017977/44

Na okładkówce

Postępy Astronomii

1/96

tom 44

styczeń - marzec

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

W numerze:

- *promieniowanie grawitacyjne*
- *masery i pulsary milisekundowe*
- *propozycja reformy kalendarza*

??? nowe znaki zapytania

Tam, gdzie rodzą się gwiazdy

UNIWERSYTET w Toruniu

TELESKOP
KOSMICZNY
HUBBLE'A

obserwuje

Czarna dziura w NGC 4261

To jest obraz wielkiego spiralnego pyłowego dysku wokół czarnej dziury, znajdującej się w gwiazdozbiorze Panny w odległości ponad 100 milionów lat świetlnych od nas, a sam dysk ma średnicę 800 lat świetlnych. Mierząc prędkość, z jaką wiruje, astronomowie obliczyli, że w środku tego dysku znajduje się czarna dziura o masie 1,2 miliarda mas Słońca, zajmująca przestrzeń niewiele większą od naszego Systemu Słonecznego. Sam dysk zawiera wystarczającą ilość materii dla utworzenia 100 tysięcy takich jak Słońce gwiad.
Czarna dziura i otaczający ją dysk nie leżą centralnie w środku galaktyki NGC 4261. Można podejrzewać jakieś dynamiczne związki między centrum tej galaktyki a czarną dziurą, ale ta sprawa jest nową tajemnicą Wszechświata, wydobytą na światło dzienne przez Teleskop Kosmiczny. Autorem tego odkrycia (ogłoszonego w grudniu 1995 r.) jest Laura Ferrarese z Johns Hopkins University i NASA. Poprzednio, w 1994 roku, HST odkrył czarną dziurę w galaktyce M87 (pisaliśmy o tym w PA 3/94), a naziemne obserwacje radiowe wydają się wskazywać na istnienie czarnej dziury w galaktyce NGC 4258.

017977/44

Drodzy Czytelnicy,

Oddajemy w Wasze ręce pierwszy zeszyt 1996 roku. Z ulotki zamieszczonej w zeszycie poprzednim już wiecie, że rozstaliśmy się z niektórymi nierzetelnymi współpracownikami tak zawodnie realizującymi skład, druk i dystrybucję naszego Kwartalnika. I znowu mamy nadzieję, że nasz Kwartalnik nie tylko nie zamieni się w Rocznik, ale odzyska swój kwartalny charakter i zgodność z kalendarzem.

Bieżący zeszyt otwiera artykuł Pana ***Andrzeja KRASIŃSKIEGO*** *z Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie na temat promieniowania grawitacyjnego. Dalej Pan* ***Leszek BŁASZKIEWICZ*** *z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu przybliża nam zagadnienie maserów kosmicznych i wskazuje na możliwości wykorzystania ich jako narzędzi badań głębin Wszechświata. Następne dwa artykuły pochodzą też z Grodu Kopernika, a ich autorami są młodzi adepci nauk astronomicznych, Panowie* ***Wojciech LEWANDOWSKI*** *i* ***Marek GOŁĘBIEWSKI****. Pierwszy referuje zagadnienie powstawania pulsarów milisekundowych i możliwych mechanizmów ich „rozkręcania", a drugi mówi o najnowszych rezultatach badań gromady kulistej M4 i niektórych tajemnicach jej struktury. Wreszcie w dłuższym wywodzie Pan* ***Stefan KISIEL*** *z Krakowa przedstawia nową propozycję reformy kalendarza. Myślę, że już samo zestawienie zagadnień poruszanych w bieżącym zeszycie wskazuje na jego znaczną różnorodność tematyczną. Tematyka jest jeszcze bardziej wzbogacona krótkimi notatkami w ROZMAITOŚCIACH mówiącymi o najnowszych odkryciach planet pozasłonecznych, o rezultatach badań atmosfery Jowisza przez próbnik, który zagłębił się w niej w grudniu 1995 roku, o zorzach polarnych na Saturnie, o ewolucji przedmgławicowej, o widmie pulsara w Krabie i powstawaniu promieni kosmicznych. Kolorystycznie dopełnia numer „reportaż" na temat miejsc powstawania gwiazd w oparciu o najnowsze odkrycia Teleskopu Kosmicznego Hubble'a.*

Kącik ASTRONOMIA W SZKOLE zawiera refleksje Pana Juliusza Domańskiego na temat istnienia orbit kołowych i zadania nowej edycji Olimpiady Astronomicznej.

NA PÓŁCE Z KSIĄŻKAMI analizujemy dwa kuszące barwami, niedawno wydane w Polsce albumy astronomiczne, a w LISTACH OD CZYTELNIKÓW poruszamy problem mącącej w głowach propagandy astrologicznej i wracamy do zagadnienia krakowianów poruszonej kiedyś w naszym felietonie. Tym razem nasz felieton poświęcony jest problemowi zmiany czasu i próbom zawładnięcia czasem przez totalitarnych władców tego świata.

Tegoroczny nasz niespodziewany gość kosmiczny, kometa C/1996 B2 Hyakutake jest obecna na trzeciej stronie okładki w zdjęciach amatorskich naszych Czytelników.

Mamy nadzieję, że każdy z naszych Czytelników znajdzie w tym zeszycie coś szczególnie dla siebie interesującego.

Życzymy przyjemnej i pożytecznej lektury.

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w TORUNIU

W imieniu Zespołu Redakcyjnego i Autorów

Andrzej Woszczyk

Toruń, w kwietniu 1996 roku

017977

D 100/96

ZAPROSZENIE

DO UDZIAŁU
W XV KRAKOWSKIEJ SZKOLE KOSMOLOGICZNEJ
w dniach 15 - 19 lipca 1996 r. w Łodzi

Program szkoły będzie obejmował proszone wykłady na temat **składu masowego promieniowania kosmicznego** oraz ogólne dyskusje na ten temat. Językiem szkoły będzie język angielski.

TEMATY: **Skład masowy promieniowania kosmicznego - fakty doświadczalne oraz przewidywania teoretyczne.**

Za program merytoryczny „Szkoły" odpowiedzialny jest *Naukowy Komitet Organizacyjny* w składzie: J. Wdowczyk - Polska (Przewodniczący), K. Rudnicki -Polska, G. Schatz - Niemcy, A. W. Wolfendale - Anglia, J. N. Capdeville - Francja, G.R. Khristiansen - Rosja, J. Kempa - Polska, M. Giller - Polska. Zaproszeni wykładowcy to między innymi: Prof. **H. Wachsmuth** - CERN Szwajcaria, Prof. **C. Grupen** - Uniwersytet w Siegen Niemcy, **J. Wdowczyk** - Polska, **G. Schatz** - Niemcy, **K. Rudnicki** - Polska, **A. W. Wolfendale** - Anglia, **J. N. Capdeville**- Francja, **G. B. Khristiansen** Rosja, **J. Kempa** - Polska, **M. Giller** - Polska.

Wykłady będą się odbywały w *Auli Budynku Fizyki Uniwersytetu Łódzkiego, ul. Pomorska 149/153.*

Wpisowe wynosi równowartość 60 USD. Zakwaterowanie w hotelach (ceny spodziewane od 60 - 150 zł za dobę). Możliwość posiłków w stołówkach studenckich według aktualnych cen (4 zł).

Członkowie Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii, Polskiego Towarzystwa Fizycznego mający opłacone składki za rok 1996 oraz studenci polskich uczelni mogą być zwolnieni z opłacenia wpisowego, jeśli złożą umotywowane prośby.

Zgłoszenia udziału i ewentualne pytania organizacyjne należy nadsyłać pod adres: *Dr Wiesław Tkaczyk-Uniwersytet Łódzki, Katedra Fizyki Doświadczalnej - ul. Pomorska 149/153, 90-236 Łódź. tel.:042-78-56-22, fax.:042-78-70-87, e-mail: WTKACZYK@Krysia.uni.lodz.pl* lub *WTKACZYK@plunlo51.bitnet.*

Opłatę konferencyjną należy wpłacić **do 1 maja 1996 r.** na konto **Uniwersytetu Łódzkiego PBG II O/ L 344612-5555-131.** *Szkoła jest sponsorowana przez: KBN, Uniwersytet Łódzki, Fundację OMEGA.*

Sekretarz Lokalnego Komitetu Organizacyjnego

Wiesław Tkaczyk

W artykule *CK macierze, toruniany czy jakoś tak*, jego autor Andrzej J. Maciejewski wykazał kompletne niezrozumienie problemu i z nonszalancją, a wręcz urągliwą wyższością usiłuje wmówić czytelnikom, że rachunek krakowianowy był zbyteczny. Przypomnieć zatem należy o zaletach praktycznych krakowianów, zwłaszcza w czasach, kiedy nie było komputerów osobistych.

(...) Niechże pan Maciejewski spróbuje klasycznie rozwiązać (bez komputera!) prosty układ pięciu równań z pięcioma niewiadomymi. Ręczę, iż zajmie mu to kilkakrotnie więcej czasu niż przy zastosowaniu metody krakowianowej.

(...) Niedorzecznością jest więc stwierdzenie pana Maciejewskiego: „Ze stosowania krakowianów nie ma żadnego, powtarzam **żadnego** zysku ani w ilości, ani w prostocie obliczeń". Jest akurat na odwrót.

Obecnie słyszy się niekiedy, że dla współczesnych komputerów jest obojętne, w jaki sposób rozwiązuje on dany układ równań liniowych. Opinie te nie są słuszne, ponieważ czas pracy komputera (dość drogi) prowadzącego obliczenia według algorytmu krakowianowego jest znacznie krótszy od czasu potrzebnego od obliczeń w algorytmie macierzowym, a ponadto ze wzrostem liczby niewiadomych i liczby równań, czas dodatkowo się wydłuża na niekorzyść algorytmu macierzowego.

A wady krakowianów? Chyba tylko taka, iż było to poniekąd „spóźnione" odkrycie. Wprowadzone w dziewiętnastym wieku przyniosłyby wiele sukcesów, a być może wpłynęło również na sposób opracowania programów komputerowych.

T. Zbigniew Dworak

* * *

Felieton *CK macierze, toruniany czy jakoś tak...* napisałem w formie paszkwilu i list Pana Dworaka pokazuje, że w pewnej mierze to mi się udało. Ten obszerny list poza różnymi niegrzecznościami skierowanymi pod moim adresem zawiera, w mniemaniu autora, miażdżące argumenty świadczące o wyższości krakowianów. Nie miejsce tu na prowadzenie dyskusji, jednakże jednego „kwiatka" nie sposób pominąć.

Pan Dworak pisze: *Oprócz odmiennego zdefiniowania mnożenia krakowianów (...) w rachunku krakowianowym jest możliwe dzielenie dwóch krakowianów. Operacja dzielenia nie jest zdefiniowana w rachunku macierzowym!*

Oczywiscie operacja dzielenia, w sensie rozumianym przez autora listu, w rachunku macierzowym jest zdefiniowana i definicja ilorazu krakowianów jest zwykłą kalką definicji macierzowej. I by nie było wątpliwości to Pan Dworak wyjaśnia: *Krakowian* **x** *jest ilorazem dwóch krakowianów* **a** *i* **b** *wtedy, kiedy* $\mathbf{x} \cdot \tau \mathbf{b} = \mathbf{a}$, *gdzie* τ *jest tzw. krakowianem jednostkowym.*

No i masz babo placek! Komu tu wierzyć: samemu twórcy krakowianów, skoro u niego w definicji tejże operacji $\tau \mathbf{b}$ to „transpoza" krakowianu **b** (w normalnym języku to operacja transpozycji), czy też Panu Dworakowi? Nie łatwo się zdecydować - przecież miłośnicy krakowianów wiedzą, iż „transpoza" krakowianu to nie to samo, co „tzw. krakowian jednostkowy". No i co z tym fantem zrobić? Ile czasu potrzeba, by wyjaśnić te wszystkie pyszne zawiłości i niuanse? No i skąd w definicji dzielenia ta „transpoza" lub „tzw. krakowian jednostkowy"? (uwaga do Czytelnika: w rachunku macierzowym iloraz dwóch macierzy definiuje się w naturalny sposób podobnie jak dla liczb; dla krakowianów trzeba szukać CK sposobu itp, itd).

Nie jestem patologicznym zboczeńcem opętanym chęcią zniszczenia wielkiego rachunku krakowianowego. Pozwoliłem sobie tylko na wyrażenie mojej opinii udokumentowanej kilkoma faktami. Jeżeli jednak ktoś kocha krakowiany i szybciej mu się liczy za ich pomocą, to ja nie mam nic przeciw temu i językiem naszych sąsiadów mówię mu: żełaju uspiecha!

Andrzej J. Maciejewski

* * *

Red. *Środki masowego przekazu zalewają nas bzdurnymi opowiastkami astrologicznymi. Pragnący znać swą przyszłość (a któż by nie chciał?) czytelnicy, widzowie i słuchacze bezkrytycznie przyjmują wszystko jako dobrą monetę. Jeden z naszych czytelników zareagował listem do TVP na program astrologiczny, w profesorskim majestacie prezentowany w Publicznej Telewizji Polskiej. Oczywiście odpowiedzi nie otrzymał i wobec tego za pośrednictwem Postępów Astronomii pragnie poinformować Opinię Publiczną o swoim stosunku do takich praktyk edukacyjnych Telewizji Polskiej. A może my wszyscy powinniśmy przynajmniej w tej formie dać wyraz naszego stosunku do zalewającej nas fali bzdur, podawanych do tego w oprawie niby-naukowości i naiwnych „mądrości" kryjących się nawet za parawanem tytułów profesorskich ?*
Oto list naszego Kolegi:

Pani
Alicja Resich - Modlińska
Telewizja Polska
Warszawa

Nie będę ukrywał, że znowu mną z lekka zatrzęsło, gdy przeczytałem w *Antenie* zapowiedź Pani programu z udziałem pani profesor Violetty Koseskiej. Być może pani profesor jest wybitną slawistką, ale reklamowanie jej występu jej osiągnięciami w astrologii jest haniebne. Pani profesor może w zaciszu domowym oddawać się dowolnie głupim zajęciom i nic nikomu do tego (o ile to nikomu nie szkodzi), Pani mogłaby emitować w eter dowolne bzdury, gdyby kupiła sobie nadajnik telewizyjny na własność. Prezentowanie jednak w publicznej telewizji guseł i zabobonów jest przestępstwem podwójnym, gdyż jest akurat szkodliwe (bo robi ludziom wodę z mózgu) i odbywa się za moje pieniądze (bo ponieważ opłacam abonament).

Awanturuję się tak, ponieważ - po pierwsze - w ogóle we łbie mi się nie może pomieścić, że na progu XXI wieku jest tyle ludzi gotowych poważnie traktować oczywiste brednie, a ponadto - po drugie - jestem astronomem i wiem też, co to jest astrologia. Jako skromny wykładowca akademicki staram się w miarę swoich możliwości przekazać różnym słuchaczom trochę wiedzy o Wszechświecie. Niestety, niektórzy mogą potem posłyszeć wypowiedzi pani astrolog - jakby nie było - profesor, a mniej odporni mogą nawet zgłupieć od tego. W ten sposób przyczynia się Pani do zniszczenia efektów mojej (i nie tylko mojej) pracy i do ogólnego ogłupienia telewidzów. Dlatego zawsze będę protestował przeciw prezentowaniu maniaków jako geniuszy.

Z poważaniem

Tomasz Kwast
Al. Ujazdowskie 4
00-478 Warszawa

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 (IA UMK Toruń)

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

Redakcja techniczna i opracowanie graficzne: Jacek Drążkowski

Korekta: Małgorzata Śróbka - Kubiak

Redakcja w Toruniu:
Instytut Astronomii UMK
ul.Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail address);
aw@astri.uni.torun.pl

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

Skład komputerowy: *Parinama - Soft*, Mirosław Kubiak, Grudziądz

Przygotowanie do druku stron kolorowych: AVALON, Olsztyn

Druk: Drukarnia Parafialna, ul. Ikara 6, Grudziądz

Dystrybucja: Barbara Gertner, Instytut Astronomii UMK, Toruń

Numer zamknięto w kwietniu 1996 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 •

Pismo jest dofinansowywane przez Komitet Badań Naukowych

© POSTĘPY ASTRONOMII 1996

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 **Promieniowanie grawitacyjne**

Andrzej Krasiński

Możliwość istnienia fal grawitacyjnych wynika z Ogólnej Teorii Względności i została przewidziana przez Einsteina już w 1916 roku. W świetle dzisiejszej wiedzy należałoby mówić raczej o konieczności ich istnienia. Każdy zmienny w czasie niesymetryczny rozkład masy (np. podwójny układ gwiazd czy wybuchająca supernowa) powinien wysyłać fale grawitacyjne, bo jeśli tego nie robi, to... gdzieś w Teorii Względności kryje się zasadniczy błąd.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A
Tam rodzą się gwiazdy i planety: M 16 i M 42 (23)
Ewolucja przedmgławicowa - nowe znaki zapytania (25)
Zorze polarne na Saturnie (28)

10 **Masery, nowe narzędzia badań astronomicznych**

Leszek P. Błaszkiewicz

W obecnej dobie masery kosmiczne stanowią jedne z najciekawszych obiektów w badaniach radioastronomicznych. Różnorodność molekuł biorących udział w akcji maserowej pozwala na obserwacje wielu miejsc, w których spotyka się masery. Dzięki temu mamy możliwość prowadzenia rozległego zakresu badań kosmosu, od wyznaczania odległości do poprawiania schematów ewolucyjnych gwiazd.

16 **Powstawanie pulsarów podwójnych i milisekundowych**

Wojciech Lewandowski

Kilka lat temu mieliśmy okazję być świadkami prawdziwego „boomu" informacyjnego związanego z pulsarami milisekundowymi. Niniejszy artykuł ma za zadanie przybliżyć czytelnikom naszą aktualną wiedzę na temat powstawania pulsarów milisekundowych.

34 **Gromada kulista M4 (NGC 6121)**

Marek Gołębiewski

Za sprawą nieocenionego Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, na popularności zyskała ostatnio gromada kulista M4. W niniejszym artykule chcielibyśmy zaprezentować nieco więcej informacji na jej temat i pokazać, że na tego typu obiekty warto spoglądać nie tylko dlatego, że stanowią one ładnie wyglądające skupiska wielu, wielu gwiazd.

40 **Propozycja uporządkowania schematu i reguł kalendarza**

Adam S. Kisiel

Obecnie zbliżamy się do nowego tysiąclecia i jego początek można uznać za odpowiedni moment do uporządkowania obecnej rachuby czasu.

rozmaitości *Powstawanie promieni kosmicznych w otoczkach supernowych (29), Widmo pulsara w Krabie (30), Odkrycie kolejnych planet (31), Jeszcze raz o Galileo (32)*

43 **Astronomia w szkole:** Juliusz Domański *Czy istnieją orbity kołowe?*
44 *XL Olimpiada Astronomiczna*
46 **Felieton:** *Czasowe kłopoty*
48 **Na półce z książkami:** *Czy ładne musi znaczyć byle jakie?*

ZDJĘCIA NA OKŁADCE PRZEDSTAWIAJĄ:
matecznik gwiazdowy w mgławicy Orzeł (M 16) w gwiazdozbiorze Węża (patrz str. 23) i mgławicę owalną (Egg Nebula) wokół umierającej gwiazdy (patrz str. 25).

Promieniowanie grawitacyjne

Andrzej Krasiński

1. Co to jest promieniowanie grawitacyjne?

W związku z niedawnym zderzeniem komety *Shoemaker - Levy* z Jowiszem, zastanówmy się nad następującym problemem. Przed zderzeniem masa Jowisza była rozłożona po jego objętości w sposób prawie sferycznie symetryczny (niewielkie, choć mierzalne, spłaszczenie jest spowodowane siłą odśrodkową w ruchu obrotowym. Z premedytacją udajemy, że nie wiemy o innych zaburzeniach). Obserwator na Ziemi mógłby *w zasadzie* skonstruować przestrzenną mapę fragmentu pola grawitacyjnego Jowisza (w praktyce byłoby to przedsięwzięcie skrajnie trudne, jak wyniknie z dalszego ciągu artykułu). Poziomicami tej mapy byłyby współśrodkowe powierzchnie kul, na każdej z nich natężenie pola grawitacyjnego Jowisza byłoby inne. Oczywiście, wskutek zmiany odległości Jowisza od Ziemi podczas obiegu wokół Słońca, mapa taka byłaby inna w każdej chwili, ale (znów *w zasadzie*) można ją skonstruować dla dowolnej ustalonej chwili.

Bezpośrednio po zderzeniu na powierzchni Jowisza pojawiła się dodatkowa masa o małej objętości, która zaburzyła istniejącą przedtem symetrię pola grawitacyjnego. Energia i pęd przekazane materii Jowisza w zderzeniu spowodowały przemieszczenia masy w jego wnętrzu i nad powierzchnią. Po pewnym czasie zaburzenia te ustały i pole grawitacyjne Jowisza powróciło do dawnej symetrii, ale w krótkim okresie przejściowym reagowało ono na ruchy mas w pobliżu punktu zderzenia i było nieregularne. Obserwator na Ziemi mógłby na swojej mapie pola grawitacyjnego Jowisza zauważyć odpowiednie zmiany (mógłby w *zasadzie*, w praktyce byłoby to znowu skrajnie trudne, o tym właśnie będzie mówił niniejszy artykuł). Pytanie, które chcemy tu postawić, jest następujące: czy obserwator na Ziemi zauważyłby te zmiany w tym samym momencie, w którym nastąpiło zderzenie?

Teoria grawitacji Newtona kazałaby spodziewać się odpowiedzi twierdzącej. Skądinąd wiemy jednak, że żaden sygnał nie może poruszać się szybciej niż światło. Światło wysłane z Jowisza dociera do Ziemi z opóźnieniem od ponad 30 minut do nieco ponad 50 minut, zależnie od położenia Ziemi i Jowisza na ich orbitach. Z takim samym lub większym opóźnieniem powinna dotrzeć do Ziemi informacja o zaburzeniu pola grawitacyjnego przy powierzchni Jowisza. To wędrujące przez przestrzeń zaburzenie pola grawitacyjnego nazywa się **falą grawitacyjną**.

Możliwość istnienia fal grawitacyjnych wynika z *Ogólnej Teorii Względności* i została przewidziana przez Einsteina już w 1916 roku. W świetle dzisiejszej wiedzy należałoby mówić raczej o konieczności ich istnienia. Każdy zmienny w czasie niesymetryczny rozkład masy (np. podwójny układ gwiazd czy wybuchająca supernowa) powinien wysyłać fale grawitacyjne, bo jeśli tego nie robi, to... gdzieś w *Teorii Względności* kryje się zasadniczy błąd.

Proces wytwarzania i rozchodzenia się fal grawitacyjnych jest pod wieloma względami podobny do dobrze zbadanego i zrozumianego procesu wytwarzania i rozchodzenia się fal elektromagnetycznych. Istnieją jednak ważne różnice. Z punktu widzenia teorii najważniejsza różnica to nieliniowość oddziaływań grawitacyjnych. Własności pola elektromagnetycznego opisują równania liniowe. Jeśli znamy rozwiązanie tych równań opisujące jedno zjawisko (np. pole elektrostatyczne ładunku punktowego) i drugie zjawisko (np. wędrówkę fali elektromagnetycznej przez pustą przestrzeń), to sytuację, w której oba te zjawiska zachodzą równocześnie (w podanych przykładach: fala elektromagnetyczna biegnie przez przestrzeń wypełniona polem elektrycznym ładunku punktowego) możemy ściśle opisać po prostu dodając do siebie dwa znane rozwiązania.

Całkiem inaczej zachowuje się pole grawitacyjne. Oddziaływanie grawitacyjne ujawnia się poprzez zakrzywienie przestrzeni. Fala grawitacyjna biegnie przez zakrzywioną przestrzeń, ale jej przejście zaburza krzywiznę, co z kolei zmienia warunki rozchodzenia się fali. Ten skomplikowany proces, nazywany **wpływem odwrotnym**, do dziś sprawia kłopoty teoretykom. Równoczesne występowanie dwu zjawisk nie jest opisywane sumą rozwiązań, z których każde opisuje jedno zjawisko z osobna. Dla kombinacji dwu zjawisk trzeba szukać nowego rozwiązania od początku.

