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)

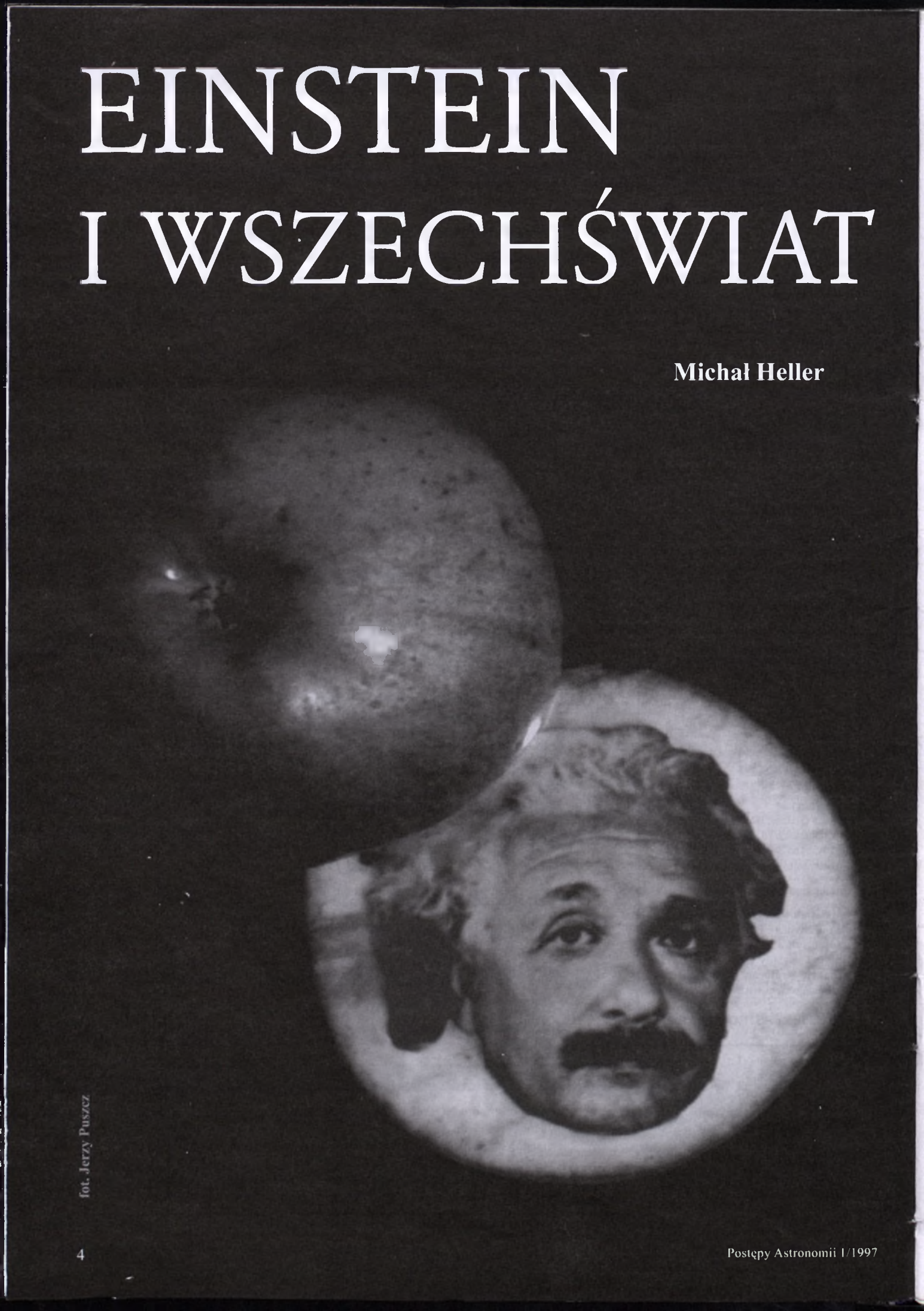
NA OKŁADCE

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-

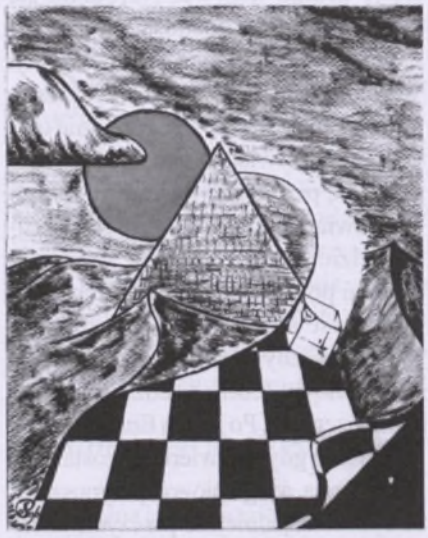
świata usunąć całą materię i wszystkie zdarzenia, nie pozostałoby nic, nawet czas i przestrzeń.

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.

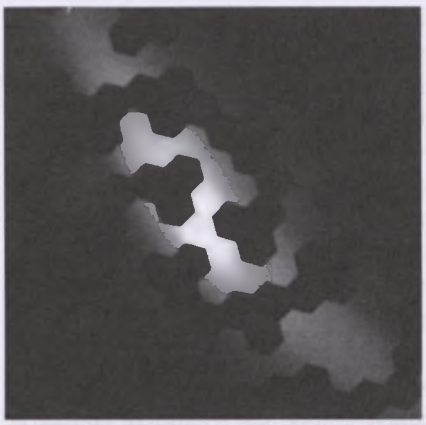
Einstein nie wiedział wówczas jeszcze, że już od kilku lat astronomowie mierzą przesunięcie ku czerwieni w widmach galaktyk. Dopiero za ponad dziesięć lat Hubble odkryje swoje prawo i ustali, że Wszechświat się rozszerza. Równania Einsteina wiedziały to już teraz. Ale sam Einstein bardziej wierzył swojemu 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).

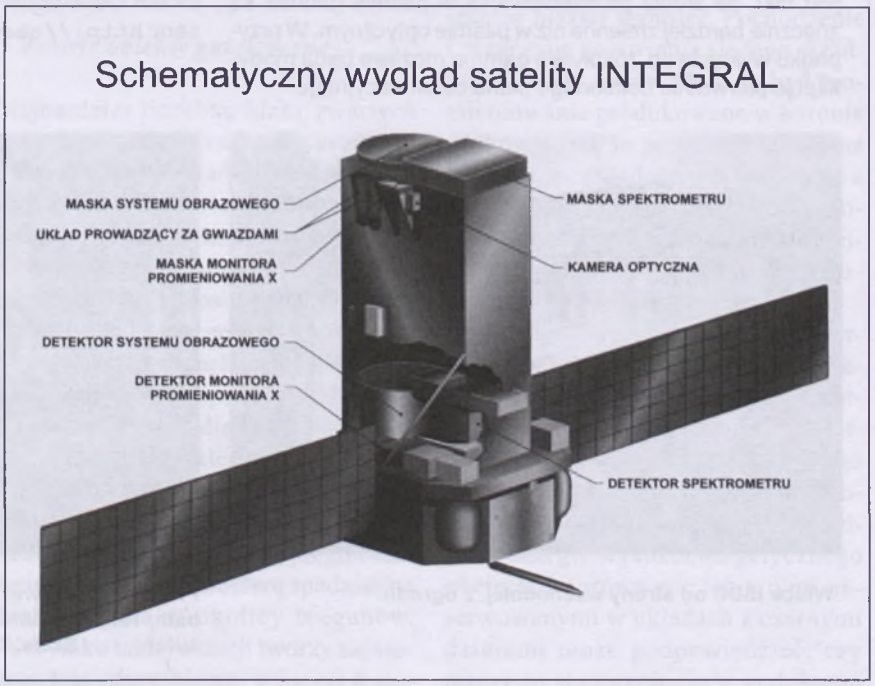
Całkowity koszt misji nie jest jeszcze precyzyjnie określony, choć oczywiście są ustalone ramowe kosztorysy dla poszczególnych instrumentów, a całość mieści się w granicach 600 milionów dolarów. Przy przygotowaniu urządzeń pomiarowych współpracować będzie 17 krajów, co wymaga starannej koordynacji wysiłków. 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.

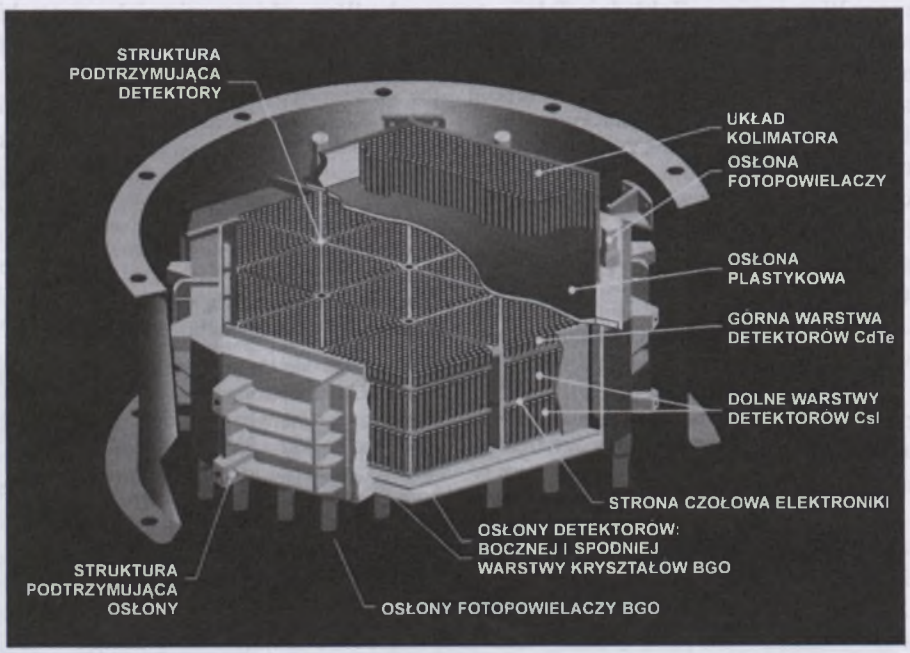
VETo to dodatkowa osłona z kryształu BGO, otaczająca właściwe matryce detektorów ze wszystkich stron oprócz czołowej. Ta osłona wyposażona jest w układ fotopowielaczy i elektronikę przetwarzającą impulsy z fotopowielaczy na na właściwe sygnały VETa. W Centrum Badań Kosmicznych budowana jest główna część 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

