszar z polem wolnym od pobliskich gromad galaktyk, udało się amerykańsko-angielskiemu zespołowi z Baltimore, Wisconsin i Cambridge odkryć w badanym polu około 600 jasnych, czerwonych olbrzymów. W obserwowanym polu może znajdować się również wiele słabszych gwiazd, ale są to obiekty niewykrywalne teleskopem Hubble'a. Wyniki obserwacji sugerują, że populacja „samotnych" gwiazd w całej gromadzie zawierającej około 2 500 galaktyk sięga 10 procent jej masy. Spektrograf obrazowy i kamera na bliską podczerwień, zainstalowane na HST w lutym 1997 roku, zostaną użyte do porównania zawartości ciężkich pierwiastków w „samotnych" gwiazdach z zawartością tych pierwiastków w galaktykach gromady Panny. Powinno to pozwolić zbadać, czy gwiazdy te wywędrowały z obrzeży ciągle istniejących galaktyk, czy też stanowią pozostałości całkowicie rozproszonych galaktyk albo czy zostały uformowane w ciemnych obszarach międzygalaktycznej przestrzeni. Rozkład wymienionych gwiazd w gromadzie Panny powinien pomóc również wytyczyć rozkład ciemnej, nie rozpoznanej dotychczas, chociaż prawdopodobnie dominującej weWszechświecie, materii w tej gromadzie. Dodatkowym zyskiem odkrycia może być fakt, że wykryte gwiazdy, będące najjaśniejszymi reprezentantami klasy czerwonych olbrzymów posłużą jako „standardowe świece" do wyznaczenia kosmologicznych odległości do gromady Panny. Takie pomiary stanowią ważny klucz do oszacowania tempa ekspansji i wieku Wszechświata.

Andrzej Strobel



Mira znaczy Cudowna

W pogodne zimowe wieczory będziemy mogli odnaleźć na niebie Mirę (rys. 1), najciekawszą z gwiazd konstelacji Wieloryba. Jest najdłużej — bo już od ponad czterystu lat — znaną gwiazdą zmienną.[1] Każdego roku przez kilka zaledwie tygodni jaśnieje na niebie, na pozostałe miesiące gubiąc się w mrowiu gwiazd gołym okiem niewidocznych.

Tradycyjnie już jej odkrycie przypisuje się holenderskiemu duchownemu i miłośnikowi astronomii Davidowi Fabriciusowi. 13 sierpnia 1596 roku dostrzegł on „na szyi Wieloryba" gwiazdę drugiej wielkości, której nie było na mapach nieba i w katalogach.[2] Obserwował ją przez około dwa miesiące, dopóki zupełnie nie znikła mu z oczu.

Choć — nie wiedzieć czemu — trafiła ona do słynnego atlasu nieba *„Uranometria"* Johanna Bayera jako zwykła gwiazda czwartej wielkości (oznaczona grecką literą omikron), Fabricius doszukiwał się podobieństwa z odkrytą 24 lata wcześniej przez Tychona Brahe nową[3] z Kasjopei. Może dlatego był tym bardziej zaskoczony, gdy w roku 1609 odkryty przez niego obiekt znów pojawił się na niebie.[4]

Po upływie następnych 30 lat inny holenderski astronom (John P. Holwarda) dokonał podobnego „odkrycia" i tym samym stało się jasne, że gwiazda ta może po jakimś czasie raz jeszcze na niebo powrócić. Rozpoczęły się jej systematyczne obserwacje, w których uczestniczył również Jan Heweliusz.Gdański astronom w 1662 roku opublikował broszurę *„Historiola Mirae Stellae" („Krótka historia Cudownej Gwiazdy")*, upowszechniając tym samym na dobre popularną nazwę gwiazdy, choć podobno jeszcze sam Fabricius użył określenia „Mira".

Pięć lat później Ismael Boulliau ogłosił, że zmiany blasku Miry zachodzą cyklicznie — co 333 dni.[5] Zaproponował też model usiłujący wyjaśnić mechanizm takiego zachowania: uważał, że na stosunkowo ciemnej powierzchni gwiazdy występuje bardzo jasna plama, która ujawnia się naszym oczom w miarę rotacji. W późniejszych latach pojawiło się szereg innych pomysłów, na przyczynę zmian blasku powoływano m.in. spłaszczenie gwiazdy, zakrycia przez niewidocznego towarzysza, cykl aktywności podobnej do słonecznej. W miarę upływu czasu modele stawały się coraz bardziej dziwaczne, by wspomnieć tylko idee tworzenia się gigantycznych fal pływowych wywołanych obecnością satelitów o silnie spłaszczonych orbitach czy też regularne zderzenia ze strumieniem meteoroidów.

Kres spekulacjom położyły rozważania Sir Artura Eddingtona z roku 1926. Pokazał on, że zmiany mają charakter pulsacji, podobnych do występujących u klasycznych cefeid, ale o dłuższym okresie ze względu na większe rozmiary gwiazdy oraz niewielkie przyspieszenie pola grawitacyjnego przy jej powierzchni.

Rzecz dotyczyła nie tylko Miry, bowiem jeszcze w roku 1686 stwierdzono podobne zmiany blasku w przypadku χ *Cygni*, a współczesne katalogi liczą około 6 tysięcy obiektów tego typu. Większość stanowią gwiazdy pojedyncze, choć sama Mira jest podwójną (fot. 2). Towarzysz to gorący karzeł *VZ Ceti* — gwiazdka w najlepszym razie nieco ponad 10 wielkości (w okresie 13 lat jej jasność waha się od 9.5 do 12 magnitudo), dla ziemskiego obserwatora odległa zaledwie o 0.6 sekundy łuku. Po raz pierwszy ujrzał ją Robert G. Aitken

Rys. 1. Fragment atlasu nieba obejmujący Mirę i gwiazdy z jej najbliższego otoczenia. Podane liczby to jasności proponowanych do obserwacji gwiazd porównania z dokładnością do jednej dziesiątej magnitudo (pominięto symbole kropki dziesiętnej, by uniknąć pomyłki ze słabymi gwiazdami)

[1] Abstrahując od kilku zapisanych w kronikach pojawień „nowych" gwiazd.

[2] Natomiast wzmiankę o „gwieździe-gościu" w tej części nieba odnaleźć można cztery lata wcześniej w zapiskach koreańskich i chińskich astronomów.

[3] Dziś sklasyfikowanej jako supernowa.

[4] Być może David Fabricius zapisałby się jeszcze w tej historii, gdyby w kilka lat później nie padł ofiarą morderstwa; jak mówi anegdota, przed śmiercią ogłosił z ambony, że zna sprawcę kradzieży swej gęsi... Jego syn Johann znany jest jako współodkrywca plam słonecznych.

[5] Dziś przyjmujemy okres o jeden dzień krótszy.

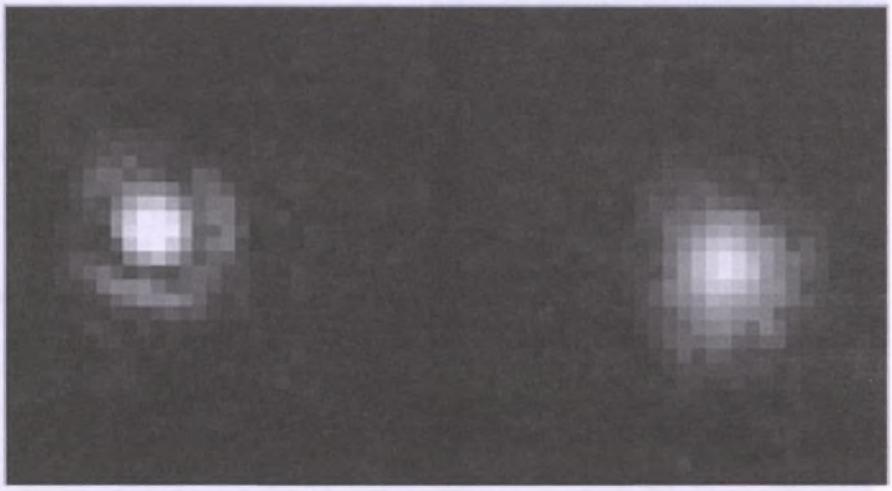
w roku 1923, korzystając z 90-cm refraktora obserwatorium Licka, choć jej widmo Alfred H. Joy odkrył pięć lat wcześniej na Mt. Wilson.

W maksimum blasku widmo Miry ujawnia linie emisyjne wodoru (powstające w atmosferze głównego składnika) nałożone na zdominowane przez pasma TiO widmo absorpcyjne typu M6 fotosfery o temperaturze 2500 K. Słabnąc, czyli „puchnąc", Mira czerwienieje jeszcze bardziej, ochładzając swą fotosferę do 1900 K (typ widmowy M9). Wodorowe linie emisyjne słabną, by w minimum blasku ustąpić miejsca nowej serii jasnych linii — tej, którą Joy słusznie przypisał słabszemu, gorącemu składnikowi.

Mira zmienia swą jasność w przedziale od 9.3 do 3.4 magnitudo; podane granice to tylko średnie wartości: bywają cykle, w których gwiazda staje się łatwo dostrzegalnym obiektem drugiej wielkości, bywają też lata „chude", gdy nawet w maksimum z trudem daje się wypatrzyć gołym okiem. Jako szczególnie jasną oglądał ją William Herschel w listopadzie 1779 r. — swym blaskiem przez cały miesiąc niemal dorównywała Aldebaranowi. Obserwacje z ostatnich kilkudziesięciu lat lokują maksima jasności w zakresie 2.4 — 4.9 magnitudo, zaś minima od 8.4 do 9.7 magnitudo. Okres też nie jest ściśle określony — maksimum może nastąpić trzy tygodnie przed lub po spodziewanym terminie (najbliższy to połowa stycznia 1998 r.).

Obecnie możemy oglądać Mirę taką, jaką naprawdę była w czasach Fabriciusa. Jej odległość szacuje się na około 400 lat świetlnych.[6] Już w I połowie bieżącego stulecia udało się określić metodami interferometrycznymi jej rozmiary kątowe na 0.06 sekundy łuku. Wynika stąd, że swą średnicą Mira 700 razy przewyższa rozmiary Słońca. Umieszczona w centrum Układu Słonecznego, zamknęłaby bez trudu w swym wnętrzu orbity wszystkich planet wewnętrznych.

Pięć lat temu astronomowie uzyskujący pierwsze obrazy tarczy gwiazdy zwrócili uwagę na jej wydłużony



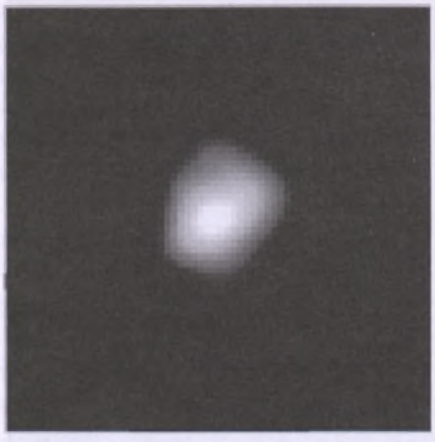
Fot. 2. Na zdjęciu przedstawiono układ czerwonego olbrzyma (po prawej), znanego powszechnie jako Mira, oraz jego gorącego towarzysza (po lewej). Separacja składników układu wynosi 0.6 sekundy łuku (co przy odległości 400 l.św. odpowiada rzeczywistemu dystansowi 70 j.a.). Obraz uzyskano w dniu 11 grudnia 1995 r. przy pomocy Faint Object Camera zainstalowanej na pokładzie teleskopu kosmicznego.

kształt. Do zbadania tego zjawiska zaprzęgnięto największe dostępne teleskopy, w tym teleskop kosmiczny Hubble'a. Zarejestrowany obraz optyczny (fot. 3) rzeczywiście nie pozostawia wątpliwości, że tarcza gwiazdy posiada niesymetryczny kształt. Póki co nie jest jasne, czy za taki stan rzeczy odpowiadają rzeczywiste dramatyczne zmiany wywołane pulsacjami, czy też obraz ten odzwierciedla występujący na powierzchni gwiazdy układ jasnych i ciemnych plam.

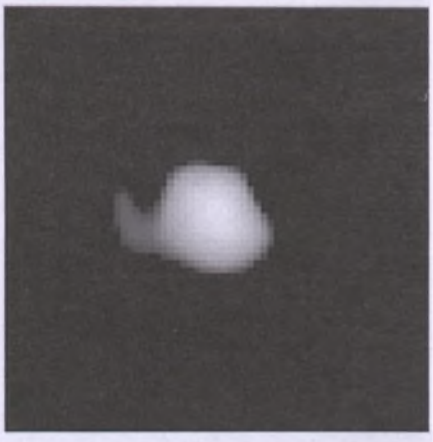
Jeszcze ciekawszą strukturę wykazuje obraz ultrafioletowy (fot. 4). Oprócz asymetrii samej gwiazdy ujawnia on dodatkową, haczykowatą strukturę skierowaną ku drugiej gwieździe układu. Mógłby to być strumień materii przechwytywany przez pole grawitacyjne towarzysza bądź też obszar atmosfery olbrzyma w jakiś sposób rozgrzewany obecnością drugiego składnika.

Wyjaśnienie zaobserwowanych zjawisk wymagać będzie dalszych analiz w różnych fazach cyklu pulsacji i ruchu orbitalnego. Pomimo zaangażowania zawodowych astronomów i nowoczesnej aparatury Mira pozostaje wdzięcznym obiektem dla miłośniczych obserwacji. Po czterech stuleciach badań wciąż wszystkich fascynuje. Historia Cudownej Gwiazdy toczy się w dalszym ciągu.

Krzysztof Rochowicz

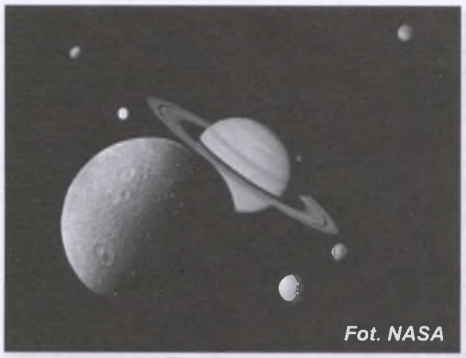


Fot. 3. Optyczny obraz tarczy Miry ujawnia wydłużony, niesymetryczny kształt. Zgodnie z pomiarami teleskopu Hubble'a średnica czerwonego olbrzyma 700 razy przewyższa rozmiary Słońca.



Fot. 4. W obrazie ultrafioletowym wyróżnia się haczykowata struktura zwrócona ku drugiej gwieździe układu. Obrazy na fot. 3 i 4 rozciągnięte zostały w skali logarytmicznej, by uwypuklić kierunek ku towarzyszowi (na lewo).

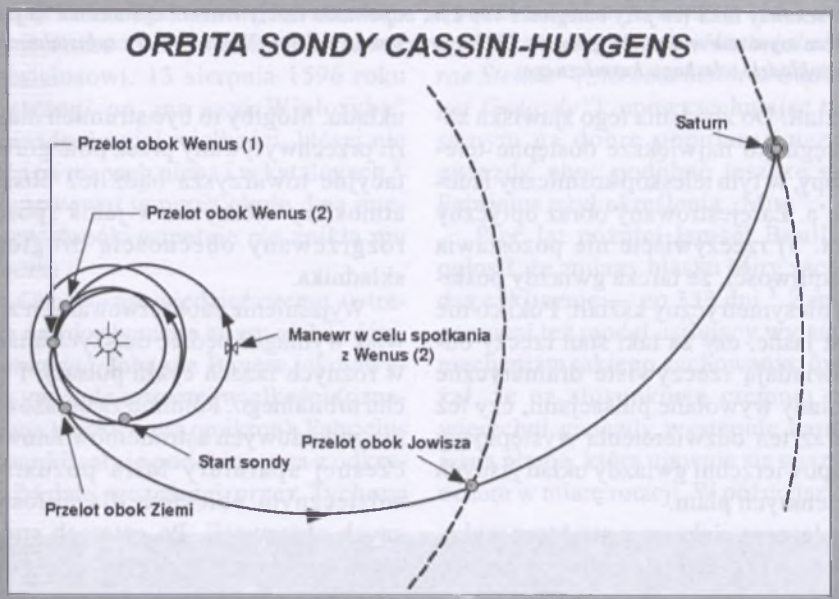
[6] Można znaleźć oceny mieszczące się w granicach od 100 do 600 lat świetlnych.



Nowa międzyplanetarna wyprawa kosmiczna!

Misja sondy Cassini-Huygens

W środę 15 października 1997 roku o 4:43 czasu wschodnioamerykańskiego z Cape Canaveral wystartowała w swoją daleką podróż sonda kosmiczna Cassini-Huygens. Ten kosztujący 3.4 miliarda dolarów instrument badawczy, skonstruowany przez NASA i Europejską Agencję Kosmiczną, będzie po dotarciu do celu przez 4 lata zbierał informacje na temat układu Saturna, jego pierścieni, satelitów i magnetosfery.