Przez długie lata fale grawitacyjne były opisywane jedynie przybliżonymi rozwiązaniami równań pola grawitacyjnego (**nazywanych równaniami Einsteina**), otrzymanymi przy założeniu, że obydwa pola grawitacyjne (pole samej fali i pole istniejące przedtem na trasie jej wędrówki) są na tyle słabe, że zachowują się w przybliżeniu liniowo i efekt wpływu odwrotnego można zaniedbać. Ten uproszczony, ale ciągle jeszcze skomplikowany i miejscami niejasny opis dla wielu fizyków wyglądał podejrzanie. Dopiero w latach 60-tych uzyskano pierwsze ścisłe rozwiązania równań Einsteina opisujące fale grawitacyjne, a w latach 70-tych stało się możliwe badanie pewnych własności rozwiązań równań Einsteina w oparciu o same równania, bez konieczności szukania ścisłych rozwiązań. Dzisiaj nikt już nie wątpi, że *Teoria Względności* przewiduje istnienie fal grawitacyjnych, które powinny rozchodzić się z prędkością światła.

2. Wytwarzanie fal grawitacyjnych.

Zajmiemy się najpierw procesem wytwarzania fal elektromagnetycznych, który jest prostszy. Rozkład pola elektrycznego wokół pewnego rozkładu ładunków można obliczyć metodą kolejnych

przybliżeń, nazywaną **rozwinięciem multipolowym**.

• *Pierwszym członem* tego przybliżenia jest pole sferycznie symetryczne (monopol). Jest to pole wytwarzane przez taki sam ładunek, jak w badanym układzie, ale rozłożony sferycznie symetrycznie. Natężenie tego pola maleje odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości od źródła i jest wprost proporcjonalne do całkowitego ładunku w źródle.

• *Drugim członem* tego przybliżenia jest dipol. Jest to pole elektryczne wytworzone przez dwa blisko siebie położone ładunki przeciwnych znaków. Natężenie takiego pola maleje odwrotnie proporcjonalnie do trzeciej potęgi odległości od źródła i jest wprost proporcjonalne do momentu dipolowego wektorowej wielkości określającej ładunki tworzące dipol i ich ustawienie w przestrzeni. Pole dipola jest osiowo symetryczne, ale nie sferycznie symetryczne; poza osią symetrii siła działająca na ładunki elektryczne umieszczone w polu dipola nie jest skierowana wzdłuż prostej łączącej ładunek z dipolem (Rys. 1).

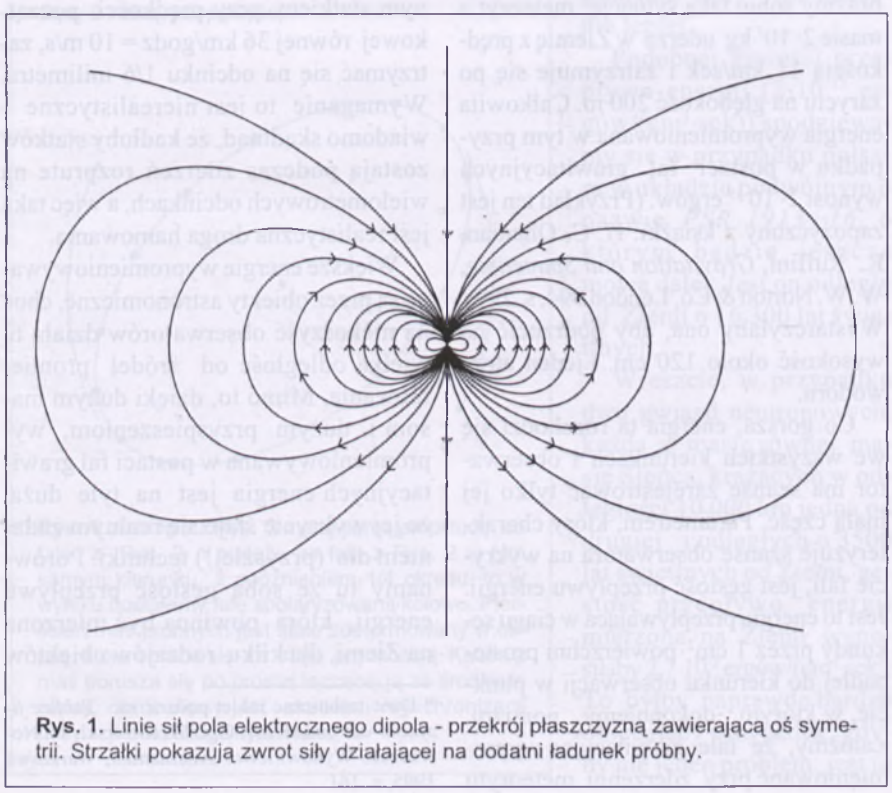
• *Trzeci człon* przybliżenia (kwadrupol) można interpretować jako dwa przeciwnie skierowane dipole położone blisko siebie, ale nie pokrywające się. Natężenie pola elektrycznego kwadrupola maleje odwrotnie proporcjonalnie do czwartej potęgi odległości od źródła, jest zaś wprost proporcjonalne do momentu kwadrupolowego wielkości macierzowej opisującej rozmieszczenie i wartość ładunków w układzie.

We wzorze opisującym pełne pole elektryczne występują wyższe przybliżenia zanikające coraz szybciej z odległością, ale do naszych rozważań nie będą one potrzebne.

Fale elektromagnetyczne powstają, gdy wielkości charakteryzujące poszczególne człony tego rozwinięcia (momenty multipolowe) zmieniają się w czasie.

Całkowity ładunek nie może się zmienić - byłoby to sprzeczne z równaniami Maxwella, w które nikt dziś nie wątpi. Wynika stąd, że sferycznie symetryczne pulsacje rozkładu ładunków nie mogą wysłać fali elektromagnetycznej. Zewnętrzne pole elektryczne układu sferycznie symetrycznego jest zawsze niezależne od czasu.

Zmienny w czasie elektryczny moment dipolowy można wytworzyć na dwa sposoby: albo poprzez przepływy ładunku między dwoma biegunami dipola (tak właśnie działa radiowa antena nadawcza) albo przez poruszanie monopolowym rozkładem ładunku tam i z powrotem po odcinku linii prostej. Moc wysyłanego promieniowania jest wtedy proporcjonalna do kwadratu drugiej pochodnej momentu dipolowego po czasie (czyli, przy drugim sposobie wytwarzania fali, do kwadratu przyspieszenia, z jakim porusza się ładunek).



Rys. 1. Linie sił pola elektrycznego dipola - przekrój płaszczyzną zawierającą oś symetrii. Strzałki pokazują zwrot siły działającej na dodatni ładunek próbny.

Zmienny w czasie moment kwadrupolowy można wytworzyć albo poprzez przepływy ładunków wewnątrz kwadrupola albo poprzez obracanie dipolem wokół osi prostopadłej do osi symetrii dipola. Moc promieniowania jest proporcjonalna do kwadratu trzeciej pochodnej momentu kwadrupolowego po czasie.

Promieniowanie elektromagnetyczne posiada pewną magiczną własność, dzięki której jest tak przydatne w praktyce. Pole elektryczne i pole magnetyczne w biegnącej przez przestrzeń fali zmniejszają swoje natężenie odwrotnie proporcjonalnie do pierwszej potęgi odległości od źródła, niezależnie od tego, który kolejny multipol jest odpowiedzialny za ich wytworzenie. Pole fali elektromagnetycznej zanika więc z odległością znacznie wolniej niż statyczne pole rozkładu ładunków, które te fale wytworzyły. Dzięki temu można na przykład odbierać w Warszawie fale elektromagnetyczne wysłane z nadajnika MTV w Londynie, chociaż beznadziejna byłaby próba zmierzenia w Warszawie siły elektrostatycznej wytworzonej przez tę samą antenę, gdyby na pewien czas nadać jej stały w czasie moment dipolowy[1]. Własność ta wydaje się magiczna w porównaniu z własnościami pól statycznych, ale jest zgodna z równaniami Maxwella i można ją udowodnić za pomocą ścisłego rachunku.

Musimy wspomnieć o jeszcze jednej własności promieniowania elektromagnetycznego, którą posiada też promieniowanie grawitacyjne. Czysty sygnał fali można odebrać tylko w odpowiednio dużej odległości od źródła, gdzie zakłócenia wywołane polem krótkozasięgowym (szybciej zanikającym z odległością) są niewykrywalne. W małych odległościach od źródła składowa krótkozasięgowa powoduje silne zaburzenia. Uprzedzając dalszy wywód możemy więc od razu stwierdzić, że nie da się zmierzyć na Ziemi promieniowania grawitacyjnego wysyłanego przez inne planety Układu Słonecznego. Ziemia jest zbyt blisko generatora, a w przypadku Marsa, Jowisza i dalszych planet wewnątrz generatora (generatorem fal grawitacyjnych jest układ Słońce - planeta).

Wiele własności promieniowania grawitacyjnego można objaśnić za pomocą

[1] W tym ostatnim zdaniu kryje się małe oszustwo: dodatkowym utrudnieniem przy pomiarze pola statycznego jest jego stałość w czasie. Łatwiej jest wykryć krótkookresowe zmiany pewnej wielkości, niż zmierzyć jej wartość. Problem ten występuje powszechnie w technice.

analogicznych własności promieniowania elektromagnetycznego. Na przykład, nie jest możliwa zmiana całkowitej masy układu promieniującego (poza zupełnie nierealistycznym przypadkiem, gdy układ składa się z materii wymieszanej z antymaterią i zamienia swoją masę w promieniowanie. Takich obiektów nie zaobserwowano). Sferycznie symetryczna (monopolowa) składowa pola grawitacyjnego jest więc zawsze statyczna i nie może wytwarzać żadnego promieniowania.

W porównaniu z polem elektromagnetycznym występują jednak trzy komplikacje:

1 . W oddziaływaniach grawitacyjnych rolę ładunku pełni masa. Masy są zawsze dodatnie, tzn. siły grawitacyjne są zawsze przyciągające. Z tego powodu nie istnieje „czysty dipol" grawitacyjny. „Czysty dipol" elektryczny składa się z ładunku dodatniego (+e) i ładunku ujemnego (-e) o tej samej wartości bezwzględnej. Całkowity ładunek czystego dipola elektrycznego jest równy zeru i jego pole elektryczne nie ma składowej monopolowej. W przypadku grawitacji układ, którego całkowita masa byłaby równa zeru, nie wytwarzałby żadnego pola grawitacyjnego i nie moglibyśmy dyskutować o jego promieniowaniu[2]. Dipol grawitacyjny może występować tylko jako poprawka do monopola. Ta sama uwaga dotyczy wszystkich wyższych multipoli.

2. Oddziaływanie grawitacyjne jest wielokrotnie słabsze od elektromagnetycznego. Siła przyciągania grawitacyjnego między dwoma elektronami jest około $4.2 \cdot 10^{42}$ razy mniejsza niż siła ich wzajemnego odpychania elektrostatycznego. Słabość tę odzwierciedla współczynnik G/c^5 występujący we wzorach na natężenie pola grawitacyjnego fali grawitacyjnej (G - stała grawitacyjna, c - prędkość światła). W jednostkach CGS $G/c^5 = 2.74 \cdot 10^{-60}$ $sek^3/(g \cdot cm^2)$. Jak łatwo zgadnąć, wykrywanie fal grawitacyjnych jest w tej sytuacji wielokrotnie trudniejsze niż wykrywanie fal elektromagnetycznych. Szczęściem w nieszczęściu jest fakt, że tak jak dla fal elektromagnetycznych, natężenie pola fali grawitacyjnej maleje odwrotnie proporcjonalnie do odległości od źródła. Dzięki temu, chociaż wykrywanie fal grawitacyjnych jest poza zasięgiem obecnie istniejących możliwości technicznych, trudności wydają się jednak możliwe do pokonania; wspomnimy o tym dalej.

3 . Prędkość zmian grawitacyjnego momentu dipolowego jest równa całkowitemu pędowi układu. Pęd jest jednak stałą ruchu we wszystkich procesach fizycznych. Na przykład, przy starcie promu kosmicznego zmiana pędu pojazdu jest w każdym odcinku czasu równa co do wartości bezwzględnej pędowi wyrzucanych z silnika gazów, ale jest przeciwnie skierowana. Całkowita zmiana pędu układu jest równa zeru. Druga pochodna momentu dipolowego po czasie, równa pochodnej całkowitego pędu po czasie, jest więc też równa zeru. Oznacza to, że nie istnieje promieniowanie grawitacyjne wytwarzane przez zmienny w czasie dipol grawitacyjny. Główny przyczynek do promieniowania grawitacyjnego może pochodzić od zmian kwadrupola w czasie. Jest to dalsze utrudnienie techniczne - do wzoru na moc promieniowania wchodzi trzecia pochodna momentu kwadrupolowego po czasie.

Promieniowanie grawitacyjne wytwarzane przez obiekty dostępne bezpośrednim badaniom jest tak słabe, że nie ma nadziei na wykrycie go. Wyobraźmy sobie taką sytuację: meteoryt o masie $2 \cdot 10^7$ kg uderza w Ziemię z prędkością 11 km/sek i zatrzymuje się po zaryciu na głębokość 200 m. Całkowita energia wypromieniowana w tym przypadku w postaci fal grawitacyjnych wynosi $2 \cdot 10^{-19}$ ergów. (Przykład ten jest zapożyczony z książki: H. C. Ohanian, R. Ruffini, *Gravitation and Spacetime*, W. W. Norton & Co, London 994, s. 299). Wystarczyłaby ona, aby podrzucić na wysokość około 120 cm... jeden atom wodoru.

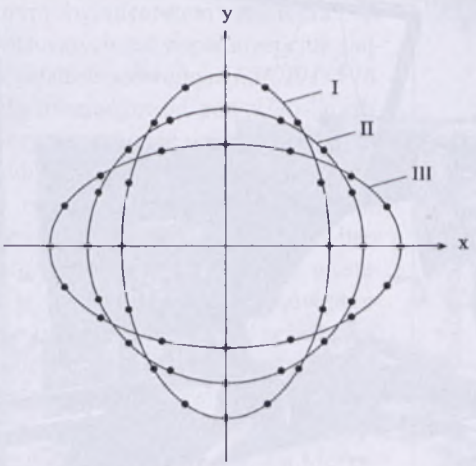
Co gorsza, energia ta rozchodzi się we wszystkich kierunkach i obserwator ma szanse zarejestrować tylko jej małą część. Parametrem, który charakteryzuje szanse obserwatora na wykrycie fali, jest gęstość przepływu energii. Jest to energia przepływająca w ciągu sekundy przez 1 cm^2 powierzchni prostopadłej do kierunku obserwacji w punkcie, w którym dokonujemy pomiaru. Załóżmy, że fale grawitacyjne wypromieniowane przy zderzeniu meteorytu z Ziemią rozchodzą się równomiernie we wszystkich kierunkach i że obserwator znajduje się w odległości 1 km od punktu zderzenia (musi być na tyle daleko, aby pole krótkozasięgowe nie zakłócało pomiaru. Abstrahujemy tu od utrudnień związanych ze zjawiskami sejsmicznymi i atmosferycznymi towarzyszącymi upadkowi meteorytu). Załóżmy też, że meteoryt po upadku porusza się ruchem jednostajnie opóźnionym. Czas hamowania wynosi wtedy 0.036 sek. Gęstość przepływu energii zmierzona w takich warunkach wynosiłaby $4.38 \cdot 10^{-29}$ ergów/($cm^2 \cdot$ sek).

Energie wypromieniowywane w postaci fal grawitacyjnych w procesach kontrolowanych przez człowieka są znacznie mniejsze. Wystarczy porównać parametry ruchu. Przyspieszenie, jakiego doznaje meteoryt z powyższego przykładu podczas hamowania w Ziemi wynosi około 30 000 g, gdzie g jest przyśpieszeniem ziemskim. Spośród rakiet używanych w technice kosmicznej największe przyspieszenie osiąga rakieta *Pegasus*, wynosi ono 2.7 g[3]. Największą masę startową ma rakieta *Saturn V*, wynosi ona 2913 ton (ok. 1/7 masy meteorytu z przykładu), ale osiąga przyspieszenie 1.2 g. Duży tankowiec z pełnymi ładowniami ma masę około 6 razy większą niż meteoryt z przykładu. Aby jednak osiągnąć takie samo przyspieszenie, jak meteoryt ryjący w Ziemi, musiałby w zderzeniu z przeszkodą albo z innym statkiem, przy prędkości początkowej równej 36 km/godz = 10 m/s, zatrzymać się na odcinku 1/6 milimetra. Wymaganie to jest nierealistyczne - wiadomo skądinąd, że kadłuby statków zostają podczas zderzeń rozprute na wielometrowych odcinkach, a więc taka jest realistyczna droga hamowania.

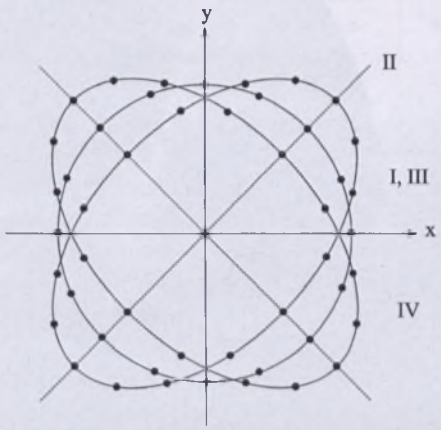
Większe energie wypromieniowywane są przez obiekty astronomiczne, choć na niekorzyść obserwatorów działa tu wielka odległość od źródeł promieniowania. Mimo to, dzięki dużym masom i dużym przyspieszeniom, wypromieniowywana w postaci fal grawitacyjnych energia jest na tyle duża, że jej wykrycie staje się realnym zadaniem dla (przyszłej!) techniki. Porównamy tu ze sobą gęstość przepływu energii, która powinna być mierzona na Ziemi, dla kilku rodzajów obiektów

[2] Uwaga - drugie oszustwo! Stwierdzenie to jest ściśle prawdziwe w teorii grawitacji Newtona, według której promieniowanie grawitacyjne i tak nie istnieje. W teorii względności udowodniono możliwość istnienia obiektów zbudowanych z samego promieniowania (nazywanych geonami), które mają zerową masę, ale niezerowe pole grawitacyjne, wytworzone przez energię promieniowania.

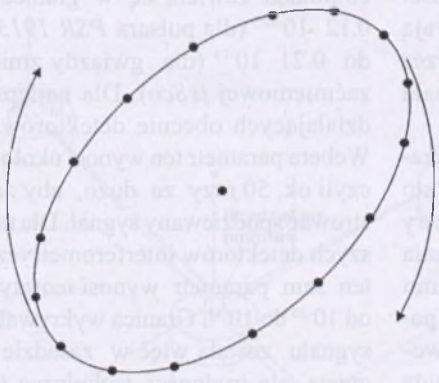
[3] Dane techniczne rakiet podane za: *Tablice fizyczno-astronomiczne*. Opr. W. Mizerski, W. Nowaczek. Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1995, s. 161.



Rys. 2. Oddziaływanie płaskiej fali grawitacyjnej o stałej w czasie polaryzacji na pierścień zbudowany z mas próbnych. Pierścień oscyluje z częstotliwością równą częstotliwości fali przechodząc cyklicznie przez stany I II III II I, itd.



Rys. 3. Każdą płaską falę grawitacyjną można rozłożyć na dwie składowe o stałych polaryzacjach, obróconych względem siebie o 45° - taką, jak na Rys. 2 i taką, jak powyżej.



Rys. 4. Jeśli fala z Rys. 3 ma tę samą amplitudę, co fala z Rys. 2 i podąża za falą z Rys. 2 w tym samym kierunku z opóźnieniem 1/4 okresu, to w wyniku dostajemy falę spolaryzowaną kołowo. Pierścień mas próbnych jest stale zdeformowany w elipsę, która obraca się ze stałą prędkością. Każda z mas porusza się po prostej łączącej ją ze środkiem elipsy, obrót elipsy jest skutkiem synchronizacji oscylacji poszczególnych mas.

astronomicznych.

Jednym z możliwych rodzajów źródeł fal grawitacyjnych jest układ podwójny rozseparowany, tzn. taki, w którym obie gwiazdy są widoczne osobno. Najlepszym kandydatem do obserwacji jest w tej grupie Syriusz, odległy od Ziemi o niecałe 9 lat świetlnych. Spodziewana gęstość przepływu energii wynosi w tym przypadku $1.3 \cdot 10^{-24}$ ergów/(cm^2· sek) - ciągle bardzo mało, ale jednak 30 000 razy więcej niż w przypadku meteorytu.

Innym możliwym rodzajem źródła jest układ podwójny zaćmieniowy. W takim układzie gwiazdy każda blisko siebie (nie widać ich w teleskopach jako dwu osobnych obiektów), a więc poruszają się w silnych polach grawitacyjnych i doznają dużych przyspieszeń. W tej grupie źródeł typowym obiektem jest gwiazda β w gwiazdozbiorze Perseusza, odległa o 103 lata świetlne od Ziemi. Spodziewana gęstość przepływu energii w postaci fal grawitacyjnych wynosi dla niej $1.3 \cdot 10^{-13}$ ergów/(cm^2·sek) - już znacznie lepiej.

Podobnej gęstości przepływu energii ($2 \cdot 10^{-13}$ ergów/(cm^2·sek)) spodziewamy się w przypadku pulsara w układzie podwójnym o nazwie *PSR 1913+16*, o którym będzie jeszcze mowa dalej. Jest on odległy od Ziemi o 16 300 lat świetlnych.

Wreszcie, w przypadku dwu gwiazd neutronowych, każda o masie równej masie Słońca, krążących w odległości 10 000 km jedna od drugiej i odległych o 3500 lat świetlnych od Ziemi, gęstość przepływu energii mierzona na Ziemi wynosiłaby $2.7 \cdot 10^{-3}$ ergów/(cm^2·sek). To byłby naprawdę bardzo obiecujący przypadek, gdyby nie jeden problem: jest to przykład fikcyjny, takiego układu dotychczas nie zaobserwowano.

3. Wykrywanie fal grawitacyjnych.

Wyobraźmy sobie pierścień, na którym rozmieszczono równomiernie małe masy (małe, to znaczy nie zaburzające obserwacji swoim własnym polem grawitacyjnym). Wyobraźmy sobie, że z kierunku prostopadłego do płaszczyzny pierścienia nadbiega fala grawitacyjna najprostszego typu: o płaskich czołach i o stałej w czasie polaryzacji (tzn. kierunek najszybszego wzrostu natężenia pola grawitacyjnego fali jest w każdym punkcie przestrzeni zawsze taki sam). Odległości między różnymi masami na pierścieniu powinny wtedy zmieniać się tak, jak na Rys. 2. Pierścień o kształcie okręgu będzie periodycznie zmieniał się w elipsę, z powrotem w okrąg, w elipsę o zamienionych osiach, znów w okrąg, itd. Ogólną falę grawitacyjną można otrzymać przez składanie fal o różnych amplitudach i stałych polaryzacjach obróconych względem siebie o 45° (Rys. 3.). Jedną z możliwości jest fala spolaryzowana kołowo (rys. 4).

Tak prosto wygląda wykrywanie fal grawitacyjnych *w zasadzie*. W praktyce nic nie jest proste. Fala grawitacyjna jest „tylko" zaburzeniem pola grawitacyjnego, jeśli próbujemy opisać ją w języku teorii grawitacji Newtona. Ale w teorii Newtona fale grawitacyjne po prostu nie istnieją. Gdyby teoria Newtona była ściśle prawdziwa, wszystkie zaburzenia pola grawitacyjnego rozchodziłyby się w przestrzeni z nieskończoną prędkością jako zmiany pola sztywno związane ze zmianami rozkładu masy w źródle. Fale grawitacyjne można opisać tylko w języku *Teorii Względności*. W tym języku fala grawitacyjna jest zaburzeniem geometrii przestrzeni. Odległości pomiędzy różnymi elementami detektora zmieniają się nie dlatego, że elementy te poruszyły się, ale dlatego, że „coś" odkształciło linijkę używaną do pomiaru.

Na szczęście, dokładne rachunki pokazują, że skutki przejścia fali grawitacyjnej przez układ pomiarowy powinny być obserwowalne. Dwie masy zawieszone w polu grawitacyjnym Ziemi, pod wpływem fali grawitacyjnej nadbiegającej z kierunku prostopadłego do łączącej masy prostej, powinny doznawać przyśpieszeń skierowanych wzdłuż tej prostej. Przyspieszenie interpretuje się

w teorii Newtona jako skutek działania siły. Zatem, mamy jednak szansę na wykrycie fal grawitacyjnych.