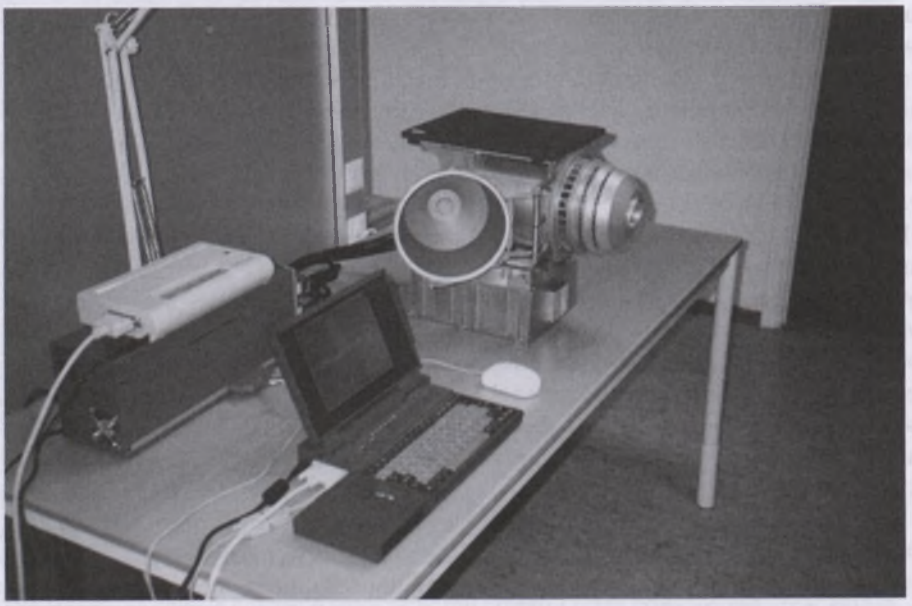
- przygotowanie i wysyłanie komend sterujących,
- przyjmowanie i analiza danych z systemu telemetrycznego.

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.

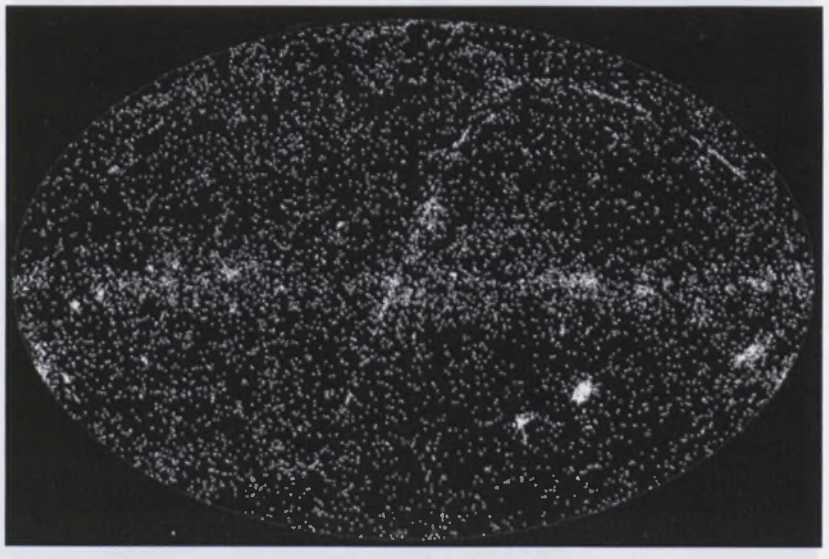
Teleskop zbudowany został w systemie Cassegraina, w konfiguracji Ritchey-Chretien; zwierciadło główne o średnicy 45 cm i światłosile F/15 dawało pole widzenia o średnicy 16'. Zbierane promieniowanie kierowane było do jednego z dwóch spektrografów: krótkofalowego (pracującego w zakresie 115-195 nm) bądź 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.

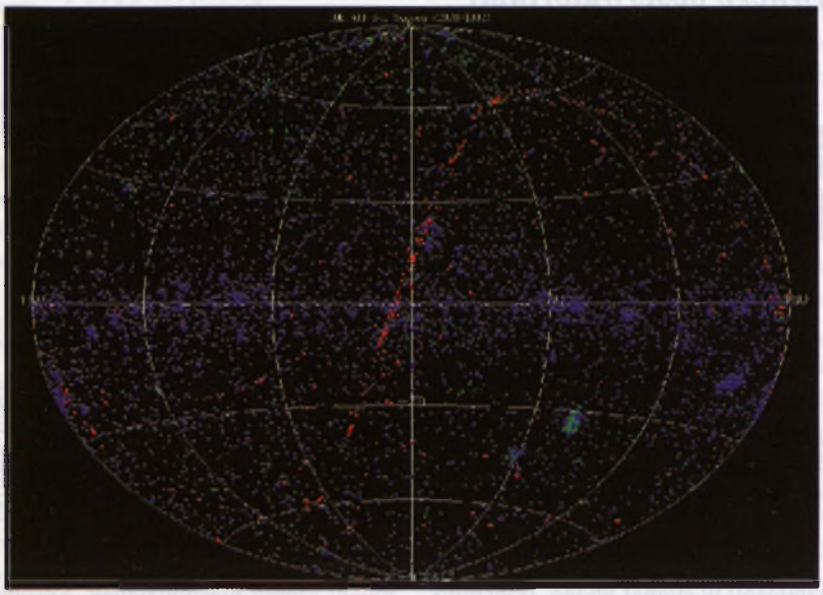
Analizy prowadzone za pośrednictwem satelity IUE objęły swym zasięgiem ciała naszego Układu Słonecznego, gwiazdy różnych typów oraz odległe galaktyki. Rutynowe obserwacje, rozpoczęte w połowie 1978 roku, przyniosły szereg niespodzianek. Spróbujmy poczuć dreszcz emocji, towarzyszący ówczesnym odkryciom.

W cieniu olbrzymów

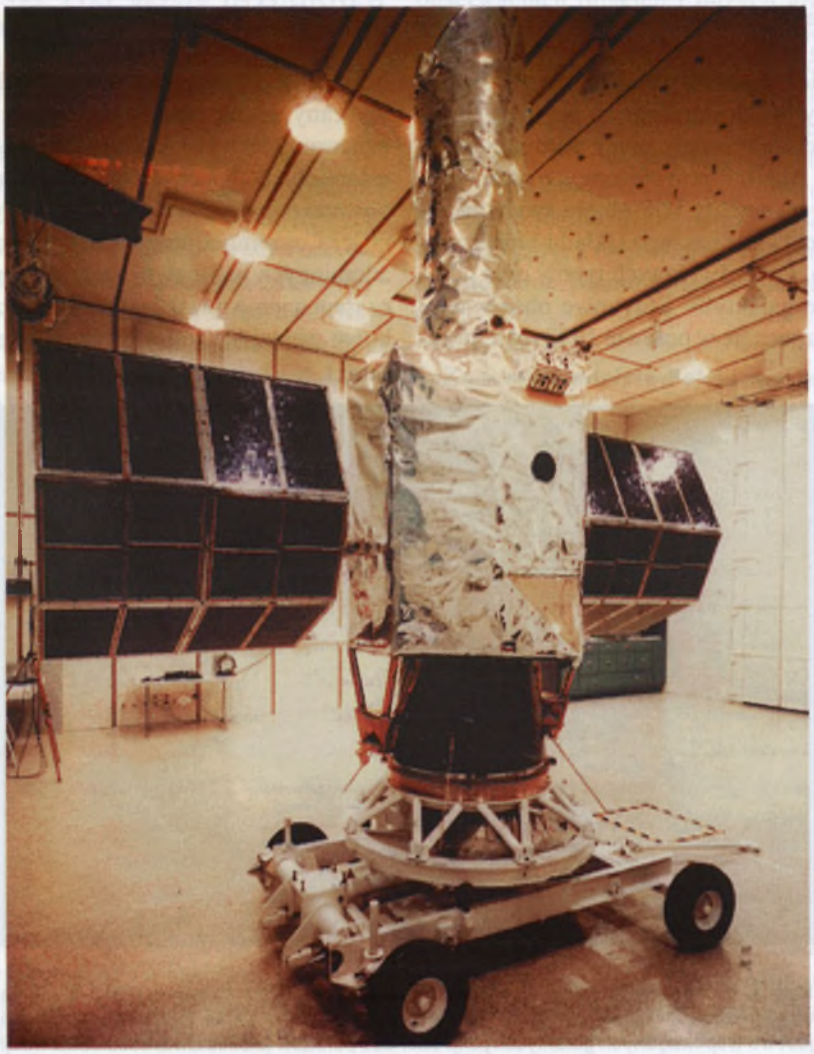
Na jeden z pierwszych obiektów badań wybrany został nadolbrzym typu G, oznaczony jako HR 8752 – jedna z najjaśniejszych gwiazd w Galaktyce. Próbowano odnaleźć przyczyny jej aktywności i ogromnej utraty masy. Oczom zdumionych badaczy ukazało się tymczasem widmo gwiazdy typu O. Początkowo wzbudziło to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