Najważniejsze zdarzenia podczas lotu	Czas w dniach od momentu startu
Start rakiety Tytan IV	0
Aphelium orbity początkowej	26
Peryhelium orbity	169
Przelot obok Wenus (1)	198
Manewr celem ponownego spotkania z Wenus (2)	423
Aphelium orbity 2	424
Przelot obok Wenus (2)	622
Peryhelium orbity 2	629
Przelot obok Ziemi	680
Przelot obok Jowisza	1181
Początek obserwacji naukowych	2277
Wejście na orbitę Saturna	2460
Manewr celem wysłania lądownika Huygens na Tytana	2533
Odłączenie lądownika od Sondy	2588
Manewr celem przelotu obok	2590
Początek misji Huygens'a na Tytanie (około 4 godzin)	2609
Koniec zaplanowanej misji	3921

Minie ponad 6 lat, zanim sonda dotrze w pobliże Saturna. Poleci ona bardzo skomplikowaną drogą. Znajdzie się dwa razy w pobliżu Wenus, zbliży się do Ziemi i Jowisza, aby w końcu osiągnąć cel swojej misji: Saturna. Ruch po najkrótszej z możliwych trajektorii wymagałby zabrania olbrzymiej ilości paliwa. Możliwość wynoszenia dużych mas wymaga budowania silników o dużej sile nośnej. Silniki takie z kolei spalają duże ilości paliwa itd... itd... Koło się zamyka. Jak na razie najlepszym sposobem obejścia tej trudności jest wykorzystanie oddziaływania grawitacyjnego statku kosmicznego z wybranymi obiektami naszego Układu Słonecznego.

Kierując sondę w dane miejsce i o określonej porze, możemy przyspieszać lub spowalniać jej ruch, jak i zmieniać kierunek lotu. Zbliżenie się Cassiniego dwa razy do Wenus i raz do Ziemi, będzie równoważne zaoszczędzeniu około 68 040 kilogramów paliwa rakietowego. Satelita Cassini wraz z lądownikiem Huygens waży 5 650 kilogramów (z tego ponad połowę waży paliwo rakietowe)!

Koszt takiego postępowania jest jasny. Lot do wybranego celu trwa dłużej i musi zacząć się w pewnym określonym momencie czasu. Najważniejsze zdarzenia podczas lotu prezentuje rysunek 1.

Jak już wspomniałem, sonda składa się z dwóch części. Satelita Cassini, krążąc wokół Saturna, będzie zbierać informacje o nim samym i jego otoczeniu. Druga część sondy, lądownik Huygens, po 128 dniach od wejścia na orbitę wokół Saturna odłączy się od Cassiniego i skieruje się w stronę powierzchni Tytana.

Bardziej szczegółową budowę tego pojazdu kosmicznego ukazuje rysunek 2.

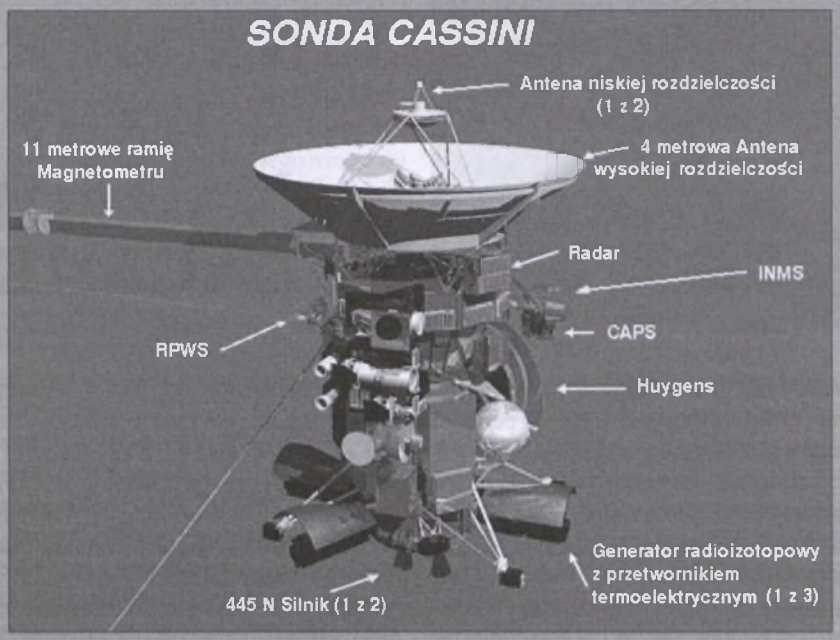
Celem naukowym misji odnośnie Tytana jest:
— zbadanie górnej część atmosfery i jonosfery i określenie roli tej części atmosfery jako źródła naturalnej i zjonizowanej materii w magnetosferze Saturna,
— określenie składu i stosunków poszczególnych składników atmosfery, dostarczenie odpowiednich danych, które pozwoliłyby odpowiedzieć na pytanie, jak powstała atmosfera Tytana i jak się zmienia,
— poszukiwanie w atmosferze złożonych związków organicznych,
— pomierzenie prędkości wiatrów i temperatury, zbadanie ewentualnych okresowość zmian zachodzących w atmosferze Tytana,
— stwierdzenie, czy powierzchnia jest stała, czy też ciekła, określenie jej składu chemicznego, dostarczenie danych, które pomogłyby wysunąć sensowne hipotezy na temat budowy wewnętrznej tego gigantycznego satelity.

Poza gigantycznym Tytanem[1] Saturn ma 17 znanych lodowych księżyców (dla tylu potrafimy jak na razie określić tory ruchu).

Celem misji w przypadku księżyców jest:
— określenie ich cech charakterystycznych i historii geologicznej,
— określenie procesów, które zmieniają powierzchnię lodowych księżyców,
— opisanie składu i rozkładu materii na powierzchni księżyców,
— dostarczenie danych, które umożliwiłyby opisanie struktury wewnętrznej tych satelitów,
— zbadanie, jak lodowe księżyce oddziaływają z magnetosferą i pierścieniami układu i czy satelity te nie są przypadkiem źródłem materii w magnetosferze Saturna.

Badając magnetosferę Saturna Cassini postara się poza już wcześniej określonymi zadaniami związanymi z analizą danych pochodzących od księżycy:
— zbadać kształt, położenie i budowę magnetosfery,
— opisać dynamikę magnetosfery,
— określić relację między wiatrem słonecznym, satelitami i pierścieniami Saturna a magnetosferą,
— zbadać związek magnetosfery z wiatrem słonecznym i Tytanem.

Cele naukowe dotyczące badań Saturna są następujące:



INMS — jest przeznaczony do pomiaru jonów dodatnich (kationów) i rodzaju składu i struktury w górnych partiach atmosfery Tytana oraz magnetosfery Saturna. Przeznaczony jest również do mierzenia jonów dodatnich (kationów) i neutralnego otoczenia pierścieni Saturna jak i jego lodowych księżyców

RPWS — będzie mierzył pola elektryczne, magnetyczne, gęstość elektronową w ośrodku międzyplanetarnym oraz w magnetosferze planety

CAPS — urządzenie określające strumień jonów jako funkcji masy na ładunek oraz strumień jonów i elektronów jako funkcję energii na ładunek i kąt padania na odbiornik CAPS.

Wiele innych drobnych urządzeń służących do obserwacji osobliwej materii systemu Saturna, badania fizycznych, chemicznych i dynamicznych cech znajdujących się tam cząstek.

— ustalenie obfitości gazów i ich stosunków względem siebie w atmosferze Saturna,
— dostarczenie danych, które pomogłyby stworzyć poprawne modele formowania się i ewolucji atmosfery,
— pomiar temperatury, prędkości i kierunków wiatrów,
— określenie krótko- i długotrwałych zmian w atmosferze,
— dostarczenie danych, które pozwoliłyby nam dokładnie opisać strukturę wewnętrzną, jak i rotację Saturna,
— przeanalizowanie zmian zachodzących w jonosferze i określenie ich związku z polem magnetycznym,
— szczegółowe przebadanie radiowej emisji z Saturna.
— przeanalizowanie postaci i struktury pierścieni oraz składu chemicznego i rozkładu materii,
— przebadanie dynamiki systemu,
— określenie związku między pierścieniami a księżycami Saturna,
— ustalenie rozkładu pyłu i mikrometeorytów w układzie pierścieni.

Pomimo że przedstawiona powyżej lista problemów jest bogata, stanowi ona tylko część zadań, jakie stoją przed Cassinim-Huygensem. Ile z tego uda się zrealizować (jeśli sonda dotrze szczęśliwie do celu), zaczniemy dowiadywać się od roku 2004.

Piotr Wąż

*(*Opracowano na podstawie *Home Page* misji Cassini-Huygens*)*

[1] Satelita ten większy jest od Merkurego i Plutona a jego średnica stanowi około 40% średnicy Ziemi.

KRAKOWSKIE LATA JANA MERGENTALERA I JEGO BADANIA NAD GWIAZDAMI ZAĆMIENIOWYMI

Zmarły niedawno Profesor Jan Mergentaler (1901–1995) pozostaje w pamięci środowiska astronomicznego jako wybitny heliofizyk, autor znanej monografii *Słońce* (PWN, 1958), twórca wrocławskiej szkoły heliofizycznej. Jednakże heliofizyka to tylko część szerokiej działalności naukowej Jana Mergentalera, który pierwszą swą pracę rozpoczął w Krakowskim Obserwatorium Astronomicznym, gdzie dominowała wówczas tematyka gwiazd zmiennych zaćmieniowych.

Do Obserwatorium Krakowskiego należała utworzona w 1922 roku przez Profesora Tadeusza Banachiewicza Stacja Obserwacyjna na Łysinie (912 m. npm.). Warunki bytowe w Stacji nie należały do łatwych. Nie było prądu elektrycznego ani łączności telefonicznej. Dojazd z Krakowa najczęściej odbywał się koleją do stacji Kasina Wielka (ok. 5 godzin jazdy), a dalej ok. 10 km pieszo bądź wynajętą furmanką góralską. Zaopatrzenie na ogół należało wynieść na własnych plecach.

Wyposażenie stacji w instrumenty astronomiczne było skromne: w drewnianym pawilonie z otwieranym ręcznie dachem znajdował się refraktor *Merz* z obiektywem o średnicy 116 mm i ogniskowej 199 cm, do dyspozycji była też przenośna duża lorneta Zeissa o średnicy obiektywu 8 cm i ogniskowej 50 cm. Ponadto Obserwatorium posiadało komplet przyrządów meteorologicznych, a do obowiązków astronoma należało dokonywanie odczytów tych przyrządów kilka razy w ciągu doby. Obliczeń dokonywano korzystając z arytmometru i tablic logarytmicznych. Jedyny kontakt ze światem zapewniał bateryjny odbiornik radiowy, używany jednak (ze względu na konieczność częstego ładowania akumulatorów) niemal wyłącznie do odbioru radiowych sygnałów czasu.

Pierwszym obserwatorem na Łysinie był jeden z głównych organizatorów Stacji — dr Jan Gadomski, po nim obowiązki przejął dr Lucjan Orkisz, odkrywca nowej komety (Orkisz 1925 I). Gdy w 1927 roku dr Orkisz został powołany do odbycia służby wojskowej, Tadeusz Banachiewicz pilnie musiał obsadzić zwolnione stanowisko obserwatora. Wybór padł na 26-letniego absolwenta studiów astronomicznych na Uniwersytecie Warszawskim — Jana Mergentalera. Z dniem 15 lipca 1927 roku objął on stanowisko młodszego asystenta w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego. Profesor Banachiewicz w trakcie trzydniowej wyprawy na Łysinę, odbytej latem 1927 roku, osobiście pokazał Janowi Mergentalerowi Stację i zapoznał z warunkami pobytu. Nade wszystko należało jednak młodego adepta astronomii zapoznać z programem obserwacyjnym i specyfiką obserwacji wizualnych gwiazd zaćmieniowych. Dlatego też, zanim nowy obserwator na stałe zamieszkał w oddalonej górskiej placówce naukowej, odbył w Krakowie kilkutygodniowe przeszkolenie obserwacyjne, mając możność dokonania pod okiem bardziej doświadczonych kolegów kilkuset ocen jasności wybranych gwiazd zmiennych zaćmieniowych.

Swoje pierwsze wrażenia z pobytu w górach Jan Mergentaler opisuje w artykule pt. „Impresje z Łysiny" zamieszczonym w V tomie „Rocznika Astronomicznego Obserwatorium Krakowskiego" (str. 40): *Na Łysinę przyjechałem d. 26 września 1927 roku. W dwa dni później zostałem już w samotności, gdyż p. Orkisz, mój poprzednik, opuścił Łysinę — będąc powołanym do służby wojskowej. Przyjechałem w czas jak najbardziej nieprzyjemny. Szczyt góry w chmurze. Chlapanina. Mgła. Zimno. I dziesiątki os, których żądła i do mnie trafiły. Później dopiero poznałem w całej pełni uroki krajobrazowe, pełne plam barwnych i „form architektonicznych". Pierwszy miesiąc mojego tutaj pobytu w znacznej części zajmowały (...)sprawy wykończenia dobudówki domku mieszkalnego. Poznałem przy tem trochę tutejszych górali, pełnych „ambitu", ale na ogół nietęgich robotników.*

Jan Mergentaler przebywał na Łysinie z mniejszymi i większymi przerwami aż do wiosny 1934. Krótkie przerwy w pobycie wiązały się z kilkudniowymi wyjazdami do Krakowa (najczęściej w okresie pełni Księżyca) celem konsultacji naukowych i załatwienia różnych spraw formalnych. Od października 1928 aż do maja 1929 Jan Mergentaler odbywał służbę wojskową, a jego obowiązki przejął na okres około trzech tygodni Kazimierz Kordylewski, później zaś Tadeusz Olczak. Sporo czasu poza Łysiną spędził Jan Mergentaler w roku 1931/1932, ale był to czas finalizowania rozprawy doktorskiej.

Podstawowym programem obserwacyjnym Stacji na Łysinie (później nazwanej Lubomirem) były obserwacje wizualne gwiazd zaćmieniowych wykonywane zmodyfikowaną metodą Argelandera. Jan Mergentaler prowadził je z wielkim zaangażowaniem, za pomocą przywiezionego przez siebie jesienią 1927 roku tzw. szukacza komet Steinheila o średnicy obiektywu 134 mm i ogniskowej 137 cm. Do końca grudnia 1927 roku J. Mergentaler dokonał 1169 ocen jasności dla 52 gwiazd, co stanowiło w owym czasie swoisty rekord wśród krakowskich astronomów. Przez cały okres krakowski Jan Mergentaler wykonał około 12400 obserwacji 107 gwiazd zaćmieniowych. Jako ciekawostkę warto podać, że zachowały się obserwacje wizualne gwiazdy ε *Aurigae* wykonane nieuzbrojonym okiem w Jarocinie w styczniu 1929 roku, w trakcie pełnienia służby wojskowej. Obserwacje wizualne J. Mergentalera są opublikowane w czterech tomach *Acta astronomica Supplementa vol.3-6* i niezależnie od swej wartości historycznej stanowią dowód

aktywności naukowej młodego asystenta Obserwatorium Krakowskiego.

Przebywając na Łysinie, Jan Mergentaler na bieżąco wyznaczał momenty minimów, które następnie służyły mu do poprawiania elementów gwiazd zaćmieniowych publikowanych corocznie w *Dodatku Międzynarodowym do Rocznika Astronomicznego*. Kilkanaście doniesień zawierających własne wyniki obserwacji młodego obserwatora wydrukowano w *Acta Astronomica*, wspomnianych już *Dodatkach Międzynarodowych* do *Rocznika*, *Okólniku Obserwatorium Krakowskiego*, a także w *Sprawozdaniach PAU*.

Jednakże nie tylko gwiazdy zaćmieniowe były obserwowane na Łysinie. W nocy z 2/3 grudnia 1927 roku przy wyjątkowo dobrej pogodzie Jan Mergentaler zaobserwował niezwykle rzadkie zjawisko tzw. zielonego błysku pochodzącego od zachodzącego Księżyca. Prowadził też obserwacje zakryć gwiazd przez Księżyc, (opublikowano wyniki 3 obserwacji wykonanych w Krakowie w 1928 i 1929 roku), poszukiwał także komety, niestety, bez powodzenia. W styczniu 1931 roku obserwował ruch i zmiany jasności planetoidy *Eros* i wyznaczył moment minimum jasności tego ciała niebieskiego.

Dużym programem obserwacyjnym były badania jakości obrazów gwiazd. Prace te prowadził na Lubomirze J. Mergentaler pomiędzy 8 X 1932 oraz 31 X 1933, przy czym przez pewien czas, na sąsiednim szczycie — Oklejnej — równoległe obserwacje prowadził Stefan Szczyrbak. Badania te polegały na ocenie obrazu gwiazdy oglądanej przy bardzo dużym powiększeniu. Miały one na celu m.in. porównanie warunków klimatycznych Beskidu Średniego z warunkami panującymi w innych zagranicznych obserwatoriach, gdyż planowano w przyszłości rozbudowę skromnej lubomirskiej Stacji. Pewnym zaskoczeniem może być konkluzja pracy, oczywiście odnosząca się do początku lat trzydziestych, że Lubomir pod względem liczby bezchmurnych nocy nie był miejscem zdecydowanie lepszym od Krakowa, jakkolwiek w górach była znacznie lepsza przezroczystość powietrza. Natomiast dużym utrudnieniem obserwacji na Lubomirze były wiejące wiatry, które nie tylko pogarszały jakość obrazów gwiazd (dziś powiedzielibyśmy: *seeingu*); ale także powodowały drżenie instrumentów, niekiedy całkowicie uniemożliwiając pracę astronoma.

Oprócz obserwacji, Jan Mergentaler prowadził również prace rachunkowe. Oprócz systematycznych redukcji własnych obserwacji, obliczał efemerydy zakryć gwiazd przez Księżyc dla wybranych miast w Polsce (Poznań, Kraków, Warszawa, Lwów i Wilno) na lata 1931,1932 i 1934, a w 1930 roku brał także udział w obliczeniach orbity *Ciała Pozaneptunowego* (Plutona).