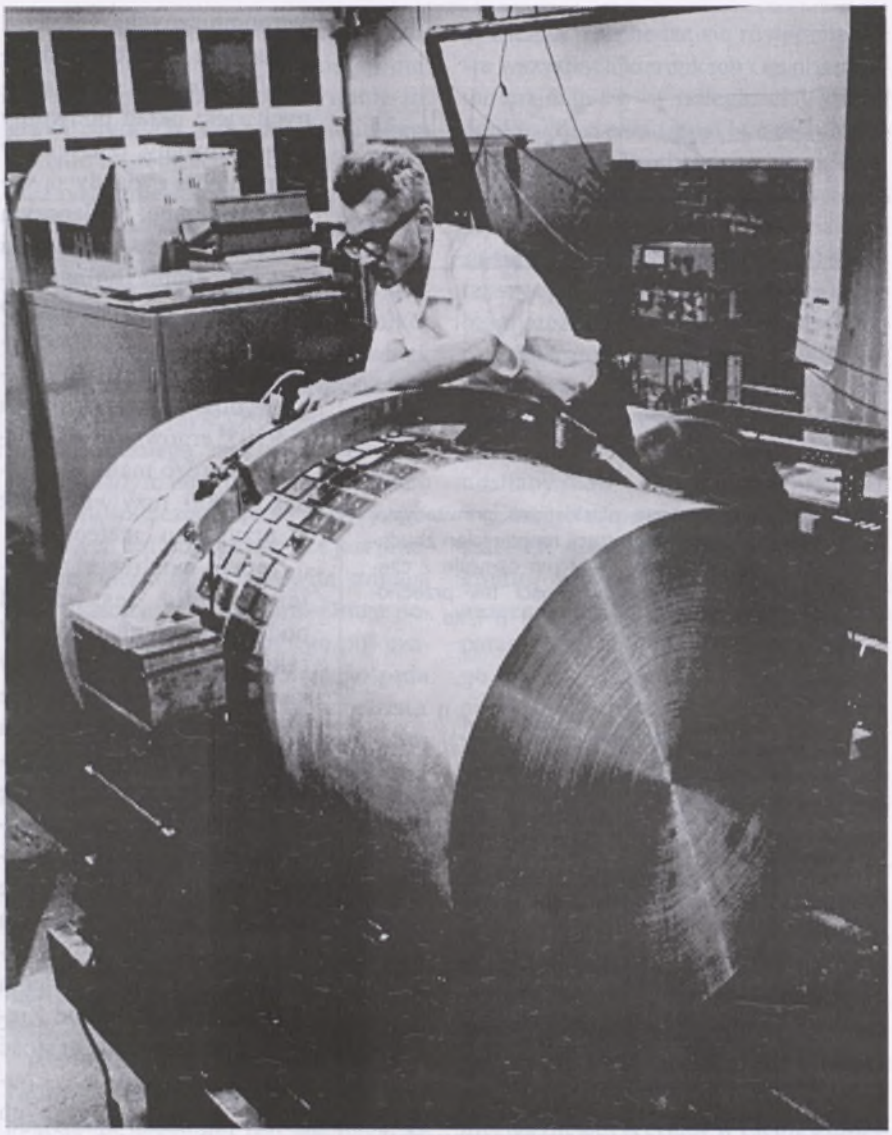
W fazę realizacji weszły dwa rodzaje detektorów:

1. Tzw. *sztaby Webera,* aluminiowe cylindry o masie od 1000 do 2000 kg. Fala grawitacyjna przechodząca przez cylinder powinna wytworzyć w nim naprężenia ujawniające się poprzez odkształcenia mechaniczne, tzn. fale akustyczne, które można wykryć odpowiednio czułą aparaturą (zdjęcie obok).

2. *Interferometry laserowe* również wynalezione przez Josepha Webera. W interferometrze wykrywaczem fal grawitacyjnych jest para zwierciadeł zawieszonych na wahadłach na końcach ramion kąta prostego (Rys. 5). Ustawienie i położenie zwierciadeł są kontrolowane za pomocą prążków interferencyjnych wytworzonych przez promienie świetlne z lasera biegnące wzdłuż różnych ramion kąta.

Podstawowym problemem technicznym w obu rodzajach detektorów są niekontrolowane, przypadkowe wpływy zewnętrzne. J. Weber opowiadał kiedyś, jak jego detektor zarejestrował wstrząs spowodowany przez urzędnika z Waszyngtonu wizytującego laboratorium, który zagapił się przy parkowaniu i wpadł samochodem na ścianę budynku. Nawet drgania termiczne atomów cylindra Webera mają w temperaturze pokojowej większą amplitudę niż spodziewana amplituda drgań wywołanych przejściem fali grawitacyjnej. Detektor musi więc być jak najstaranniej izolowany od drgań mechanicznych w otoczeniu (przez umieszczenie go na podstawie zbudowanej z warstw gumy przekładanych warstwami metalu), umieszczony w komorze próżniowej i ochłodzony do temperatury ciekłego helu (ok. 4 K = -269 °C, dla wytłumienia drgań termicznych). Dla jeszcze lepszej eliminacji przypadkowych wpływów stosuje się parę dwu detektorów umieszczonych w odległości kilkuset do kilku tysięcy kilometrów jeden od drugiego; aparatura elektroniczna wyławia te sygnały, które pojawiły się równocześnie w obu detektorach i miały tę samą zależność natężenia pola od czasu.

Dodatkowym utrudnieniem pomiaru jest fakt, że każdy detektor mechaniczny ma swoją charakterystyczną częstotliwość drgań. Może on wykrywać fale impulsowe (tzn. o krótkim czasie trwania) tylko wtedy, gdy mają one tę samą częstotliwość. Fale o innej częstotliwości mogą się ujawnić, jeśli przepływają przez detektor stałym strumieniem przez czas dłuższy niż czas tłumienia sygnału (typowo ok. 20 sek.).

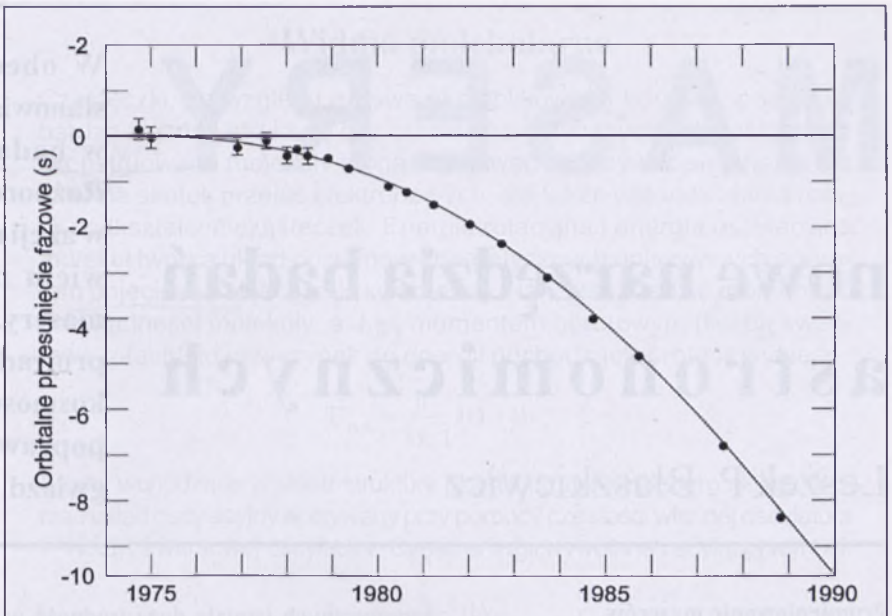


Sztaba Webera i jej konstruktor. Czujniki opasujące metalowy walec mają wykrywać drgania mechaniczne.

Trwa obecnie, ciągle jeszcze niezakończony, światowy wyścig o to, kto pierwszy osiągnie wszystkie parametry techniczne potrzebne do zredukowania poziomu szumów poniżej poziomu oczekiwanego sygnału. Wygodnym parametrem służącym do oceny możliwości detektora jest względna amplituda drgań, $A = \Delta l/l$, gdzie l jest początkową odległością obserwowanych mas w detektorze, zaś Δl zmianą odległości pod wpływem fali grawitacyjnej (zakłada się, że detektor jest oscylatorem harmonicznym, tzn. że Δl jest proporcjonalne do działającej siły). Dla różnych obiektów, które są możliwymi źródłami fal grawitacyjnych, spodziewana względna amplituda zawiera się w granicach od $0.12 \cdot 10^{-22}$ (dla pulsara *PSR 1913+16*) do $0.21 \cdot 10^{-19}$ (dla gwiazdy zmiennej zaćmieniowej μ *Sco*). Dla najlepszych działających obecnie detektorów typu Webera parametr ten wynosi około 10^{-18}, czyli ok. 50 razy za dużo, aby zarejestrować spodziewany sygnał. Dla najlepszych detektorów interferometrycznych ten sam parametr wynosi teoretycznie od 10^{-20} do 10^{-19}. Granica wykrywalności sygnału została więc w zasadzie osiągnięta, ale trudności techniczne (np. z utrzymaniem pełnej mocy lasera przez wystarczająco długi czas) ciągle uniemożliwiają dojście do względnej amplitudy 10^{-19} w praktycznym działaniu. Fal grawitacyjnych dotychczas nie zaobserwowano. W budowie są obserwatoria następnej generacji, które powinny osiągnąć względną amplitudę 10^{-22}.

Jedynym jak dotąd, choć nie całkiem

pewnym świadectwem istnienia fal grawitacyjnych jest wspomniany już pulsar w układzie podwójnym *PSR 1913+16*. Dzięki trwającym od ponad 20 lat obserwacjom udało się wyznaczyć z dużą dokładnością różne parametry jego orbity, w tym okres obiegu i długości osi. Ponieważ pulsar ten porusza się w bardzo silnym polu grawitacyjnym, występuje w jego ruchu wiele efektów przewidywanych przez *Teorię Względności*. Jego orbitę można opisać jako elipsę, której osie obracają się w kierunku obiegu pulsara z prędkością 4.2 stopnia na rok (dla porównania, dla Merkurego ten sam efekt wynosi 43 sekundy łuku na stulecie). Okazało się, że energia ruchu orbitalnego pulsara *PSR 1913+16* maleje z czasem (maleje okres obiegu i średnica orbity), i to dokładnie w takim tempie, jak gdyby unosiły ją fale grawitacyjne (Rys. 6). Dla wielu ludzi jest to wystarczająco przekonujący dowód istnienia fal grawitacyjnych. Inni mówią: nie zaobserwowano drugiego składnika układu podwójnego. Znamy tylko jego masę, nie znamy jego rozmiaru ani momentów multipolowych, ani warunków panujących w jego otoczeniu. Układ może tracić energię na wiele różnych sposobów. Entuzjaści mówią na to: ale dokładnie w takim tempie, jak trzeba, przez tak długi czas byłoby dziwne, gdyby przyczyna była inna. Sceptycy odpowiadają: pomiar parametrów orbity polega na najlepszym dopasowaniu kil-



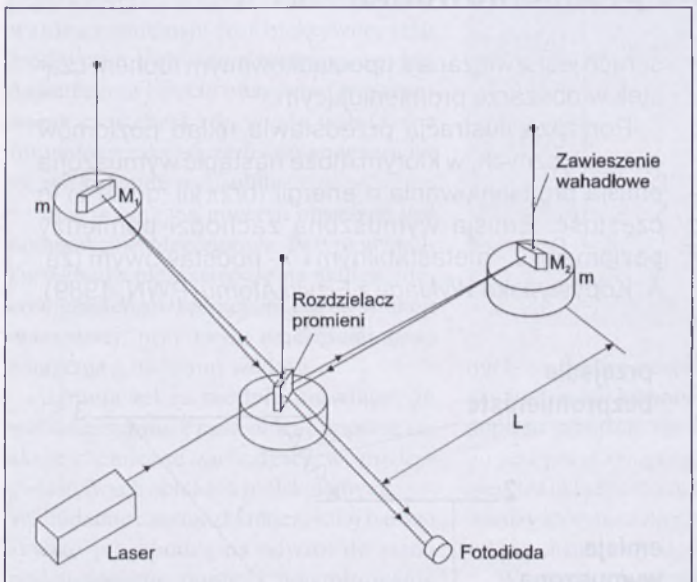
Rys. 6. Zmiany okresu orbitalnego puisara *PSR 1913+16*. Na osi poziomej data obserwacji, na osi pionowej zmiana czasu przejścia puisara przez periastrum (punkt orbity najbliższy drugiego składnika). Gdyby układ nie tracił energii, wykresem tej funkcji byłaby linia pozioma przechodząca przez początek układu (odstępy czasu między kolejnymi przejściami przez periastrum byłyby stale takie same). Wskutek utraty energii średnica orbity maleje, a wraz z nią maleje okres obiegu. Pulsar osiąga kolejne periastra z coraz większym wyprzedzeniem w stosunku do układu nie tracącego energii. Krzywa pokazuje to właśnie wyprzedzenie obliczone z teorii względności przy założeniu, że układ traci energię poprzez emisję fal grawitacyjnych. Punkty pokazują zaobserwowane odchylenia. Zgodność teorii z doświadczeniem jest imponująca, ale położenie punktów doświadczalnych na tym wykresie jest obliczane po elektronicznym odfiltrowaniu innych efektów, mierzonych w oparciu o te same dane obserwacyjne. Poprawność filtrowania jest głównym źródłem kontrowersji.

kudziesięciu nieznanych wielkości do skomplikowanej krzywej wyznaczonej doświadczalnie. Bezpośrednio mierzone są tylko profile czasowe impulsów promieniowania elektromagnetycznego pulsara i chwile ich dotarcia do detektora. W ten sposób można „objaśnić" prawie wszystko.

Nieufność trwa, chociaż badacze pulsara *PSR 1913+16*, J. Taylor i R. Hulse, dostali za swoje wyniki nagrodę Nobla w roku 1993. Zostanie ona przełamana, jeśli uda się zaobserwować fale grawitacyjne bezpośrednio. Jeśli będzie pewne, że naprawdę istnieją, to znikną opory psychologiczne przeciwko używaniu ich do bilansowania energii w obiekcie odległym o 16 300 lat świetlnych.

• • •

Astronomowie i fizycy wiele sobie obiecują po obserwacjach fal grawitacyjnych. Mogą one otworzyć całkiem nowy dział astronomii. To jest jednak temat na osobny artykuł, który stosowniej będzie napisać, gdy fale grawitacyjne będą już odkryte. Opowiadanie o cudownych możliwościach narzędzi, które jeszcze nie zostały stworzone, ma w Polsce zdecydowanie złą tradycję.



Rys. 5. Schemat interferometru laserowego. Fala grawitacyjna zmienia odległości między rozdzielaczem promieni a zwierciadłami na wahadłach, a więc wytwarza różnice dróg optycznych między dwoma promieniami. Wskutek tego zmieniają się położenia prążków interferencyjnych wytworzonych przez promień odbity od zwierciadła M_1 i promień odbity od zwierciadła M_2. Zmianę położenia prążków rejestruje fotodioda.

Andrzej Krasiński jest astrofizykiem w CAMK-u w Warszawie.
Jego naukowe zainteresowania koncentrują się na teoriach kosmologicznych. W PA pisał o sprawie Galileusza i soczewkach grawitacyjnych.

MASERY

nowe narzędzia badań astronomicznych

Leszek P. Błaszkiewicz

W obecnej dobie masery kosmiczne stanowią jedne z najciekawszych obiektów w badaniach radioastronomicznych. Różnorodność molekuł biorących udział w akcji maserowej pozwala na obserwacje wielu miejsc, w których spotyka się masery. Dzięki temu mamy możliwość prowadzenia rozległego zakresu badań kosmosu, od wyznaczania odległości do poprawiania schematów ewolucyjnych gwiazd.

Promieniowanie maserów.

Akcja maserowa oparta jest na wzmocnieniu promieniowania mikrofalowego poprzez emisję wymuszoną (**maser** - ang. *microwave amplification by stimulated emission of radiation*. Fizyczną podstawą tego procesu jest zjawisko **emisji wymuszonej**, którego opis teoretyczny podał już w roku 1916 Albert Einstein (patrz ramka). Po raz pierwszy o zasadzie działania masera mówił w roku 1952 Joseph Weber na konferencji w Ottawie, w Kanadzie. Streszczając swoją pracę z 1951 roku podkreślił, że wzmocnione promieniowanie będzie koherentne (spójne). Mimo solidnych podstaw teoretycznych istniała duża trudność w skonstruowaniu urządzenia, którego podstawą działania byłaby emisja wymuszona. Dopiero C. H. Townes, zainspirowany pracą Webera, podjął próbę skonstruowania masera. Badania prowadzone wraz z grupą współpracowników z Uniwersytetu stanu Columbia nad urządzeniem, w którym substancją aktywną były cząstki amoniaku (NH_3) przyniosły pozytywne rezultaty w roku 1954. Badaniami maserów w tym samym czasie zajmowali się uczeni radzieccy: M. Basow i A. Prochorow. Prace Townesa i uczonych radzieckich uhonorowane zostały w 1963 roku Nagrodą Nobla.

Jak to zazwyczaj bywa, kłopoty z którymi borykają się konstruktorzy na Ziemi zostały rozwiązane w sposób perfekcyjny przez samą Naturę.

Ponad 30 lat temu, w roku 1963, radioastronomowie z Massachusetts Institute of Technology kierowani przez Alana Barretta odkryli promieniowanie radiowe charakteryzujące się dużą koherencją i szczególną monochromatycznością, emitowane przez znajdujące się w przestrzeni międzygwiazdowej wzbudzone molekuły rodnika hydroksylowego **OH**. W odbieranym promieniowaniu linie teoretycznie słabe okazały się niezwykle silne.

Emisja wymuszona promieniowania

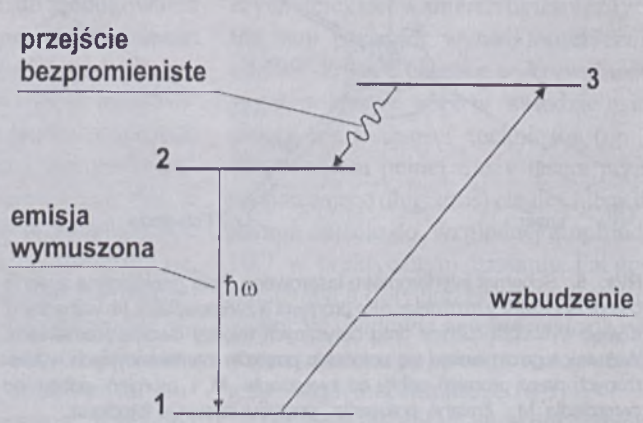
Podstawą działania masera jest wzmocnienie promieniowania poprzez zjawisko **emisji wymuszonej**, które zostało teoretycznie przedstawione w roku 1916 przez Alberta Einsteina.

Można pokazać, że w obecności pola promieniowania zachodzić mogą przejścia w górę związane z **absorpcją** kwantu promieniowania, oraz przejścia w dół, którym towarzyszy emisja promieniowania.

Przejścia z poziomu wyższego na poziom niższy (wcześniej cząstki muszą być wzbudzone) opisują dwa współczynniki Einsteina: *współczynnik emisji spontanicznej* - **A** i *współczynnik emisji wymuszonej* - **B**. Warto nadmienić, że emisja wymuszona następuje w obecności fotonu o energii zbliżonej do energii fotonu emitowanego. Można łatwo pokazać, że w niektórych warunkach, gdy w większości obsadzone są poziomy wzbudzone emisja wymuszona będzie dominować.

Każdy wyemitowany foton może stać się fotonem wymuszającym emisję następnego i dlatego następuje lawinowe wręcz wzmocnienie sygnału - obserwujemy emisję maserową. Zachowana jest przy tym ścisła koherencja emitowanego promieniowania, która w maserach jest związana z uporządkowanym ruchem cząstek w obszarze promieniującym.

Poniższa ilustracja przedstawia układ poziomów energetycznych, w którym może nastąpić wymuszona emisja promieniowania o energii $(h/2\pi)\omega$, gdzie ω to częstość. Emisja wymuszona zachodzi pomiędzy poziomami 2 - metastabilnym i 1 - podstawowym (za: A. Kopystyńska *Wykłady z Fizyki Atomu*, PWN, 1989).



Podobnego typu sygnały zarejestrowali astronomowie z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, w 1965 roku. W tym przypadku sygnał oprócz dużej monochromatyczności i jasności cechowała też prawie całkowita polaryzacja kołowa, co nie jest spotykane w zwykłym promieniowaniu molekuł z przestrzeni kosmicznej.

Niedługo po tych i wielu innych spektakularnych odkryciach obserwacyjnych, wysunięto wniosek, że odbierane promieniowanie, poprzez swój szczególny charakter, jest wynikiem wzmocnienia na skutek akcji maserowej. Do dnia dzisiejszego odkryto emisję maserową kilku molekuł obserwowaną na wielu częstotliwościach, dochodzącą z wielu miejsc w przestrzeni kosmicznej. Możemy zatem dojść do wniosku, że masery są zjawiskiem powszechnym w kosmosie. Pamiętać trzeba jednak, iż emisja maserowa wymaga spełnienia wielu warunków, aby mogła dojść do skutku. Jednym z tych warunków, jest konieczna obecność odpowiedniej ilości cząsteczek w stanie wzbudzonym, w stosunku do cząstek niewzbudzonych, co nosi nazwę **inwersji obsadzeń**.

Co jest powodem powstania inwersji obsadzeń? Otóż najbardziej powszechnym mechanizmem jest wzbudzanie cząstek poprzez ich oddziaływanie z polem promieniowania. Gdy kwant promieniowania (foton) napotka na swej drodze cząsteczkę, może dojść do absorpcji tegoż kwantu, co powoduje jej wzbudzenie. Oczywiście energia absorbowanego kwantu musi odpowiadać różnicy enegii poziomów - podstawowego i wzbudzonego - owej cząsteczki. Takie **pompowanie** promieniste jest efektywne, jeśli źródło promieniowania pompującego jest dostatecznie bliskie obszarowi występowania cząsteczek. Są wtedy wzbudzane fotonami z zakresu zarówno podczerwieni, jak również nadfioletu.

Inną przyczyną inwersji obsadzeń jest pompowanie zderzeniowe. W tym wypadku wzbudzenie następuje na skutek zderzeń cząsteczek biorących udział w akcji maserowej, przy czym najczęściej są to zderzenia z atomami wodoru.

Istnieją także modele mówiące, że wzbudzenie może następować poprzez reakcje chemiczne zachodzące w międzygwiazdowych obłokach molekularnych. Wzbudzone cząsteczki najczęściej bardzo szybko przechodzą na powrót do stanu podstawowego poprzez wyemitowanie kwantu energii. Istnieją jednak takie stany wzbudzone, w których molekuła może pozostać przez czas znacznie dłuższy i noszą one nazwę **stanów metastabilnych**. Często wzbudzone cząsteczki przechodzą od stanów nietrwałych do stanów metastabilnych na drodze bezpromienistej, to znaczy bez emisji kwantu promieniowania, a dopiero przejście do stanu podstawowego jest przyczyną emisji. Oczywiście istnieją też układy czterech i więcej poziomów, między którymi zmieniają się stany cząstek, w których może wystąpić inwersja obsadzeń.

W warunkach ziemskich trudno jest uzyskać inwersję obsadzeń, gdyż każda inwersja jest szybko likwidowana na drodze zderzeń, podczas których następuje wymiana energii. W przypadku kosmicznych maserów ich gęstość jest sto bilionów (10^{14}) razy mniejsza od gęstości ziemskiej atmosfery i na przykład dla masera OH wynosi około 100 000 cząstek w każdym cm^3. Tak więc w warunkach kosmicznych przejście do stanu podstawowego na skutek zderzeń jest znacznie mniej prawdopodobne - może więc nastąpić inwersja obsadzeń.