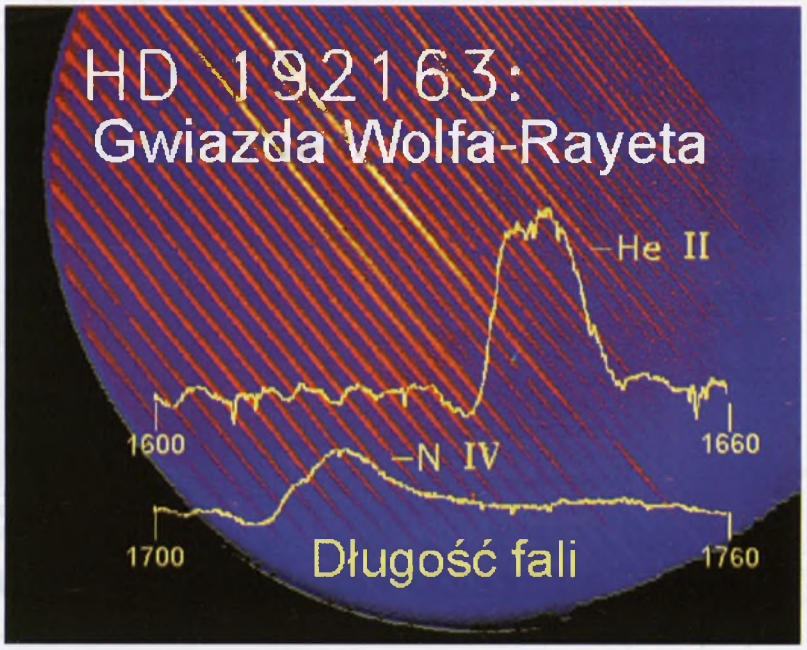
Niespokojne serca galaktyk

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.

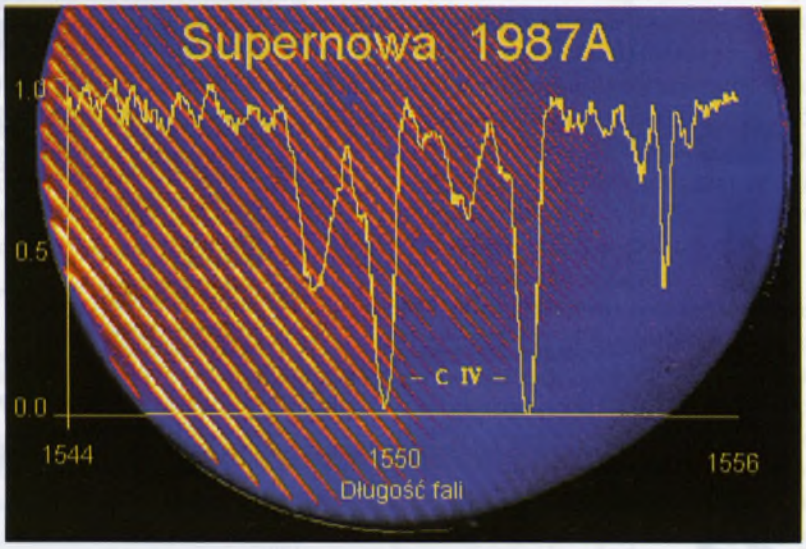
Śladami wspomnianej grupy specjalistów, która rozrosła się w międzyczasie do kilkudziesięciu osób, podążyli inni astronomowie, zgłaszając wspólne projekty obserwacji (tzw. megakampanie), m.in. przy pomocy IUE.

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.

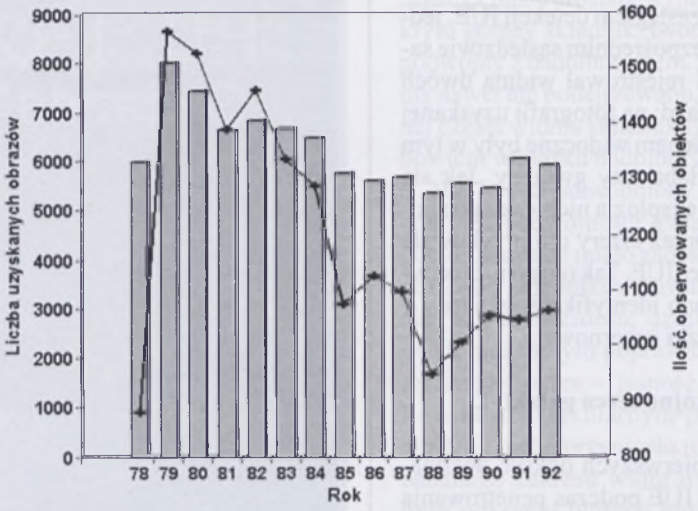


Rys. 5. Kilka składników absorpcyjnych rezonansowej linii C IV na tle surowego obrazu widmowego wysokiej dyspersji SN 1987A z Wielkiego Obłoku Magellana. Pierwsze widma supernowej , uzyskane dzięki IUE w kilkanaście godzin po jej odkryciu, wskazywały na prędkość ekspansji wyrzuconej materii sięgającą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

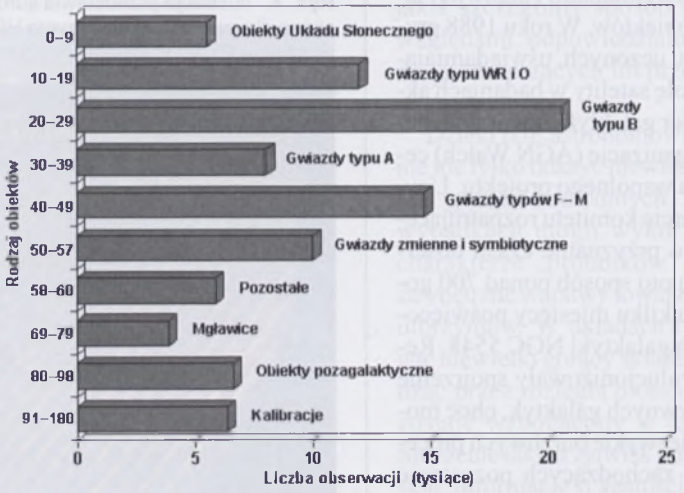
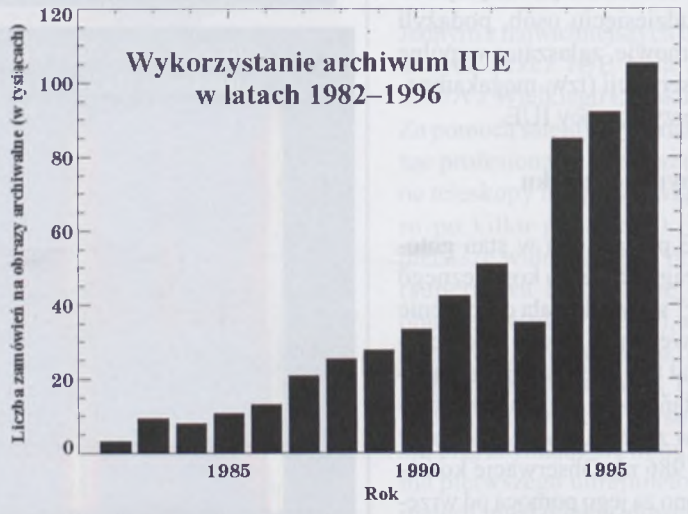


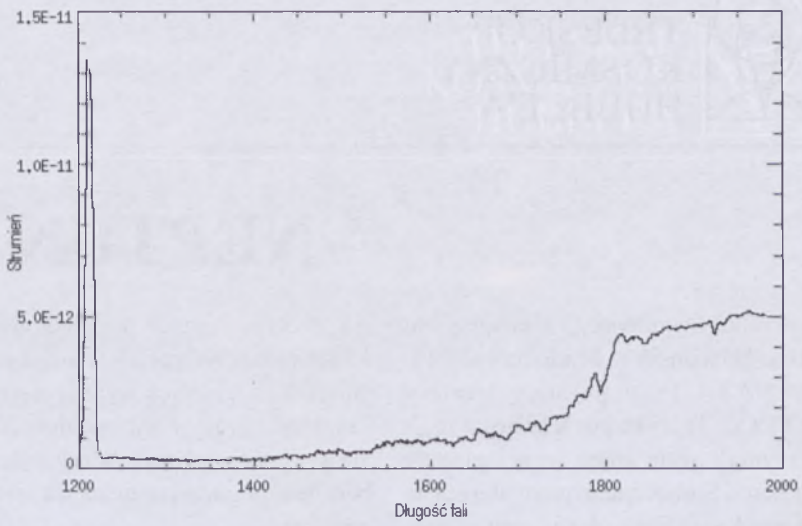
Diagram ilustrujący liczbę napływających w kolejnych latach zamówień na archiwalne obrazy IUE. Jego przebieg uzasadnia potrzebę stworzenia jednorodnej bazy danych, która służyć będzie astronomom na całym świecie.