Jednak najwięcej czasu poświęcał wspomnianemu już opracowaniu własnych obserwacji gwiazd zaćmieniowych. Ich wyniki stanowiły podstawę jego rozprawy doktorskiej noszącej tytuł „Elementy zmienności gwiazd zaćmieniowych", ocenionej przez profesorów: T. Banachiewicza, J. Smoleńskiego i J. Witkowskiego. Po pomyślnym zdaniu w dniu 14 XI 1932 roku *dwugodzinnego rygorozum* z astronomii i geofizyki oraz *jednogodzinnego rygorozum* z filozofii (18 VI 1932), w dniu 7 grudnia 1932 roku Jan Mergentaler został wypromowany na doktora filozofii Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Wiosną 1934 roku dobiegł końca okres zatrudnienia Jana Mergentalera w Obserwatorium Krakowskim. Po raz ostatni przebywał na Lubomirze w kwietniu 1934 roku, ostatnie obserwacje dokonane tam noszą datę 8/9 kwietnia. W następnych miesiącach dr Mergentaler pozostawał bez pracy, przebywając przez większą część czasu w okolicach Pińska, skąd pochodził. Z astronomią starał się jednak nie tracić kontaktu, uczestnicząc między innymi w dniach 29–31 VIII 1934 roku w Zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego w Warszawie, już jako *astronom z Pińska*. Usilne poszukiwania pracy dały wreszcie rezultat i z dniem 1 stycznia 1935 roku dr Jan Mergentaler uzyskał stałą posadę w Obserwatorium Lwowskim, kierowanym przez Eugeniusza Rybkę.

Chociaż tematyka naukowa we Lwowie obejmowała inne zagadnienia, to zainteresowanie Jana Mergentalera gwiazdami zaćmieniowymi pozostało. W *Acta Astronomica ser. C vol. 3* ukazał się artykuł z wynikami badań statystycznych dotyczących tradycyjnego podziału gwiazd zaćmieniowych na typ W Ursae Maioris, typ β Lyrae i typ β Persei. Jakkolwiek z perspektywy czasu można dyskutować, czy sugestia Autora, aby dzielić gwiazdy zaćmieniowe tylko na dwie grupy (gwiazdy typu Algola, o sferycznym kształcie składników i typu β Lyrae, o kształcie elipsoidalnym) była poprawna, to jednak wówczas wspomniana publikacja była pierwszą próbą wysnucia wniosków statystycznych ze stosunkowo dużego materiału, obejmującego około 200 gwiazd. Jest rzeczą interesującą, że niemal w tym samym czasie, zupełnie niezależnie, podobne wyniki opublikował D. Ya. Martynov.

Dalsze prace naukowe dotyczące gwiazd zaćmieniowych ukazały się drukiem po wojnie, gdy Jan Mergentaler pracował już we Wrocławiu. W pierwszej z prac, opublikowanej w 1948 roku nakładem Wrocławskiego Tow. Naukowego, (ser. B No 4) J. Mergentaler przedstawił wyniki obserwacji fotograficznych wykonanych we Lwowie w latach 1939–45 pięciu gwiazd zmiennych, w tym dwóch zaćmieniowych *(RY Per* i *VW Cep)*. Najliczniej jednak jest cytowana praca Mergentalera *On the asymmetry of the light-curves of the eclipsing variables* (Prace Wrocławskiego Tow. Naukowego ser. B No 26, Wrocław, 1950), w której Autor przeprowadził gruntowną analizę tzw. *efektu peryastronu*, obserwowanego w krzywych zmian jasności wielu gwiazd zaćmieniowych. Efekt ten, zauważony przez Robertsa z początkiem XX wieku, polega na tym, że jasność danej gwiazdy zaćmieniowej, obserwowanej w fazie 0.25 i 0.75 nie jest taka sama, innymi słowy, maksima jasności występujące po minimum głównym i po minimum wtórnym są różnej wysokości. Pierwotnie sądzono, że przyczyną tego efektu jest eliptyczność orbit gwiazd tworzących układ zaćmieniowy (przy określonym położeniu orbit w przestrzeni) i gdy gwiazdy znajdują się najbliżej siebie, to łączna jasność układu jest większa. *Efektowi peryastronu* wiele uwagi w swoich pracach poświęcił Daniel J.K. O'Connell, SJ (1896–1982), wieloletni dyrektor Obserwatorium Watykańskiego. To właśnie na jego cześć E.F. Milone i A.J. Wesselink zaproponowali, aby efekt ten był nazwany efektem O'Connella, tym bardziej, że O'Connell dowiódł braku korelacji pomiędzy eliptycznością orbit gwiazd zaćmieniowych i różnicą jasności w kolejnych maksimach. Do tej samej konkluzji doszedł zupełnie niezależnie (i wcześniej) Jan Mergentaler, analizując znacznie większą liczbę gwiazd, jednak wrocławska praca przez dłuższy czas pozostawała nie zauważona.

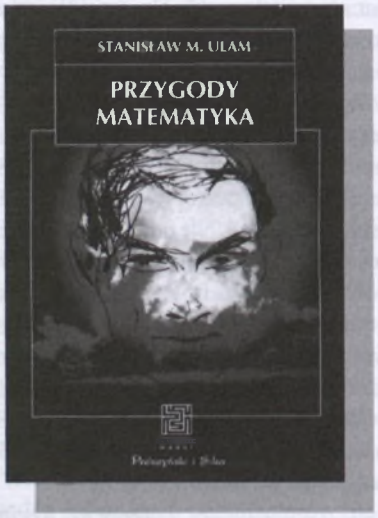
W następnych latach Profesor Jan Mergentaler nie prowadził już badań nad gwiazdami zaćmieniowymi, jednak z zainteresowaniem śledził postęp wiedzy w tej dziedzinie astronomii. Nie odmawiał też recenzowania prac doktorskich, dotyczących problematyki gwiazd zaćmieniowych, w tym rozprawy niżej podpisanego. Niech więc to krótkie przypomnienie działalności Profesora w tej dziedzinie będzie, choćby w niewielkim stopniu, spłaceniem długu wdzięczności za wielką życzliwość okazaną ponad ćwierć wieku temu.

Jerzy M. Kreiner

Dalszy ciąg pasjonującej wędrówki po krętych ścieżkach nauki

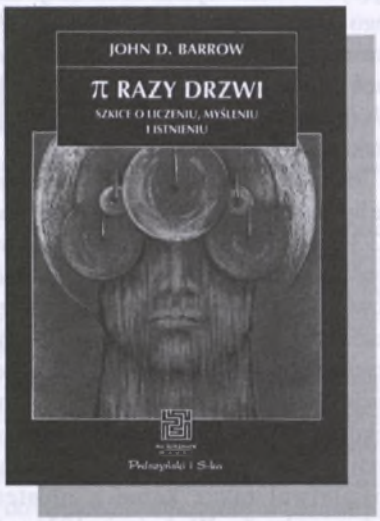
W zeszycie 2 *Postępów Astronomii* z 1996 roku podzieliłem się z czytelnikami swoimi wrażeniami z lektury pierwszych 11 pozycji serii *Na ścieżkach nauki* wydawnictwa „Prószyński i S-ka". Dzisiaj zajmę się kolejnymi książkami tej serii, jakie ukazały się w drugiej połowie 1996 i w pierwszej połowie 1997 roku: * *Przygody matematyka*; *Samolubny gen*; * π *razy drzwi*; *** *Od gwiezdnego pyłu do planet*; *Płonący dom*; ** *Fizyka podróży międzygwiezdnych*; *** *Błękitna kropka*. Tytuły poprzedzone trzema gwiazdkami, dotyczą bezpośrednio szeroko rozumianej astronomii, dwie gwiazdki oznaczają książki o tematyce z pogranicza fizyki i astronomii, zaś jedną gwiazdką poprzedziłem te pozycje, w których tylko pewne rozdziały lub fragmenty tekstu są bardziej lub mniej pośrednio z astronomią związane. Tą moją prywatną, a więc subiektywną klasyfikacją można się oczywiście nie sugerować i przeczytać wszystkie pozycje, także te bez gwiazdek, do czego gorąco zachęcam. Wszystkie są bowiem bardzo ciekawe i warte przeczytania.

Aby nie powtarzać uwag natury ogólnej, jakie poczyniłem w poprzednim omówieniu, a które w całości zachowują ważność, zwracam tylko uwagę, że tematyka astronomiczna i pokrewna bardzo często przewija się na ścieżkach nauki. A oto kilka uwag szczegółowych, jakie mi się nasunęły podczas lektury pozycji „astronomicznych".



Przygody matematyka (przekład — Agnieszka Górnicka; przedmowa — William G. Mathews i Daniel O. Hirsch oraz Stanisław M. Ulam; posłowie — Francoise Ulam; *Parę słów o matematyce S.M. Ułama* — Jan Mycielski; ilustracje — kredowa wkładka z 24 archiwalnymi fotografiami; bibliografia, indeks nazwisk; str. 360; cena 16.50 zł) to autobiograficzne wspomnienia Stanisława Marcina Ulama (1909 — 1984). Jednego z najwybitniejszych przedstawicieli polskiej (lwowskiej) szkoły matematycznej, od 1935 roku profesora kilku amerykańskich uniwersytetów. Dużo uwagi poświęca autor przygodzie swego życia, jaką była praca w laboratorium atomowym w Los Alamos. Jego prace wydatnie przyczyniły się do zbudowania pierwszej bomby wodorowej. Pracował również nad projektem rakiety wyposażonej w silnik atomowy oraz pojazdu kosmicznego napędzanego niewielkimi eksplozjami termojądrowymi. Zajmując się czystą matematyką oraz pograniczem matematyki i fizyki jądrowej, interesował się także problemami astronomicznymi — jako pierwszy zastosował komputery do badań zachowania się wielkich układów gwiazdowych oraz wielkich obłoków gazowych. Niemalże mimochodem pisze Ulam o metodzie Monte Carlo, opracowanej wspólnie z Johnem Neumannem. Wymyślona w celu rozwiązywania skomplikowanych problemów fizyki atomowej, metoda ta z powodzeniem jest obecnie stosowana w różnych dziedzinach nauki — między innymi w astronomii. Opowieść o sobie wzbogaca autor licznymi, często anegdotycznymi informacjami o bardzo wielu naukowcach, z którymi pracował lub tylko się zetknął podczas swego intensywnego, twórczego życia.

π razy drzwi. Szkice o liczeniu, myśleniu i istnieniu (przekład — Katarzyna Lipszyc; przedmowa autora; ilustracje — 43 rysunki w tekście; obszerna literatura uzupełniająca, uzupełniona tytułami w języku polskim; str. 432; cena 17 zł) to zbiór kilkudziesięciu szkiców poświęconych genezie arytmetyki, historii i filozoficznym podstawom matematyki oraz perspektywom dalszego rozwoju „królowej nauk". John D. Barrow próbuje w nich odpowiedzieć na pytania typu: dlaczego matematyka działa w realnym świecie, dlaczego świat (Wszechświat) jest tak bezbłędnie matematyczny, czy matematykę wymyślamy czy też ją odkrywamy? Autor jest profesorem astronomii, więc nic dziwnego, iż zagadnienia astronomiczne pojawiają się w wielu miejscach książki. W tak wielu, że nie sposób wszystkich tych miejsc wymienić. Między innymi, wspomniane są następujące problemy: ewentualna astronomiczna geneza układu sześćdziesiątkowego, astronomiczna wiedza Majów i twórców Stonehenge, wprowadzenie zera przez babilońskich astronomów, komputerowe modelowanie skupiania się galaktyk w gromady, możliwość porozumienia się z pozaziemską cywilizacją, ewolucja Wszechświata i jej komputerowe modelowanie.



Autorem książki ***Od gwiezdnego pyłu do planet. Geologiczna podróż przez Układ Słoneczny*** (przekład — Andrzej S. Pilski; przedmowa autora; ilustracje — 74 rysunki i czarno-białe fotografie w tekście; obszerna literatura uzupełniająca w języku angielskim i polskim po każdym rozdziale wraz z informacjami o treści poszczególnych pozycji; indeks rzeczowy; str. 287; cena 12.50 zł) jest Harry Y. McSween Jr,

jeden z twórców nowej dziedziny astronomii, a mianowicie geologii planetarnej. Właśnie ta dziedzina wiedzy jest tematem książki. Autor przedstawia nam wewnętrzną budowę tych ciał Układu Słonecznego, które posiadają twarde powierzchnie, geologiczną strukturę oraz ewolucję tych powierzchni i panujących na nich warunków fizycznych. Opisuje również, jak doszło do powstania tych ciał i całego Układu Planetarnego. Nie ogranicza się przy tym do prezentacji wyników badań, ale bardzo ciekawie opowiada o tym, jak wiedza ta została zdobyta. Możemy się więc dowiedzieć, jak udowodniono, że niektóre z meteorytów są odłamkami skał marsjańskich oraz co się stało z wodą, która kiedyś dawno na pewno płynęła po powierzchni Czerwonej Planety. Należy w tym miejscu wyjaśnić, że książka napisana i przetłumaczona została przed doniesieniem o znalezieniu w jednym z marsjańskich meteorytów śladów dawnego marsjańskiego życia. Dużo uwagi poświęca autor planetoidom i kometom, bowiem zawierają one mało lub wcale nie przetworzoną materię, z jakiej uformowały się planety i ich księżyce. Badania planetoid i komet mogą więc nam bardzo dużo po-

wiedzieć o początkach naszej Słonecznej Rodziny. Ostatni rozdział książki poświęcony jest problemowi powstania życia na planecie Ziemi. O tym wszystkim opowiada autor w bardzo przystępny, niezwykle barwny i dowcipny sposób, co jest dodatkową atrakcją tej pasjonującej lektury.

Książkę ***Fizyka podróży międzygwiezdnych. Wędrówka po świecie Star Trek*** (przekład — Ewa L. Łokas i Bogumił Bie-

niok; przedmowa — Stephen Hawking; ilustracje — 12 rysunków w tekście i 10 czarno-białych fotografii na kredowej wkładce; str. 184; cena 9.80 zł) napisał Lawrence M. Krauss — amerykański fizyk teoretyk, a równocześnie trekker, czyli miłośnik serialu „Star Trek". Treścią książki jest konfrontacja współczesnej fizyki z technicznymi wynalazkami dalekiej przyszłości. Na przykład takimi, jak loty z prędkościami podświetlnymi, silniki rakietowe napędzane antymaterią czy wreszcie statki międzygwiezdne o napędzie czasoprzestrzennym. Na początku autor wykazuje, że „podróże międzygwiezdne przez Galaktykę w statkach z napędem rakietowym z prędkością bliską prędkości światła nie są i nigdy nie będą praktycznie wykonalne!". I żadne przyszłe osiągnięcia fizyki nic tutaj nie pomogą. Jedyną nadzieją, jaką daje nam współczesna fizyka, jest napęd czasoprzestrzenny, polegający na takiej zmianie własności czasoprzestrzeni, aby rozszerzała się ona za statkiem kosmicznym, a kurczyła przed nim. Poglądowo przedstawiono to na rysunku, którego nie znajdziemy, niestety, w książce, lecz na stronie 16 numeru 10 czasopisma „Wiedza i Życie" z 1996 roku. Analizując różne warianty takiego napędu, a także inne pomysły twórców serialu, autor rzetelnie informuje czytelnika, iż w celu ich zrealizowania potrzebne będą energie niewyobrażalnie większe od tych, jakimi w dającej się przewidzieć przyszłości będzie ludzkość dysponować. Jeszcze bardzo, bardzo długo flotylle statków kosmicznych przemierzać więc będą Wszechświat wyłącznie na kartach książek i w kadrach filmów fantastycznonaukowych. A lektura książki Kraussa jest doskonałą intelektualną rozrywką nie tylko dla miłośników fantastyki.

Błękitna kropka. Człowiek i jego przyszłość w Kosmosie (przekład — Marek Krośniak; chronologiczne zestawienie Loty kosmiczne w obrębie Układu Słonecznego na wyklejkach okładek; obszerna literatura uzupełniająca, uzupełniona tytułami w języku polskim; str. 536; cena 39 zł) Carla Sagana to książka, która powinna się znaleźć w prywatnej biblioteczce każdego miłośnika astronomii i astronautyki. Jest to bowiem wspaniale napisana opowieść o miejscu Ziemi i człowieka we Wszechświecie, o tym, jak trudno z Kosmosu stwierdzić, że na Ziemi istnieje życie, o fascynujących wynikach badań bliskich i dalekich planet oraz ich księżyców. Poświęcając dużo miejsca Marsowi, jako pewne uważa autor przyszłe załogowe loty na Czerwoną Planetę i przekonywająco przedstawia perspektywy jej terraformowania, czyli stworzenia tam środowiska, przypominającego ziemskie. Będąc głęboko przekonanym, że wyjście człowieka w Kosmos nie tylko jest możliwe, ale stanowi nieunikniony etap rozwoju naszej cywilizacji, Sagan kreśli następnie porywającą wizję zagospodarowywania także innych ciał Układu Słonecznego — Wenus, księżyców planet i planetoid a nawet kometarnych jąder. A potem pozostanie nam już tylko zasiedlanie planet, krążących wokół innych, dalekich słońc. W ostatnich akapitach odnajdujemy myśl, że po krótkim interludium prowadzenia życia osiadłego, znów wracamy do bliskiego nam zawsze, wędrownego trybu życia.

Tym razem w skali kosmicznej. Spoglądając w górę, nasi dalecy potomkowie, bezpiecznie usadowieni na wielu światach, ze wzruszeniem wypatrywać będą na swoim niebie błękitnej kropki — Ziemi — widzianej z kosmicznej oddali.