Gdy większość cząsteczek znajduje się w metastabilnym stanie wzbudzonym, wtedy może dojść do emisji spontanicznej lub wymuszonej, przy czym prawdopodobieństwo tej drugiej jest większe. Żeby jednak wymusić przejście promieniste i w efekcie emisję promieniowania, kwant pola promieniowania winien

Widma molekularne

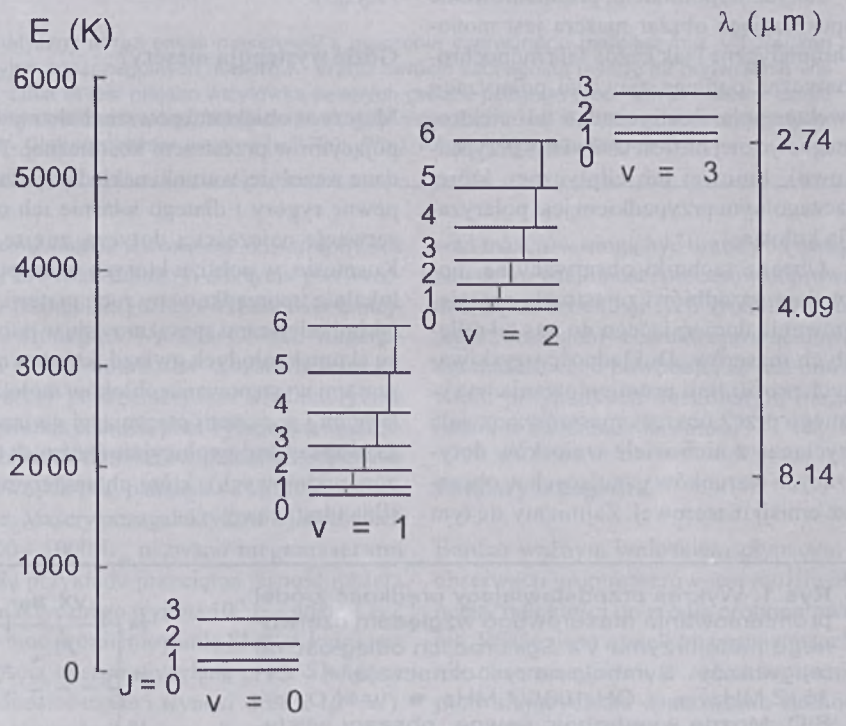
Cząsteczki, ze względu na swą skomplikowaną budowę, posiadają bardzo złożoną strukturę poziomów energetycznych. Wieloatomowo skonstruowane molekuły mogą uzyskiwać i pozbywać się energii nie tylko na skutek przejść elektronowych, ale także wskutek zmian rotacji i odkształceń cząsteczek. Energia rotacyjna i energia oscylacyjna molekuł tworzą układ poziomów energetycznych opisywanych aparatem pojęciowym mechaniki kwantowej. I tak, jeśli **I** będzie momentem bezwładności molekuły, a **J** jej momentem obrotowym (liczbą kwantową rotacji), to przyczynek do energii pochodzący z rotacji wyniesie:

$$E_{rot} = \frac{h^2}{8\pi^2 I} J(J+1)$$

Atomy wchodzące w skład struktury cząstki drgają względem siebie, tworząc układ oscylacyjny opisywany przy pomocy częstości własnej oscylatora ν_0 i liczby kwantowej oscylacji **v**. Część energii wywołana oscylacją wynosi:

$$E_{osc} = (v + \frac{1}{2})h\nu_0$$

Poniższa ilustracja przedstawia układ dolnych oscylacyjno-rotacyjnych poziomów energetycznych cząstki SiO.



posiadać ściśle określoną energię. Nakłada to na obszar emisji maserowej dodatkowe warunki: ruch molekuł musi być w miarę uporządkowany. W przypadku bowiem ruchów chaotycznych rozrzut częstotliwości spowodowany przesunięciem dopplerowskim (analogicznie do fal akustycznych, których długość zależy od stanu ruchu względnego emitera i odbiornika) dawałby zbyt dużą rozpiętość energii emitowanych kwantów (energia jest odwrotnie proporcjonalna do długości fali) i tylko niewielka ich liczba byłaby w stanie wymusić następne przejścia promieniste.

Jeżeli wyżej wymienione warunki są spełnione, wtedy emitowane mikrofale na swej drodze poprzez obszar masera ulegają wzmocnieniu na skutek wymuszania emisji kolejnych kwantów. Jeśli każdy wyemitowany foton na swej drodze napotyka wzbudzoną molekułę, wtedy wzmocnienie promieniowania jest eksponencjalne. W takim wypadku mamy do czynienia z tzw. **nasyceniem**.

Jak już wspomiałem, promieniowanie opuszczające obszar masera jest monochromatyczne i jak każda fala monochromatyczna podlega zjawisku polaryzacji (wektor pola elektrycznego fali elektromagnetycznej nie jest ustawiony przypadkowo), liniowej lub eliptycznej, której szczególnym przypadkiem jest polaryzacja kołowa.

Obecne techniki obserwacyjne, pozwalają na odbiór i rejestrację promieniowania docierającego do nas od odległych maserów. Dokładność uzyskiwanych profili linii promieniowania wysyłanego przez obszary maserów pozwala wyciągać z nich wiele wniosków dotyczących warunków panujących w obszarze emisji maserowej. Zajmiemy się tym w dalszej części artykułu.

Ważnym parametrem charakteryzującym promieniowanie maserowe jest temperatura jasnościowa, będąca miarą natężenia promieniowania, która odpowiada temperaturze ciała doskonale czarnego emitującego taką samą ilość energii w danej długości fali. Źródła maserowe poprzez swą bardzo dużą skalę wzmocnienia osiągają wysoką temperaturę jasnościową, w wielu przypadkach przekraczającą swą wartością temperaturę opisującą promieniowanie opuszczające powierzchnie gwiazd.

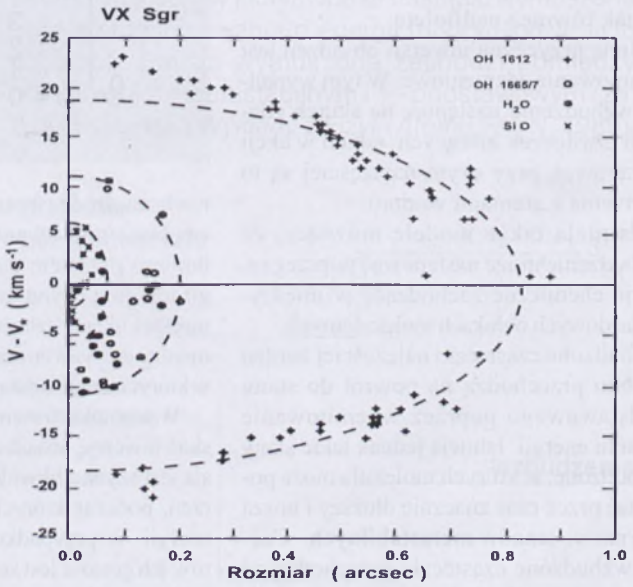
Obserwacje prowadzone techniką interferometrii wielkobazowej (**VLBI** - ang. *Very Long Baseline Interferometry*), czyli kilkoma oddalonymi od siebie radioteleskopami jednocześnie, dzięki dużej rozdzielczości kątowej odkrywają przed obserwatorami inne oblicze źródeł maserowych - obszarów usianych niewielkimi, w skali kosmicznej, plamkami emitującymi promieniowanie maserowe (patrz Rys.1 i Rys.3).

Gdzie występują masery?

Masery są obiektami powszechnie występującymi w przestrzeni kosmicznej. Podane wcześniej warunki nakładają jednak pewne rygory i dlatego właśnie ich obserwacje najczęściej dotyczą miejsc w Kosmosie, w pobliżu których występuje lokalnie uporządkowany ruch materii. Z takimi miejscami spotykamy się w pobliżu skupisk młodych gwiazd, które są obszarami występowania obłoków molekularnych i w materii otaczającej gwiazdy zaawansowane ewolucyjnie (późnych typów widmowych), które charakteryzuje silna utrata masy.

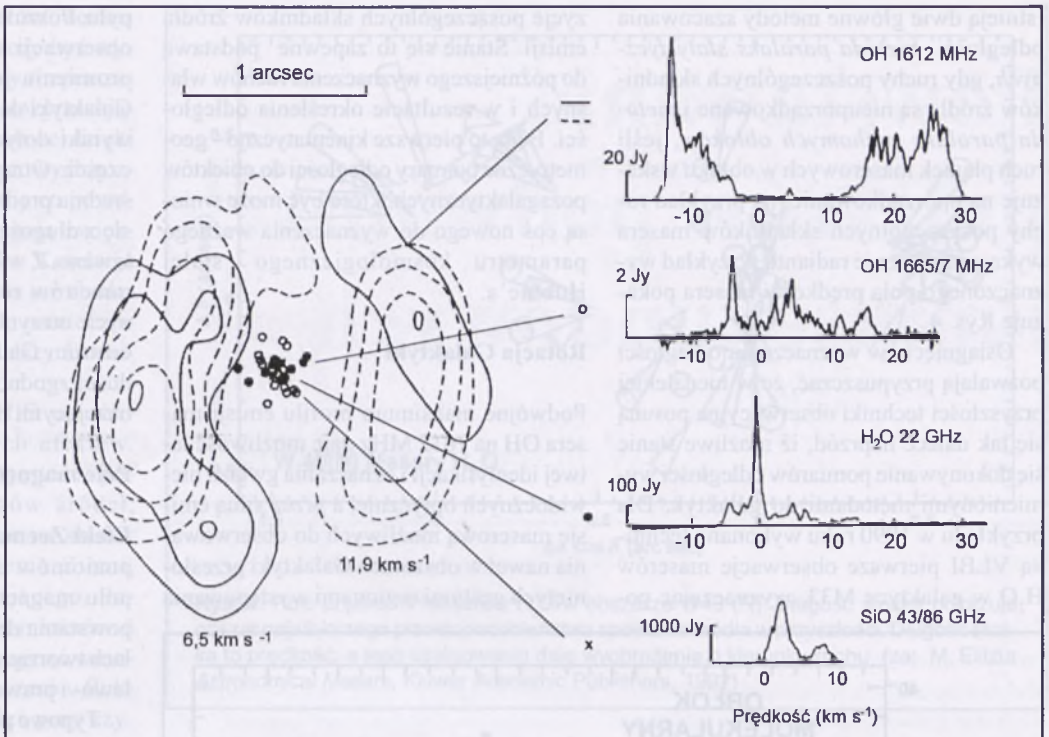
W obu wymienionych przypadkach kształt obszarów emitujących promieniowanie maserowe jest różny, zaczniemy zatem prezentację od otoczeń gwiazd starych. Masery w takim przypadku powstają w otoczkach materii wypływającej z gwiazdy centralnej, która jest także źródłem energii wzbudzającej molekuły. Jak możemy się domyślać temperatura wzbudzenia jest dla różnych molekuł różna, dlatego pewne rodzaje maserów występują bliżej powierzchni gwiazdy, inne zaś, dla których temperatura wzbudzenia jest mniejsza spotyka się w pewnym oddaleniu. Najbliżej gwiazdy centralnej, w bezpośredniej bliskości powierzchni obserwuje się masery SiO. Nieco dalej znajduje się region ze źródłami emisji charakteryzującej masery H_2O oraz masery OH 1665 i 1667 MHz. W odległości zaś nawet tysiąca jednostek astronomicznych od gwiazdy rozciaga się rejon emisji maserów OH 1720 i 1612 MHz. Regiony występowania różnych typów maserów są oczywiście rozciągłe i trudno wyznaczyć ścisłe granice ich występowania, niemniej pewnym przybliżeniem obszarów występowania maserów wokół czerwonych nadolbrzymów mogą być sferyczne otoczki o określonej grubości. To właśnie ekspansja owych otoczek wprowadza uporządkowanie ruchu i stwarza możliwości zaistnienia efektu wzmocnienia promieniowania.

Graficzny przykład takiego obszaru otaczającego czerwonego nadolbrzyma pokazuje Rys. 1 będący graficznym przedstawieniem danych dotyczących prędkości maserów i ich odległość od gwiazdy. Warto zauważyć fakt, że emisja maserowa z otoczki okalającej gwiazdę jest najsilniejsza dla obszarów leżących na linii skierowanej ku obserwatorowi, a więc z obszaru najbliższego



Rys.1. Wykres przedstawiający prędkość źródeł promieniowania maserowego względem czerwonego nadolbrzyma *VX Sgr* oraz ich odległość od tej gwiazdy. Symbole na rys. oznaczają: + – OH 1612 MHz, o – OH 1665/7 MHz, ● – H_2O, × – SiO. Można wyodrębnić pewne obszary występowania różnych maserów. Widzimy, że masery SiO przez to, że posiadają wyższą temperaturę wzbudzenia, położone są bliżej gwiazdy, rozpiętość zaś położenia i prędkości ekspansji wokół gwiazdy centralnej maserów OH 1612 MHz jest największa. Upraszczając nieco możemy spróbować wyobrazić sobie masery tego samego typu i o podobnych prędkościach jako obraz trójwymiarowy. Dostrzeżemy wtedy skomplikowany układ ekspandujących sfer, które zawierają poszczególne masery świecące spójnymi wiązkami, przypominając tym samym sobą kulę pokrytą rozchodzącymi się promieniście liniami. Najsilniejsze promieniowanie dobiega do nas z obszarów leżących na drodze gwiazda - Ziemia (za: M. Elitzur *Astonomical Masers*, Kluwer Academic Publishers, 1992).

nam i regionów leżących po drugiej stronie gwiazdy. Wspomiany już wcześniej efekt Dopplera powoduje rozdzielenie linii emisyjnej, a wzajemna odległość składników odpowiada różnicy prędkości radialnych emitujących obszarów. Takie podwojone maksimum linii maserów OH jest znakiem szczególnym pewnej klasy czerwonych olbrzymów i pozwala wykrywać je, nawet jeśli ich obserwacja w dziedzinie optycznej jest niemożliwa. Z czasowych różnic zmian wspomnianej podwojonej linii możemy też wnioskować o rozmiarach otoczki. Przykłady widm maserów otaczających gwiazdę późnego typu pokazuje Rys. 2.



Rys. 2. Schematyczny obraz emisji maserowej z otoczenia czerwonego nadolbrzyma *VX Sagitari* oraz linie emisyjne poszczególnych maserów. Warto zwrócić szczególną uwagę na podwojenie linii OH 1612 MHz. Linia ta jest niejako wizytówką pewnych gwiazd późnego typu, które możemy dzięki emisji maserowej dostrzec i sklasyfikować nawet, gdy niewidoczne są dla teleskopów optycznych. (za: R. J. Cohen *Compact maser sources* [w:] *Rep. Prog. Phys.*, 1989, **52**, 881 - 943).

Obszary powstawania gwiazd, to rozległe regiony stanowiące kłębowisko protogwiazd i niewykorzystanego budulca, którego fragmenty poruszają się w sposób mniej lub bardziej uporządkowany. Takie właśnie obszary zawierające cząstki są silnymi emiterami promieniowania maserowego. Masery występujące w miejscach powstawania gwiazd obecne są w pobliżu obszarów zjonizowanego wodoru, które tworzą **regiony H II**.

Miejsca narodzin gwiazd - gigantyczne obłoki molekularne - osiągają rozmiary kilkudziesięciu parseków (1 pc = 3.26 roku świetlnego = ok. 30 bilionów km). Obszary, gdzie formują się gwiazdy mają rozmiary rzędu parseka. W tych proporcjach rozmiary poszczególnych maserów wydają się być niewielkie. Gromady maserów mają rozmiary około 100 mld km, a poszczególne źródła promieniowania są nawet tysiąckrotnie mniejsze - mają rozmiary rzędu 1 jednostki astronomicznej (1 j.a. = 149.6 mln km).

Spektakularny przykład skupiska małych plamek maserowych (przypominam, że ich rozmiary mają rząd 1 j.a.) pokazuje Rys. 3 przedstawiający masery w Molekularnym Obłoku Oriona.

Źródłami obserwowanej emisji maserowej są nie tylko obszary w Galaktyce - także obiekty pozagalaktyczne zawierają źródła emisji maserowej. Pierwszą obserwację takiego pozagalaktycznego masera OH na częstości 1665 MHz przeprowadzono w 1971 roku. Sześć lat później odkryto pozagalaktyczny maser H_2O, a styczniowy numer *Astronomy & Astrophysics* z 1996 roku donosi o odkryciu pierwszego pozagalaktycznego źródła SiO umiejscowionego w Wielkim Obłoku Magellana (Patrz notatka w *Rozmaitościach*). Masery pozagalaktyczne charakteryzuje ogromna jasność, przewyższająca stukrotnie jasność maserów galaktycznych, a w pewnych przypadkach nawet milionkrotnie. Masery pozagalaktyczne o jasnościach 100 - 1000 $L_\odot$ nazwano **megamaserami** (dla przykładu przeciętna jasność masera galaktycznego wynosi 10^{-3} $L_\odot$, gdzie 1 $L_\odot$, to moc promieniowania Słońca, która jest ilością energii wysyłaną przez Słońce w jednostce czasu i wynosi 3.82×10^{26} W).

Naturalne masery odkrywa się nie tylko w obszarach głębokiego Kosmosu, ale także zupełnie blisko, bo w Układzie Planetarnym. Zaobserwowano bowiem słabą emisję maserów OH i H_2O w obszarach stanowiących atmosferę (głowę) komety.

Masery źródłem informacji o Kosmosie

Analizowanie promieniowania kosmicznych maserów przynosi wiele informacji dotyczących środowiska, w którym masery występują i ośrodka, przez który promieniowanie maserowe przechodzi w drodze do nas od źródła. Niektóre z zastosowań maserów mogą być brane pod uwagę nawet bez znajomości procesów doprowadzających do emisji tych źródeł. Uogólniając, szczególny charakter promieniowania maserowego powoduje, że jest ono w wielu przypadkach doskonałym narzędziem w badaniach Kosmosu.

Pomiary odległości

Bardzo ważnym wnioskiem płynącym z obserwacji grup maserów jest możliwość oceny odległości do źródła promieniowania. Wiąże się to z wielkim postępem technik obserwacyjnych w radioastronomii, pozwalających na szacowanie ruchów własnych odległych obiektów z dwóch obserwacji odległych w czasie zaledwie o kilka miesięcy. Dla porównania przypomnę, iż ruchy własne gwiazd wyznacza się w astronomii optycznej przez porównywanie obrazów nieba wykonywanych w odstępie nawet dziesięcioleci.

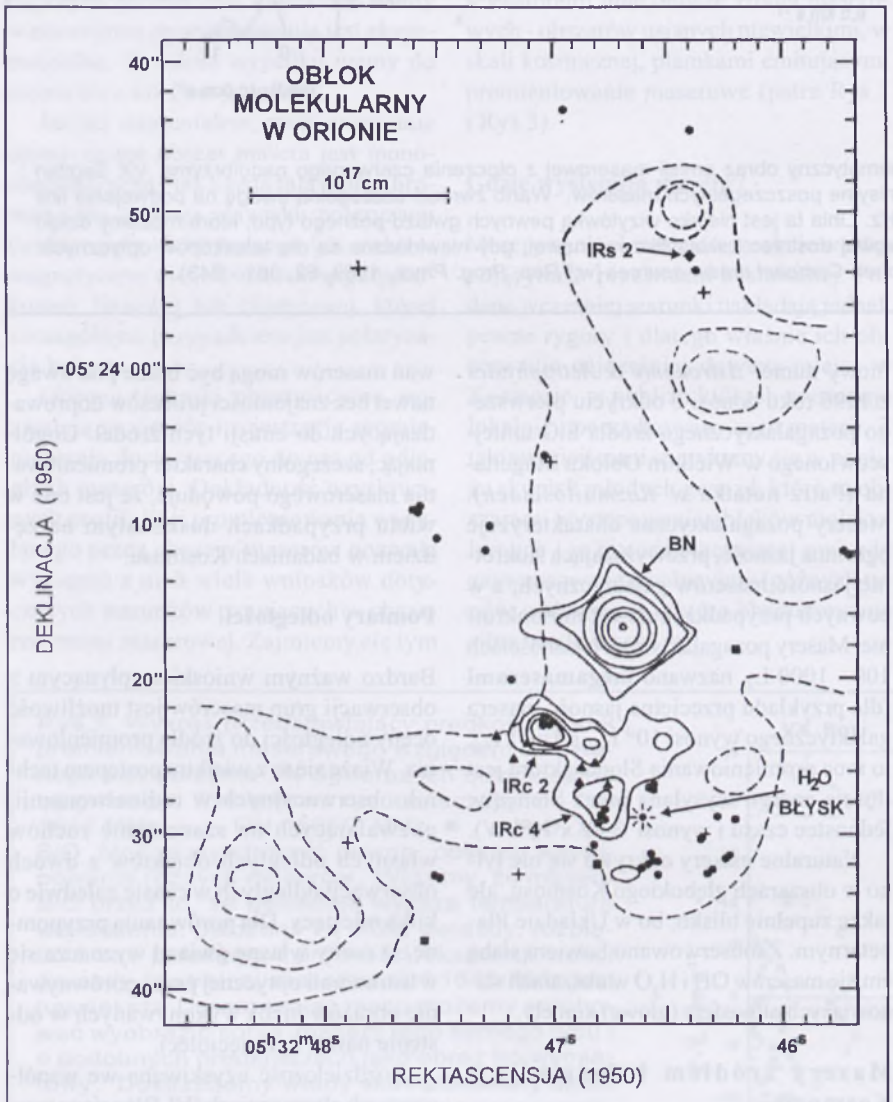
Rozdzielczość uzyskiwana we współczesnych obserwacjach (VLBI) osiąga wartość 0.1 milisekund łuku. Oznacza to, że napisany tu tekst można z pomocą techniki VLBI rozdzielić na elementy umożliwiające swobodne czytanie nawet z odległości 5000 km. Taka rozdzielczość przy niewielkich rozmiarach maserów pozwala na dokładne wyznaczanie ich ruchu.

Istnieją dwie główne metody szacowania odległości: *metoda paralaks statystycznych*, gdy ruchy poszczególnych składników źródła są nieuporządkowane i *metoda paralaks ruchomych obłoków*, jeśli ruch plamek maserowych w obłoku wskazuje na uporządkowanie, na przykład ruchy poszczególnych składników masera wykazują istnienie radiantu. Przykład wyznaczonego pola prędkości masera pokazuje Rys. 4.

Osiągnięcia w wyznaczaniu odległości pozwalają przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości techniki obserwacyjne posuną się tak dalece naprzód, iż możliwe stanie się dokonywanie pomiarów odległości wymienionymi metodami do galaktyk. Dla przykładu w 1990 roku wykonano techniką VLBI pierwsze obserwacje maserów H_2O w galaktyce M33, wyznaczając pozycje poszczególnych składników źródła emisji. Stanie się to zapewne podstawą do późniejszego wyznaczenia ruchów własnych i w rezultacie określenia odległości. Będą to pierwsze kinematyczno - geometryczne pomiary odległości do obiektów pozagalaktycznych, które być może wniosą coś nowego do wyznaczenia ważnego parametru kosmologicznego - stałej Hubble'a.

Rotacja Galaktyki

Podwójne maksimum profilu emisji masera OH na 1612 MHz daje możliwość łatwej identyfikacji i oznaczania gwiazd niewidocznych optycznie, a przez silną emisję maserową możliwych do obserwowania nawet w obszarach Galaktyki przesłoniętych gęstymi regionami występowania pyłu. Poszukiwania gwiazd możliwych do obserwacji w zakresie podczerwieni w promieniu jednego stopnia od centrum Galaktyki dało pierwsze bardzo dokładne wyniki dotyczące rotacji centralnych jej części. Otrzymane wyniki pokazały, że średnia prędkość radialna gwiazd zmienia się z długością galaktyczną, tak jak oczekiwano. Z wyznaczonych w ten sposób parametrów rotacji i rozważań dynamicznych otrzymano rozkład mas w pobliżu centrum Galaktyki. Okazał się on być w dużej zgodności z innymi wyznaczeniami bazującymi na odmiennych założeniach.



Rys. 3. Mapa regionu wokół mgławicy Kleinmanna - Lowa w Orionie. Linie przerywane pokazują obszary emisji wodoru molekularnego, a linie ciągłe - obszary emisji promieniowania o długości fali 8.6 mikrona. BN oznacza obiekt Becklina-Neugebauera; zaznaczono też dobrze znane źródła podczerwieni IR. Masery OH 1665 MHz zaznaczono Δ, masery H_2O o małej prędkości przedstawiono jako ●, te o dużej prędkości oznaczono +, pozycje maserów CH_3OH pokazują (za: M. J. Reid, J. M. Moran *Masers* [w]: *Ann. Rev. Astron. Astroph.*, 1981, **19**: 231 - 276)

Pole magnetyczne Galaktyki

Efekt Zeemana polega na rozszczepieniu poziomów energetycznych molekuł w polu magnetycznym, doprowadzając do powstania dodatkowych struktur w profilach tworzących pary, które charakteryzuje lewo- i prawoskrętna polaryzacja kołowa.