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

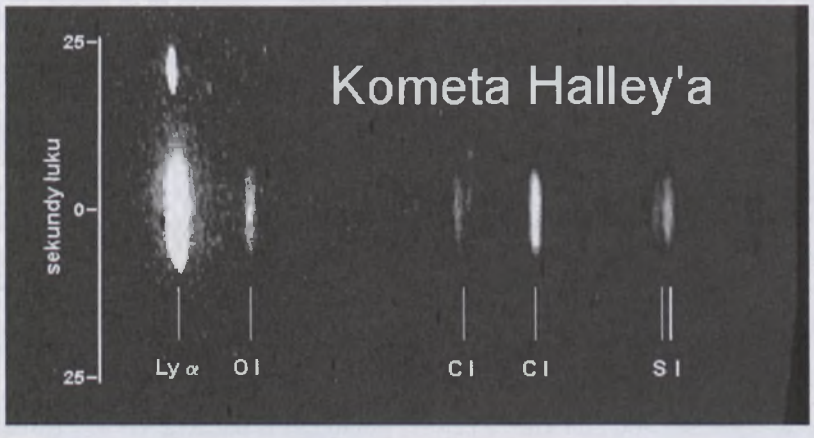
Ostatnie pół roku aktywności IUE zajęły specjalne programy obserwacyjne. Komitet Naukowy ESA postanowił bowiem uzupełnić dotychczasowe dane w najbardziej niezbędnym zakresie, by opracować swoiste opus magnum, do którego powstania przyczyniły się ekipy techniczne i rzesze astronomów z całego świata: końcowe 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.

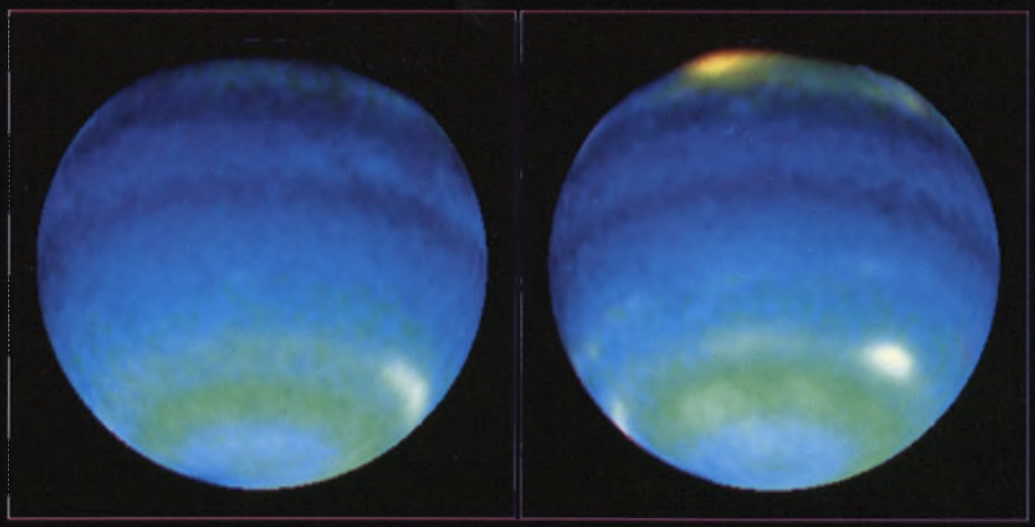
Obraz dolny to zdjęcie z 15 października 1996. Chmura pyłowa została w zasadzie rozproszona, ale na tle lodowej czapy polarnej widać strukturę w kształcie przecinka. Kształt jest podobny do zimnych frontów atmosferycznych na Ziemi. Podobne zjawisko nie było dotychczas obserwowane na Marsie ani przy pomocy 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

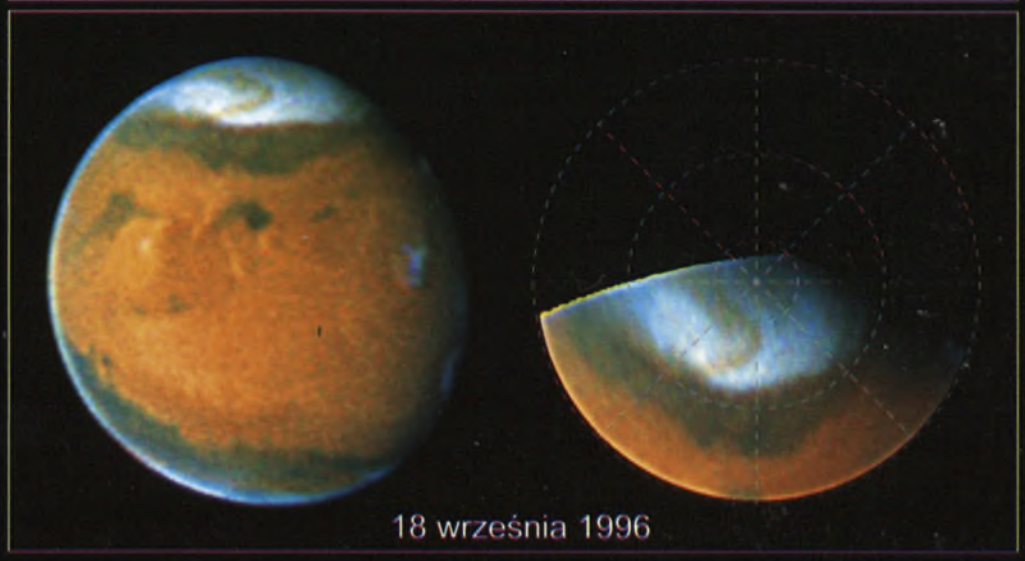
TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