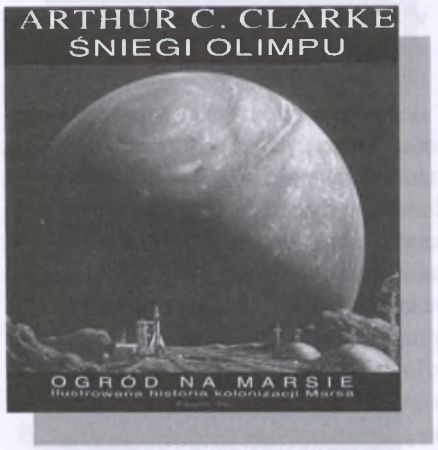
Spośród innych pozycji *Na ścieżkach nauki*, „Błękitna kropka" wyróżnia się twardą oprawą i kredowym papierem, a przede wszystkim ponad 250 kolorowymi rysunkami, obrazami i fotografiami w tekście. Wydawca zapewnia, że nie jest to ostatnia książka serii, posiadająca tak piękną szatę graficzną.

Autor „Błękitnej kropki" i wielu innych książek popularno- a także fantastyczno-naukowych, światowej sławy astronom a równocześnie najwybitniejszy współczesny popularyzator wiedzy o Wszechświecie, nie napisze, niestety, już nic więcej. W wieku 62 lat Carl Edward Sagan zmarł 20 grudnia 1966 roku. O jego imponującym dorobku przeczytać można w zamieszczonej na końcu książki, a pisanej jeszcze za życia uczonego, redakcyjnej notce biograficznej „O autorze" oraz w artykule *In memoriam* na stronie 40 zeszytu nr 1 *Postępów Astronomii* z 1997 roku.

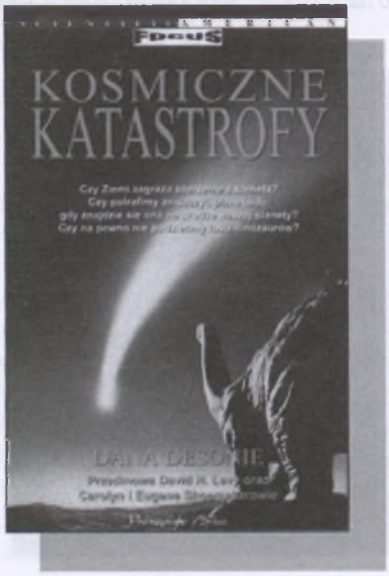
Wspomniane wyżej terraformowanie Marsa jest tematem wydanej poza serią *Na ścieżkach nauki*, książki — albumu pod tytułem ***Śniegi Olimpu***. Ogród na Marsie. Ilustrowana historia kolonizacji Marsa (przekład — Piotr Cholewa; wydawnictwo — „Prószyński i S-ka", Warszawa 1997; obszerny wykaz lektur dodatkowych, uzupełniony pozycjami w języku polskim; format 246×255 mm; str. 118; cena 27.90 zł). Jej autor to znany angielski popularyzator astronautyki i autor powieści science-fiction Arthur Clarke. Dzięki filmowej adaptacji, najbardziej chyba znaną jest powieść „2001: Odyseja kosmiczna". Ale przed lekturą „Śniegów Olimpu", warto wyszperać w bibliotece jego pierwszą, wydaną w 1951 roku powieść „Piaski Marsa" (wydanie polskie — „Wiedza Powszechna", Warszawa 1957). Już tam mówił bowiem o przygotowaniach do sztucznego doświetlania i dogrzewania Marsa w celu wytworzenia na nim warunków klimatycznych, podobnych do ziemskich. Wtedy przedsięwzięcie to było nawet łatwiejsze niż dzisiaj, bo według ówczesnego stanu wiedzy, marsjańska atmosfera była dziesięciokrotnie gęstsza i na planecie rosły rośliny, produkujące tlen. Zanim około 2100 roku rozpocznie się realne przeobrażanie Marsa na obraz i podobieństwo Ziemi, Clarke zrobił to wirtualnie, korzystając z komputerowego programu Vistapro. Spośród około 90 kolorowych ilustracji, 60 stanowią komputerowe „zdjęcia" różnych rejonów Czerwonej Planety na różnych etapach terraformowania. Poczesne miejsce zajmują „zdjęcia", zmieniającego się z upływem stuleci, wyglądu Olympus Mons — jednego z marsjańskich wulkanów, najpotężniejszej i najwyższej góry w Układzie Słonecznym. Na starych mapach Czerwonej Planety rejon ten nosił nazwę „Śniegi Olimpu".

Nie wiadomo, czy i kiedy wizje takie doczekają się realizacji. Ale niedawno oglądaliśmy bezpośrednią transmisję z Marsa, przekazywaną do naszych domowych telewizorów za pośrednictwem telewizji satelitarnej. Chyba niewielu z oglądających wiedziało, że to właśnie Arthur Charles Clarke przedstawił w 1945 roku, wydający się wtedy czystą fantazją, projekt systemu geostacjonarnych satelitów telekomunikacyjnych.

Kazimierz Schilling



Recenzenckie katastrofy



Jestem zdumiony i zażenowany tonem i treścią recenzji pióra pana Andrzeja Marksa z książki „Kosmiczne katastrofy", recenzji, która ukazała się w „Postępach Astronomii" nr 3/1997 na str. 39–40. P. Marks próbuje zdyskredytować wartość tej niewielkiej, popularnej książki (wydanej w serii „Scientific American Focus" przez wydawnictwo Prószyński i S-ka) pod sztandarami — słusznej skądinąd — walki ze źle wydanymi książkami popularnonaukowymi. Niestety, czyni to dopuszczając się kardynalnych błędów. Po pierwsze, kilkakrotnie krytykuje poprawne opinie autorki książki, próbując zbijać je argumentami nieprawdziwymi lub już przestarzałymi. Po drugie, preparuje cytaty lub wyjmuje zdania i sformułowania z kontekstu, co pozwala mu stwarzać pozory ich niepoprawności. Po trzecie, pomawia o uproszczenia tekst popularnonaukowy, który — z założenia — został napisany na pewnym (śmiem twierdzić, że przyzwoitym) poziomie prostoty. By nie pozostać gołosłownym, przytoczę przykłady wszystkich trzech praktyk.

Błędy recenzenta.

P. Marks przywołuje fragment książki: „Gdyby we wnętrzu naszej planety nie tkwiło metaliczne jądro, nie istniałoby ziemskie pole magnetyczne" i twierdzi, że to nonsens, utrzymując, iż skoro we wnętrzu Ziemi temperatura przekracza punkt Curie, materia traci właściwości magnetyczne. Recenzent najwyraźniej nic nie rozumie z teorii dynama ziemskiego.

P. Marks pisze: „Twierdzenie, że meteoroid rozgrzewa się do 1600°C, jest błędne. Chodzi o temperatury znacznie ponad 10 000°C". Tymczasem to autorka książki ma rację. Świadczy o tym widmo meteoru; zob. P Arytmowicz, „Astrofizyka układów planetarnych", PWN, Warszawa 1995, s. 509–10.

P. Marks pisze: „Wiek gatunku ludzkiego ocenia się obecnie na 2–3 mln lat, a nie 400 000 lat". Recenzent myli rodzaj z gatunkiem. Przy całej niepewności datowania, historię gatunku *homo sapiens* wciąż liczy się w setkach tysięcy, a nie w milionach lat; co innego z rodzajem *homo* (człowiekowatymi).

P. Marks kwestionuje, że na fotografii na str. 73 znajduje się tektyt. Tymczasem jest to klasyczny przykład wełtawitu (22 g, zbiory W. Zeitschela), czyli tektytu właśnie.

P. Marks pyta: „Czy na Ziemi jest już obecnie 4 × 1.5 mld = 6 mld ludzi?" (str. 98 książki) Wg Encyklopedii PWN ludność Ziemi w 1990 roku liczyła 5,3 mld osób, a w 2000 roku ma osiągnąć około 6.3 mld osób (hasło „ludnościowe prognozy"). Jak łatwo policzyć, stosując prostą interpolację liniową, w 1997 roku liczba ludności powinna wynosić około 6 mld osób.

Spreparowane cytaty.

Odwołując się do str. 60 p. Marks pisze: „Twierdzenie, że Meteoryt Sichote-Akiński (a nie Sichote-Aliński) wybił tylko jeden krater jest błędne, powstało ich bowiem parę dziesiątków". Po pierwsze, i meteoryt, i krater noszą nazwę od gór na Syberii: Sichotealiń (zob. Encyklopedia PWN). Po drugie, autorka w przywołanym miejscu książki wylicza tylko młode kratery uderzeniowe na Ziemi, wymieniając największy z kraterów związanych z tym meteorytem. Na str. 90–91 opisuje jednak dokładnie spadek meteorytu Sichotealińskiego, stwierdzając m.in.: „eksplodował na oczach świadków i wybił wiele kraterów na sporym obszarze".

P. Marks pisze, że na str. 92 „twierdzi się, że meteoryty, które spadły na Ziemię, powodowały »ofiary śmiertelne«, a zaraz dalej, że nie znamy przypadku zabicia człowieka przez meteoryt. A więc jak było?" A więc było tak, że odnotowano ofiary śmiertelne wśród zwierząt, co zresztą autorka wyjaśnia na tej samej stronie: „Choć nie zanotowano, by spadający meteoryt zabił człowieka, kamienie z nieba są odpowiedzialne za śmierć kilku zwierząt [...]". I podaje przykłady.

P. Marks cytuje najpierw fragment książki ze str. 109 w następujący sposób: „100 do 100 000 km... porównywalne z promieniem orbity Księżyca", po czym się dziwi: „Czyżby? (Promień orbity Księżyca ma około 400 000 km!)" Otóż całe zdanie w książce brzmi: „Orbita, wyznaczona na podstawie obserwacji optycznych, może być obarczona błędem od 100 do 100 tysięcy km (różnica między zderzeniem z Ziemią a minięciem jej w odległości porównywalnej z promieniem orbity Księżyca)". Bez komentarza.

Dopuszczalne uproszczenia.

We fragmencie opisującym kolaps gwiazdy tuż przed wybuchem autorka pisze: „Zrodzona wówczas fala uderzeniowa niemal natychmiast spowodowała powstanie ciężkich pierwiastków, takich jak złoto i uran". P. Marks stwierdza: „To nie fala uderzeniowa [...] tworzy ciężkie pierwiastki, ale intensywny strumień neutronów!" Otóż synteza jąder cięższych od żelaza jest możliwa w gwieździe po doprowadzeniu energii z zewnątrz, do czego dochodzi podczas gwałtownego kolapsu gwiazdy i wytworzenia się fali uderzeniowej. Dopiero w tych warunkach pojawiają się obfite źródła wolnych neutronów, których wychwyt może powodować szybkie powstawanie cięższych jąder. Sformułowanie autorki jest więc może nie w pełni precyzyjne, ale uzasadnione w książce nie poświęconej teorii wnętrz gwiazdowych, lecz zderzeniom ciał Układu Słonecznego.

P. Marks pisze: „Nazywanie meteorów — *explicite* — »spadającymi gwiazdami« jest wysoce nieudolne". Autorka pisze na str. 49: „Zanim meteor zniknie, obserwujemy »spadającą gwiazdę« lub nawet »kulę ognistą«". I dalej, czasami, używa zamiennie terminu „spadająca gwiazda" i „meteor". Nie widzę w tym żadnej nieudolności, skoro język polski uważa te dwa terminy za synonimy (zob. np. Encyklopedia PWN).

P. Marksowi nie podoba się porównanie rozproszenia materii komety Shoemaker-Levy 9 w atmosferze Jowisza z rozproszeniem się popiołów wulkanu Pinatubo w atmosferze Ziemi (str. 94 książki). Cóż, na tym m.in. polega popularyzacja nauki o kosmosie, by odnajdywać ziemskie, znajome odpowiedniki dla zjawisk astronomicznych.

Wymienione recenzenckie kiksy to tylko przykłady. Pełną listę odpowiedzi na wszystkie zarzuty składam na ręce redakcji „Postępów Astronomii". W sumie recenzentowi udało się znaleźć dwa rzeczywiste błędy merytoryczne: jeden przy opisie formowania się mgławicy słonecznej (str. 18 książki), gdzie moment bezwładności został pomylony z momentem pędu i całe zdanie brzmi niejasno, drugi przy podawaniu przez autorkę okresu połowicznego rozpadu uranu 238: zamiast 450 mln lat powinno być 4.5 mld lat (str. 55 książki). Oba błędy zostały już poprawione w dodruku „Kosmicznych katastrof". Trzeba jednak pamiętać, iż p. Marks sam popełnił w recenzji co najmniej czterokrotnie więcej błędów merytorycznych (co by było, gdyby jego tekst miał objętość „Kosmicznych katastrof"?), że nie wspomnę już o spreparowanych zarzutach. Doprawdy dziwi mnie, że taki tekst mógł się ukazać w czasopiśmie wydawanym pod egidą Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. W końcu dział recenzji renomowanego czasopisma nie powinien pełnić roli Hyde Parku, w którym można wyrażać dowolne opinie, nie ponosząc za to żadnej odpowiedzialności.

Jarosław Włodarczyk
Kierownik Działu Książek Popularnonaukowych wydawnictwa „Prószyński i S-ka", tłumacz „Kosmicznych katastrof"

Od redakcji:

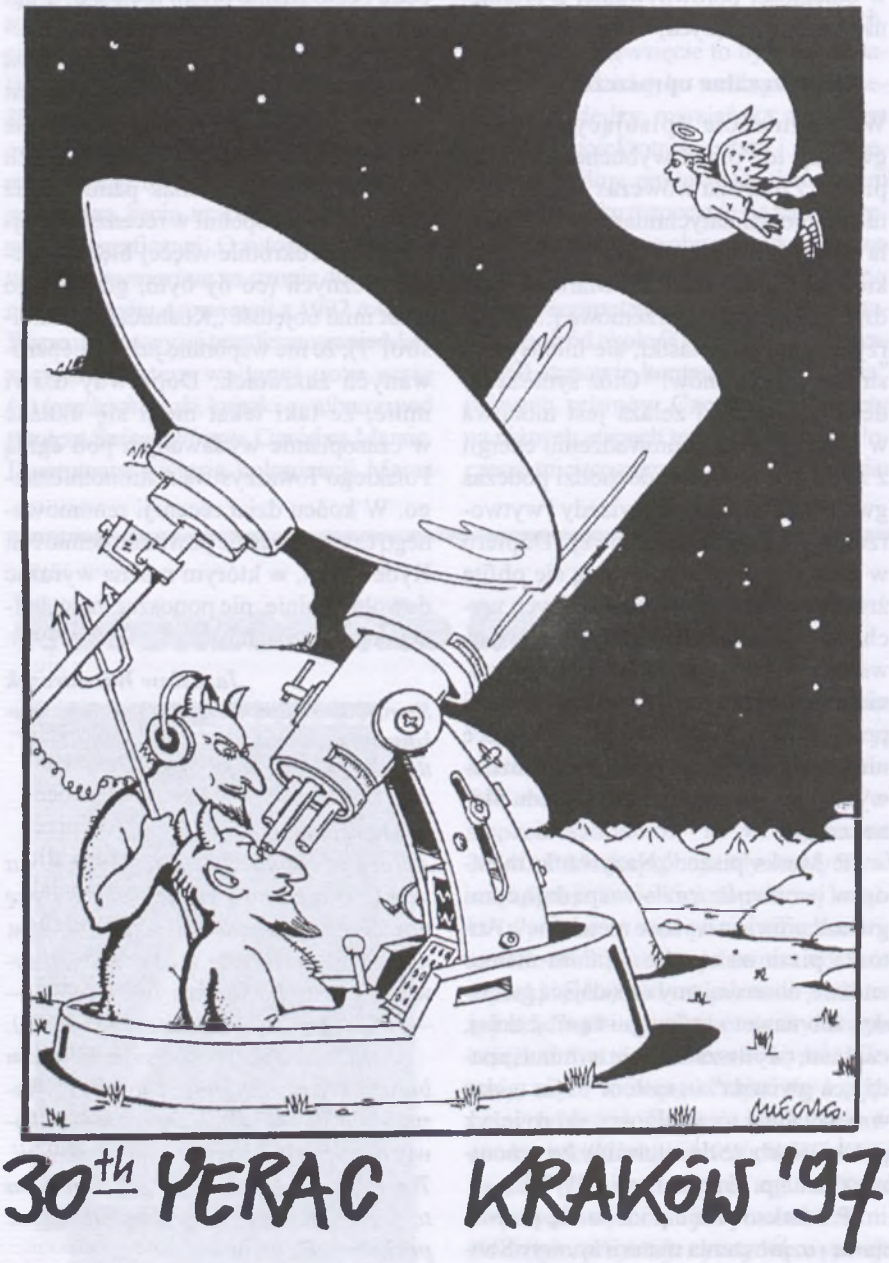
Autorowi tłumaczenia dziękujemy za szybką i rzeczową reakcję na krytykę naszego korespondenta. Część błędów, niestety, pojawiła się w czasie przepisywania tekstu p. Marksa (mea culpa — —JD) i te prostuje sam autor (patrz str.2).

Nasi czytelnicy często przysyłają nam bardzo krytyczne opinie i uwagi o ukazujących się książkach popularnonaukowych i używanej w nich terminologii. Ten przypadek pokazuje, jak delikatna to jest materia i jak trzeba się strzec pochopnych sądów.

XXX YERAC KRAKÓW'97

XXX YERAC (*Young European Radio Astronomers Conference*) odbył się w Krakowie w dniach od 14–19 września 1997.