Typowe pole magnetyczne w regionach HII ma natężenie kilka mGs (miligaussów) i jest w stanie spowodować pojawienie się efektu Zeemana, przy czym odległość powstałych w ten sposób par w widmie jest zależna od natężenia pola magnetycznego, które możemy ocenić badając uzyskane profile linii. Pomiary efektu Zeemana w profilach emisji maserów OH i polaryzacji składników powstałych par dają możliwość określenia kierunku pola magnetycznego.

Stosując te zasady dokonano pomiaru pola magnetycznego z efektu Zeemana dla 17 maserów OH w Galaktyce. 14 spośród tych źródeł wykazało kierunek pola zgodny z kierunkiem rotacji Galaktyki. Obserwacje te sugerują, że kierunek pola magnetycznego jest zachowany podczas kontrakcji obłoków molekularnych od gęstości międzygwiazdowej (~ $1cm^{-3}$), poprzez gęstość wielkich obłoków molekularnych (~ 10^3 cm^{-3}), aż do gęstości maserów OH (~ 10^7cm^{-3}) występujących w pobliżu formujących się gwiazd. Galaktyczne pole magnetyczne jest dominującą siłą w procesach kolapsu materii ku gęstościom gwiazdowym.

Rozpraszanie promieniowania maserów

Promieniowanie radiowe przechodząc przez plazmę międzygwiazdową zostaje zmienione na skutek rozproszenia. W rozpraszaniu promieniowania mają udział efekty ugięcia i załamania biegu promieni związane z wielkoskalową strukturą zmian gęstości elektronów w środowisku rozpraszającym.

Poszczególne składniki maserów dostarczają spójny sygnał, który może być wykorzystany w badaniu efektów rozpraszania i sondowania wielkości rozpraszających obszarów. Jest to możliwe dzięki efektowi powiększania się kątowych rozmiarów na skutek rozpraszania co powoduje, że pozorne rozmiary ulegają zwiększeniu z odległością do źródła. Korelacja „rozmiary - odległość" została już zbadana dla maserów OH i H_2O, ostateczne wnioski wymagają jednak dalszych wnikliwych analiz.

Obserwacje maserów H_2O umożliwiają pomiary także innych efektów. Fluktuacje wielkoskalowe gęstości powodują odchylenia obrazów źródeł, które zmieniają się w czasie na skutek zmian wzajemnego położenia Ziemi, masera i ośrodka rozpraszającego. Porównując zatem obserwacje maserów z różnych epok, możemy wyciągnąć wnioski dotyczące rozmiarów obszarów fluktuacji gęstości. W przyszłości, przy użyciu technik VLBI, takie badania mogą przynieść wiele ciekawych wyników.

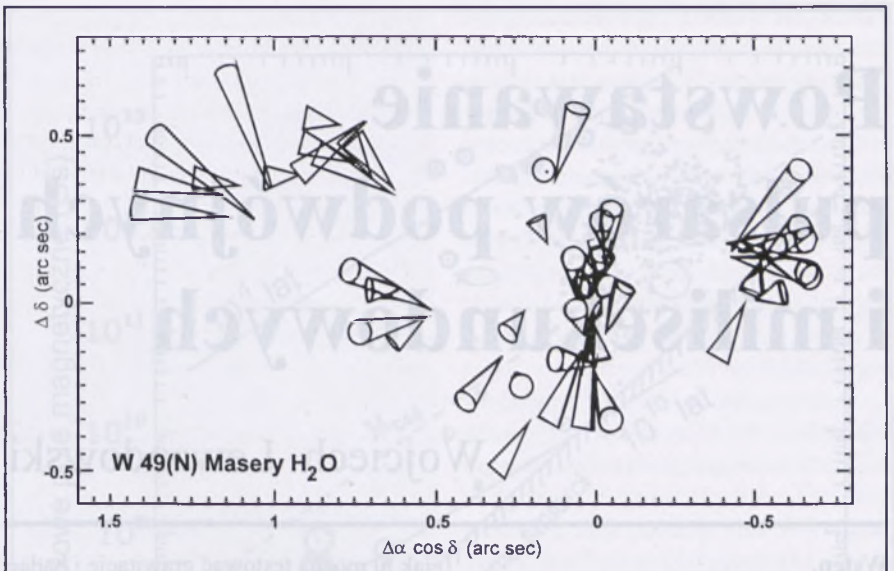
Struktura dysków wokółgwiazdowych

Obszary mgławicowe, takie jak Obłok Molekularny Oriona (Rys. 3) są miejscami narodzin gwiazd. Obserwacje maserów mogą dużo powiedzieć o tych obszarach, a szczególnie o najbliższym otoczeniu protogwiazd. Dzięki badaniu maserów potwierdzono pewne teorie dotyczące tworzenia się dysków gazowo-pyłowych wokół młodych gwiazd.

Obserwacje i na ich podstawie badanie struktury i ewolucji dysków wokół nowo powstałych gwiazd jest wielkim wyzwaniem dla astronomów. Przeprowadzone obserwacje maserów SiO na częstości 86 GHz dały bardzo ciekawe obrazy rozmieszczenia składników masera w dysku okołogwiazdowym. Obraz składników tego masera umiejscowionego w Orionie pozwala wyciągnąć wnioski dotyczące kształtu i rozmiarów dysku. Istnieje duża zgodność danych obserwacyjnych i pewnych obliczeń mających na celu wymodelowanie tego obszaru, w którym ekspandujący dysk nachylony jest do obserwatora pod kątem około 45^0 i ma rozmiary w przybliżeniu 80 jednostek astronomicznych.

Schematy ewolucyjne gwiazd późnego typu

Emisja maserowa w otoczeniu gwiazd późnych typów pokazuje istnienie jej zbieżności z określonymi właściwościami otoczenia owych gwiazd. Zbieżności te są



Rys. 4. Pole prędkości maserów H_2O w obszarze W49 (N). Długość stożka pokazuje obszar największego prawdopodobieństwa spotkania źródła w przyszłości. Długość stożka to prędkość, a jego usytuowanie daje wyobrażenie o kierunku ruchu (za: M. Elitzur *Astronomical Masers*, Kluwer Academic Publishers, 1992)

prostą konsekwencją szczegółowej struktury otoczenia gwiazdy, czym objawia się jej stopień ewolucyjnego zaawansowania. Daje to interesujące możliwości analizy statystycznej traktującej gwiazdy otoczone maserami jako jednej z populacji, co może dostarczyć informacji o końcowych fazach ewolucji na asymptotycznej gałęzi olbrzymów.

Badanie maserów OH 1612 MHz pokazało, że istnieje zależność pomiędzy własnościami tych maserów i tempem utraty materii dM/dt przez gwiazdę, w której otoczeniu się znajdują. Tempo utraty masy jest jednocześnie proporcjonalne do czasu spędzonego przez gwiazdę w fazie emisji maserowej OH. Pokazać przeto można, że dla dowolnej chwili tempo utraty masy dM/dt jest odwrotnie proporcjonalne do masy otoczki. W początkowej fazie emisja masera OH 1612 MHz wiąże się z wiatrem gwiazdowym powodującym utratę masy na poziomie $> 3\ 10^{-6}\ M_\odot$ na rok. Utrata otoczki przyspiesza tempo utraty masy przez gwiazdę, aż do wejścia jej w fazę superwiatru, który unosi sobą powyżej $10^{-5}\ M_\odot$ na rok. Okres ten jest relatywnie krótki w życiu gwiazdy i poprzedza pojawienie się mgławicy planetarnej. Obserwacje pokazują, że większość gwiazd znajduje się w fazie zwykłego wiatru, a tylko 1% w fazie superwiatru.

Prowadzone są także obserwacje maserów SiO i H_2O występujących w otoczkach gwiazd późnego typu. Studia dotyczące schematów ewolucyjnych gwiazd dostarczają ekscytującego zajęcia dla badaczy maserów. Masery służyć mogą w tym wypadku do oznaczania zaawansowania ewolucyjnego gwiazd późnego typu, które całkowicie ukryte są dla naszych oczu w otaczającej je pyłowej otoczce.

Zakończenie

Masery kosmiczne stanowią dziś dla astronomów źródło wiedzy o otaczającym nas świecie i warunkach w nim panujących. Odkrywane lawinowo są dowodem na ich powszechność i jednocześnie na nieograniczone wręcz bogactwo Natury, której laboratoria służą poznawczym celom człowieka. Masery, będąc jednym z wielu ogniw w łańcuchu budowy Wszechświata, tak jak wiele innych zjawisk w Kosmosie stają się w oczach astronomów nierozerwalną częścią cyklu ewolucyjnego, jednak - co zaskakujące - pojawiają się w ewolucji materii dwukrotnie: podczas narodzin gwiazd i w czasie ich dogorywania. Masery wreszcie to nie tylko domena Kosmosu. Dowodem tego niech będą wybudowane przez człowieka najdokładniejsze wzorce częstotliwości, których działanie oparto na maserowym wzmocnieniu emisji wodoru H. Niesłychana dokładność wskazań takich wzorców jest podstawą współczesnej służby czasu.

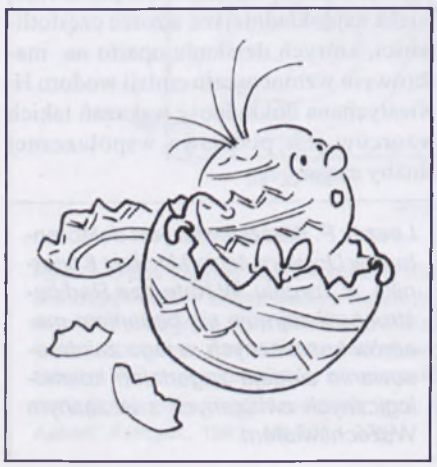
Leszek P. Błaszkiewicz jest doktorantem w Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, w Toruniu. W Katedrze Radioastronomii zajmuje się badaniem maserów kosmicznych, a jego zainteresowania sięgają zagadnień kosmologicznych związanych z wczesnym Wszechświatem.

Powstawanie pulsarów podwójnych i milisekundowych

Wojciech Lewandowski

Wstęp.

Kilka lat temu mieliśmy okazję być świadkami prawdziwego „boomu" informacyjnego związanego z pulsarami milisekundowymi. Złożyło się na to kilka efektów. Po pierwsze obiekty tego typu zaczęto, dzięki postępowi w dziedzinie technik obserwacyjnych, obserwować „na potęgę". Na efekty, czyli to „drugie" nie trzeba było długo czekać. Wspomnę tu tylko wszystkim powszechnie znane sprawy - potwierdzenie *Ogólnej Teorii Względności* (i nagroda Nobla za to), czy odkrycie planet wokół pulsara. Szczególnie to drugie poruszyło do głębi nie tylko astronomów, ale też i szersze kręgi. Dużo mówiło się i pisało o teoriach powstawania planet wokół pulsara, mniej o pulsarach milisekundowych jako takich, a już w ogóle poza specjalistycznymi artykułami nikt nie wspominał głębiej o tym, skąd biorą się pulsary milisekundowe. Podejrzewam, że nawet astronomowie w większości wiedzą tylko tyle, że są to stare, wygasłe, a potem na nowo „rozkręcone" pulsary. Mało kto zdaje sobie sprawę, jak złożone jest to zagadnienie i ile „kruczków" się w nim kryje. A przecież, jak tu można testować grawitację i badać planety wokół pulsara, nie wiedząc skąd on sam się wziął. Bez znajomości teorii powstawania pulsarów milisekundowych dostajemy niepełny obraz, przyglądamy się na przykład planetom „od połowy", nie wiedząc co było na początku.



Wiele ze wspomnianych tu teorii i pomysłów wymagać może głębszego zastanowienia. Jednak nawet tak mała dziedzina astronomii, jaką próbuje podsumować ten artykuł jest już zbyt rozwinięta, by rozwikłać wszystkie jej problemy na kilku kartkach papieru. Z tej też przyczyny niektórzy mogą odnieść wrażenie, że patrzą na czubek góry lodowej - i będzie to prawda. Skłoni ich to zapewne do samodzielnego zagłębienia się w temat, z pomocą bardziej szczegółowej literatury.

Niniejszy artykuł ma za zadanie przybliżyć czytelnikom naszą aktualną wiedzę na temat powstawania pulsarów milisekundowych. Najważniejsze są bowiem początki. Można by powiedzieć: „Czym skorupka za młodu... takiego będziemy mieli pulsara".

Kilka zdań na temat pulsarów.

Nie jest celem tego artykułu podsumowanie naszej wiedzy na temat pulsarów „w ogólności", nie mniej jednak warto wspomnieć kilka zasadniczych kwestii, tak aby uzyskać pewne podłoże.

Wszyscy obecnie zgadzają się z teorią, która tłumaczy promieniowanie pulsara korzystając z modelu „latarni morskiej". Szybko rotująca gwiazda neutronowa, obdarzona silnym polem magnetycznym omiata Wszechświat wiązką promieniowania radiowego. Jeśli mamy szczęście i wiązka ta omiecie Ziemię - zaobserwujemy puls radiowy. Obrót pulsara jest bardzo stabilny, toteż pulsy pojawiają się z nieosiągalną nawet dla zegarów atomowych dokładnością. Jeśli zaś pulsar nie jest tak idealnie stabilnym zegarem - pozostaje się tylko cieszyć, gdyż być może mamy szansę odkryć nowy układ planetarny, lub obalić teorię Einsteina.

Tak jak większość prac poświęconych zwykłym gwiazdom i ich ewolucji zaczyna się od *diagramu Hertzsprunga - Russella* (*H-R*), tak w wypadku pulsarów takim kanonicznym wykresem jest diagram P-B (Rys. 1 i 2) (Bailes 1989; Phinney, Kulkarni 1994), który można nazwać *wykresem H-R dla pulsarów*. Na osi rzędnych tego wykresu odłożony jest okres pulsara *P*, najczęściej w skali logarytmicznej. Oś odciętych mówi o jego polu magnetycznym *B*, w niektórych zaś jego wersjach na osi pionowej odłożone jest spowolnienie jego rotacji dP/dt [1]. Wielkości te są od siebie zależne i wygląd diagramu P-B nie zmienia się specjalnie, gdy zamienimy B na dP/dt. Dokładniej rzecz biorąc to właśnie spowolnienie jest wielkością obserwowalną, a natężenie pola właściwie powinno zwać się „wnioskowanym polem" (ang. *inferred magnetic field*). Wyliczane jest ono ze wzoru podanego już w 1969 roku przez Ostrikera i Gunna:

$$B = \left(\frac{3Ic^3}{8\pi^2 R^6} \right) \sqrt{P \frac{dP}{dt}}$$

Gdzie :

B - dipolowa składowa pola magnetycznego, uśredniona po całej powierzchni gwiazdy,

I - moment bezwładności pulsara,

R - jego promień,

c - prędkość światła.

Mając taki wykres możemy prześledzić wczesne etapy ewolucji pulsara. Pulsary rodzą się z okresami rzędu 10 do 20 milisekund i polami magnetycznymi rzędu 10^{12} do 10^{13} gaussów [2]. Wyświecając swą energię rotacyjną poruszają się na wykresie na prawo, niemal zachowując pole magnetyczne i spowalniając obrót (patrz linie ciągłe na Rys. 2). Pole magnetyczne pulsara nie pozostaje jednak stałe i zaczyna maleć w sposób wykładniczy, z charakterystyczną skalą czasową rzędu

[1] Jest to skutek uboczny, powstający w wyniku promieniowania pulsarów. Świecą one wykorzystując swą energię rotacyjną, czego objawem jest spowolnienie.

[2] Normalne gwiazdy ekstremalnie osiągają 10^4 Gs, polary nie więcej niż 10^7 Gs.

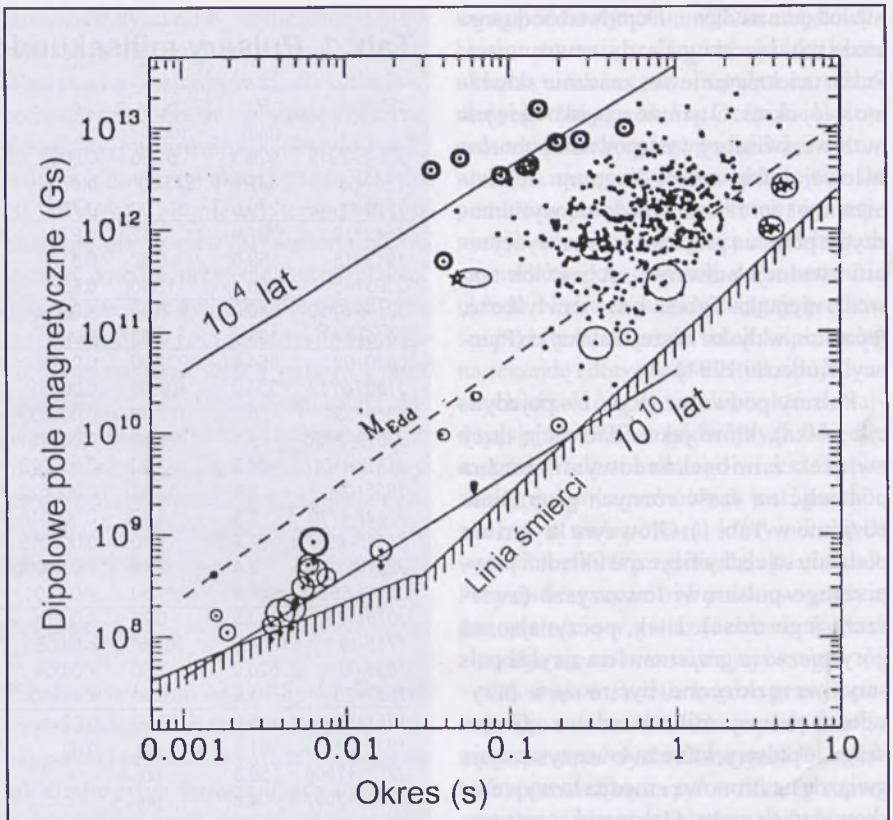
4×10^6 lat (Phinney, Kulkarni, 1994). Pulsar na wykresie P - B zaczyna poruszać się w dół. Z przyczyn fizycznych nie obserwuje się jednak pulsarów poniżej tzw. linii śmierci (ang. *death line* - Rys. 1 i 2) - nie są one w stanie wtedy promieniować. Zagęszczenie pulsarów w prawej części, ponad linią śmierci, wywołane jest dość długim czasem życia w tym stadium. Na „cmentarzysku", czyli poniżej linii śmierci należałoby umieścić zapewne tysiące, jeśli nie więcej gwiazd neutronowych, wygasłych pulsarów, które z pewnością liczbą przewyższają obecnie obserwowane.

Istnienie linii śmierci jest przewidziane teoretycznie, toteż można wyznaczyć jej równanie:

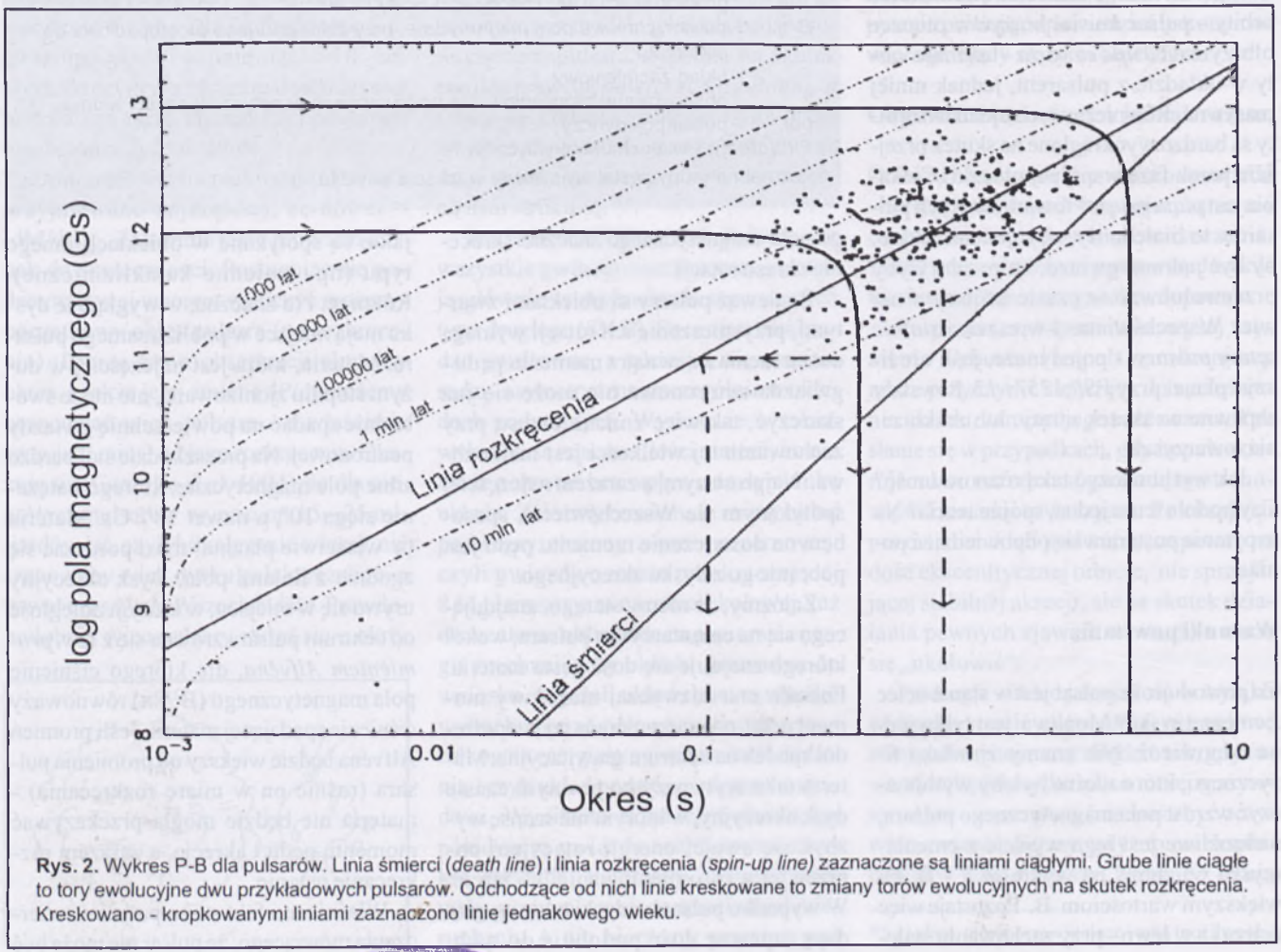
$$\frac{dP}{dt} = \alpha P^{\beta}$$

Taka potęgowa zależność daje właśnie efekt linii prostej na wykresie logarytmicznym. Czynnik α jest stałą proporcjonalności, a wykładnik β przyjmuje wartość od 2.25 do 2.5.

Dla większości pulsarów tutaj, na cmentarzysku, żywot się kończy. Jednakże cud zmartwychwstania zdarza się im częściej,



Rys. 1. Diagram okres - pole magnetyczne (P-B) dla pulsarów. Pojedynczymi okręgami zaznaczone są pulsary podwójne, podwójnymi - te, które leżą w pozostałościach po wybuchach supernowych. Linia śmierci zaznaczona jest linią z kreskami.



Rys. 2. Wykres P-B dla pulsarów. Linia śmierci (*death line*) i linia rozkręcenia (*spin-up line*) zaznaczone są liniami ciągłymi. Grube linie ciągłe to tory ewolucyjne dwu przykładowych pulsarów. Odchodzące od nich linie kreskowane to zmiany torów ewolucyjnych na skutek rozkręcenia. Kreskowano - kropkowanymi liniami zaznaczono linie jednakowego wieku.

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w TORUNIU

niż ludziom na Ziemi. Doprowadzić do tego może rozkręcenie gwiazdy neutronowej. Pulsar ucieknie na lewo, znacznie skracając swój okres. O tym, że zjawisko takie jest możliwe, świadczy występowanie pulsarów w lewej dolnej części diagramu. Ich istnienia w tym rejonie nie da się wytłumaczyć z pomocą przytoczonej powyżej teorii ewolucji pulsarów. A jest ich tam wcale niemało. Tabela 1 zawiera tylko te, które leżą w dysku naszej Galaktyki (Phinney, Kulkarni 1994).