Neptun



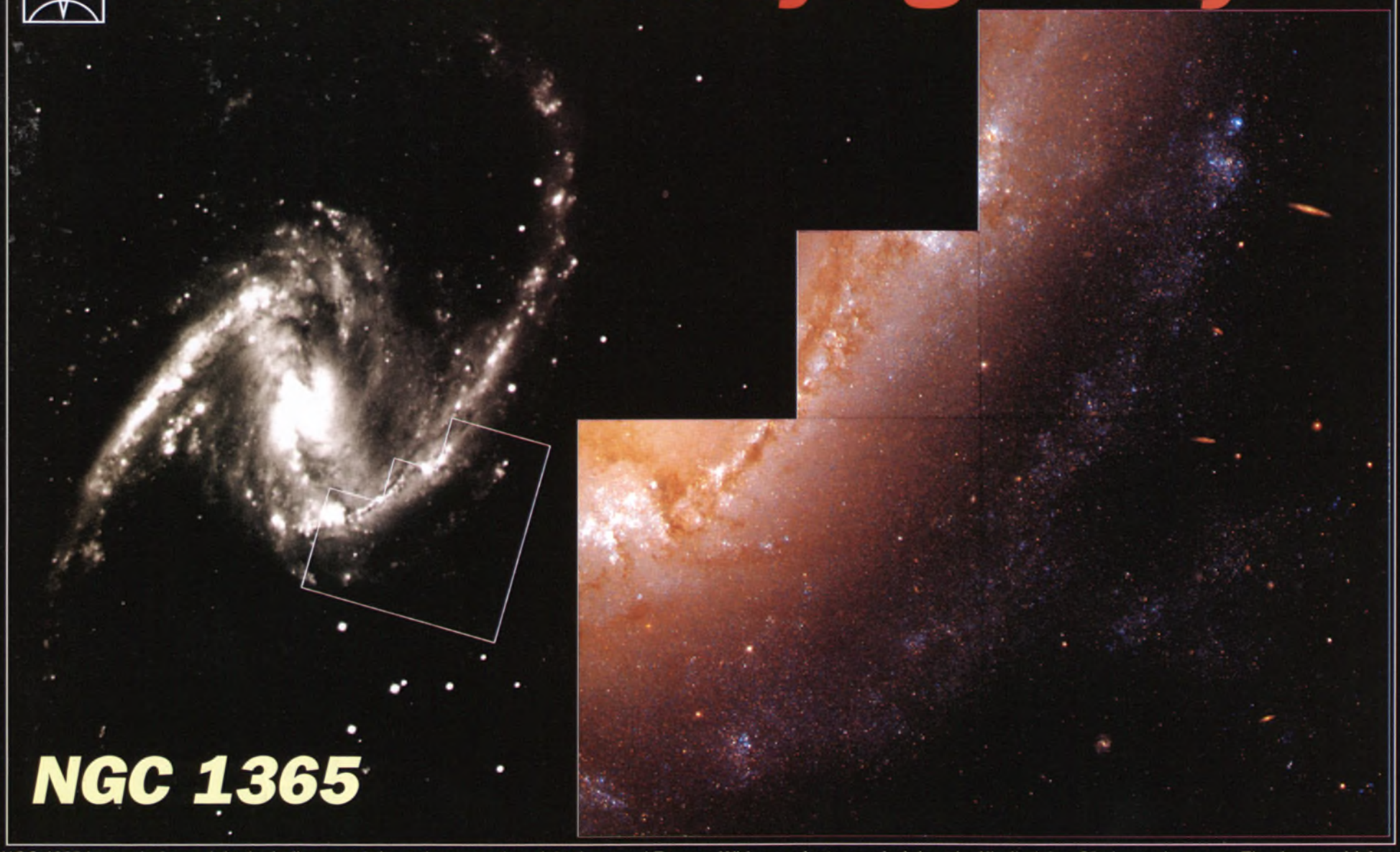
Burza piaskowa na Marsie

15 października 1996

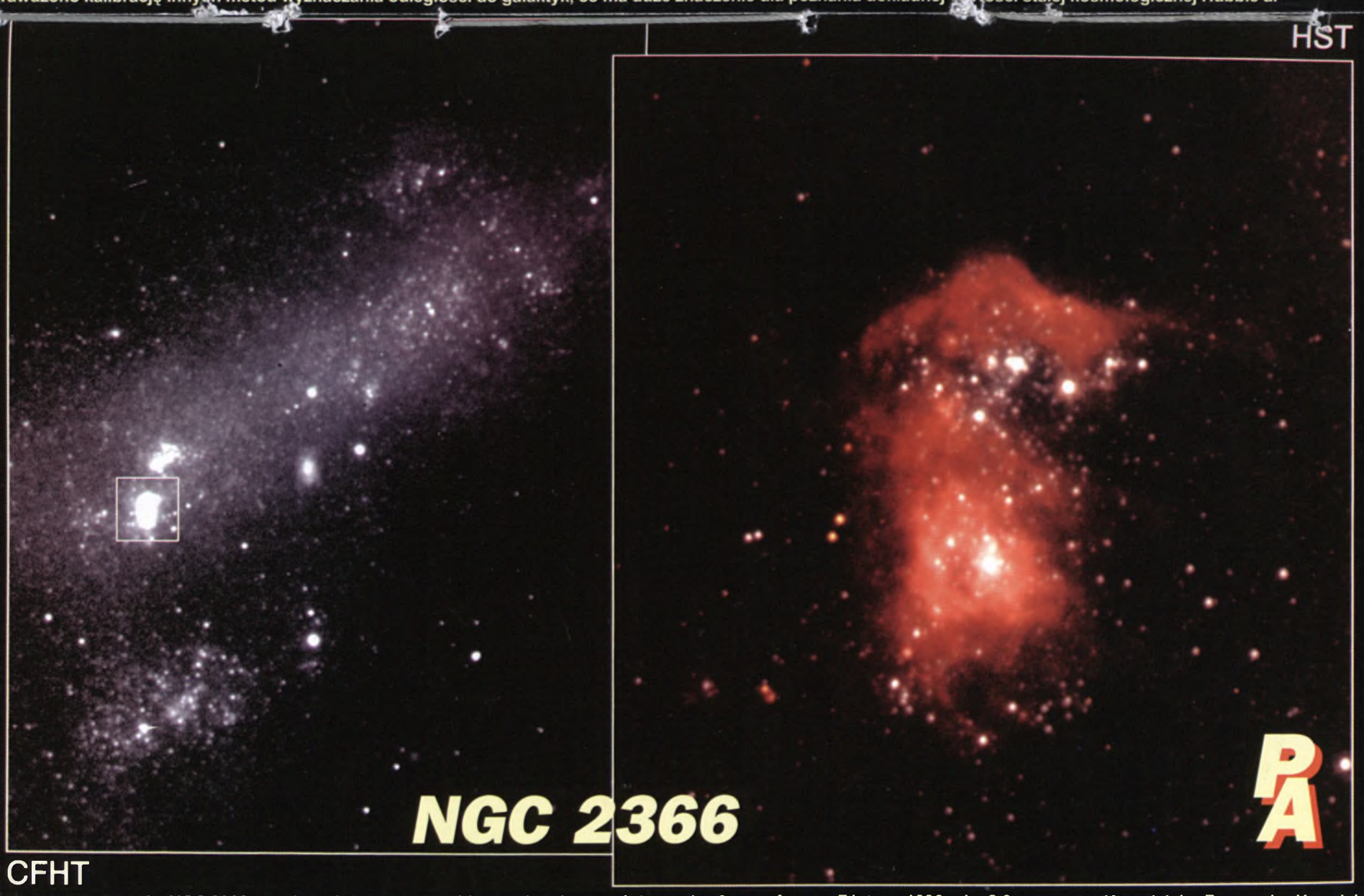


18 września 1996

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.

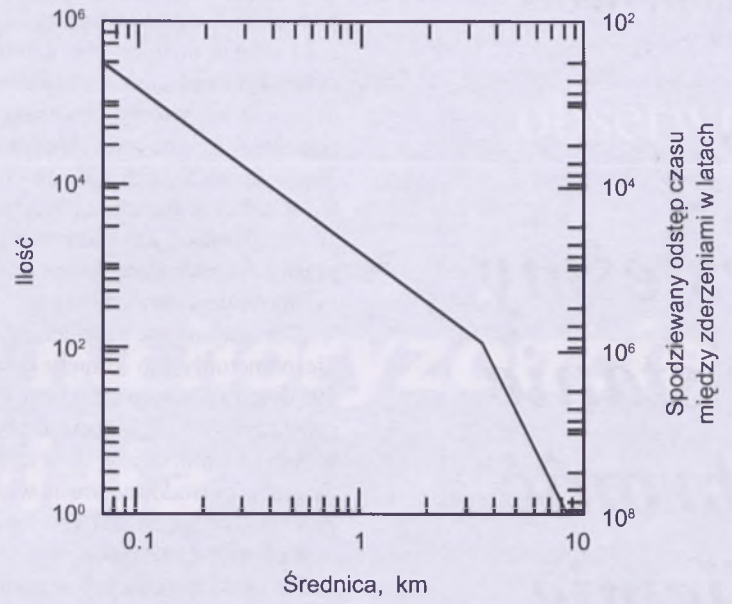
W 1992 roku NASA opublikowała raport pt. *Kosmiczny Strażnik* przygotowany przez Morrisona. Był to plan, nazwany zgodnie z planem w powieści *Spotkanie z Ramą* Artura C. Clarka, osiągnięcia prawie kompletnej inwentaryzacji planetoid bliskich Ziemi z minimalnymi średnicami około 1 km. Ten plan wymagałby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

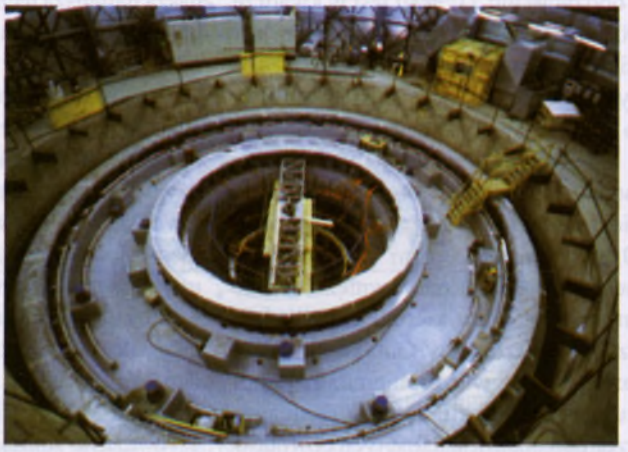
Więcej informacji o niebezpieczeństwie zderzeń można znaleźć na stronie WWW Davida Morrisona:
`http://ccf.arc.nasa.gov/sst`.

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,

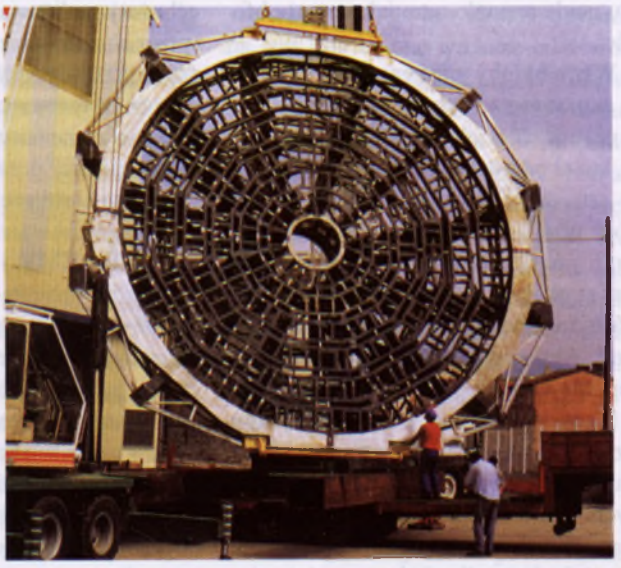


Fot. 2. Torowisko azymutalne teleskopu nr 1 czekające na przyjęcie teleskopu. W środku widać zwoje kabli, wskazujące, że trwa praca nad okablowaniem instrumentu.

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.

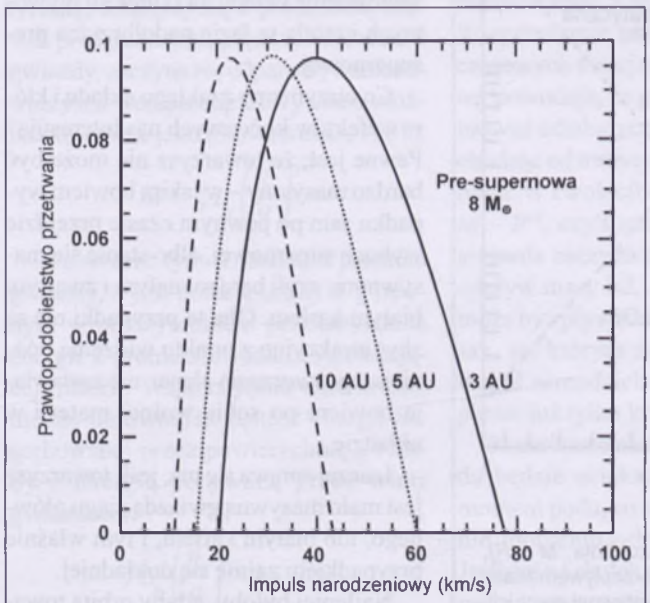
Odpowiedź na te pytania nie jest prosta, a na pewno nie jednoznaczna. Uważa się bowiem, że prawdopodobne są oba przypadki. Oznacza to, że w pewnych warunkach planeta może przeżyć wybuch supernowej, i pozostać związaną z powstałą na skutek wybuchu gwiazdą neutronową, lub też powstać po wybuchu – co jednoznacznie 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.