Już od trzydziestu lat młodzi radioastronomowie z całej Europy spotykają się na organizowanych rokrocznie konferencjach. YERAC to spotkanie mające na celu umożliwienie młodym adeptom radioastronomii nawiązanie pierwszych kontaktów naukowych i przedstawienie własnych badań naukowych na forum międzynarodowym. Na konferencji każdy z uczestników wygłasza referat z prowadzonych prac badawczych. Są to często jeszcze ciepłe, ba, często gorące wyniki obserwacyjne lub rozważania teoretyczne z dziedziny radioastronomii. Spotkania te są o tyle ważne, że ci młodzi ludzie za parę lat będą, być może, tworzyć historię nowych odkryć astronomicznych. W tym roku zaszczyt zorganizowania takiego spotkania przypadł — po raz pierwszy — Obserwatorium Astronomicznemu UJ w Krakowie. W Polsce spotkania takie odbyły się dotychczas dwukrotnie w Katedrze Radioastronomii UMK w Piwnicach pod Toruniem, w 1976 (IX YERAC) i 1987 (XX YERAC) roku.



W Krakowie radioastronomia rozwija się już od lat 50-tych. Z wielkim powodzeniem prowadzi się badania promieniowania radiowego Słońca, bliskich galaktyk i aktywnych radiowo odległych obiektów kosmicznych. Od lat pracownicy Obserwatorium współpracują z wiodącymi ośrodkami radioastronomicznymi na całym świecie. Wyrazem uznania dla dotychczasowych osiągnięć, było powierzenie organizacji Jubileuszowej XXX konferencji YERAC naszemu ośrodkowi naukowemu. Konferencja odbyła się w Instytucie Badań Polonijnych UJ w Przegorzałach w dniach 14–19 września 1997. Uroczystego otwarcia konferencji dokonał jej „duchowy patron", dyrektor OA UJ prof. Józef Masłowski. Tego samego dnia, JM Rektor Uniwersytetu Jagiellońskiego prof. Aleksander Koj, podjął uczestników YERAC-u w najstarszej części Uczelni — Collegium Maius, gdzie młodzi europejscy radioastronomowie mogli zapoznać się m.innymi z pamiątkami z okresu studiów Mikołaja Kopernika w Krakowie.

Lokalny Komitet Organizacyjny Konferencji stanowili: Krzysztof T. Chyży — przewodniczący, Stanisław Ryś, Marek Gierliński, Jacek Guzik, Marek Jamrozy, Tomasz Kundera, Grzegorz Michałek, Katarzyna Otmianowska-Mazur, Marian Soida.

Ponieważ YERAC jest konferencją ludzi młodych, rozpoczynających dopiero swoją karierę naukową i nie dysponujących dużymi środkami finansowymi — zwyczajowo już — uczestnicy przyjeżdżają na własny koszt, a organizatorzy pokrywają koszty ich pobytu. Z pomocą finansową pośpieszyli Uniwersytetowi Jagiellońskiego darczyńcy, których nie sposób tu nie wymienić:

Kürcher Poland Ltd.; CCNS Ltd.; Transprojekt Sp. z o.o.; Browary Tyskie S.A.; Bank Współpracy Regionalnej; Krakowski Komercyjny Internet; Energoprojekt Katowice S.A.; RMF FM oraz III Wydział Polskiej Akademii Nauk, Ministerstwo Edukacji Narodowej, Fundacja Astronomii Polskiej, Fundacja im. Stefana Batorego, Polskie Towarzystwo Astronomiczne i Urząd Miasta Krakowa.

W Konferencji uczestniczyło 53 astronomów z 14 krajów europejskich, z 32 ośrodków radioastronomicznych oraz trzech specjalnie zaproszonych gości, którzy wygłosili następujące referaty przeglądowe:

- Prof. Richard Wielebinski — „The Development of Radio Astronomy from Metre to Sub-millimetre Wavelengths"
- Prof Aleksander Wolszczan — „Applications of Pulsar Timing"
- Prof. Marek Urbanik — „Radio Emission from Normal Galaxies — a Key to Understand the Cosmic Magnetism".

Wszyscy uczestnicy wygłaszali kilkunastominutowe referaty, których tematyka radioastronomiczna podzielona została na następujące grupy:

- Instrumenty i przeglądy
- Ośrodek międzygwiazdowy
- Gwiazdy i obiekty gwiazdopodobne
- Nasza Galaktyka i inne galaktyki
- Obiekty aktywne i kosmologia.

Lada dzień ukażą się materiały naukowe z konferencji, w formie specjalnego numeru czasopisma *Acta Cosmologica*.

Światowej sławy radioastronomowie, goście YERAC-u wygłosili w auli Polskiej Akademii Umiejętności wykłady publiczne:

- prof. R. Wielebinski — „Niewidzialny Wszechświat, czyli co i jak widzą radioastronomowie"
- prof. A. Wolszczan — „Planety wokół innych słońc".

Cieszyły się one olbrzymim powodzeniem, szczególnie wśród młodzieży.

Oprócz części naukowej były też i inne atrakcje. Uczestnicy konferencji zwiedzili Obserwatorium Astronomiczne UJ na Forcie Skała oraz słynną Kopalnię Soli w Wieliczce. Niezapomniane wrażenia wywarło też „specjalnie" zamówione na wieczór 16 września całkowite zaćmienia Księżyca, które to zjawisko podziwiano z krużganków Collegium Pułaskiego w Instytucie Badań Polonijnych UJ w Przegorzałach.

Sygnały, jakie docierają do naszego Obserwatorium z całej Europy po zakończeniu imprezy, świadczą o tym, że wspomnienia uczestników konferencji związane z pobytem w Krakowie są wspaniałe pod każdym względem. Być może przyczyniła się też do tego specjalnie stworzona grafika Andrzeja Mleczki, którą zamieszczamy obok.

Adam Michalec

XXVIII ZJAZD PTA

W dniach 9–12 września br. odbył się XXVIII Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. Tym razem członkowie i sympatycy Towarzystwa skorzystali z gościnności Zielonogórskiego Centrum Astronomii WSP, które podjęło się organizacji spotkania. Obrady odbywały się w Auli Głównej Wyższej Szkoły Pedagogicznej, w pobliżu której znajdował się Akademik „Wcześniak", gdzie zakwaterowano większość uczestników. Posiłki spożywano w pobliskiej stołówce, co wyeliminowało uciążliwe w takich sytuacjach dojazdy.

Obrady rozpoczęły się we wtorkowe południe wręczeniem nagrody PTA im. prof. Włodzimierza Zonna dla najlepszego popularyzatora wiedzy o Wszechświecie. W tym roku otrzymał ją dr Henryk Chrupała, wieloletni dyrektor Planetarium w Chorzowie, w którym odbywają się m.in. finały Olimpiad Astronomicznych. Następnie prof. Andrzej Zdziarski (CAMK PAN, Warszawa) przedstawił pierwszy z serii referatów przeglądowych, zapoznając słuchaczy z zagadnieniem promieniowania rentgenowskiego czarnych dziur. Po przerwie obiadowej dr hab. Andrzej Udalski (UW, Warszawa) opowiedział o Warszawskim Teleskopie Fotometrycznym, który rozpoczął niedawno pracę w Obserwatorium w Las Campanas w Chile. Opis tego nowoczesnego narzędzia prezentowano już na łamach *Postępów Astronomii* (nr 3/96 str. 129).

Dalsza część wtorkowych obrad poświęcona była prezentacji plakatów, które wywieszono w holu auli. Ich tematyka obejmowała szeroki zakres zagadnień, zarówno astronomii teoretycznej jak i obserwacyjnej. W przerwie, w osobnym pomieszczeniu pod szklanym dachem pełnym egzotycznych roślin, serwowano kawę i herbatę. Nie opodal znajdowały się dwa stanowiska komputerowe, dające uczestnikom dostęp do Internetu.

Po kolacji podstawionymi autokarami przewieziono nas do teatru na spektakl pt. „Pan Kepler raczy umierać". Tematyka przedstawienia została wybrana nieprzypadkowo: w pobliskim miasteczku Żagań Jan Kepler spędził bowiem ostatnie lata swego życia. Sztuka okazała się poetyckim monodramem o ostatnich godzinach życia Keplera, w którym pojawiły się pytania o ludzki sens Wszechświata. Dopełnieniem dramatu stał się pochmurny, deszczowy wieczór, który powitał nas po wyjściu z teatru. Pierwszy dzień obrad zakończył sie jednak w zupełnie innej atmosferze, stworzonej przez spotkanie towarzyskie w klubie studenckim.

Drugi dzień Zjazdu był niezwykle pracowity. Rozpoczęły go dwa referaty przeglądowe: dr hab. Krzysztof Ziołkowski z CBK PAN (Warszawa) mówił o nowym obrazie Układu Słonecznego, wyłaniającym się z analizy danych, przesyłanych przez sondy kosmiczne oraz z obserwacji obiektów Dysku Kuipera. Słuchając drugiego prelegenta, prof. Edwina Wnuka z UAM (Poznań), powróciliśmy w bezpośrednie sąsiedztwo Ziemi, by dowiedzieć się o niebezpieczeństwach grożących nowym satelitom i statkom załogowym ze strony tzw. śmieci kosmicznych (głównie fragmentów starych satelitów), krążących w coraz to większej liczbie wokół naszej planety. (Patrz PA 3/97 str. 8.)

Po przerwie rozpoczęła się sesja dydaktyczna, w trakcie której przedstawiono m.in. organizację, przebieg i ocenianie Olimpiad Astronomicznych, przebieg tegorocznego seminarium dla nauczycieli fizyki szkół średnich jak również zagadnienia astronomiczne w minimach programowych MEN.

Po południu odbyło się Walne Zebranie PTA, któremu przewodniczył prof. Robert Głębocki. Jednym z ważniejszych punktów Zebrania było przyjęcie nowego statutu Towarzystwa. Prezesem PTA został wybrany prof. Jerzy Kreiner z WSP w Krakowie, a jego zastępcą został prof. Edwin Wnuk (UAM, Poznań). Obaj panowie pełnili te same funkcje

w poprzedniej kadencji. Do Zarządu wybrano również dr Jadwigę Białą (Planetarium w Olsztynie), dr hab. Adama Michalca (UJ, Kraków), dr hab. Michała Ostrowskiego (UJ, Kraków), prof. Andrzeja Woszczyka (UMK, Toruń) oraz dr hab. Krzysztofa Ziołkowskiego (CBK PAN, Warszawa). Ważnym punktem obrad była dyskusja nad proponowanym połączeniem czasopism „Postępy Astronomii" i „Urania". Kilka osób wyraziło swoje niezadowolenie z zamiaru zmniejszenia liczby czasopism astronomicznych do jednego tytułu, w dodatku mającego ukazywać się co dwa miesiące. Sugerowano różne sposoby utrzymania odrębności „Postępów", jednak w świetle przedstawionych przez redakcję trudności (głównie natury finansowej), wniosek o połączeniu zyskał aprobatę większości zebranych.

Ciekawą inicjatywą była propozycja prof. Konrada Rudnickiego (UJ, Kraków) o ustanowienie certyfikatu PTA, przyznawanego poprawnym merytorycznie wydawnictwom książkowym z zakresu astronomii. Miałby to być sposób wskazania czytelnikom wartościowych pozycji z dziedziny astronomii, co w obecnej sytuacji zalewu rynku wieloma, reprezentującymi często niewielką wartość poznawczą, pozycjami księgarskimi, miałoby duże znaczenie. Certyfikat można by przyznawać również audycjom radiowym i telewizyjnym, dotyczącym astronomii. Po burzliwej dyskusji zobowiązano Zarząd do opracowania szczegółów certyfikatu, zgadzając się na jego wprowadzenie. Drugi dzień Zjazdu zakończyła uroczysta kolacja.

W czwartek przed południem przedstawiono kolejne dwa referaty przeglądowe. Prof. Ryszard Wielebinski (Instytut Radioastronomii, Bonn) zaprezentował rezultaty najnowszych obserwacji radiowych zimnego pyłu w galaktykach, a dr hab. Andrzej Kułak (UJ, Kraków) opowiedział o kosmicznych uwarunkowaniach jonosferycznego rezonansu Schumanna. Po obiedzie odbyła się wycieczka do Żagania śladami Jana Keplera.

Piątek był ostatnim dniem Zjazdu. Od rana wygłoszono ostatnie referaty przeglądowe: w anglojęzycznym wystąpieniu dr Moshe Elitzur przedstawił zagadnienie emisji podczerwonej dysków protoplanetarnych, a gospodarz Zjazdu, prof. Janusz Gil, zapoznał zebranych z pracami badawczymi, prowadzonymi w Centrum Astronomii WSP w Zielonej Górze, dotyczącymi promieniowania pulsarów. Zjazd zakończył się w piątkowe południe. Całość obrad przebiegała w miłej atmosferze, co w dużej mierze było zasługą Lokalnego Komitetu Organizacyjnego. Kolejny Zjazd PTA odbędzie się w 1999 roku, prawdopodobnie w Olsztynie.

Tomasz Kwiatkowski

Żagański diabeł Jana Keplera z kolekcji diabłów w miejscowym muzeum.

Miejsce dawnych obserwacji astronomicznych w żagańskim zespole klasztornym.

CZAS NA MARSA

W piątek 18 września w Toruńskim Planetarium im. Władysława Dziewulskiego mogliśmy nie tylko podziwiać ciekawy pokaz o Marsie, ale także wysłuchać dr Zubrina, który jest jedną z czołowych postaci w amerykańskim programie badania Marsa.

Dr Robert Zubrin studiował matematykę, inżynierię jądrową i astronautykę. Jest autorem ponad 90 prac naukowych i artykułów popularnonaukowych. Do jego najwybitniejszych osiągnięć można zaliczyć:

— patent USA na żagiel magnetyczny (nowatorska koncepcja napędu kosmicznego), który otrzymał wraz z Daną Andrews z zakładów Boeinga;

— projekt jądrowego silnika rakietowego na dwutlenek węgla, który jest podstawowym składnikiem marsjańskiej atmosfery;

— projekt samolotu kosmicznego pionowego startu i lądowania;

— program misji Mars Direct (program załogowych lotów na Marsa), który Robert Zubrin zaproponował pracując jeszcze dla firmy Martin Marietta.

W chwili obecnej dr Robert Zubrin kieruje zespołem badawczym NASA, który opracował metodę produkcji paliwa metanowo-tlenowego z materiałów dostępnych na Marsie. Jest prezesem amerykańskiego Narodowego Towarzystwa Kosmicznego oraz członkiem Brytyjskiego Towarzystwa Lotów Międzyplanetarnych. Do Polski dr Zubrin przyjechał na zaproszenie wydawnictwa „Prószyński i S-ka", promować swoją, opublikowaną przez to wydawnictwo, książkę „Czas Marsa". Odwiedził w tym celu Toruń i Warszawę.

Dr Zubrin, rozpoczynając swój wykład, przypomniał słuchaczom historię podboju bieguna południowego. Słuchając tego wstępu, zastanawiałem się nad związkiem tej historii z podróżami na Marsa. Po kilkunastu minutach odpowiedź nadeszła... O sukcesie Amundsena w 1911 roku przesądziła umiejętność współżycia z nowym środowiskiem oraz umiejętność maksymalnego wykorzystania jego zasobów

naturalnych. Wcześniej ponad stukrotnie próbowano zdobyć biegun przy wykorzystaniu ogromnych środków. Największa flota ówczesnego świata, jaką była flota brytyjska, za każdym razem przegrywała ze światem wiecznego lodu. Statek Amundsena nie był okazały, załoga niezbyt liczna, a jednak ta ekipa dotarła do Bieguna Południowego.

Pomiędzy przedstawioną historią a planami lotów na Marsa istnieje analogia. Otóż w lipcu 1989 roku, dwadzieścia lat po pierwszym lądowaniu na Księżycu, George Bush ogłosił nową amerykańską inicjatywę kosmiczną. Jej celem był Mars. Opracowaniem koncepcji podróży na Marsa zajęła się NASA. Po trzech miesiącach projekt został przedstawiony prezydentowi USA jako projekt 90-dniowy. Zakładał on budowę ogromnego statku kosmicznego, który doleciałby na Marsa i następnie powrócił na Ziemię. Statek ten w chwili obecnej nie mógł być wykonany, gdyż brak odpowiednich technologii. Ponadto jego budowa musiałaby się odbyć w przestrzeni kosmicznej. Wyprawa ta mogłaby się odbyć za jakieś 30 lat i kosztowałaby amerykańskiego podatnika 450 mld dolarów. Nie trzeba być błyskotliwym politykiem, aby stwierdzić, że Kongres USA odrzucił ten projekt. Pomysł ten Zubrin nazwał Gwiazdą Śmierci.

W dzisiejszych czasach wymaga się od astronautyki konkretnych korzyści i nikt dzisiaj nie podejmie takiego trudu dla celów propagandowych (dla zatknięcia drzewca flagi). Jeśli chcemy lecieć na Marsa, mówi dr Zubrin, to musimy myśleć o budowaniu tam stacji badawczych, pozyskując w tym celu wszystko, co daje nam Czerwona Planeta. Zubrin widzi, jak w niedalekiej przyszłości Mars stanie się drugim domem Ziemian. Liczba ludności stale wzrasta, a zasobów mineralnych stale ubywa i już dzisiaj musimy myśleć o skolonizowaniu Marsa. Ale najpierw na Marsie musi wylądować człowiek.