Pulsary podwójne (Rys. 1 - pojedyncze kółka), które jak widać mają duży związek z milisekundowymi, można podzielić na sześć różnych grup (linie poziome w Tab. 1). Głównym kryterium podziału są cechy fizyczne układu i przypisanego pulsarowi towarzysza (zwłaszcza jego masa). I tak, poczynając od góry, *pierwsza grupa* zawiera zwykłe pulsary, nie rozkręcone, być może w przyszłości pulsary milisekundowe. *Grupa druga* to pulsary, które za towarzysza mają gwiazdę neutronową - można to wywnioskować z ich masy, a także z ekscentryczności orbity, zaburzonej podczas drugiego wybuchu supernowej. *Trzecia grupa*, to układy z masywnym białym karłem. Uwagę zwracają ekstremalnie kołowe orbity - pulsar musiał krążyć w otoczce olbrzyma. *Grupa czwarta* - też białe karły w układzie z pulsarem, jednak mniej masywne. Również w tych układach orbity są bardzo wyokrąglone na skutek przejścia przez fazę wspólnej otoczki. Ciekawa jest *piąta grupa* - towarzysze tych pulsarów to białe karły, zbyt jednak lekkie, by być jądrami gwiazd, które zdążyłyby przeewoluować w czasie krótszym niż wiek Wszechświata. I wreszcie *ostatnie cztery pulsary* - pojedyncze, jeśli nie liczyć planet przy *PSR 1257+12*. Powstały zapewne na skutek utraty, lub zniszczenia towarzysza.

Jak wytłumaczyć taką różnorodność? Czy podoła temu jedna, spójna teoria? Na te pytania postaram się odpowiedzieć poniżej.

Tab. 1. Pulsary milisekundowe i podwójne w Galaktyce

Pulsar	P (ms)	p_{orb} (dni)	e	$f(M)$ ($M_\odot$)	M_2 ($M_\odot$)	log B (Gs)	P/(2(dP/dt)) (lata)
J0045-7319	926.3	51.00	0.808	2.169	ok. 10	12.3	3×10^8
1259-63	47.8	1273.00$^\varepsilon$	0.870	1.53	ok. 10	11.5	3×10^5
1820-11	279.8	358.00	0.794	0.068	(0.8)	11.8	3×10^6
1543+12	37.9	0.42	0.274	0.315	1.34	10.0	2×10^8
1913+16	59.0	0.32	0.617	0.132	1.39	10.4	1×10^8
2303+46	1066.4	12.30	0.658	0.246	1.4	11.9	3×10^7
J2145-0750	16.0	6.80	0.000021	0.0241	(0.51)^o	< 8.9	$> 8 \times 10^9$
0655+64	195.7	1.03	7×10^{-6}	0.071	(0.8)^o	10.1	5×10^9
0820+02	864.8	1232.00	0.0119	0.0030	(0.23)^o	11.5	1×10^8
J1803-2712	334.0	407.00	0.00051	0.0013	(0.17)	10.9	3×10^8
1953+29	6.1	117.00	0.00033	0.0024	(0.21)	8.6	3×10^9
J2019+2425	3.9	76.50	0.000111	0.0107	(0.37)	8.3	(3×10^{10})
J1713+0747	4.6	67.80	0.000075	0.0079	(0.33)^o	8.3	(9×10^9)
1855+09	5.4	12.30	0.000022	0.0056	0.26^o	8.5	5×10^9
J0437-4715	5.8	5.70	0.000018	0.0012	(0.17)^o	8.7	(2×10^9)
J1045-4509	7.5	4.10	0.000019	0.00177	(0.19)	8.6	6×10^9
J2317+1439	3.4	2.46	< 0.000002	0.0022	(0.21)	8.1	(1×10^{10})
J0034-0534	1.9	1.60	< 0.0001	0.0012	(0.17)	8.0	4×10^9
J0751+18	3.5	0.26	< 0.01	(0.15)			
1718-19	1004.0	0.26$^\varepsilon$	< 0.005	0.00071	(0.14)	12.2	1×10^7
1831-00	520.9	1.80	< 0.004	0.00012	(0.07)	10.9	6×10^8
1957+20	1.6	0.38$^\varepsilon$	$< 4 \times 10^{-5}$	5×10^{-6}	0.02^o	8.1	2×10^9
1257+12	6.2	67.98	0.02	5.3×10^{-16}	4.3 M_{Ziemi}	8.9	(8×10^8)
1937+21	1.6	poj.	0.02			8.6	2×10^8
J2235+1506	59.8	poj.				9.5	(6×10^9)
J2322+2057	4.8	poj.				8.3	1×10^{10}

Objaśnienia:
e - mimośród
$f(M)$ - funkcja mas
M_2 - masa towarzysza. W nawiasach - przybliżona masa, przy założeniu masy pulsara $M = 1.4\ M_\odot$ i nachyleniu orbity $i = 60^o$
B - powierzchniowe pole magnetyczne, przy założeniu jego prostopadłości do osi obrotu
$^\varepsilon$ - układ zaćmieniowy
^{o} - obserwowane promieniowanie od towarzysza w optycznej części widma
poj. - pulsar pojedynczy
P/(2(dP/dt)) - wiek charakterystyczny.
Podział na grupy został wyjaśniony w tekście artykułu.

Warunki powstania

Co powoduje, że pulsar jest w stanie uciec z cmentarzyska? Możliwa jest tylko jedna odpowiedź. Nie znamy zjawiska fizycznego, które zdolne byłoby wytłumaczyć wzrost pola magnetycznego pulsara, niemożliwe jest jego wyjście z cmentarzyska w „górę" na wykresie P - B, ku większym wartościom B. Pozostaje więc ucieczka w lewo - przy zachowaniu stałego pola magnetycznego znaczne skrócenie okresu rotacji.

Ponieważ pulsary są obiektami zwartymi, przyspieszenie ich rotacji wymaga dostarczenia z zewnątrz momentu pędu - gwiazda neutronowa nie może się już skurczyć, tak więc zmiana okresu przy zachowaniu tej wielkości jest niemożliwa. Najprostszym, a zarazem najczęściej spotykanym we Wszechświecie, sposobem na dostarczenie momentu pędu jest pobranie go z dysku akrecyjnego.

Załóżmy, że mamy starego, znajdującego się na cmentarzysku pulsara, wokół którego znajduje się dość gęsta materia. Posiada ona zazwyczaj niezerowy moment pędu, co uniemożliwia jej bezpośredni spadek na centrum grawitacyjne. Materia taka wytworzy po pewnym czasie dysk akrecyjny, w którym ma szansę wyzbyć się swojej energii rotacyjnej poprzez jej wypromieniowanie lub tarcie. W wypadku pulsarów dyski takie wyglądają zapewne dość podobnie do tych, jakie są spotykane w obiektach innego typu (np. zmienne kataklizmiczne). Różnice, i to znaczne, w wyglądzie dysku mają miejsce w pobliżu samego pulsara. Materia, która jest najczęściej w dużym stopniu zjonizowana, nie może swobodnie spadać na powierzchnię gwiazdy neutronowej. Na przeszkodzie stoi bardzo silne pole magnetyczne, którego natężenie sięga 10^9, a nawet 10^{12} Gs. Materia (a właściwie plazma) musi poruszać się zgodnie z liniami pola. Dysk akrecyjny urywa się w miejscu, w którym odległość od centrum pulsara zrówna się z tzw. *promieniem Alfvéna*, dla którego ciśnienie pola magnetycznego ($B^2/8\pi$) równoważy ciśnienie spadającej materii. Jeśli promień Alfvéna będzie większy od promienia pulsara (rośnie on w miarę rozkręcania) - materia nie będzie mogła przekazywać momentu pędu i akrecja, a zarazem rozkręcanie ustanie.

Właśnie ten fakt stoi u podstaw twierdzenia mówiącego, że pulsar nie może być

„rozkręcany" w nieskończoność. W momencie, gdy prędkość rotacji pulsara zrówna się z keplerowską prędkością orbitalną na wewnętrznej krawędzi dysku przekazywanie momentu pędu staje się niemożliwe, a okres pulsara zrównuje się z tzw. *okresem równowagi* P_{eq}.

Ponieważ owa prędkość orbitalna zależy od masy pulsara i promienia Alfvéna (a poprzez tę wielkość także od natężenia pola magnetycznego B i tempa akrecji dM/dt na wykresie „log P - log B" powstanie „linia rozkręcenia" (ang. *spin - up line*), określona równaniem

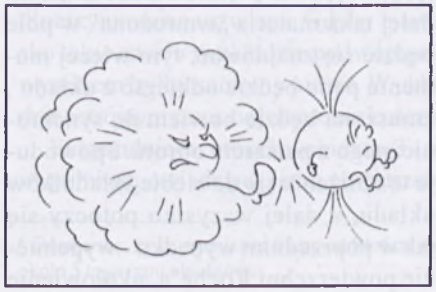
$$P_{eq} = 0.98\left(\frac{B}{4\times10^{8}\,Gs}\right)^{\frac{6}{7}}\left(\frac{M}{1.4\,M_{\odot}}\right)^{-\frac{5}{7}}\times$$

$$\times\left(\frac{\frac{dM}{dt}}{\left(\frac{dM}{dt}\right)_{Edd}}\right)^{-\frac{3}{7}}\left(\frac{R}{10km}\right)^{\frac{15}{7}}\quad[\mathrm{ms}]$$

Wzór ten został podany przez Davidsona i Ostrikera w 1973 roku. $(dM/dt)_{Edd}$ oznacza Eddingtonowskie tempo akrecji, wynoszące około 2×10^{-8} $M_{\odot}$ rok^{-1} dla klasycznego pulsara.

Wyliczenia pokazują, że pulsar, aby zostać rozkręcony do P_{eq}, musi zaakreować około 0.1 $M_{\odot}$. Dla Eddingtonowskiego tempa akrecji zajmie mu to 10^7 lat. Dysk akrecyjny, a zarazem dostarczyciel materii (na razie tajemniczy) powinien mieć szansę żyć tak długo.

Do modelowania rozkręcania pulsara przyjmowano najczęściej, że $dM/dt = (dM/dt)_{Edd}$. Założenie takie prowadzi jednak do sprzeczności. Posługując się podanym wyżej wzorem wyliczyć możemy początkowy okres pulsara (po rozkręceniu). Biorąc zaś z obserwacji aktualny okres, a także jego zmianę dP/dt możemy oszacować wiek pulsara - a właściwie czas, jaki minął od jego rozkręcenia. Okazuje się (Camilllo et al. 1994), że dla niektórych pulsarów wynosi on 15 - 25 miliardów lat, czyli kilkakrotnie więcej, niż szacowany wiek dysku galaktycznego, a nawet czas życia Wszechświata. Prawdopodobnie więc pulsary rodzą się z okre-



sami większymi od P_{eq} wyliczonego przy założeniu Eddingtonowskiej akrecji. Obserwacje rentgenowskich układów podwójnych, które uważa się po części za przodków pulsarów milisekundowych, wskazują na tempo akrecji rzędu 10^{-3} do 10^{-1} $(dM/dt)_{Edd}$. Ponieważ tempo akrecji znajduje się w powyższym wzorze w ujemnej potędze, przyjęcie mniejszej wartości spowoduje zwiększenie okresu początkowego. To zaś prowadzi do zmniejszenia oszacowań wieku pulsara i jego zgodności z czasem życia dysku galaktycznego, określanym na 9 ± 2 miliardy lat.

Wszystko wygląda dobrze, jeśli mamy już dysk akrecyjny, lub chociaż dostarczyciela masy. Jeżeli jednak przyjrzeć się bliżej, to rodzą się...

Pytania.

Przede wszystkim - skąd dysk? Jak już wspomniałem musi on trwać w niezmiennej postaci przez około 10^7 lat. Szanse na tak długie życie wzrastają, gdy dysk jest stale zasilany nową materią. Aby to jednak spełnić musimy do rozumowania włączyć dostarczyciela masy. Okazuje się więc, że pulsar ma towarzysza, że jest jednym z członków układu podwójnego. W kanonicznym modelu gwiazda będąca towarzyszem pulsara wypełnia na skutek ewolucji swoją *powierzchnię Roche'a* i zaczyna oddawać materię, która przez wewnętrzny *punkt Lagrange'a* spływa na drugi składnik, tworząc przy tym potrzebną nam strukturę.

Jest jednakże jedno „ale". Pulsary, jak wszystkie gwiazdy neutronowe, powstają głównie w wybuchach supernowych typu drugiego (SN II). Są to zjawiska bardzo gwałtowne, a także jak się obecnie sądzi - asymetryczne, szczególnie w układach podwójnych. Wyrzucane w takim wybuchu są znaczne ilości materii, co nie może pozostać bez wpływu na dynamikę układu. Załóżmy bowiem, że mamy układ podwójny złożony z pre - supernowej, czyli gwiazdy o masie przekraczającej 8 $M_{\odot}$ i towarzysza na orbicie kołowej. Już elementarne obliczenia na poziomie energii mechanicznej układu prowadzą do wniosku, że jeżeli układ straci w wyniku wybuchu ponad połowę swej masy, jego całkowita energia przyjmie wartość dodatnią - czyli układ podwójny ulegnie rozpadowi. Wynikiem eksplozji będzie więc pojedyncza gwiazda neutronowa i zwykła gwiazda, niedoszły dostarczyciel masy, poruszające się w przeciwnych kierunkach. A nie bierzemy przecież pod uwagę oddziaływania wyrzucanej w wybuchu materii z drugim składnikiem układu, a także tzw. impulsu narodzeniowego (ang. *natal velocity kick*). Impuls ten udzielany jest gwieździe neutronowej, a następnie całemu układowi, o ile przetrwa on wybuch, na skutek jego asymetrii. Może to niezależnie od innych czynników doprowadzić do rozerwania układu. Niektóre pulsary osiągają prędkości przestrzenne rzędu setek kilometrów na sekundę i dotyczy to nie tylko pojedynczych obiektów, ale i takich, które znajdują się w układach podwójnych. Między innymi to właśnie dlatego większość pozostałości po supernowych jest „pusta", nie ma w nich pulsara, który od chwili wybuchu zdołał już dość daleko „uciec". Przykładem może być pulsar wiązany z pozostałością w gwiazdozbiorze żagla - znajduje się on niemal na jej brzegu.

Jak więc w świetle bardzo prawdopodobnego zniszczenia układu podwójnego mogą powstać dyski akrecyjne? Dużo łatwiej przecież uwierzyć w fakt, że supernowa wybuchnie w układzie podwójnym, niż w to, że samotny pulsar napotka nowego towarzysza[3]. Jak więc wytłumaczyć, że pulsary podwójne, a zwłaszcza milisekundowe istnieją? Na to właśnie pytanie próbują odpowiedzieć astronomowie zajmujący się tymi obiektami.

Odpowiedź pierwsza: A jednak razem.

Od razu nasuwa się pierwsza odpowiedź - bardzo prawdopodobne zniszczenie nie oznacza jednak pewnego zniszczenia. Układ podwójny może przetrwać. Jest kilka zjawisk, które mogą temu dopomóc.

Po pierwsze wspomniana wyżej asymetria wybuchu i impuls narodzeniowy może przyczynić się wręcz do zacieśnienia układu, zamiast jego rozerwania. Tak stanie się w przypadkach, gdy impuls skieruje nowo narodzoną gwiazdę neutronową w kierunku towarzysza. Po eksplozji pozostanie układ podwójny, zapewne na dość ekscentrycznej orbicie, nie sprzyjającej stabilnej akrecji, ale na skutek działania pewnych zjawisk orbita taka może się „ukołowić".

Po drugie - układ jako całość w wyniku wybuchu stracić może mniej niż połowę swej całkowitej masy. Będzie tak, gdy towarzysz będzie tylko nieco mniej masywny od pre - supernowej (nie może być oczywiście masywniejszy, gdyż to on eksplodowałby jako pierwszy, zgodnie z teorią

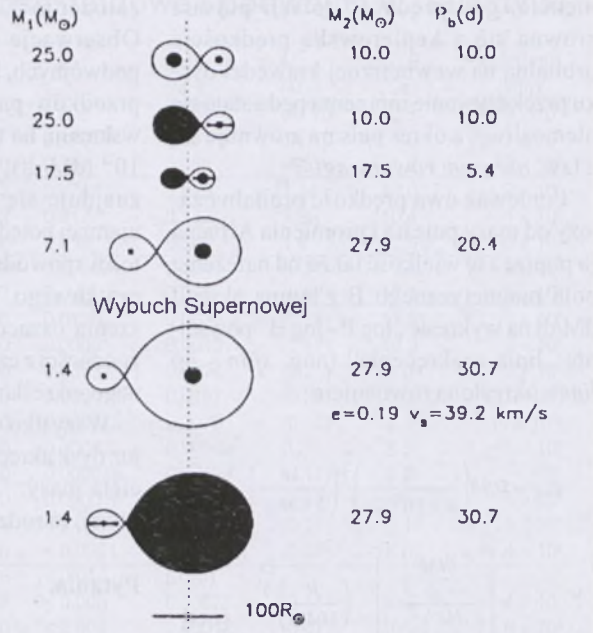
[3] Są jednak teorie przewidujące i taką możliwość.

ewolucji). Inny wariant tej możliwości zakłada, że ewolucja w ciasnym układzie podwójnym może doprowadzić do sytuacji, w której na skutek dużego przepływu materii, w momencie wybuchu pre-supernowa jest mniej masywnym składnikiem układu, za to bardziej zaawansowanym ewolucyjnie. Gdy eksploduje mniej masywny składnik, układ nie może stracić połowy masy - nawet, gdyby cała materia gwiazdy została wyrzucona. W wypadku supernowych typu II po eksplozji pozostaje jeszcze całkiem masywny ślad w postaci gwiazdy neutronowej o masie około 1.4 $M_\odot$.

Właśnie ta ostatnia teoria wymaga nieco wyjaśnień, a przy okazji można będzie wspomnieć o kilku zjawiskach często mających miejsce w innych, podobnych zagadnieniach. Najłatwiej będzie można prześledzić ją na modelu (Verbunt 1993). Weźmy więc układ złożony z dwu gwiazd o masach 25 $M_\odot$ i 10 $M_\odot$. Niech to będzie ciasny układ z okresem orbitalnym równym 10 dni (Rys. 3).

Składnik pierwszy o masie 25 $M_\odot$ zacznie dość szybko ewoluować, a co za tym idzie - ekspandować. Wypełni on swoją powierzchnię Roche'a osiągając promień równy 29 $R_\odot$ i zacznie tracić masę, oddając materię przez wewnętrzny punkt Lagrange'a L_1. Ponieważ jednak taki promień jest zbyt mały dla tak masywnej gwiazdy (mniejszy niż promień równowagi termicznej w stadium podolbrzyma) przepływ masy stanie się bardzo niestabilny, ale zarazem bardzo wydajny. Na skutek transferu układ się zacieśni - jest tak zawsze, gdy masę oddaje składnik masywniejszy (o ile tylko zostanie zachowany moment pędu całego układu, co oznacza brak wypływu materii poza układ). Gdy lżejszemu składnikowi oddane zostanie 7.5 $M_\odot$ stosunek mas się odwróci. Na skutek dalszego przepływu układ się poszerzy (oddawanie materii przez składnik mniej masywny), a co za tym idzie zwiększą się promienie powierzchni Roche'a. Dla początkowo masywniejszego składnika oznacza to odzyskanie równowagi. Spowoduje to znormalizowanie przepływu masy, który odbywał się będzie w jądrowej skali czasowej, a nie w termicznej, zdecydowanie krótszej. W tym akurat modelu dopiero po odzyskaniu równowagi nastąpi zapalenie helu. Mając jądro gwiazdy o masie 25 $M_\odot$ i bardzo lekką otoczkę (oddane zostało 18 $M_\odot$) gwiazda ta przejdzie stadium typu *gwiazdy Wolfa-Rayeta*, a następnie eksploduje jako supernowa, pozostawiając po sobie gwiazdę neutronową.

O ile układ zostanie zachowany, to wkrótce towarzysz zacznie ewoluować. Wypełni swoją powierzchnię Roche'a i zacznie oddawać masę pulsarowi, powodując jego rozkręcenie. Obiekty na tym etapie odpowiedzialne są najprawdopodobniej za to, co nazywamy masywnymi podwójnymi układami rentgenowskimi (z ang. *High Mass X-ray Binaries - HMXB*). Promieniowanie radiowe nie ma szans powstać w takim otoczeniu, powstają natomiast duże ilości promieniowania rentgenowskiego.



Rys. 3. Schematyczne przedstawienie ewolucji ciasnego układu podwójnego, który ma duże szanse przetrwać wybuch supernowej. Ostatnia z pokazanych faz, to faza Masywnego Układu Rentgenowskiego, w którym pulsar właśnie ulega rozkręcaniu. Obok rysunków podano masy składników i okres orbitalny, a także mimośród orbity i impuls narodzeniowy po wybuchu.

Oddziaływania pływowe, tarcie i sam przepływ masy spowodują ukołowienie orbity, bardzo ekscentrycznej po eksplozji. Te same zjawiska spowodują także jej zacieśnienie i ruch po dośrodkowej spirali (ang. *spiral-in*) w fazie wspólnej otoczki. O ile to drugie zjawisko trwać będzie dostatecznie długo, to pulsar może wniknąć nawet do wnętrza towarzysza. Później, po rozrzuceniu otoczki będzie samotnym, najprawdopodobniej milisekundowym pulsarem.

Wcześniej jednak towarzysz może wybuchnąć jako supernowa, co może prowadzić do powstania układu złożonego z dwu gwiazd neutronowych. Na skutek eksplozji orbita, pomimo wcześniejszego ukołowienia, stanie się znowu bardzo spłaszczona. Jeśli zaś towarzysz ma zbyt małą masę, aby eksplodować - stanie się białym karłem, rozrzucając dookoła materię w postaci mgławicy planetarnej. Orbita w takim układzie będzie prawie idealnie kołowa na skutek przejścia przez fazę wspólnej otoczki.

Tak zapewne powstają masywne układy pulsarów milisekundowych, w których pulsar ma za towarzysza drugą gwiazdę neutronową, lub masywnego białego karła. W wypadku, gdy towarzysz jest mniej masywny pojawia się jednak problem - co mogło się stać z przekazaną materią? Można ten problem rozwiązać powołując się na wiatr gwiazdowy, musiałby on jednak być bardzo silny. Przetrwaniu takiego układu może dopomóc znaczne zacieśnienie orbity przed wybuchem, a także późniejsze rozpoczęcie przepływu masy, np. po błysku helowym.

Dla nieco luźniejszych układów, a także dla mniej masywnych, ewolucja po wybuchu potoczy się w nieco inny sposób. Towarzysz pulsara mógłby mieć problemy z wypełnieniem swojej dużej powierzchni Roche'a. Są jednak zjawiska, które mogą doprowadzić do zmniejszenia rozmiarów układu. Pierwszym z nich jest emisja fal grawitacyjnych, a drugim, znacznie wydajniejszym tzw. *ewolucja przez utratę momentu pędu*. Uciekająca z układu materia (np. poprzez wiatr gwiazdowy) musi poruszać się zgodnie z liniami sił pola magnetycznego, które jest w wypadku pulsara bardzo silne. Im dalej taka materia „wmrożona" w pole będzie się znajdować, tym więcej momentu pędu będzie odbierać z układu, zmuszona będzie bowiem do synchronicznego z pulsarem obrotu. Spowoduje to zbliżenie się do siebie składników układu, a dalej wszystko potoczy się jak w poprzednim wypadku - wypełnienie powierzchni Roche'a, ukołowienie

i dalsze zacieśnienie orbity, powstanie dysku akrecyjnego i rozkręcenie pulsara, aż do okresów milisekundowych.

Odpowiedź druga: We trójkę łatwiej.

Podany wyżej sposób powstawania pulsarów milisekundowych z masywnych układów podwójnych zawodzi jednak w jednym punkcie - masywny towarzysz pulsara może nie żyć wystarczająco długo, aby rozkręcić gwiazdę neutronową i przyspieszyć jej rotację do okresów rzędu milisekund. Jest jednak teoria, która radzi sobie wspaniale i z tym problemem. Teoria układów potrójnych (Eggleton, Verbunt 1986).

Około 20 % gwiazd to układy potrójne, lub jeszcze bardziej złożone. Najczęściej mają one budowę hierarchiczną. W przypadku układu potrójnego oznaczać to będzie, że składa się on z ciasnego układu podwójnego i trzeciego, oddalonego składnika, zazwyczaj mniej masywnego niż pozostałe. Orbita trzeciej gwiazdy nie może być zbyt rozległa, jeśli ma ona brać aktywny udział w ewolucji układu. Jej okres orbitalny może być co najwyżej rzędu pojedynczych setek dni. Nawet tak ciasne układy potrójne nie są rzadkością. Świadczy o tym chociażby fakt, że dwa z nich widać gołym okiem. Są to układy λ *Tauri* oraz *VV Orionis*, o okresach odpowiednio 33 i 119 dni.