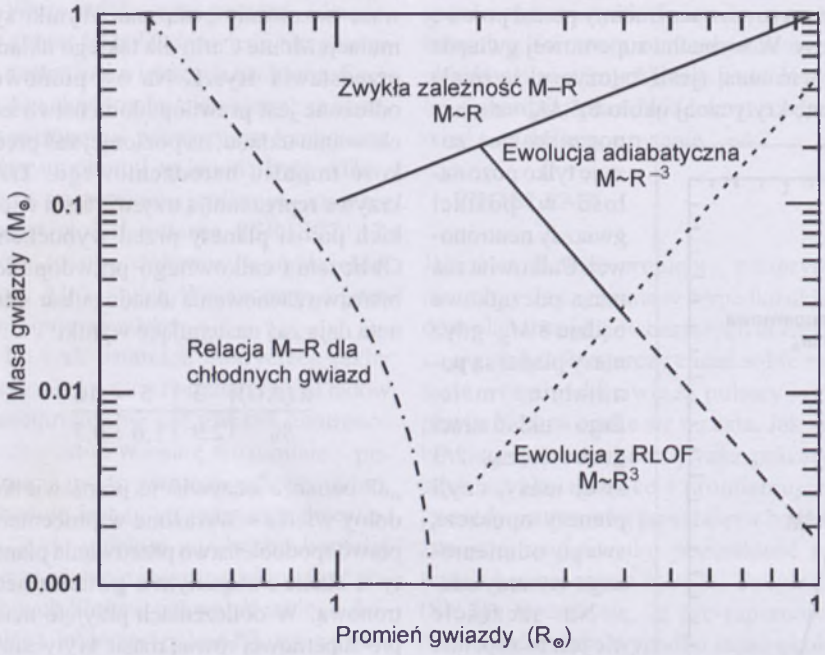
Istnieją co prawda zjawiska astrofizyczne zdolne ukołowić orbitę i odpowiednio ją zacieśnić, ale po pierwsze w wypadku planet są one mało efektywne, a po drugie dalej zostaje problem utrzymania dwóch planet wokół wybuchającej supernowej. Nietrudno sobie wyobrazić jak wąski jest przedział wzajemnej konfiguracji 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):

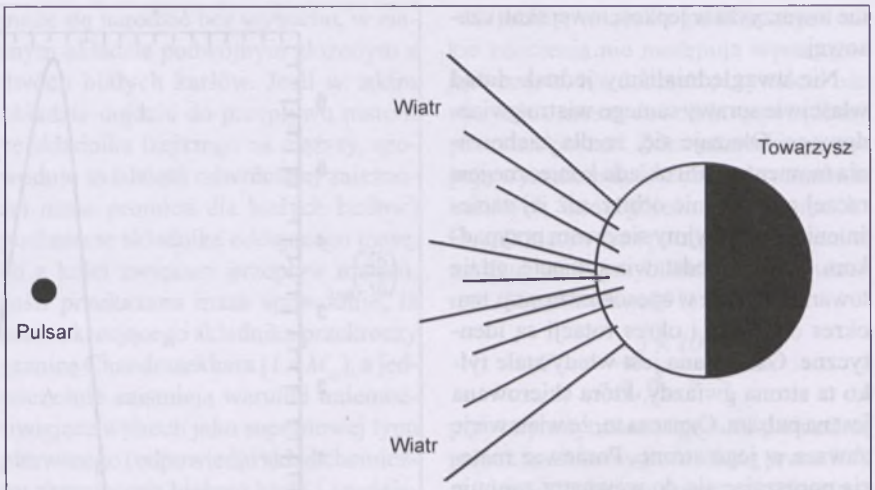
$$\dot{M} = \zeta L_p \left(\frac{R_2}{a}\right)^2$$

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.

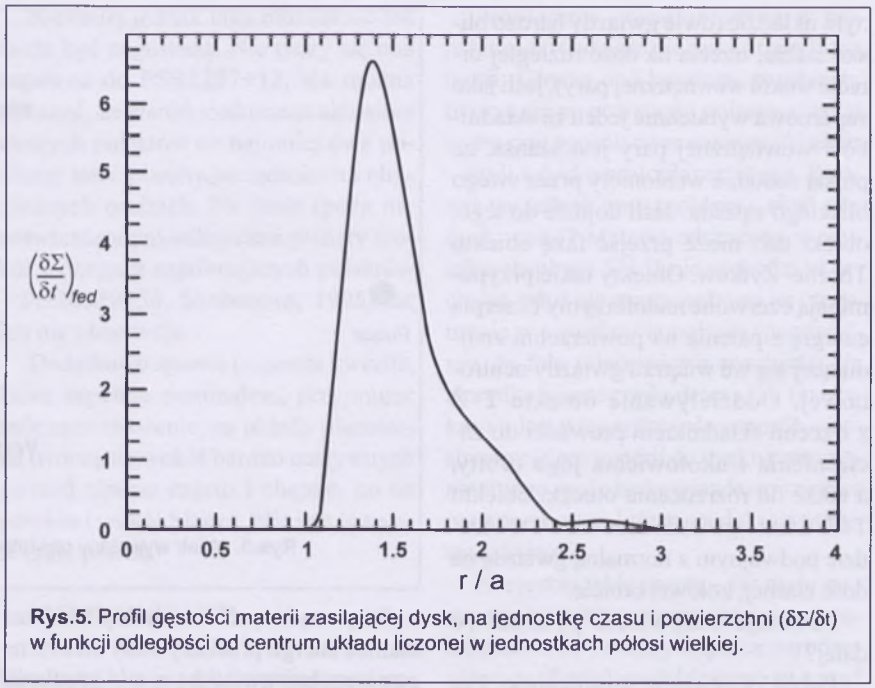
Nieco inaczej przedstawia się sytuacja, gdy mamy bardzo młodego pulsara (czyli silniej świecącego), którego promieniowanie zapobiega akrecji. Jeżeli na dodatek towarzysz jest chłodną gwiazdą ciągu głównego, o głębokiej i konwektywnej otoczce, to jego nagrzewanie spowoduje puchnięcie w termicznej skali 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:

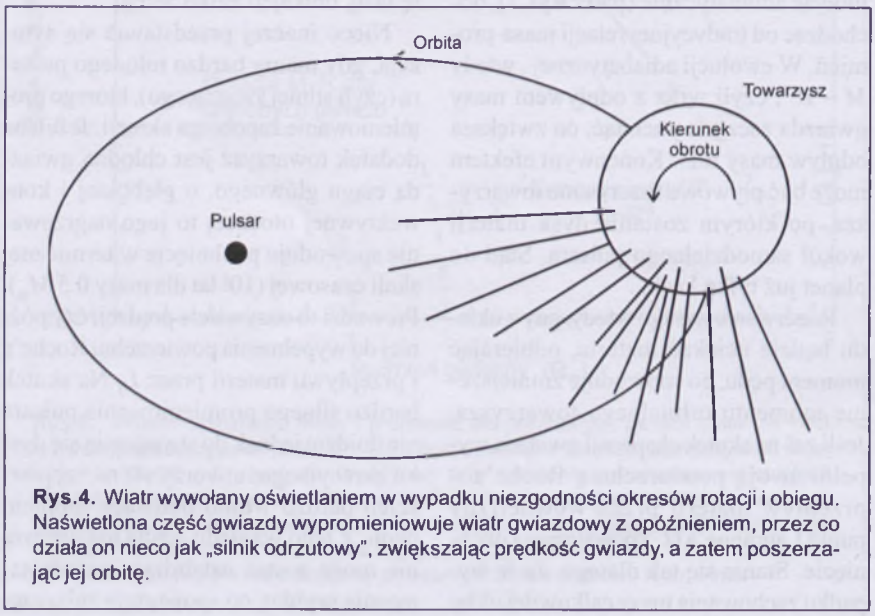
$$v_{esc} < v < v_{esc.bin}$$

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.

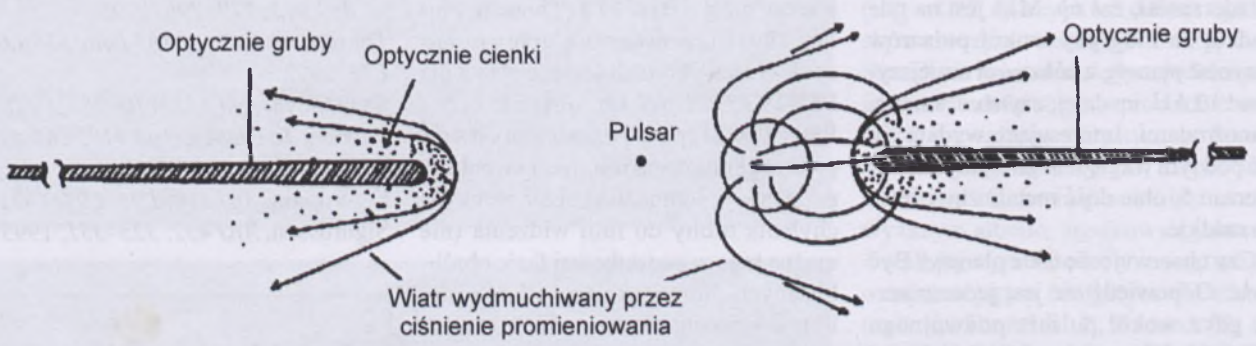
Niestety, w dysku galaktycznym takie zderzenia nie następują wystarczająco często. Na dodatek oczywiście nie wszystkie muszą dać efekt w pożądanej przez nas postaci. Zderzenia takie następują wystarczająco często w gromadach kulistych, szczególnie w ich jądrach. Ocenia się, że czas pomiędzy zderzeniami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