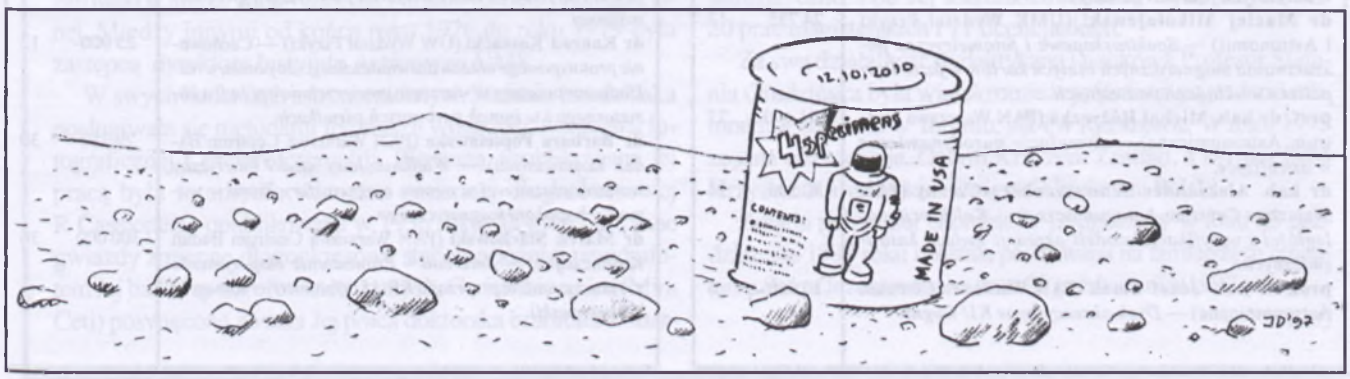
Projekt Roberta Zubrina jest nie tylko tańszy od projektu NASA — kosztowałby około 45 mld dolarów (co stanowi ok. 15% budżetu NASA lub niecałe 1% funduszy przeznaczonych na zbrojenia w USA), ale także jest możliwy do realizacji dzięki zastosowaniu obecnych technologii i przewiduje lądowanie człowieka na Marsie w ciągu 10 lat od chwili przyznania funduszy. Program ten nie wymaga istnienia stacji Alfa (międzynarodowej stacji orbitalnej), której istnienia wymagał projekt NASA, a której budowa w najbliższym czasie ma zostać rozpoczęta.

Robert Zubrin zamiast jednego dużego statku kosmicznego chce wysłać kilka mniejszych. Najpierw startuje z Ziemi rakieta z pojazdem powrotnym na Ziemię i aparaturą do produkcji paliwa do tego pojazdu. Masa paliwa w rakiecie stanowi ponad 85% masy całości i, aby obniżyć masę rakiety i maksymalnie „wypełnić" ją aparaturą, dr Zubrin „tankuje" rakietę paliwem tylko w jedną stronę. Gdy już pojazd ten wyląduje na Marsie, rozpoczyna się produkcja paliwa metanowo-tlenowego, w której wykorzystuje się dwutlenek węgla stanowiący 95% atmosfery Marsa oraz wodór przywieziony z Ziemi. Energia do tego procesu będzie czerpana z małego reaktora. Po dwóch latach, gdy statek będzie przygotowany do drogi powrotnej na Ziemię, startują (po wcześniejszej kontroli jakości paliwa na Ziemi) dwie kolejne rakiety. Jedna jest analogiczna do pierwszej, natomiast druga rakieta zawiera lądownik wraz z czteroosobową załogą, która pozostałaby na Marsie rok lub półtora. Zubrin nazywa ten lądownik puszką od konserw. W tym czasie załoga dokonuje pomiarów na Marsie. Po wypełnionej misji załoga wraca na Ziemię pierwszym statkiem, a w kierunku Marsa mkną już dwie kolejne rakiety, analogiczne do poprzednich. W ten sposób mamy zapewnioną ciągłość obecności człowieka na Czerwonej Planecie. Wiele problemów wymaga jeszcze rozwiązania, ale jak na razie projekt dr Roberta Zubrina jest najbardziej obiecujący i wiele jego elementów jest już testowanych.

Można zadawać sobie pytanie, czy potrzebna jest taka wyprawa? Przede wszystkim nie nam udzielać na nie odpowiedzi, bo nie z naszych pieniędzy będzie ona realizowana. Jednak pewne problemy są ponadterytorialne, a od wielu z nich zależy los naszej cywilizacji. Najważniejszym pytaniem jest: „Czy istniało bądź istnieje tam życie?". W sierpniu ubiegłego roku naukowcy poinformowali opinię publiczną o dokonaniu wielkiego odkrycia w meteorycie ALH 84001 znalezionym w lodach Antarktydy. Meteoryt ten pochodzi z Marsa i znaleziono w nim skamieliny bakterii żyjących na Czerwonej Planecie ponad 3.6 mld lat temu! Analogiczne bakterie z tego okresu na Ziemi są prawie 100-krotnie większe! Materiał z tego meteorytu poddawany jest jeszcze drobiazgowym analizom, ale już dzisiaj jesteśmy bliscy stwierdzenia, że na Marsie istniało życie. Jednak pewność uzyskamy dopiero wtedy, gdy na powierzchni Marsa postawi swą stopę Człowiek. Jeśli odpowiedź będzie twierdząca, będzie to oznaczało, że życie jest czymś powszechnym we Wszechświecie, a to może być najważniejsza odpowiedź w dziejach ludzkości.

Zanim jednak poznamy odpowiedź na to fundamentalne pytanie, proponuję oddać się lekturze książki dr Roberta Zubrina pt. „CZAS MARSA" i spojrzeć od czasu do czasu w rozgwieżdżone niebo.

Wiesław Skórzyński



Granty KBN

Na łamach poprzedniego zeszytu PA publikowaliśmy listę grantów przyznanych przez Komitet Badań Naukowych w ramach konkursów X i XI. Poniżej prezentujemy listę grantów z dwóch następnych konkursów (*red.*).

ASTRONOMIA

Kierownik projektu i tytuł projektu	Kwota (zł)	Czas (mies.)
XII KONKURS		
dr Mirosław Giersz (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Symulacje ewolucji realnych systemów gwiazdowych przy pomocy kodów Monte Carlo i hybrydowego.*	123 630	36
prof. dr hab. Janusz Gil (WSP Zielona Góra Zielonogórskie Centrum Astronomii) — *Promieniowanie pulsarów.*	305 444	36
prof. dr hab. Robert Głębocki (UG Wydział Matematyki i Fizyki) — *Badanie asynchronicznych układów podwójnych późnych typów widmowych.*	180 000	36
dr Krzysztof Jahn (UW Wydział Fizyki) — *Aktywność magnetyczna i rotacja chłodnych gwiazd.*	274 400	36
dr hab. Michał Jaroszyński (UW Wydział Fizyki) — *Metody statystyczne w badaniu soczewkowania grawitacyjnego.*	80 900	24
dr hab. Janusz Kałużny (UW Wydział Fizyki) — *Zaćmieniowe układy podwójne w gromadach gwiazdowych oraz bliskich galaktykach.*	280 700	30
dr hab. Jerzy Madej (UW Wydział Fizyki) — *Rozpraszanie Comptona w atmosferach gorących gwiazd zwartych. II.*	62 390	12
dr hab. Joanna Mikołajewska (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Gwiazdy symbiotyczne: obserwacje, modele, ewolucja. II.*	236 080	36
dr Andrzej Niedzielski (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Poszukiwanie przyczyn zmienności widmowej pojedynczych gwiazd Wolfa-Rayeta.*	113 750	36
dr hab. Marek Urbanik (UJ Wydział Matematyki i Fizyki) — *Konfrontacja teoretycznych modeli generacji galaktycznych pól magnetycznych z obserwacjami.*	235 500	24
XIII KONKURS		
prof. dr hab. Paweł Haensel (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Gwiazdy neutronowe. Struktura, ewolucja, dynamika.*	481 800	36
dr Michał Hanasz (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Rola niestabilności wyporu w generacji pola magnetycznego galaktyk spiralnych.*	89 800	36
dr hab. Roman Juszkiewicz (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Ewolucja struktury wszechświata.*	581 200	36
mgr Ewa Luiza Łokas (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Powstawanie i własności halo galaktycznych w ujęciu słabo nieliniowego rachunku zaburzeń.*	9 680	12
dr Andrzej Maciołek-Niedźwiecki (UŁ Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii) — *Efekty relatywistyczne w aktywnych jądrach galaktyk.*	53 110	18
dr Maciej Mikołajewski (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Spektroskopowe i fotometryczne poszukiwania magnetycznych białych karłów w fazie Propellera w układach podwójnych.*	24 735	12
prof. dr hab. Michał Różyczka (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Symulacje gazodynamiczne w astrofizyce.*	261 400	27
dr hab. Aleksander Schwarzenberg-Czerny (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Kalibracja odległości i weryfikacja modeli akreacji gwiazd kataklizmicznych.*	80 300	24
prof. dr hab. Józef Smak (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Dysk akreacyjny w KU Cygni.*	10 660	6
dr Ryszard Szczerba (PAN Warszawa–Toruń Centrum Astronomiczne) — *Badanie późnych etapów ewolucji gwiazd w oparciu o obserwacje optyczne, podczerwone i radiowe.*	366 000	36
prof. dr hab. Andrzej Zdziarski (PAN Warszawa Centrum Astronomiczne) — *Mechanizmy emisji promieni X i gamma w układach podwójnych GX 339-4 oraz Cyg X-1.*	21 580	24

BADANIA KOSMICZNE

Kierownik projektu i tytuł projektu	Kwota (zł)	Czas (mies.)
XII KONKURS		
dr Marek Banaszkiewicz (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Modelowanie termiczne jądra komety oraz dynamiki dużych cząstek pyłu wokółkometarnego dla potrzeb misji ROSETTA.*	169 875	36
dr Kazimierz Borkowski (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Odbiór danych telemetrycznych ze sztucznych satelitów Ziemi za pomocą 15-m radioteleskopu UMK.*	114 000	36
mgr Krzysztof Goździewski (UMK Wydział Fizyki i Astronomii) — *Modelowanie pól grawitacyjnych małych cial Układu Słonecznego.*	5 600	12
mgr inż. Jerzy Grygorczuk (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Urządzenie wbijające dla penetratora MUPUS w misji ROSETTA.*	250 000	36
dr Marek Hłond (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *System wspomagania dla przyrządu MUPUS.*	140 000	36
dr hab. Wiesław Macek (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Analiza fraktalna wiatru słonecznego (promotorski).*	16 610	24
dr inż. Wojciech Marczewski (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Opracowanie i weryfikacja metody i technik pomiaru warstwowych charakterystyk powierzchni jądra komety systemem interferometrycznym instrumentu IRonVB.*	90 000	12
dr hab. Aleksander Schwarzenberg-Czerny (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Badanie pulsacji kosmicznych źródeł promieniowania gamma: od SIGMY do INTEGRALa.*	350 000	36
XIII KONKURS		
dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielińska (Instytut Geodezji i Kartografii Warszawa) — *Zastosowanie mikrofalowych zdjęć satelitarnych wykonanych w różnej długości i polaryzacji fal, do charakterystyki powierzchni głębowo-roślinnej.*	110 000	24
dr Konrad Kossacki (UW Wydział Fizyki) — *Cechowanie prototypowego układu doświadczalnego do pomiaru rozkładu temperatury w warstwie powierzchniowej jądra kometarnego i w innych porowatych ośrodkach.*	25 000	12
dr Barbara Popielawska (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Wielkoskalowy model kinetyczny warstwy plazmowej w ogonie magnetosfery Ziemi w warunkach spokoju magnetycznego.*	79 750	30
dr Marek Siarkowski (PAN Warszawa Centrum Badań Kosmicznych) — *Interball – Prowadzenie eksperymentu z wykorzystaniem przyrządu RF-151 (fotometr — tomograf rentgenowski).*	300 000	36

Stefania Grudzińska 1930 – 1997

Stefania Grudzińska urodziła się w Bydgoszczy 4 kwietnia 1930 roku w rodzinie urzędniczej. Edukację podstawową rozpoczęła w polskiej szkole powszechnej, a ukończyła w okupacyjnej szkole niemieckiej w Bydgoszczy. Po wyzwoleniu wstąpiła do klasy matematyczno-fizycznej III Gimnazjum i Liceum w rodzinnym mieście. Maturę uzyskała w tej szkole w roku 1950. Studia wyższe odbyła na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu w latach 1950 – 1955. Studiowała astronomię, uzyskując magisterium w czerwcu 1955 roku na podstawie pracy dotyczącej fotometrii fotograficznej (ściślej fotowizualnej) jednego z pól Drogi Mlecznej (pola Sagittae) wybranych przez Obserwatorium Astronomiczne w Toruniu do badań struktury Galaktyki i ekstynkcji międzygwiazdowej. Jeszcze w czasie studiów, z dniem 1 marca 1953 roku, została zatrudniona w Katedrze Astronomii UMK kierowanej przez prof. Władysława Dziewulskiego w charakterze najpierw zastępcy asystenta, a później od 1 października 1954, asystenta. Kolejne stanowiska starszego asystenta i adiunkta Stefania Grudzińska zajmowała odpowiednio od roku 1956 i (po doktoracie) od 1963. Na stanowisko docenta została powołana w 1978 roku i na tym stanowisku pozostawała w UMK aż do przejścia na emeryturę, w dniu 30 września 1991 roku.

W czasie pierwszych lat pracy uniwersyteckiej mgr S. Grudzińska zajmowała się fotometrią wizualną i fotograficzną gwiazd zmiennych i wspomnianą wyżej fotometrią wybranego pola Drogi Mlecznej. Ten ostatni problem wchodził w ramy większego programu badawczego Obserwatorium Astronomicznego w Toruniu, którym Obserwatorium to rozpoczynało swe naukowe — obserwacyjne istnienie. Pierwszym i podstawowym instrumentem badawczym Obserwatorium w Piwnicach był wtedy słynny 20 cm astrograf Drapera. Teleskop ten specjalnie zbudowany dla dużego projektu badawczego Obserwatorium Harwarda w Cambrige (USA) poświęconego opracowaniu katalogu jasności fotograficznych i typów widmowych gwiazd (Henry Draper Catalogue — katalogu HD) został podarowany astronomom Uniwersytetu Mikołaja Kopernika przez profesora H. Shapleya, dyrektora Obserwatorium Harwarda, w roku 1947. Dzięki temu instrumentowi powstało w roku 1949 Obserwatorium Astronomiczne UMK w Piwnicach pod Toruniem. Stefania Grudzińska, niemal od początku istnienia tej placówki, uczestniczyła w jej budowie i rozwoju zarówno w sferze badawczej, jak i dydaktycznej i organizacyjnej. Między innymi od końca roku 1976 do roku 1979 była zastępcą dyrektora Instytutu Astronomii UMK.

W swych badaniach astronomicznych Stefania Grudzińska posługiwała się metodami fotometrii wizualnej, fotometrii fotograficznej i spektrofotometrii. Pierwszą opublikowaną jej pracą była fotometria wizualna zmiennej długookresowej R Cassiopeiae opublikowana w 1956 roku. Ta gwiazda i inne gwiazdy zmienne długookresowe stały się później przedmiotem Jej badań spektrofotometrycznych. Gwieździe *o Ceti* (Mira Ceti) poświęcona została Jej praca doktorska broniona w marcu 1963 roku. Pojawienie się komety Arenda-Rolanda w 1957 roku skierowało Jej uwagę badawczą na te ciała niebieskie i przez wiele lat zajmowała się badaniem komet. W tej dziedzinie pogłębiała swą wiedzę i umiejętności badawcze w czasie stażów naukowych w Ličge w Belgii (staż roczny w 1959r. i wiele staży krótkoterminowych w późniejszych latach) i we Francji. Jej praca habilitacyjna nosiła tytuł „Analiza widmowa wybuchu komety Alcock 1963 III". Kolokwium habilitacyjne dr S. Grudzińskiej odbyło się przed Radą Wydziału Matematyki Fizyki i Chemii UMK w Toruniu w dniu 17 maja 1972, a stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych w dziedzinie astronomii został Jej przyznany z dniem 10 listopada 1972 roku.

Zarówno przed, jak po habilitacji wiele prac badawczych Stefania Grudzińska poświęciła kometom. Obiektem Jej badań były m.in. następujące komety: Arenda-Rolanda 1956h, Ikeya 1963a, Alcocka 1963b, P/Schwassmanna-Wachmanna. Innym przedmiotem Jej badań były gwiazdy zmienne długookresowe i gwiazdy typu RV Tauri. Dla pierwszych prowadziła badania na podstawie widm w bardzo dużej dyspersji (głównie studium widma liniowego w zakresie widzialnym i podczerwonym), dla drugich uzyskiwała widma w raczej małej dyspersji, dla spektrofotometrii ich widma ciągłego. Opublikowała łącznie około 40 rozpraw i artykułów naukowych w tych dziedzinach badań. Była członkiem Międzynarodowej Unii Astronomicznej, Towarzystwa Naukowego w Toruniu i paru innych towarzystw naukowych.

W pracy dydaktycznej doc. Grudzińska specjalizowała się głównie w wykładach dotyczących astronomii sferycznej i praktycznej (dla studentów astronomii), astronomii ogólnej (dla studentów geografii i matematyki) oraz matematycznych opracowań obserwacji, ale gdy zaszła potrzeba, nie zawahała się przed przeprowadzeniem wykładów kursowych dotyczących struktury wewnętrznej gwiazd. W latach 1972–1980 pracowała dodatkowo w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Bydgoszczy (1972–78 : adiunkt, 1978–80: docent) , gdzie prowadziła wykłady z matematyki. W Toruniu opiekowała się 9 pracami magisterskimi, a na bydgoskiej WSP wykonano 53 prace magisterskie pod Jej kierunkiem.

Po zakończeniu swego stosunku pracy na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika docent Stefania Grudzińska podjęła pracę na stanowisku profesora nadzwyczajnego w Instytucie Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Rzeszowie. Wykładała astronomię i astrofizykę studentom fizyki. Opiekowała się pracami magisterskimi, w których studenci fizyki wykonywali badania astrofizyczne. Pod Jej kierunkiem zostało wykonanych tam 20 prac magisterskich i 11 licencjackich.