W wyniku ewolucji masywniejsza z gwiazd „wewnętrznych" wybuchnie jako supernowa. Jeśli układ pozostanie związany, nastąpią zjawiska podobne do już opisanych, w szczególności może dojść do zacieśnienia orbity, które może doprowadzić do wniknięcia pulsara do wnętrza towarzysza, a potem, na skutek bardzo efektywnego tarcia w jego otoczce, aż do samego jądra. Obiekt taki nazwany został od nazwisk astronomów, którzy teoretycznie przewidzieli jego istnienie, *obiektem Thorne - Żytkow* (T-Ż) (Thorne, Żytkow 1975). Mimo, iż niektórym może się to wydać mało prawdopodobne, obiekt T-Ż jest dość stabilny[4]. Z zewnątrz przypomina olbrzyma lub nadolbrzyma o ekspandującej otoczce. Otoczka taka zostaje po dłuższym czasie rozwiana. Gdyby zjawisko takie zaszło w układzie podwójnym, wynikiem byłby samotny pulsar. W układzie potrójnym rzecz się jeszcze nie kończy.

Ekspandująca otoczka obiektu T- Ż wypełni odpowiadającą jemu powierzchnię Roche'a. Układ przejdzie krótkie stadium dysku akrecyjnego, a potem fazę wspólnej otoczki. Wtedy też następuje bardzo efektywne zacieśnianie orbity - normalna gwiazda wniknie w atmosferę obiektu T - Ż i stopniowo będzie ją rozrzucać, gdyż otoczki takich obiektów są związane bardzo słabo, nawet jeśli je porównać do otoczek nadolbrzymów. Wynikiem takiej ewolucji będzie układ podwójny pulsar - gwiazda, zapewne wystarczająco ciasny, by po pewnym czasie mogło dojść do powstania potrzebnego nam dysku akrecyjnego wokół pulsara.

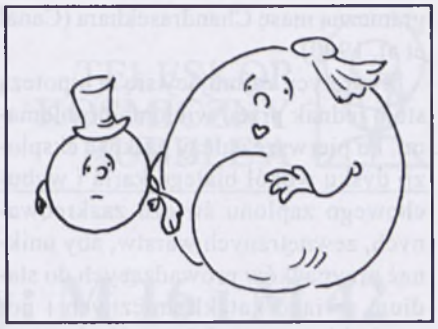
Odpowiedź trzecia: Przechwyt.

Dotychczas przedstawione teorie zakładały, że gwiazda neutronowa narodziła się w układzie podwójnym. Nie jest to jednak warunek konieczny do powstania w pewnym momencie życia pulsara dysku akrecyjnego zasilanego przez jakiś obiekt. Towarzysz pulsara może zostać bowiem przechwycony.

Scenariusz ten przewiduje, że pulsar powstaje w wyniku wybuchu supernowej, będącej samotną gwiazdą, lub w układzie podwójnym, który nie przetrwał eksplozji. Dopiero później, na skutek bliskiego spotkania z inną gwiazdą zawiązuje się układ podwójny (Canal et al. 1990).
Aby taki sposób powstawania pulsarów podwójnych i milisekundowych miał realne szanse zaistnienia, wymagana jest duża gęstość gwiazd w sąsiedztwie pulsara. Najbardziej wydajny przechwyt następował będzie więc w gromadach kulistych, które dodatkowo, jako stare obiekty, mają zapewne dość duże zasoby wygasłych pulsarów.

Oczywiście nie każde bliskie spotkanie prowadzi do połączenia dwu obiektów w parę. W wypadku zderzenia pulsara z gwiazdą ciągu głównego, w około 1/3 przypadków gwiazda taka zostanie rozerwana przez siły pływowe. W pozostałych przypadkach, a zwłaszcza w tych, gdzie minimalna odległość obu obiektów zawiera się w granicach 2 - 3 promieni normalnej gwiazdy, wynikiem będzie układ podwójny.

Inaczej ma się rzecz w wypadku zderzeń z olbrzymami i nadolbrzymami. Ze względu na ich dość rzadką otoczkę gwiazda neutronowa może spokojnie w nią wniknąć. Będzie to miało miejsce w około 1/3 przypadków, w których można mówić o zderzeniu. Pulsar stworzy wtedy układ podwójny z jądrem olbrzyma, poruszając się we wspólnej z nim otoczce. Po pewnym czasie olbrzym przeewoluuje aż do stadium białego karła. W innych wypadkach po zderzeniu pozostanie układ podwójny z gwiazdą neutronową na bardzo spłaszczonej orbicie, z okresem rzędu dni. Przepływ masy i siły pływowe wywołają opisane wcześniej zjawiska zacieśniania i ukołowiania orbity, co po rozrzuceniu otoczki również doprowadzi do powstania układu gwiazda neutronowa - biały karzeł.



Inny mechanizm przechwytu zakłada zderzenie pulsara z układem podwójnym lub wielokrotnym. Może to prowadzić do kilku jakościowo różnych wyników. Najbardziej nas interesującymi są: wymiana - gdy gwiazda neutronowa zajmie w układzie miejsce jednego ze składników, oraz wariacja powyższego - stworzenie hierarchicznego układu podwójnego, w którym wewnętrzną parę stanowi pulsar i jedna z gwiazd z wcześniej istniejącego układu podwójnego.

Każdy ze wspomnianych sposobów przechwytu prowadzi do jednego, oczekiwanego przez nas rozwiązania - ma szansę powstać dysk akrecyjny z materii spadającej z przechwyconego towarzysza lub z materii, która powstała po jego zniszczeniu.

Odpowiedź czwarta: Nie ma problemu?

Jeśli zapomnimy o możliwości przechwytu, wydajnego tylko w gromadach kulistych, to głównym problemem, jaki trzeba rozwiązać jest moment wybuchu supernowej i wielce prawdopodobne rozwiązanie układu podwójnego. Istnieje jednak teoria, która rozwiązuje problem... usuwając go. Zakłada ona bowiem, że gwiazdy neutronowe mogą powstać nie tylko w wyniku wybuchów supernowych. Teoria ta powołuje się na wywołany akrecją, niewybuchowy kolaps[5] białego karła, który przekroczył

[4] Ocenia się, że w promieniu 5 kpc od Słońca jest około 5 tego typu obiektów.

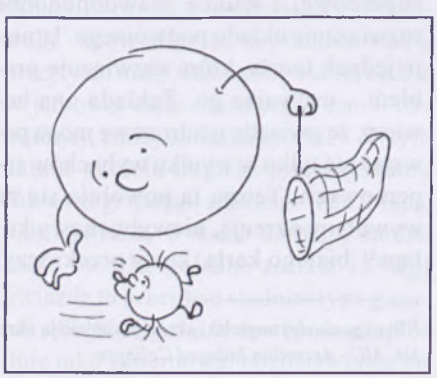
[5] Stąd pochodzi angielski skrót, jakim się ją określa *AIC - Accretion Induced Collapse*

graniczną masę Chandrasekhara (Canal et al. 1990).

Teoretycy zajmujący się tą hipotezą stoją jednak przed wieloma problemami. Po pierwsze należy uniknąć eksplozji dysku wokół białego karła i wybuchowego zapłonu świeżo zaakreowanych, zewnętrznych warstw, aby uniknąć przypadków prowadzących do stadium gwiazd kataklizmicznych i nowych. Materia spadająca z dysku musi więc być efektywnie wcielana do wnętrza białego karła. Po drugie skład samego białego karła powinien uniemożliwić eksplozywny zapłon w jego centrum - tak bowiem moglibyśmy dojść do supernowej typu I - ego, po wybuchu której nie ma szans na pozostałość w formie gwiazdy neutronowej.

Pierwszego problemu można uniknąć poprzez odpowiednie tempo akrecji. Jeżeli dostarczyciel materii jest zwykłą gwiazdą ciągu głównego, to akreowana materia będzie się składała prawie wyłącznie z wodoru. Wodór musi spalać się stabilnie, aby uniknąć eksplozji takiej, jak w gwiazdach nowych. Powstały w wyniku reakcji jądrowych hel musi zostać dalej spalony na węgiel i tlen - czyli na materię taką, z jakiej składa się akreujący biały karzeł. Tempo akrecji potrzebne do zajścia tego zjawiska powinno mieścić się w granicach 10^{-9} do 5×10^{-8} $M_\odot$ na rok, a pobierający materię węglowo - tlenowy biały karzeł musi mieć masę początkową większą od 1.13 $M_\odot$.

Inną możliwością jest bezpośrednia akrecja cięższych pierwiastków, takich właśnie jak węgiel i tlen. Materia taka nie może być oczywiście akreowana ze zwykłej gwiazdy, najlepszymi dostarczycielami takiej materii są białe karły. Akrecja taka jest możliwa w bardzo ciasnych układach podwójnych, złożonych z dwu białych karłów. Ponieważ gwiazdy te mają odwróconą zależność masa - promień to mniej masywny karzeł wypełni swoją powierzchnię Roche'a i stanie się dostarczycielem materii do masywniejszego składnika, bliskiego granicy Chandrasekhara. Układ taki nie będzie jednak stabilny. Ze względu na już wspomnianą odwróconą zależność masa - promień oddający materię składnik będzie się rozrastał, co doprowadzi do lawinowego przepływu masy. Skończyć to się może nawet pływowym rozerwaniem mniej masywnego białego karła[6]. Doprowadzi to do sytuacji, której wynikiem może być samotny biały karzeł, otoczony dyskiem akrecyjnym, powstałym z resztek towarzysza - jak w jednej z teorii wyjaśniającej eksplozje supernowych typu SN Ia. Jednakże bardzo szybka akrecja $(dM/dt)_{C+O} \geq 5 \times 10^{-6} M_\odot$ na rok) może wywołać zapłon otoczki i quasi-hydrostatyczne palenie węglowo - tlenowego białego karła (tzw. C+O WD) w gwiazdę złożoną z tlenu, sodu i magnezu (tzw. O+Na+Mg WD), która ma szansę łagodnie zapaść się do postaci gwiazdy neutronowej. Istnieje też dodatkowo szansa, że zachowany zostanie układ podwójny - towarzysz, karzeł będący dostarczycielem masy może przeżyć.



Zjawisko to przebiega zdecydowanie mniej gwałtownie, niż w wypadku wybuchu supernowej, z układu wyrzucone zostają niewielkie ilości masy - układ więc z mechanicznego punktu widzenia ma duże szanse przeżycia. Korzystając z takiego scenariusza tłumaczy się powstawanie układów pulsarów milisekundowych i podwójnych z małomasywnym towarzyszem (czerwonym karłem ciągu głównego, mało masywnym białym karłem, czy wreszcie z jeszcze mniej masywnymi kompanami) - układy takie mają bowiem małe szanse przetrwania stadium wybuchu supernowej, a jednak występują dość licznie.

Podsumowanie.

Oczywiście natura i Wszechświat nie są tak proste, by wszystkie cechy obserwowanych pulsarów wytłumaczyć z pomocą jednej z przytoczonych przeze mnie teorii. Prawdopodobnie każda z tych teorii niesie w sobie ziarno prawdy i prawdopodobnie każda z nich odpowiedzialna jest za powstawanie różnych klas obiektów. Układy z masywnym składnikiem powstają zapewne zgodnie ze scenariuszem zwanym kolapsem jądra (z ang. *CC - Core Collapse*), jak w rozdziale „Odpowiedź pierwsza". Istnienie mało masywnych towarzyszy tłumaczy odpowiedź czwarta - kolaps wywołany przez akrecję (AIC). Odpowiedź trzecia jest na tyle niezależna, że jest w stanie wytłumaczyć powstanie obiektu każdego rodzaju i to nie tylko znajdującego się w gromadzie kulistej. Scenariuszem przechwytu tłumaczy się także powstawanie źródeł z tzw. wypukłości galaktycznej (z ang. *galactic bulge sources*). Gromada kulista, orbitując wokół centrum Galaktyki przechodzi co pół okresu orbitalnego przez dysk galaktyczny. Jeżeli orbita wiedzie poprzez szczególnie gęsty obszar dysku - dojść może do rozerwania gromady, lub uszczuplenia jej składu. W ten właśnie sposób pulsary milisekundowe, które powstały w gromadzie kulistej, mogą trafić do dysku galaktycznego. Nie uzyskamy więc jak się wydaje jednoznacznej odpowiedzi. Ale przecież nie zawsze o to nam chodzi. Czas na uogólnianie przyjdzie później, gdy poznamy już wszystkie mechanizmy rządzące naszym Wszechświatem. Tylko kto wtedy będzie się zajmował taką błahostką jak pulsary milisekundowe?

[6] To właśnie może tłumaczyć drastycznie małe masy niektórych towarzyszy pulsarów - opisywane zjawisko nie doprowadziło do rozerwania towarzysza, ale pozbawiło go znacznej części masy.

Cytowana literatura

[1] E. S. Phinney, S.R. Kulkarni - *Annu. Rev. Astron. Astroph. 1994. 32: 591 - 639,*

[2] R. Canal, J. Isren, J. Labay - *Annu. Rev. Astron. Astroph. 1990. 28: 183 - 214,*

[3] F. Verbunt - *Annu. Rev. Astron. Astroph.* 1993. **31**: 91 - 127,

[4] M. Bailes - *1989, ApJ* **342**: 917-927,

[5] F. Camillo, S.E. Thorsett, S.R. Kulkarni - *1994, ApJ Lett* **421**: *L15 - L18,*

[6] P. P. Eggleton, F. Verbunt - *1986, MNRAS 220: 13p - 18p,*

[7] K. S. Thorne, Anna N. Żytkow - *1975, ApJ Lett* **199** *: L19 - L24.*

Wojciech Lewandowski jest studentem IV roku astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.
Artykuł jest rezultatem jego pracy seminaryjnej.

Tam rodzą się gwiazdy i planety: M 16 i M 42

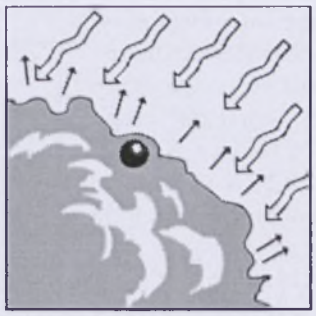
Na kolorowych stronach niniejszego zeszytu *Postępów Astronomii* przedstawiamy kompozycję zdjęć uzyskanych Teleskopem Kosmicznym Hubble'a HST, a dających wspaniałe, niesłychanie wręcz fascynujące obrazy gwiezdnych mateczników w mgławicy Orzeł (M 16 = NGC 6611) i w Wielkiej Mgławicy Emisyjnej w Orionie (M 42). W tej ostatniej widzimy ponadto protoplanetarne dyski wokół młodych gwiazd, w których zapewne będą tworzyły się całe systemy planetarne.

Dramatyczne obrazy mgławicy Orzeł pokazują wyłaniające się gwiazdy z potężnej międzygwiazdowej chmury molekularnej, jak z inkubatora wylęgające się pisklęta. M16 jest mgławicą emisyjną, znajduje się w gwiazdozbiorze Węża w odległości 7000 lat świetlnych od Słońca. Te niesamowite stwory, pilastry, słupy czy sterczące skały, których długość sięga czasami całego roku świetlnego są bardzo gęstymi, ciemnymi obłokami molekularnego wodoru z domieszką innych pierwiastków i drobnego pyłu. To w nich powstają gwiazdy. Młode gwiazdy świecą intensywnie w ultrafiolecie i powoli wydostając się z kokonu otaczającej je materii wspomagają swym promieniowaniem rodzenie się („wykluwanie" ?) innych gwiazd. W anglojęzycznej literaturze tak rodzące się gwiazdy nazwano EGGs - jajami czy też jajeczkami - od ***Evaporating Gazeous Globules*** - parujące kuleczki (globule) gazowe. Tak oto wyobrażają sobie astronomowie powstawanie i ewolucję struktur uwidocznionych na prezentowanych tu obrazkach obok.

Te bajeczne, aczkolwiek rzeczywiste obrazy mgławicy M 16 pokazują nam gwiezdne jajeczka w różnych stadiach wykluwania się gwiazd. Łatwo możemy je dostrzec na koniuszkach palcowatych występów z ogromnych kolumn gazu i pyłu.

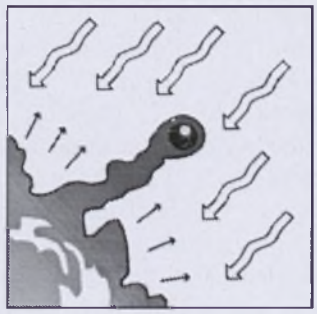
Astronomami, którzy uzyskali te obrazy są Jeff Hester i Paul Scowen, obecnie z Uniwersytetu Stanowego w Tempe w Arizonie. Ich Mistrzem i nauczycielem jest prof. C. Robert O'Dell *) z Rice University w Houston, pod którego kierunkiem badali obszary formowania się gwiazd w naszej Galaktyce. Sam prof. R. O'Dell od szeregu lat interesuje się największym chyba znanym nam

*) Profesor Camille Robert O' Dell jest zagranicznym Członkiem Honorowym Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. W latach siedemdziesiątych zasłużył się wielce dla budowy gmachu Centrum Astronomicznego PAN w Warszawie. W latach osiemdziesiątych był jednym z liderów twórców Teleskopu Kosmicznego Hubble'a pełniąc przez kilka lat funkcję „Project Scientist" odpowiedzialnego za kształt i jakość wyposażenia HST w instrumenty naukowe.

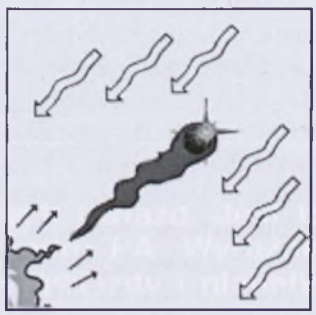


1) Powierzchnia chmury molekularnej jest oświetlona silnym promieniowaniem ultrafioletowym z pobliskich młodych gwiazd. Promieniowanie to odparowuje materiał z „powierzchni" chmury.

2) Ponieważ chmura jest powoli „zjadana" przez promieniowanie UV, bardziej gęste globule gazu (jajeczka) zaczynają być odsłaniane.

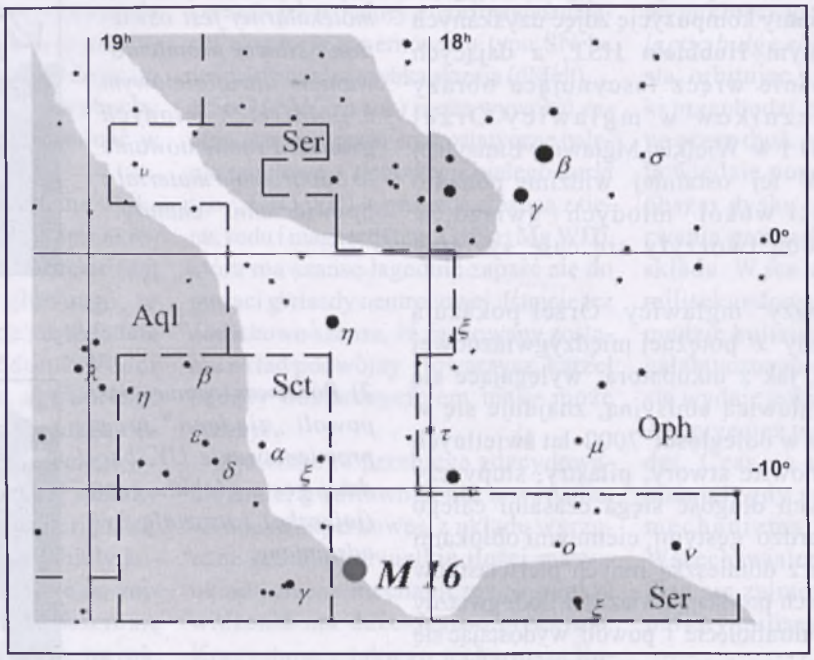


3) Jajo jest coraz bardziej odsłonięte. Jego cień osłania kolumnę gazu za nim leżącą, co prowadzi do wykształcania się palcowatych (kolumnowych) struktur.



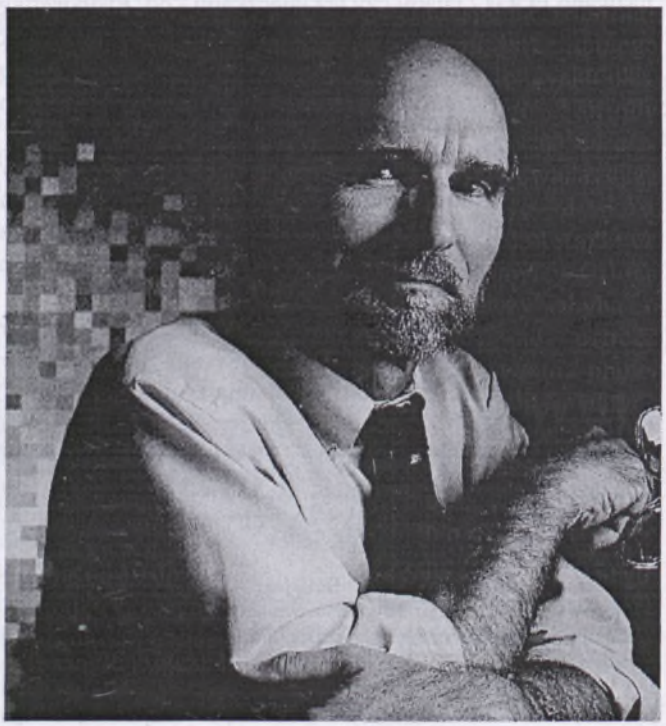
4) „Jajo gwiazdowe" może zostać całkowicie oddzielone od chmury molekularnej w której zostało utworzone. Ponieważ samo jajo powoli odparowuje materię, która je otacza, utworzona w nim gwiazda jest coraz bardziej odsłonięta, aż wreszcie wydostaje się ze swego kokonu.

matecznikiem gwiazdowym, jakim jest Wielka Mgławica Emisyjna M 42 w gwiazdozbiorze Oriona i obserwuje ją Teleskopem Kosmicznym od samego niemal początku jego astronomicznej służby. Samą mgławicę można dostrzec gołym okiem w „mieczu" tego mitycznego niebiańskiego myśliwego. Dzieli ją od nas odległość 1500 lat świetlnych.



Prezentowaliśmy już w *Postępach Astronomii* odkryte przez R. O'Della w M 42 protoplanetarne dyski wokółgwiazdowe (*PA* 3/93 str. 115). Dziś pragniemy zaprezentować niemal samo serce tej mgławicy, centralny obszar o rozmiarach ok. 2.5 lat świetlnych wokół tzw. Trapeza, znanego od dawna obszaru występowania „młodzieńczych" gwiazd typu τ *Tauri* (środek wkładki). Na niebie ten fragment mgławicy obejmuje obszar równy 5% powierzchni Księżyca w pełni. Jest to mozaika utworzona ze złożenia 45 zdjęć wykonanych przez HST w okresie od stycznia 1994 r. do marca 1995 r. (a więc po naprawie teleskopu), uzupełnionych na krańcach zdjęciami naziemnymi z teleskopu NTT z ESO w Chile. Najmniejsze wyróżnialne szczegóły obrazu mają rozmiary rzędu 6 mld km, a więc są mniejsze niż rozmiary naszego Systemu Słonecznego. Spoglądając na tę mgławicę niełatwo się oprzeć wrażeniu, że jest to wielkie turbulentne kłębowisko bardziej lub mniej żarzących się gazów i pyłów z wielkim bogactwem szczegółów topograficznych na powierzchni. Ukrytych w niej jest przeszło 700 młodych gwiazd, których promieniowanie powoduje powstawanie naddźwiękowych przepływów materii z szybkościami sięgającymi 150 do 200 tysięcy kilometrów na godzinę. W tej mozaice, C. Robert O'Dell i jego doktorant Shui Kwan Wong oraz Marki McCaughrean z Max-Planck - Institute for Astronomy w Heidelbergu (RFN), odkryli 153 świecące dyski protoplanetarne (proplydy) i kilka ciemnych konturów takich obiektów na jasnym tle mgławicy (patrz pierwsza i czwarta strona wkładki). Masę tych obiektów oceniają na co najmniej od 0.1 do 700 mas Ziemi, a ich rozmiary sięgają od 10 do 30 średnic naszego Systemu Słonecznego. W środku każdego z dysków tkwi młoda, zaledwie mająca 1 milion lat, gwiazda. Od dawna uważamy, że nasz System Planetarny powstał przed niespełna 5 miliardami lat z takiego właśnie dysku okalającego młode Słońce. Obserwowana duża obfitość dysków protoplanetarnych w mgławicy Oriona świadczy chyba o tym, że proces powstawania planet w naszej Galaktyce trwa ustawicznie. A coraz lepsze narzędzia i techniki obserwacyjne pozwolą zapewne już niedługo mieć coraz lepszy wgląd w te ciągle jeszcze tajemnicze procesy.