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

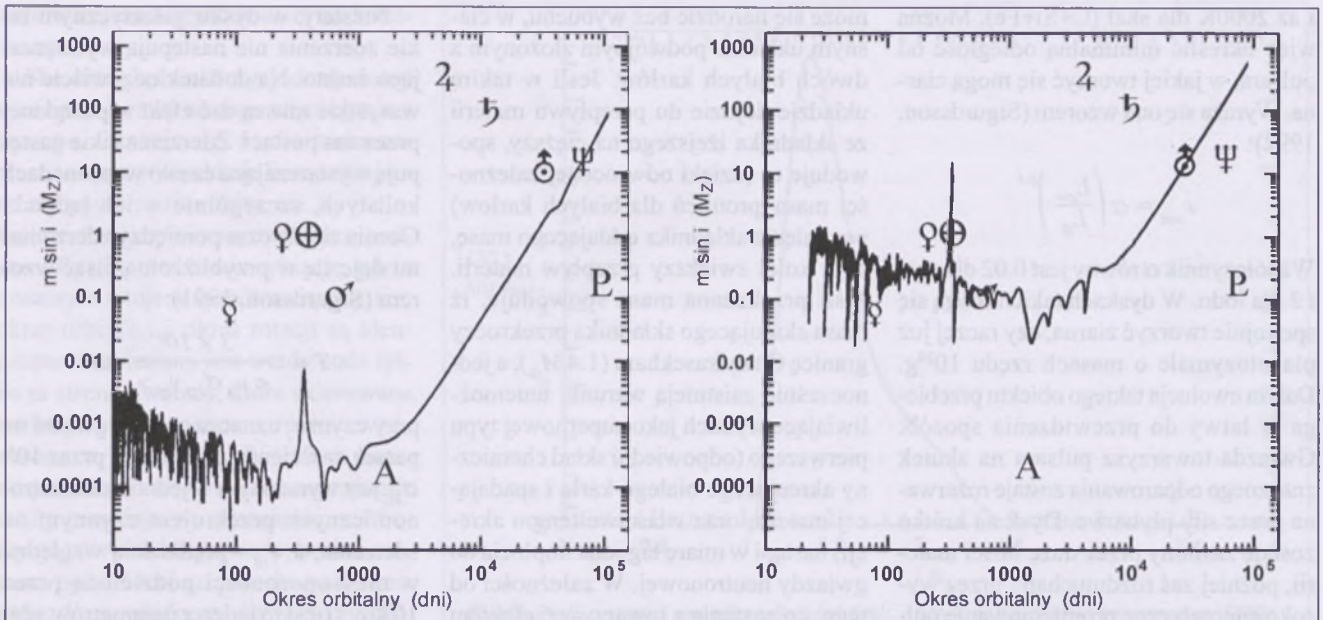
przy czym n_4 oznacza gęstość gwiazd na parsek sześcienny podzieloną przez 10^4, σ_{AU} jest wyrażonym w jednostkach astronomicznych przekrojem czynnym na zderzenie, a v_{10} – prędkością względną w nieskończoności podzieloną przez 10 km/s (jest to jeden z parametrów zderzenia).

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:

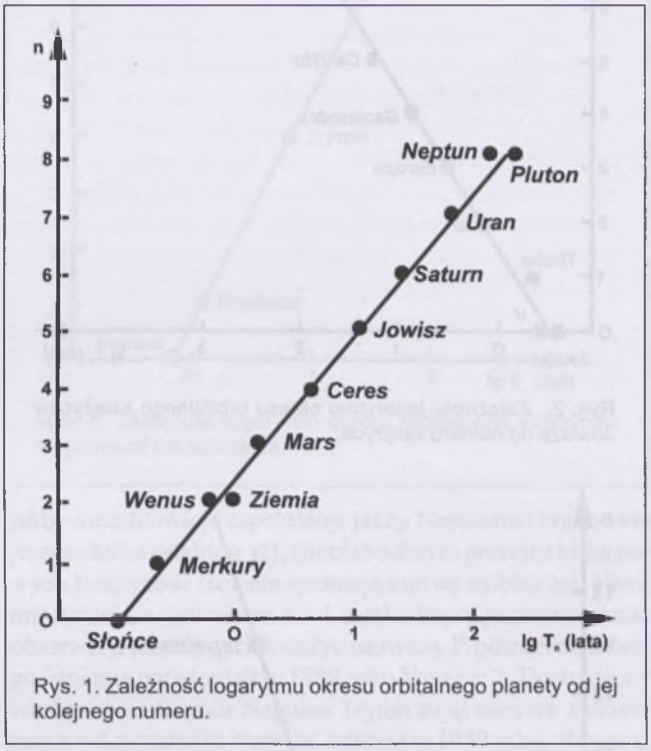
$$\sqrt{R_n} = a + bn,$$

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).

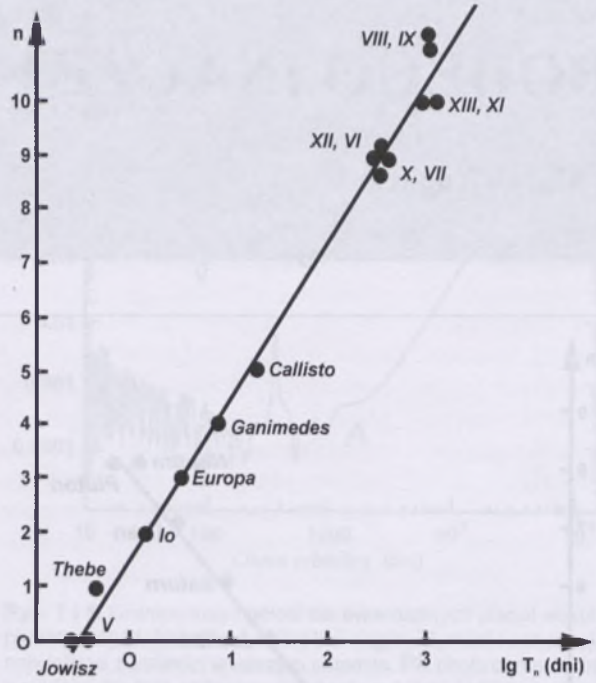
Inną modyfikację RT-B przedstawił S. F. Dermott, którą przytaczamy tu za podsumowaniem zawartym w książce

Tab. 1.

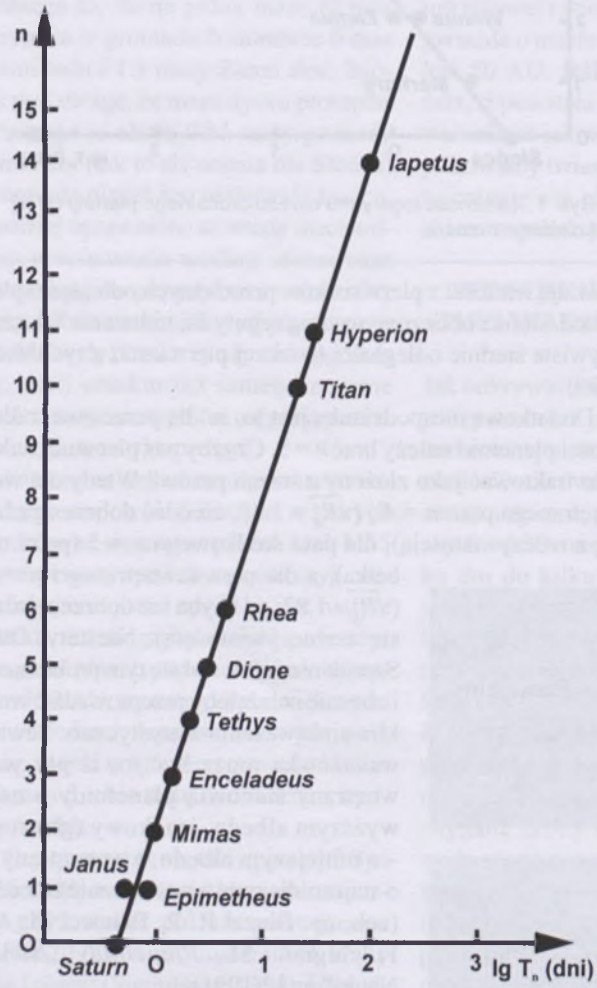
Planety:	Merkury	Wenus	Ziemia	Mars	Planetoidy
$\sqrt{R}_{teor.}$	0.62	0.82	1.02	1.22	1.62
$\sqrt{R}_{obs.}$	0.62	0.85	1.00	1.23	1.62

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 ($n = 0$).

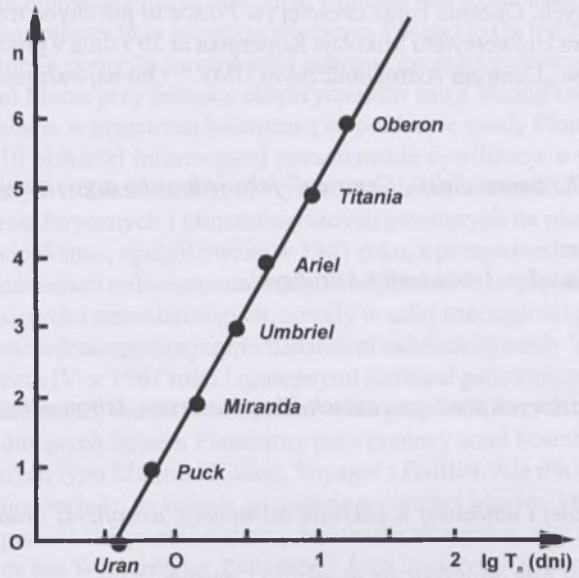
Matematycznie tę zależność dla układu Jowisza można przedstawić w postaci:

$$T_n = T_o A^n$$

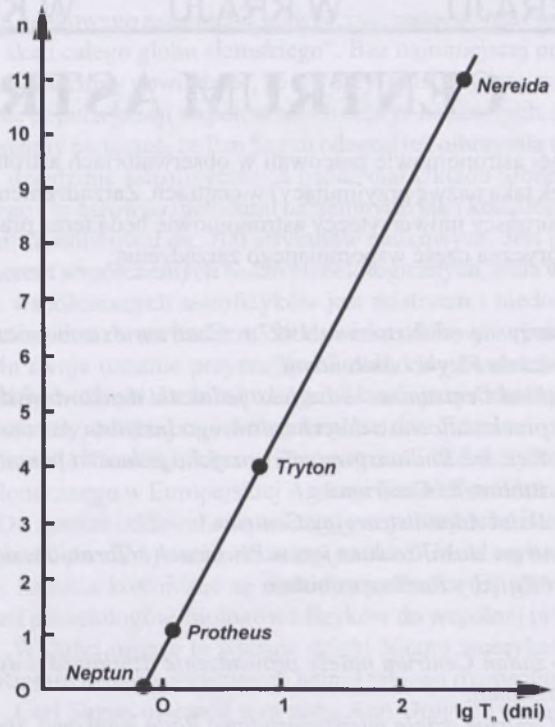
gdzie obecnie T_n jest okresem obiegów księżyców Jowisza wyrażonym w dniach, $A^2 = 4$, $T_o = 1.076T_p$ i T_p jest okresem rotacji Jowisza (w dniach).