Za swą działalność dydaktyczną i naukową Profesor Stefania Grudzińska była wielokrotnie wyróżniana nagrodami rektorskimi zarówno w Toruniu, jak i w Rzeszowie. W roku 1973 została odznaczona Złotym Krzyżem Zasługi, a w roku 1983 Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Zmarła po długiej chorobie w Bydgoszczy w dniu 23 października 1997 roku i została pochowana na tamtejszym cmentarzu Serca Jezusowego w dniu 29 października 1997 roku.

(*aw*)

Kepler czy Tycho?

Portret Keplera wg miedziorytu Jakuba von Heydena z 1618 roku.

Portret niby-Keplera z poaugustiańskiej wieży w Żaganiu.

Portret Tychona wg miedziorytu Jakuba von Meursa.

W dniu 11 września 1997 Żagań odwiedziła grupa ponad sześćdziesięciu astronomów przebywających w tym czasie na zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego w Zielonej Górze. Podzieleni na dwie grupy, oprowadzani przez miejscowych przewodników, zwiedzili zespół pałacowy, by następnie udać się pod ratusz, gdzie widnieje tablica upamiętniająca dwuletni pobyt w Żaganiu wielkiego astronoma, jakim był niewątpliwie Jan Kepler.

W programie wycieczki znalazł się również poaugustiański zespół klasztorny. Duże wrażenie na zwiedzających zrobiła zachowana biblioteka klasztorna z oryginalnym tarasikiem do obserwacji astronomicznych. Innym miejscem, gdzie chętnie zatrzymały się obie grupy, była sala z freskami w wieży nad furtą klasztorną. Tu obie grupy żywo zareagowały na niepewną informację przewodników, kogo przedstawia portret na ścianie *vis-ŕ-vis* okna? Dla astronomów oczywistością było, że ów portret to podobizna Tychona de Brahe. Istotnie, uderzające jest podobieństwo żagańskiego portretu do znanych wizerunków Tychona (patrz zdjęcia). Charakterystyczny dla Tychona jest nos — mówią — który był srebrną protezą, gdyż własny Tycho stracił w pojedynku (ponoć był z niego niezły awanturnik). Jak wiadomo, Kepler przez krótki czas ściśle współpracował z tym duńskim astronomem. To właśnie na bazie obserwacji wykonanych przez Tychona możliwe było odkrycie praw ruchu planet, dzięki którym Kepler na trwałe wpisał się w historię rozwoju astronomii.

Pozostaje zagadką, dlaczego jednak napis przy portrecie mówi o Keplerze? Gwoli wyjaśnienia, wieża została wybudowana aż czterdzieści lat po śmierci astronoma i widocznie autor malowidła nie wiedział, jak naprawdę wyglądał Jan Kepler. Znane nam obecnie podobizny tegoż astronoma ukazują nam mężczyznę o pociągłej twarzy i bujnym, ciemnym zaroście, co raczej trudno pomylić z otyłą i prawie „łysą" twarzą z żagańskiego portretu. No i ten nos…

Inne malowidła w tej sali upamiętniają dokładnie przewidziane przez Keplera spektakularne zjawiska astronomiczne. Pierwsze to całkowite zaćmienie Słońca z 10 czerwca 1630 roku (obserwowane w Żaganiu), a drugie dotyczy przejścia planety Wenus na tle tarczy Słonecznej w roku następnym (tego już Kepler nie dożył).

Pozostają jeszcze przygotowane dwa miejsca na portrety, ale czyje? Nie wiadomo. Może miały to być wizerunki wielkich poprzedników Jana Keplera, których dziedzictwo rozwijał: Mikołaja Kopernika i właśnie Tychona de Brahe? A może, jak sugeruje p. Winczaruk, przygotował tam jedno miejsce na swoją chwałę Jan Felbiger — — twórca wieży, a drugie dla śląskiego uczonego, optyka — Preussa?

Moja konkluzja jest następująca: wbrew temu, co sugeruje łaciński napis, omawiany portret ukazuje twarz Tychona de Brahe, choć w założeniu miał znaleźć się tam portret Jana Keplera. I tak chyba ująłbym tę sprawę.

Wycieczka była interesująca...

Jacek Drążkowski

Nie tak dawno (PA nr 1/1997, *Quo vadis, oświato*?) napisałem „podobno działają już nowe komisje...". Przypuszczenie okazało się prawdziwe. Jeszcze w styczniu dotarły pierwsze sygnały, że coś się dzieje, w marcu otrzymaliśmy firmowane przez Biuro Strategii Edukacyjnej MEN nowe podstawy programowe. W czerwcu dowiedzieliśmy się, że reforma wejdzie w życie za dwa lata, ale już od 1 września 1997 szkoły mogą zacząć pracować „po nowemu". W chwili, gdy piszę (koniec sierpnia), powołano tzw. szkoły pilotażowe, które mają się zająć wdrażaniem nowych programów. Cały szkopuł w tym, że nie powiedziano, co i jak mają robić. Jeśli mimo to niektóre z tych szkół chciałyby podjąć jakieś działania, to nie mają po temu żadnych podstaw prawnych. Coś mi się wydaje, że całą resztę koniecznych działań scedowano na nie istniejące Biuro Taktyki Edukacyjnej. Opublikowane podstawy programowe (jedno wielkie ble-ble, ale o tym parę zdań niżej) to jeszcze nie program, tym bardziej, że dotychczas nie opublikowano mających obowiązywać siatek godzin (podziału godzin lekcyjnych na poszczególne przedmioty). Wygląda na to, iż MEN wyobraża

Jedna z ponad 40 Komisji Międzynarodowej Unii Astronomicznej poświęcona jest sprawom nauczania astronomii (Komisja 46 — Teaching of Astronomy). Cele, jakie sobie stawia Komisja, to „rozwijanie i rozszerzanie edukacji astronomicznej na każdym stopniu kształcenia na całym świecie". Świadczy to oczywiście o wadze, jaką międzynarodowa społeczność astronomiczna przywiązuje do spraw nauczania astronomii na wszystkich szczeblach nauczania.

„Edukacja to metoda za pomocą której przyciągamy i kształcimy następne generacje astronomów i środek, za pomocą którego informujemy podatników o naturze, wzniosłości i znaczeniu naszej dziedziny nauki. Każdy obywatel Ziemi powinien mieć świadomość podstawowych pojęć astronomii, jej praktycznych i filozoficznych zastosowań, jej emocjonalnych i estetycznych wyzwań, jej przesłania o naszym kosmicznym pochodzeniu i naszym miejscu w czasie

Quo vadis, oświato?

Zabawa w głuchy telefon

sobie, że programy powstaną z dnia na dzień i niejako „oddolnie". A naprawdę, to praca dla zespołu fachowców na dobre kilka miesięcy (i za grube pieniądze). A i tak nie wiadomo, czy będą to takie programy, jakich potrzebujemy. A gdzie podręczniki, przeszkolenie nauczycieli? Gdzieś w czerwcu MEN ujawniło nowy pomysł: przeszkoli się centralnie grupkę nauczycieli, ci wrócą w teren, przeszkolą następne grupki, ci następne i tak w alarmowym tempie przygotowana będzie do reformy większość nauczycieli. Bardzo mi to przypomina popularną kiedyś zabawę w głuchy telefon. Kto nie zna, niech spyta starszych. Wypowiedziane na początku łańcuszka zdanie: „Wdrażamy wspaniałą reformę nauczania", na końcu możebrzmieć np. „Drążymy pomału formę do olewania".

A teraz trochę o wspomnianym ble-ble, czyli nowych podstawach programowych. Czytamy w nich, że szkoła stwarza warunki do, szkoła umożliwia, szkoła wspiera, daje wiedzę o, a także chrześcijański system wartości, miłość Ojczyzny (co prawda przez małe o), poszanowanie dziedzictwa kulturowego, otwarcie na wartości kultur Europy i świata. Są także treści nauczania. Sformułowane niezwykle lakonicznie. Np. cała optyka zawarta jest zawarta jest w jednym słowie: optyka. Czy należy choć trochę uwagi poświęcić zjawisku dyfrakcji, czy ograniczyć się do elementów optyki geometrycznej ? A może budować ją na teorii tworzenia obrazów Abbego? Trochę lepiej jest z najbardziej interesującą czytelników *Postępów* astronomią. Poświęcono jej całe dwa wiersze:

- Oddziaływania grawitacyjne. Układ Słoneczny. Wszechświat. Elementy kosmologii (to na IV etapie kształcenia),
- Cząstki elementarne. Elementy astrofizyki i kosmologii — na etapie V, na którym uczniowie mają prawo wyboru bloków programowych.

Jedynym niewątpliwym osiągnięciem autorów owych podstaw (czy może Biura Strategii) jest zastąpienie przedmiotów edukacjami. Mamy (czy może będziemy mieli) m.in.:

- edukację fizyczną i astronomiczną,
- edukację medialną,
- edukację zdrowotną,
- edukację czytelniczą i informacyjną,
- edukację ekologiczną,
- edukację obywatelską.

Zapewnienie szkołom warunków bazy materialnej) niezbędnych do realizacji postawionych zadań nie jest przedmiotem zainteresowania MEN, co wyraźnie powiedziano w jednym z wywiadów. Niech o tym myślą gminy lub dyrektorzy szkół poszukają bogatych sponsorów. Trochę to jak składanie komputera z klocków LEGO. A może nawet drewnianych? Moim zdaniem wyjaśnienia tej paranoidalnej sytuacji są tylko dwa: albo w MEN działają sami dyletanci, albo koalicja SLD-PSL chce za wszelką cenę przypisać sobie zasługę (?) wdrożenia reformy w okresie swoich rządów.

Juliusz Domański

Edukacja astronomiczna na Kongresie MUA w Kioto

i przestrzeni. Edukacja astronomiczna ilustruje sposoby stawiania pytań naukowych i jest wspaniałym narzędziem do przybliżania ludziom np. pojęć o ciążeniu powszechnym i świetle. Przyciąga młodych ludzi do studiowania nauk ścisłych i techniki oraz wzmaga powszechne zainteresowanie naukami przyrodniczymi. Dzięki edukacji astronomia pozostaje przedmiotem zainteresowania na całe życie i staje się *hobby* wielu milionów ludzi." Takie jest zdanie o nauczaniu astronomii Prezydenta Komisji 46 MUA, profesora Johna Percy'ego z Toronto. Z tego wynikają oczywiście bardzo trudne i poważne zadania nauczycielskie całej społeczności astronomicznej. Trzeba określić programy nauczania, przygotować nauczycieli każdego poziomu, trafić nauczaniem do wszystkich uczniów i studentów oraz znaleźć sposób na spotkanie studentów z niebem, z możliwością „docenienia" przez nich gwiaździstego nieba jako źródła wiedzy o naszym kosmicznym środowisku.

Nauczanie astronomii nie może i nie odbywa się tylko w szkolnej klasie. Odbywa się też gdzie indziej: w telewizji, w radio, w gazetach i czasopismach, magazynach i książkach, w planetariach, centrach naukowych, obserwatoriach publicznych, klubach amatorskich (miłośniczych), a ostatnio w Internecie. Astronomowie zawodowi muszą po partnersku uczestniczyć w tym procesie i aktywnie współdziałać w tych środkach środkach przekazu. Było to bardzo silnie podkreślane w czasie spotkań Komisji 46 w Kioto. Zostało też zorganizowane, tradycyjne już w czasie Kongresów MUA, spotkanie astronomów zawodowych z nauczycielami astronomii. Na tym sympozjum nauczyciele nie tylko czerpali wiedzę od wybitnych badaczy Kosmosu, ale uświadamiali astronomom problemy w przekazywaniu młodym pokoleniom współczesnej wiedzy o Wszechświecie. W ramach Kongresu astronomów w Kioto odbyła się też tzw. wspólna dyskusja (Joint Discussion nr 20) na temat „Wsparcie badań astronomicznych i edukacji w krajach rozwijających się". *(aw)*

Współczesna sekta „Brama Nieba" poszła w ślady niezliczonych dawnych kultur, szukając prawdziwej drogi do życia wiecznego. Pojmowana przez sektę „niebieska migracja" dusz z pomocą komety Hale`a-Boppa i kosmitów stanowiła pomost przerzucony między wierzeniami z odległych wieków i mitami związanymi z nadchodzącym końcem tysiąclecia.

Śladami „Bramy Nieba"

Wydawało się, że można spokojnie wyjść i oglądać rozgwieżdżone niebo. Tymczasem kometa – „apokaliptyczny znak" dla 39 samobójców z sekty Brama Nieba – w marcu b.r. raz jeszcze ukazała się mieszkańcom półkuli północnej. Kometę Hale`a-Boppa można odnaleźć (artykuł ukazał się we wrześniowym numerze S&T – przyp. red.) w gwiazdozbiorze Rufy, wędrującym przed świtem ponad południowo-wschodnim horyzontem.

Według członków sekty „Brama Nieba" kometa Hale`a-Boppa była sygnałem przybycia innego niebiańskiego statku, „pojazdu z Poziomu Ponadludzkiego". Członkowie sekty spodziewali się, że zostaną tym kosmicznym pojazdem uniesieni z Ziemi, gdyż według ich doktryny Najwyższego Rzędu niebo jest w rzeczywistości zewnętrzną przestrzenią, zaś przejście duszy do raju pozaziemskiego wymaga „ostatecznego" i „dobrowolnego rozstania się" z ziemskim ciałem.

Jeśli jednak ktoś uniknął takiego losu – uprowadzenia, i prześledzi drogę komety Hale`a-Boppa na wrześniowej mapce nieba, odnajdzie ślady innych legend i mitów. Mapa obejmuje bowiem także inne „bramy", według starożytnych wierzeń wiodące do nieba. I tak, według Indian szczepu Luiseño z południowej Kalifornii Droga Mleczna jest trasą wędrówki dusz zmarłych, które dochodzą do niej poprzez Antaresa z gwiazdozbioru Skorpiona, Niedźwiadka. A jeszcze w IV w.n.e, łaciński pisarz Macrobius głosił pogląd, że przecięcie Drogi Mlecznej z ekliptyką, w przybliżeniu odpowiadające położeniu Słońca w momentach przesileń, stanowi miejsce dojścia i odejścia dusz. W V w.n.e. precesja przesunęła te punkty na niebie do gwiazdozbioru Strzelca (przesilenie zimowe na półkuli północnej) oraz Bliźniąt (przesilenie letnie).

Przesileniowa wędrówka dusz została sformalizowana w IV wieku przez greckiego filozofa Porfiriusza. Wejście dusz na Ziemię (Brama Ludzi) umiejscowione było w astrologicznym znaku Raka, przy północnej granicy rocznej drogi Słońca. Zmarli powracali do nieba przez Bramę Bogów, znajdującej się w znaku Koziorożca. Te znaki otrzymały swe nazwy od gwiazdozbiorów Raka i Koziorożca, w których Słońce świeciło w momentach przesileń w drugim i w pierwszym tysiącleciu p.n.e.

Pojęcie „Bramy Nieba" możemy zawdzięczać mieszkańcom Mezopotamii. Według starej sumeryjskiej legendy Gilgamesz, król Uruku, został wysłany na poszukiwanie nieśmiertelności w Ogrodzie Słońca – krainie wiecznego życia. Aby dotrzeć do celu, musiał przejść przez Bramę Słońca na horyzoncie, tam, gdzie Słońce zachodzi i gdzie ukazuje się przy wschodzie. Wprawdzie para straszliwych ludzi-skorpionów strzegła obu wejść na słoneczną drogę, ale Gilgamesz został dopuszczony do następnego poziomu. Epicka historia Gilgamesza, ukształtowana prawdopodobnie przed początkiem drugiego tysiąclecia p.n.e., została rozwinięta i przekazywana przez następnych 15 wieków. Jednakże około XVII w. p.n.e. na kamieniach granicznych w Mezopotamii zaczęto umieszczać symbole astronomiczne, wśród nich także postacie człowieka-skorpiona. Jego dolna część, zakończona ogonem skorpiona, wspierała się na szponach ptaka lub pazurach lwa. Jego ludzki tułów oraz

Postać człowieka-skorpiona, naciągającego łuk, towarzyszy innym astronomicznym symbolom na babilońskich kamieniach granicznych z Abu Habba (w epoce Króla Nabuchadnezzara I 112–1103 p.n.e.). Przechowywany obecnie w British Museum w Londynie kamień świadczyć może o związku gwiazdozbioru Strzelca z ludźmi-skorpionami, stojącymi na straży Bramy Nieba. Reprodukcja z książki Alfreda Jeremiasa „Handbuch der Altorientalischen Geisteskultur" 1913.

postępki astronomów

strzała, którą naciąga w swym łuku, zasugerowały niektórym badaczom, że jest to mezopotamski prekursor Strzelca, Łucznika. Chociaż nie wiadomo, czy człowiek-skorpion umieszczony na granicznych kamieniach miał być strażnikiem przy Bramie Słońca, jednak gwiazdozbiór ten mógł pochodzić z wcześniejszych wyobrażeń poprzez związek z Drogą Mleczną. W drugim tysiącleciu p.n.e., gdy przesilenie Słońca następowało wśród gwiazd Koziorożca, Strzelec mógł stanowić straż przednią skrzyżowania drogi Słońca z Drogą Mleczną.

Chrześcijaństwo uważa bramę nieba za symbol, za metaforę w transcendencji duszy. Według Nowego Testamentu klucze Królestwa Niebieskiego są w ręku św. Piotra, który kontroluje wpuszczanie dusz przez „niebieskie wrota".

Można by mniemać, że wiosną 1997 r. zjawiska na niebie specjalnie się sprzęgły, tworząc „klucze", otwierające Bramy Nieba dla członków sekty z południowej Kalifornii, kiedy to 23 marca kometa Hale'a-Boppa znalazła się najbliżej Ziemi. Na internetowej stronie publikowanej przez sektę zanotowano, że „nadejście komety jest bardzo znamienne, jest bowiem czasem przybycia załogi kosmicznej". Pojawienie się komety przyspieszyło moment wybrany przez sektę na odejście, ale w tym samym czasie zaistniały też inne zjawiska astronomiczne. Moment równonocy wiosennej, tradycyjnie związany z wiosenną odnową, nastąpił 20 marca; Wielkanoc, obchodzona na pamiątkę śmierci i zmartwychwstania Chrystusa, nastąpiła w 10 dni później. W dodatku całkowite zaćmienie Słońca wystąpiło 9 marca, a prawie całkowite zaćmienie Księżyca – 23 marca.

Sekta wyraźnie oczekiwała widowiskowego końca świata, mimo że większość doniesień prasowych, umieszczanych przez nią na internetowych stronach, podkreślała optymistyczny i pogodny charakter informacji samobójczych. Pojmowana przez nią „niebieska migracja" dusz z pomocą komety Hale'a-Boppa i kosmitów stanowiła pomost przerzucony między wierzeniami z odległych wieków a mitami związanymi z nadchodzącym końcem tysiąclecia. Sekta twierdziła, że koniec świata jest bliski, bo „chwasty potężnie wyrosły w ogrodzie, nie można już dokonać naprawy. Jest czas, aby cywilizacja została cyklicznie odnowiona".

Masowe środki przekazu zareagowały błyskawicznie na samobójstwo członków sekty „Brama Nieba". Zdarzenie to zostało stwierdzone na Rancho Santa Fe dnia 26 marca, a nazajutrz we wszystkich mediach południowej Kalifornii nie było innych wiadomości poza tym wypadkiem. Jak się okazało w dniach 27 i 28 marca, zdarzenie to przygotowywane było od lat. Profesor socjologii Robert W. Balch zaczął badać grupę w 1975 r., wkrótce po pierwszym odczycie publicznym dwóch liderów, szukających nowych członków sekty. Adepci mieli porzucić swoje dotychczasowe życie w odpowiedzi na apel liderów, twierdzących, że są kosmitami i opuszczą naszą planetę przy pomocy UFO, aby przenieść się do „poziomu ponadludzkiego". Balch zajmował się grupą co najmniej do 1994 r. Analizę sekty zamieścił w książce „Bogowie wylądowali: nowe religie z innych światów", wydanej przez Jamesa R. Lewisa. Chociaż opis Bramy Nieba nie był jeszcze wtedy przedstawiony, to sprawozdanie Balcha wykazuje ciągłość teologii tej sekty. Jak wynika bowiem z ręcznie pisanej ulotki przygotowanej na publiczne spotkanie w Santa Monica (Kalifornia), we wczesnym okresie działalności sekty, będzie tam „dwóch ludzi, którzy twierdzą, że mają wkrótce opuścić poziom ludzki i dosłownie (fizycznie) przejść do następnego ewolucyjnego poziomu przy pomocy statku kosmicznego UFO"!

Ale mijały miesiące, a potem lata, liderzy pozostawali na Ziemi. Aż wreszcie nadarzyła się okazja. Statek kosmiczny miał się pojawić razem z kometą Hale'a-Boppa. Autor wieczornej pogadanki radiowej, nadawanej w całych Stanach Zjednoczonych, Art Bell, zastanawiał się, czy swym opowiadaniem o obserwacji komety nie wywołał tego wypadku. Wszelkie tłumaczenia o bezsensie łączenia pojawienia się komety z końcem świata nie uciszyły błędnych poglądów i zabobonów.

Nieproporcjonalnie szeroka reakcja mediów na wydarzenia w sekcie „Brama Nieba" sprawiła, że przypadkowi temu nadano znacznie większe znaczenie, niż na to zasługiwało. Przecież na Ziemi żyje obecnie ponad 5 miliardów ludzi, a spośród nich tylko 39 postanowiło przejść do „Następnego Poziomu". Statystyka daje właściwe pojęcie o tym , co się stało: jest tyle istot żyjacych na świecie, że na całej gaussowskiej krzywej ludzkich zachowań zdarzyć się mogą różne przypadki. Zobaczyliśmy po prostu odległe skrzydła gaussowskiego rozkładu, wyolbrzymione przez środki masowego przekazu. Mamy sezon Millenium, więc zapewne nieraz usłyszymy jeszcze o zabobonach ujawniających się na krańcach rozkładu ludzkich reakcji.

Edwin Charles Krupp
tłumaczyła Cecylia Iwaniszewska

Dr E.C. Krupp jest dyrektorem Obserwatorium i Planetarium Griffith'a w Los Angeles. W tym obserwatorium ponad 80 000 ludzi oglądało kometę Hale'a-Boppa przez teleskopy.

ZAWARTOŚĆ TOMU 45 „*POSTĘPÓW ASTRONOMII*”

Cyfra pogrubiona — numer zeszytu, w nawiasie — numer strony, o — okładka, w — wkładka

INDEKS PRZEDMIOTOWY

ARTYKUŁY

Antlia — świeża krew Grupy Lokalnej, *Marek Gołębiewski*, **4**(20)
Astronomia z Księżyca (kilka przykładów), *Jean-Pierre Swings*, **3**(4)
Burze jonosferyczne, magnetyczne i związane z nimi zjawiska na Słońcu, *Radosław K. Rek*, **3**(26)
Cefeidy, HST, Hipparcos — mniej szczebli w drabinie odległości, *Jarosław Dyks*, **4**(14)
Czy jesteśmy w stanie obronić Ziemię przed zderzeniami z kometami i małymi planetoidami?, *Alan W. Harris*, **1**(25)
Dżety i wypływy molekularne — nowa zagadka, *Grzegorz Hrynek*, **2**(22)
Einstein i Wszechświat, *Michał Heller*, **1**(4)
ISO: Satelitarne Obserwatorium Podczerwone, *Ryszard Szczerba*, **4**(8)
Kosmolog z Petersburga, *Michał Heller*, **2**(4)
Krakowskie lata Jana Mergentalera i jego badania nad gwiazdami zaćmieniowymi, *Jerzy M. Kreiner*, **4**(32)
Mgławice planetarne jako narzędzia badań astrofizycznych, *Grażyna Stasińska*, **3**(19)
Międzynarodowa Unia Astronomiczna, *Józef Smak*, **4**(4)
O pochodzeniu pierwiastków, *Kazimierz Grotowski*, **2**(8)
O regule Titiusa-Bodego inaczej, *T. Zbigniew Dworak, Marek Kopacz*, **1**(37)
Polska w kosmosie: INTEGRAL, *Bożena Czerny, Marek Sikora, Andrzej Zdziarski*, **1**(10)
Powstawanie planet wokół pulsarów, *Wojciech Lewandowski*, **1**(30)
Radarowe obserwacje planetoid, *Steven J. Ostro*, **2**(12)
Radioźródła w gromadach galaktyk, *Janina Krempeć-Krygier*, **2**(17)
Śmieci kosmiczne w przestrzeni wokółziemskiej, *Edwin Wnuk*, **3**(8)
Wielki krok ku rozwiązaniu zagadki błysków gamma, *Tomasz Bulik*, **3**(14)
W kraju Wschodzącego Słońca (zjazd astronomów w Kioto), *Tadeusz Jarzębowski*, **4**(5)
Żegnaj IUE!, *Krzysztof Rochowicz*, **1**(19)

Teleskop Kosmiczny Hubble'a obserwuje
Gorąca plama na powierzchni Betelgezy **1**(oII); *Neptun* **1**(24, wI); *Burza piaskowa na Marsie* **1**(24, wI); *Galaktyki NGC 1365 i NGC 2366* **1**(w.II-III); *Galaktyka na horyzoncie Wszechświata* **1**(wIV); *Supernowa 1987A* **1**(oIV); *Ewolucja głowy komety Hale'a-Boppa widziana z Kosmosu* **2**(oII); *Mgławica Laguna M8* **2**(wI); *Kosmiczne kolizje* **3**(24); *Gwiezdna rodzinka* **3**(25); *Mars przed lądowaniem Pathfindera* **3**(25); *Owocne zderzenia galaktyk* **4**(25, w.II-III); *Czarna dziura w NGC 6251* **4**(25, oIV); *Tajemnicze pary i gwiazdowi wygnańcy* **4**(26)

Rozmaitości
ESO – prace nad VLT postępują **1**(28); *Ganimedes widziany z bliska* **2**(25); *HET — nowy gigantyczny teleskop w Teksasie* **2**(27); *Rotacja małych planet* **2**(28); *Koniec misji Pioniera 10* **2**(29); *Zagadka SN1987A rozwiązana?* **2**(30); *Pożegnanie z planetą 51 Peg?* **2**(32); *Kosmiczna interferometria radiowa* **3**(26); *Marsjański zwiad* **3**(28); *Kosmiczne rany Ziemi* **3**(31); *Pochmurny dzień na Jowiszu* **4**(24); *Nowe pomiary grubości pierścieni Saturna* **4**(24); *Astronomia na Antarktydzie* **4**(24); *Mira znaczy Cudowna* **4**(28); *Misja sondy Cassini-Huygens* **4**(30)

Recenzje PA
Pływy na morzach i oceanach **3**(38); *Atlas nieba gwiaździstego* **3**(38); *Katastrofy kosmiczne* **3**(39); *Dalszy ciąg pasjonującej wędrówki po krętych ścieżkach nauki* **4**(34); *Recenzenckie katastrofy* **4**(36)

Astronomia w szkole
Elementy kosmologii w szkole średniej **1**(42); *Dlaczego budujemy duże teleskopy?* **2**(42); *XLI Olimpiada Astronomiczna* **2**(43); *XIII Ogólnopolskie Seminarium Astronomiczne* **2**(45); *Astronomia w szkołach średnich — seminarium dla nauczycieli fizyki, Warszawa, 15-17 listopada 1996* **3**(41); *Obfitość komet i nauczanie fizyki* **3**(42); *Zabawa w głuchy telefon* **4**(45)

In memoriam
Carl E. Sagan (1934–1996) **1**(40); *Wiktor A. Ambarcumian 1908–1996* **2**(34); *Lyman Spitzer Jr* **3**(46); *Martin Schwarzschild* **3**(46); *Jurgen Rahe* **3**(47); *Eugene M. Shoemaker* **3**(47); *Stefania Grudzińska 1939–1997* **4**(43)

W kraju...
Centrum Astronomiczne UMK **1**(40); *Tysiąc zebrań naukowych OA UJ* **2**(36); *Konferencja MUA w Poznaniu* **2**(41); *Granty KBN* **3**(48); **4**(42); *XXX YERAC Kraków '97* **4**(38); *XXVIII Zjazd PTA* **4**(39); *Czas na Marsa* **4**(40)

Felietony
Quo vadis Oświato **1**(47)
Stentor Lunaris Cracoviensis **2**(46)
Śladami „Bramy Nieba” **4**(46)

Fotoobserwacje **1**(oIII); **2**(oIII); **3**(oIII); **4**(oIII)

Inne
Kalendarz hebrajski **3**(44)
Kepler czy Tycho? **4**(44)
Konkurs o kometach — rozstrzygnięcie **2**(48)
Mikrokratery na EURECE **3**(oII)
Pierwszy obraz uzyskany wirtualnym megateleskopem radiowym **3**(oIV)
Teleskop HET, Teksas, USA **2**(oIV)
Zakrycie Saturna przez Księżyc **4**(25, wIV)

INDEKS AUTORÓW

Biała Jadwiga, **2**(45)
Błaszkiewicz Leszek P., **3**(44)
Bulik Tomasz, **3**(14)
Burnicka Anna, **3**(38)
Burnicki Alojzy, **3**(38)
Czerny Bożena, **1**(10)
Domański Juliusz, **1**(42), **1**(47), **2**(42), **3**(43), **4**(44)
Drążkowski Jacek, **4**(44)
Dyks Jarosław, **4**(14)
Dworak Zbigniew, **1**(37)
Gołębiewski Marek, **2**(30), **3**(24), **3**(25), **4**(20), **4**(25)
Grotowski Kazimierz, **2**(8)
Harris Alan W., **1**(25), **2**(28)
Heller Michał, **1**(4), **2**(4)
Hrynek Grzegorz, **2**(22)
Jarzębowski Tadeusz, **4**(5)
Kopacz Marek, **1**(37)
Kreiner Jerzy M., **4**(32)
Krempeć-Krygier Janina, **2**(17)
Krupp Edwin Ch., **4**(46)
Kożuchowska Magdalena, **3**(41)
Kwiatkowski Tomasz, **4**(39)
Lewandowski Wojciech, **1**(30)
Marks Andrzej, **3**(29), **3**(39)
Maślanka Krzysztof, **2**(36)
Michalec Adam, **4**(38)
Mietelski Jan, **2**(46)
Mikołajewski Maciej, **2**(32)
Ostro Steven J., **2**(12)
Rek Radosław K., **3**(26)
Rochowicz Krzysztof, **1**(19), **4**(28)
Schilling Kazimierz, **4**(34)
Schreiber Roman, **2**(25), **4**(24)
Sikora Marek, **1**(10)
Skórzyński Wiesław, **4**(40)
Smak Józef, **4**(4)
Stasińska Grażyna, **3**(19)
Stefl Vladimir, **3**(43)
Strobel Andrzej, **4**(26)
Swings Jean-Pierre, **3**(4)
Szczerba Ryszard, **4**(8)
Wąż Piotr, **4**(30)
Włodarczyk Jarosław, **4**(36)
Wnuk Edwin, **3**(8)
Woszczyk Andrzej, **1**(24), **1**(28), **1**(41), **2**(27), **2**(29), **2**(34), **3**(25), **3**(26), **3**(30), **3**(46), **4**(24), **4**(24), **4**(43), **4**(44)
Wytrzyszczak Iwona, **2**(41)
Zdziarski Andrzej, **1**(10)

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w TORUNIU

FOTObserwacje

W maju br. kometa Hale'a-Boppa stopniowo opuszczała nasz polski nieboskłon, stając się coraz trudniej dostrzegalnym obiektem na tle zorzy wieczornej i tylko nieliczni astro- i fotoamatorzy uwiecznili ten fakt swymi aparatami. Poniżej prezentujemy ostatnie zdjęcia tej komety, jakie dotarły do naszej redakcji. U nas już niewidoczna, dała się jednak fotografować mieszkańcom innych regionów naszej ziemskiej kuli. Nie zdołaliśmy powstrzymać się, aby nie przedstawić naszym Czytelnikom chociaż jednego obrazu komety, jakiego my już nie mogliśmy bezpośrednio oglądać — jakże odmiennego od tego, do czego zdążyliśmy przywyknąć — i po prostu skorzystaliśmy z bogatych zasobów Internetu (dziękujemy autorowi za zgodę na wykorzystanie zdjęcia na łamach PA). We wrześniu mieliśmy za to kilka atrakcji związanych z Księżycem: całkowite zaćmienie (16.09) oraz zakrycie przez niego Jowisza (13–14.09) i Saturna (18.09). Nadesłane zdjęcia, upamiętniające te wydarzenia, prezentujemy na tej i następnej stronie. (Red.)

Zdjęcie autorstwa p. Gracjana Maciejewskiego z Torunia, umieszczone w okienku winiety, wykonane było krótko przed rozpoczęciem zaćmienia całkowitego. Tu jako obiektyw posłużył teleskop Newtona 90/1000, a wykonane zostało na filmie o czułości 800 ASA z czasem ekspozycji 1 sekunda.

Dwa górne zdjęcia zaćmienia, prezentowane z lewej strony, pochodzą z grudziądzkiego obserwatorium i były wykonane przez tamtejszych młodych miłośników pod kierunkiem p. Małgosi Śróbki-Kubiak (niestety, otrzymaliśmy je bez dokładniejszych informacji na ich temat).

Dwa następne zdjęcia wykonał p.Ariel Majcher z Dębna Lubuskiego (aparat ustawiony za lunetą 68/800 z pow. 22×). Pierwsza ekspozycja jest z godz. 21.55 a druga z 22.05, czyli obie wykonane były po fazie całkowitego zaćmienia. Czasy ekspozycji wynosiły odpowiednio: 1/60 i 1/125 sekundy (na filmie Fujicolor Super HG 1600).

Pan Majcher jest również autorem zdjęcia komety H-B prezentowanego u góry z prawej (7.05, Kodak T-Max 3200 ASA). Jeszcze później udało się sfotografować kometę p. Jarosławowi Grolikowi z Witanowic (9.05, godz. 21.42, aparat z obiektywem 135 mm zamocowany na ręcznie prowadzonym montażu teleskopu Alkor, ekspozycja dwuminutowa na filmie Fuji Super HG 1600 ASA). U dołu z prawej zdjęcie tej samej komety wykonane 10 października przez Gordona Garrada (USA) za pomocą teleskopu wyposażonego w przetwornik CCD. Widoczny jest przeciwwarkocz skierowany w stronę Słońca, od którego kometa oddala się, opuszczając nasze okolice na dobrych parę tysięcy lat.

Zakrycie Saturna przez Księżyc
18.09.1997

Prezentowane tu zdjęcia zakrycia Saturna przez Księżyc w dniu 18 września 1997 roku wykonał dr Krzysztof Stanek, aktualnie pracujący w Centrum Astrofizycznym w Cambridge. Używał teleskopu o średnicy 120 cm Obserwatorium Freda Whipple'a na Mount Hopkins w Arizonie z kamerą CCD i filtrem H-alfa. Skala obrazu była 0.62 sekundy łuku na piksel, a typowy czas ekspozycji 0.1 sekundy. Użycie filtru H-alfa zwiększyło jasność Saturna względem jasności Księżyca o czynnik 2.5 – 3. Sekwencja poniższych obrazów wyjścia Saturna zza tarczy Księżyca była wykonywana co 35 sekund.

Biblioteka Główna UMK
300048429902