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

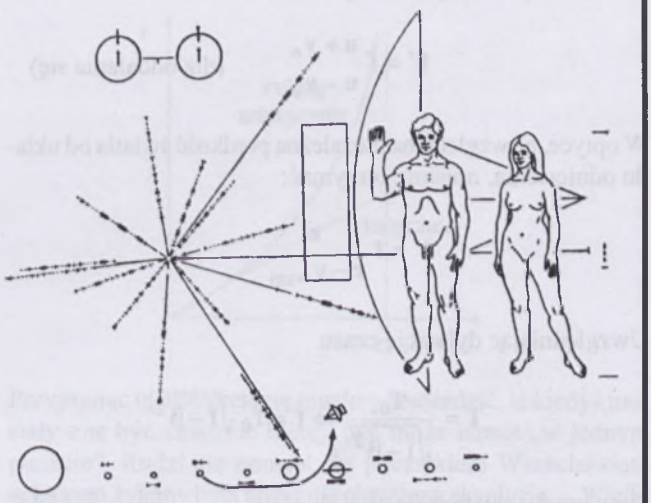
mnie po prostu bulwersowało." W 1956 roku, cztery lata przed doktoratem z astronomii uzyskanym w uniwersytecie w Chicago, publikuje wyniki swych badań Marsa, w których dowodzi, że sezonowe zmiany barwy na powierzchni tej planety nie są dowodem istnienia tam roślinności, w co powszechnie wówczas wierzono. 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



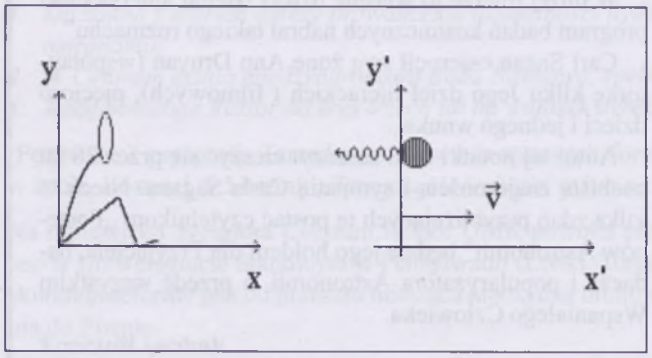
„Tak wyglądamy, jesteśmy do was przyjaźnie nastawieni, nasz pojazd pochodzi z trzeciej planety Systemu Słonecznego, (zmienił trajektorię na skutek oddziaływania piątej planety, wiemy jak promieniuje wodór na fali 21 cm, znamy geometrię..." Plakietkę z taką informacją, wg pomysłu Carla Sagana, narysowała 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.

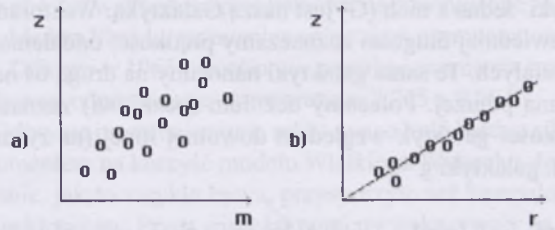
Słaba zasada kosmologiczna

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.



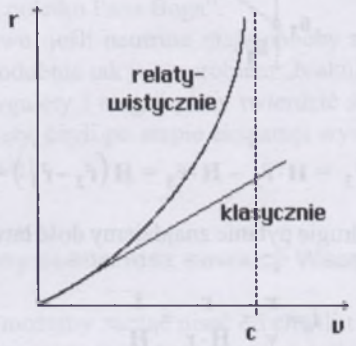
$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 = \frac{1-\frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} - 1$$

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?

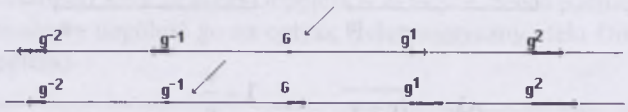
Problem 2.

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

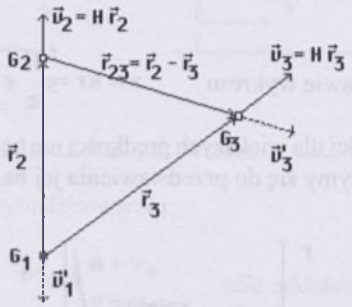
Na dziś o stałej Hubble'a możemy powiedzieć że zawiera się między 50 a 100 km/s/Mpc. Dwa ostatnie wyznaczenia to 85 i 57 km/s/Mpc. Warto w tym miejscu omówić trudności związane z dokładnym wyznaczeniem stałej.

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

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

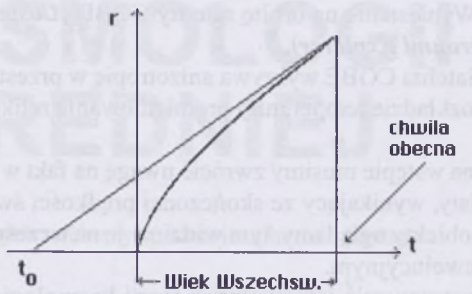
Po podstawieniu H = 85 km/s/Mpc mamy t_o = ok. 11 mld lat, natomiast dla H = 57 km/s/Mpc otrzymamy t_o = ok. 17 mld lat.

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.



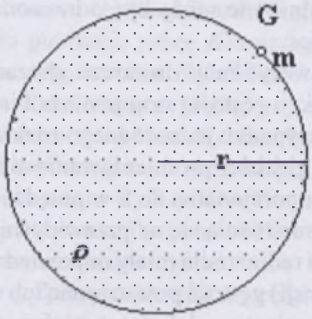
Niezależnie od przyjętego przez nas scenariusza najczęściej w tym miejscu pojawiają się dwa pytania :

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.

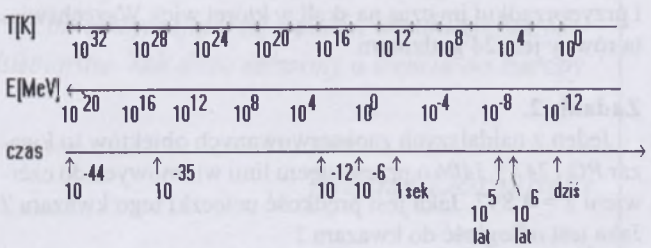
Odkrycie promieniowania reliktowego było bardzo silnym argumentem na korzyść modelu Wielkiego Wybuchu. Jednocześnie, jak to zwykle bywa, przysporzyło też kosmologom wiele kłopotów. Przez wiele lat pomiary wskazywały na jego niemal idealną izotropowość, wskazując iż jeszcze milion lat po wybuchu Wszechświat 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,

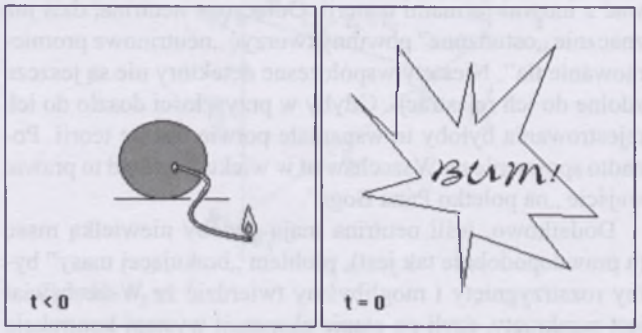
10^{-6} s kwarki łączą się w protony i neutrony,

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 ?

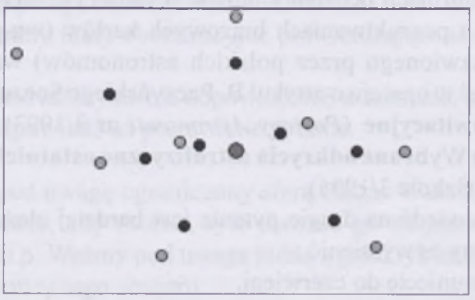
Z przekształcenia wzoru (1) otrzymujemy

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

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,

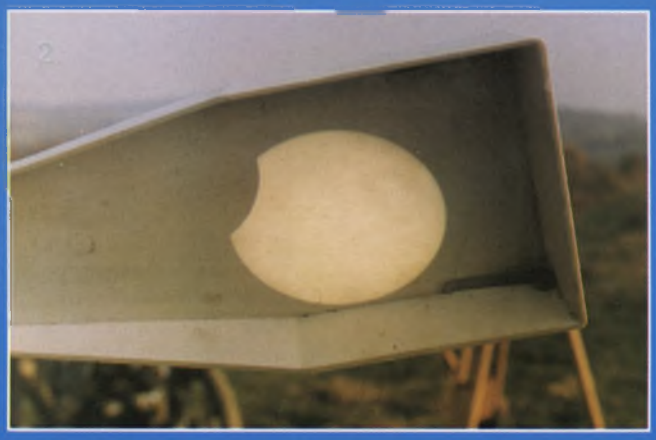
mgr Mirosław Należyty
(Obserw. Astronomiczne UW)

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.