(aw)



Profesor C. Robert O'Dell z Rice University w Houston.

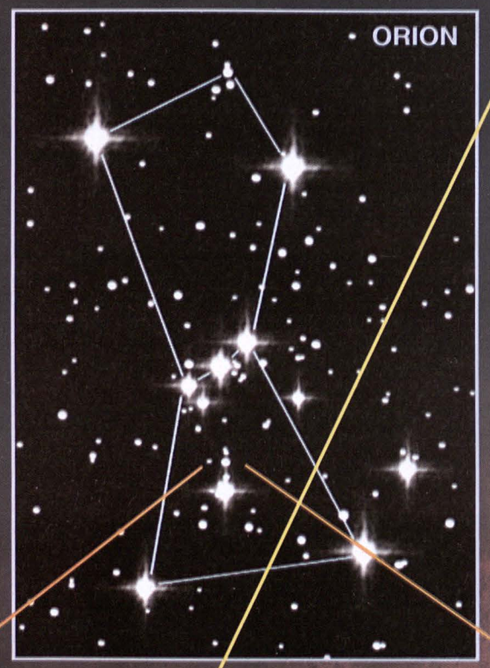
obserwuje

TELESKOP
KOSMICZNY
HUBBLE'A

Tu rodzą się gwiazdy: M 16

Na zdjęciu mgławica emisyjna M 16 – miejsce narodzin nowych gwiazd. Jest to fragment obrazu przedstawionego na okładce niniejszego numeru PA. Wyraźnie widoczne są tutaj struktury opisane w tekście „Tam rodzą się gwiazdy i planety: M 16 i M 42" (patrz str. 23).

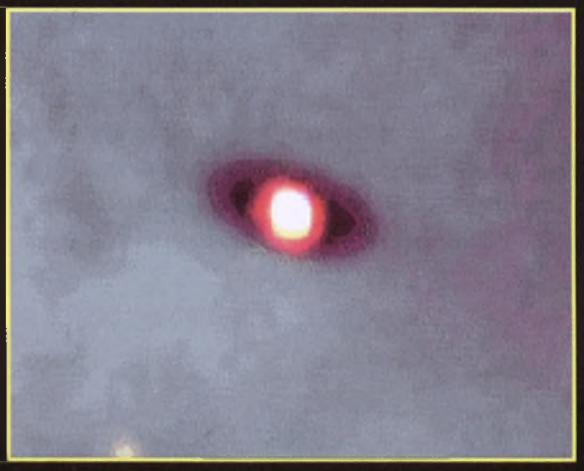
Tu rodzą się gwiazdy i planety



PA

Dyski protoplanetarne w M 42

Dwa górne i dwa środkowe obrazy pokazują cztery różne dyski protoplanetarne (proplydy) o różnej orientacji przestrzennej. Każde ze zdjęć obejmuje obszar trzydzieści razy większy od rozmiarów naszego Układu Słonecznego, a w środku dysków widać centralne gwiazdy.



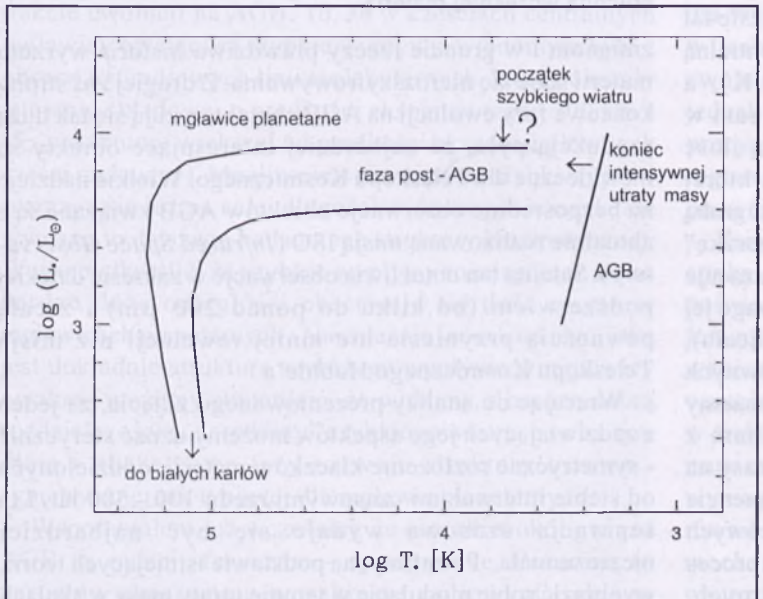
Dwa dolne zdjęcia przedstawiają ten sam obiekt, największy ze znanych proplydów, który jest 17 razy większy od Systemu Słonecznego. Lewy obraz jest kolorową kompozycją złożoną z trzech oddzielnych obrazów uzyskanych w barwach niebieskiej, zielonej i czerwonej. Obraz prawy jest uzyskany przez inny filtr, blokujący wszystkie jasne linie widmowe, w których świeci mgławica i z tego powodu słabiej widać sam dysk, ale wyraźnie widać świecenie nad i pod płaszczyzną dysku, które świadczy o obecności centralnej gwiazdy. Gwiazda nie może być widoczna bezpośrednio, gdyż jej promieniowanie jest absorbowane przez okalający ją, widoczny tu z profilu, dysk.

Ewolucja przedmgławicowa - nowe znaki zapytania

Asymptotyczna Gałąź Olbrzymów (AGB — od angielskiego *Asymptotic Giant Branch*) jest z punktu widzenia czasu życia gwiazd okresem bardzo krótkotrwałym. Jeśli przeskalować czas życia gwiazdy do 100 lat, to ewolucji na AGB odpowiadałby czas równy 1 miesiącowi. Przez ten etap przechodzą jednak wszystkie gwiazdy o masach na ciągu głównym z zakresu od poniżej 1 do ponad 8 mas Słońca ($M_\odot$). Najprawdopodobniej więc taka sama przyszłość rysuje się i przed naszym Słońcem. Gwiazda AGB jest rozdętym olbrzymem o rozmiarach rzędu kilkuset promieni Słońca ($R_\odot$), posiadającym zdegenerowane jądro tlenowo - węglowe o typowej masie bliskiej 0.6 $M_\odot$ i rozmiarze rzędu 0.01 $R_\odot$, otoczone warstwami helu (bardzo cienką) i wodoru, w których zachodzą reakcje jądrowe będące głównym źródłem jej energii. Procesy „spalania" wodoru w hel, a po nagromadzeniu odpowiedniej jego ilości również helu w pierwiastki cięższe, zachodzą w tych warstwach w sposób cykliczny. Ponieważ „zapalenie" helu ma gwałtowny charakter, nazywa się to zjawisko pulsem termicznym albo rozbłyskiem helowym w warstwie. Więcej informacji na temat AGB może czytelnik znaleźć w artykule poświęconym późnym etapom ewolucji gwiazd (R. Szczerba, *PA* 1/1992, str. 15).

Procesem fizycznym prowadzącym nieubłagalnie do zakończenia ewolucji na AGB jest zmniejszanie się masy w rozdętej otoczce olbrzyma. Faza pulsów termicznych kończy się, gdy jej masa obniży się do wartości rzędu setnych części masy Słońca. Mają na to wpływ dwa niezależne procesy. Są to z jednej strony reakcje jądrowe przetwarzające wodór w cięższe pierwiastki z typowymi tempami reakcji rzędu 10^{-7} $M_\odot$/rok, a z drugiej strony wiatr gwiazdowy.Obserwacje pokazują, że wypływy materii z gwiazd AGB mogą osiągać tempa bliskie 10^{-5} - 10^{-4} $M_\odot$/rok. A zatem to właśnie wiatry gwiazdowe, a nie reakcje jądrowe wyznaczają skale czasowe ewolucji na Asymptotycznej Gałęzi Olbrzymów.Po zakończeniu fazy AGB proces intensywnej utraty masy ulega przerwaniu, a gwiazda wchodzi w etap zwany często w literaturze fachowej przedmgławicowym lub krócej post - AGB. Jest to etap jeszcze krótszy z punktu widzenia czasu ewolucji gwiazd - oceniany przeciętnie na co najwyżej kilka tysięcy lat. W tym krótkim czasie temperatura efektywna gwiazdy wzrasta od około 5000 do 30000 K i następuje jonizacja wyrzuconej wcześniej materii - powstaje mgławica planetarna. Rysunek 1 przedstawia diagram H - R z zaznaczonymi etapami charakterystycznymi dla końcowych faz życia gwiazd mało- i średniomasywnych.

Chociaż nakreślony tu w sposób bardzo schematyczny obraz ewolucji gwiazd mało- i średniomasywnych jest obecnie powszechnie akceptowany, to jak to zazwyczaj w nauce bywa, pozostaje wiele nierozwiązanych problemów z natury bardziej szczegółowych. Podstawowe z nich to zrozumienie procesu utraty masy oraz znalezienie przyczyny powodującej zmianę symetrii odrzuconej otoczki ze sferycznie - symetrycznej (typowej dla gwiazd AGB) na osiowo - symetryczną (bardzo często widoczną w fazie post - AGB). Jak dotychczas nie istnieje teoria pozwalająca odpowiedzieć na te pytania. Nie potrafimy obecnie przewidzieć z jakim tempem gwiazda o znanych parametrach (masa, jasność, temperatura) traci masę w czasie ewolucji na AGB. Co więcej, nie do końca wiemy w jaki sposób ją traci! Powszechnie uznanym mechanizmem odpowiedzialnym za wypływ materii z gwiazd AGB jest współdziałanie kilku procesów fizycznych: pulsacji gwiazdy, formowania się pyłu (około 1 % gazu potrafi skondensować się w postaci ziaren), ciśnienia promieniowania na pył i tarcia pomiędzy pyłem i gazem, ale jak to widać (a co widać, postaram się omówić za chwilę) na przepięknym zdjęciu mgławicy owalnej[1] uzyskanym



Rys.1. Diagram H - R z pokazanymi w sposób schematyczny końcowymi etapami życia gwiazd mało - i średniomasywnych. Znak zapytania podkreśla aktualny brak teorii mogących wyjaśnić przyczyny i moment rozpoczęcia szybkich wypływów z gwiazd post - AGB.

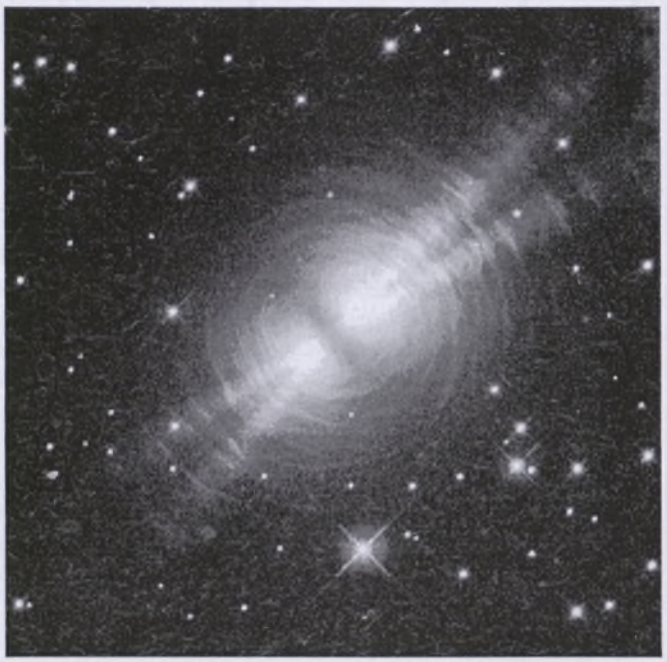
[1] Mgławica ta została nazwana Egg Nebula co może być bardziej dosadnie tłumaczone jako jajowata. Przy uzyskanej obecnie rozdzielczości widać coraz więcej szczegółów i nazwa np. langusta (skojarzenie mojej nie mającej nic wspólnego z astronomią małżonki) pasowałaby bardziej niż zwykły owal czy jajo... ale tradycja ma swoje prawa.

z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, nie wszystko jest zrozumiałe i tak oczywiste jak się nam to dotychczas wydawało.

Egg Nebula została „zauważona" pod koniec lat 60-tych w wyniku obserwacji nieba dokonanych na fali o długości 2.2 μm (22 000 Å), ale do katalogu źródeł podczerwonych wówczas nie trafiła, ponieważ była zbyt słaba na falach krótszych. Trafiła natomiast do katalogu galaktyk (Zwicky, F.: 1971, *Catalogue of Selected Compact Galaxies and of Post - Eruptive Galaxies*, Guemligen, Switzerland: F. Zwicky Publisher) jako obiekt IV Zw 67! Na niezwykłość obiektu zwrócono uwagę dopiero jednak w wyniku przeglądu nieba dokonanego na 10 i 20 μm przez satelitę wysłanego przez *Air Force Cambridge Research Laboratories*. Po tym odkryciu, przeprowadzono w połowie lat 70-tych wszechstronne badania w różnych zakresach widma i wyciągnięto wniosek, że Egg Nebula jest w fazie przejściowej pomiędzy gwiazdami AGB a mgławicami planetarnymi. Przez następne 20 lat sugestia ta znalazła szereg potwierdzeń, a w literaturze fachowej pojawiło się ponad 200 opracowań i wzmianek na jej temat. I gdy już wydawało się, że bardzo wiele wiemy o etapie AGB i post - AGB, a o mgławicy owalnej w szczególności, obserwacje z Teleskopu Kosmicznego pokazały szczegóły, które zmuszają do ponownego przemyślenia naszych wyobrażeń (a przynajmniej części z nich) o późnych etapach ewolucji gwiazd mało- i średniomasywnych. Aby zrozumieć, co nowego wnoszą te obserwacje i na czym polega niezwykłość widocznych szczegółów, przytoczmy trochę niezbędnych danych.

Prezentowane tu zdjęcie zostało zrobione w zakresie fal czerwonych emitowanych głównie przez gwiazdę centralną (jej temperaturę ocenia się na około 7000 K), a rozproszonych w naszym kierunku przez pył (pył sam w sobie jest zbyt chłodny, aby emitować znaczącą ilość energii w zakresie tak krótkich fal). Gwiazda, z której wyrzucona została mgławica owalna, przesłonięta jest grubą warstwą pyłu tworzącą wyraźnie ciemniejszą „poprzeczkę" w części centralnej zdjęcia. Odległość do mgławicy szacuje się na około 3 tysiące lat świetlnych. Biorąc pod uwagę jej rozmiar kątowy (nie pokazany na załączonym zdjęciu), który wynosi około 20″ i prędkość ekspansji głównych fragmentów mgławicy wynoszącą około 20 km/s, możemy stwierdzić, że Teleskop Kosmiczny pokazał nam z niebywałą jak dotychczas precyzją historię utraty masy na przestrzeni ostatnich 5000 lat ewolucji. W tym momencie warto podkreślić, że tylko badanie faz przedmgławicowych mogło dostarczyć tak bezpośredniego spojrzenia na proces wyrzutu materii. Obserwacje mgławic planetarnych, skądinąd ważne same w sobie, pokazują już tylko „zafałszowaną" historię utraty masy.

Mianowicie, w wyniku przechodzenia przez materię frontów jonizacyjnych, jej rozkład ulega bardzo istotnym



Zdjęcie mgławicy owalnej (Egg Nebula) - obłoku gazowo - pyłowego, wyrzuconego przez gwiazdę kończącą swą długą drogę życiową - uzyskane z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a 16 stycznia 1996 r. Po raz pierwszy widać spektakularne pierścienie gazowo - pyłowe, których struktura sugeruje, że utrata masy odbywa się z nieznanymi dotychczas skalami czasowymi, rzędu kilkuset lat. Widoczne są również bardzo dobrze skolimowane wiązki rozproszonego promieniowania, które wydostało się (najprawdopodobniej) poprzez dziury „wydmuchane" w wyniku oddziaływania tzw. szybkiego wiatru z wyrzuconą wcześniej materią.

zmianom i w gruncie rzeczy prawdziwa historia wyrzutu materii staje się nierozszyfrowywalna. Z drugiej zaś strony końcowe fazy ewolucji na AGB charakteryzują się tak dużą produkcją pyłu, że najbardziej interesujące obiekty są niewidoczne dla Teleskopu Kosmicznego. Wielkie nadzieje na bezpośrednie obserwacje obiektów AGB związane są z aktualnie realizowaną misją ISO (*Infrared Space Observatory*). Satelita ten umożliwia obserwacje w zakresie dalekiej podczerwieni (od kilku do ponad 200 μm) i z całą pewnością przyniesie nie mniej rewelacji niż misja Teleskopu Kosmicznego Hubble'a.

Wracając do analizy prezentowanego zdjęcia, za jeden z zadziwiających jego aspektów możemy uznać sferycznie - symetryczne rozłożenie kłaczków materii, oddzielonych od siebie interwałami czasowymi rzędu 100 - 500 lat. I ta separacja czasowa wydaje się być najbardziej niezrozumiała. Potrafimy, na podstawie istniejących teorii, wyobrazić sobie modulacje w tempie utraty masy w skalach czasowych kilkudziesięciu tysięcy lat (pulsy termiczne) lub kilku lat (pulsacje). Co jednak powoduje wyraźną zmienność w skali czasowej kilkuset lat nie mamy pojęcia! Chciałbym w tym momencie zwrócić uwagę na najnowszą

pracę badającą efekty pulsacji w gwiazdach AGB a opublikowaną w 1996 roku przez A. Ya'adi i Y. Tuchman w *Astrophysical Journal* nr 456 na stronie 350. Otóż autorzy zwracają uwagę, że jednym z najważniejszych aspektów badania pulsacji w trakcie ewolucji na AGB jest uwzględnienie procesów nieliniowych, a co za tym idzie badanie zmienności gwiazd w skalach czasowych kilkuset lat, tj. w skalach czasowych porównywalnych do skal termicznych typowych dla rozdętych otoczek w gwiazdach AGB. I choć praca ta nie daje odpowiedzi na pytanie: skąd mogłaby się brać zaobserwowana zmienność tempa wyrzutu materii, to pokazuje, że tylko dynamiczne symulacje ewolucji gwiazd AGB w skalach czasowych rzędu kilkuset lat mogą dostarczyć nam niezbędnej wiedzy o rzeczywistej strukturze tych obiektów i o procesach w nich zachodzących.

Następnym aspektem, być może jeszcze ciekawszym z punktu widzenia zrozumienia końcowych faz ewolucji na AGB, jest bardzo dobrze widoczna na prezentowanym zdjęciu struktura osiowo - symetryczna. To, że Egg Nebula nie jest sferycznie - symetryczna, było wiadomo już od ponad 20 lat, ale nigdy dotąd nie wiedziano, że 4 wiązki o wspólnym początku w punkcie pokrywającym się z pozycją gwiazdy centralnej są aż tak dobrze skolimowane. Ostrość ich krawędzi sugeruje, że promieniowanie wydostaje się z otoczki pyłowej wokół gwiazdy centralnej, poprzez dobrze zdefiniowane dziury o kształcie zbliżonym do pierścieni położonych blisko „poprzeczki" pyłowej, widocznej w centrum zdjęcia. Takie dziury mogą być wydmuchane poprzez szybki wiatr oddziałujący z otoczką wyrzuconą w trakcie ewolucji na AGB. To, że w częściach centralnych mgławicy owalnej są szybkie wypływy, wiadomym było z obserwacji radiowych linii molekularnych, które pokazały istnienie składowej o prędkości ekspansji rzędu 100 km/s (5 - cio krotnie większej od prędkości ekspansji głównych części mgławicy). Możliwe jest również, że szybki wypływ rozciąga się już na całej długości widocznych wiązek, ale wymaga to dalszego badania ich struktury kinematycznej. Warto podkreślić, że szybkie wypływy rozciągające się na bardzo duże odległości obserwuje się dość często w mgławicach planetarnych. Niezależnie jednak od tego, jaka jest dokładnie struktura szybkiego wypływu w mgławicy owalnej, możemy stwierdzić, że widzimy z bardzo dobrą rozdzielczością „narodziny" szybkiego wiatru, a co za tym idzie i początkowe fazy rozwoju struktury osiowo - symetrycznej tak typowej dla mgławic planetarnych.

Wspomniałem już wcześniej, że otoczki wokół gwiazd AGB są raczej sferycznie - symetryczne. Pokazują to zarówno obserwacje w zakresie radiowym, jak i w podczerwieni. Odstępstwa od symetrii sferycznej wykazuje tylko kilka procent obiektów. Z drugiej strony obserwacje gwiazd post - AGB (których sztandarowym przykładem jest właśnie mgławica owalna) pokazują, że większość z nich ma otoczki o symetrii bardzo zbliżonej do symetrii osiowej. Potwierdzają to zarówno zdjęcia otrzymane na falach o długości kilku mm, jak i obserwacje umożliwiające pomiar polaryzacji. Wysoki stopień polaryzacji świadczy o dużej asferyczności badanych otoczek. Wyraźna dychotomia w symetrii otoczek gazowo - pyłowych wokół gwiazd AGB i post - AGB sugeruje, że zmiana symetrii odrzucanej otoczki następuje albo w trakcie ostatnich kilku tysięcy lat ewolucji na AGB, albo też zaraz po rozpoczęciu ewolucji post - AGB. Jak pokazały teoretyczne prace B. Balick'a i jego współpracowników, to co naprawdę jest konieczne, aby wyjaśnić pojawienie się osiowej symetrii otoczek jest kontrast gęstości w otoczce odrzucanej w trakcie końcowych faz ewolucji na AGB, a następnie szybki wiatr (w rzeczy samej o dowolnej symetrii, np. sferycznie symetryczny!) w fazach przedmgławicowych. Szybki wiatr oddziałując z wolniej ekspandującą materią o różnej gęstości w różnych kierunkach łatwiej rozdmucha obszary o mniejszej gęstości, dając w efekcie symetrię mgławicy różną od sferycznej. Scenariusz ten wydaje się na tyle prosty i zachęcający (tym bardziej, że zarówno w fazie przedmgławicowej, jak i mgławicowej obserwuje się szybkie wiatry gwiazdowe o typowych prędkościach od około 100 do nawet kilku tysięcy km/s - choć ich przyczyna szczególnie we wczesnych etapach post - AGB nie jest jasna!), że w ostatnich latach poświęcono wiele wysiłku na jego badanie. Astrofizycy dalecy są jednak nadal od rozwiązań, którym można byłoby przypiąć etykietkę, że są „powszechnie akceptowane".

Wydawać by się mogło, że najprostszym wyjaśnieniem dla wyjaśnienia kontrastu gęstości w otoczce odrzuconej w trakcie AGB jest przyjęcie, że większość gwiazd ewoluuje w układach podwójnych. Hipoteza ta napotyka jednak na szereg trudności, głównie ze względu na brak precyzji w teoretycznych przewidywaniach, jakiego typu mgławicę wyprodukujemy w wyniku ewolucji w układzie podwójnym.

Zainteresowanym tym problemem Czytelnikom polecam artykuł Joanny Mikołajewskiej i Hugo Schwarz'a (*PA* 4/1994) poświęcony Krabom (proszę nie mylić z owocami morza!). Innym argumentem przemawiającym za ostrożnym traktowaniem hipotezy podwójności (a przynajmniej jej powszechności) jest brak asymetrii otoczek wokółgwiazdowych w trakcie ewolucji na AGB. Wydaje się więc, że nadal musimy szukać siły sprawczej dla wygenerowania wymaganego kontrastu gęstości pomiędzy obszarami równikowymi a biegunowymi w odrzucanej otoczce. Takim mechanizmem mogłyby być np. pulsacje nieradialne gwiazd, które z jakiegoś powodu zaczynałyby mieć dominujący wpływ właśnie w końcowych fazach ewolucji na AGB.

Ryszard Szczerba

Zorze polarne na Saturnie

Zorze polarne są zjawiskiem znanym na Ziemi od stuleci. Od czasu misji PIONIERÓW i VOYAGERÓW wiemy, że nie jest to zjawisko unikalne w Układzie Słonecznym. Magnetosfery potrzebne do utrzymywania cząstek naładowanych w otoczeniu planety posiadają Jowisz, Saturn, Uran i Neptun.

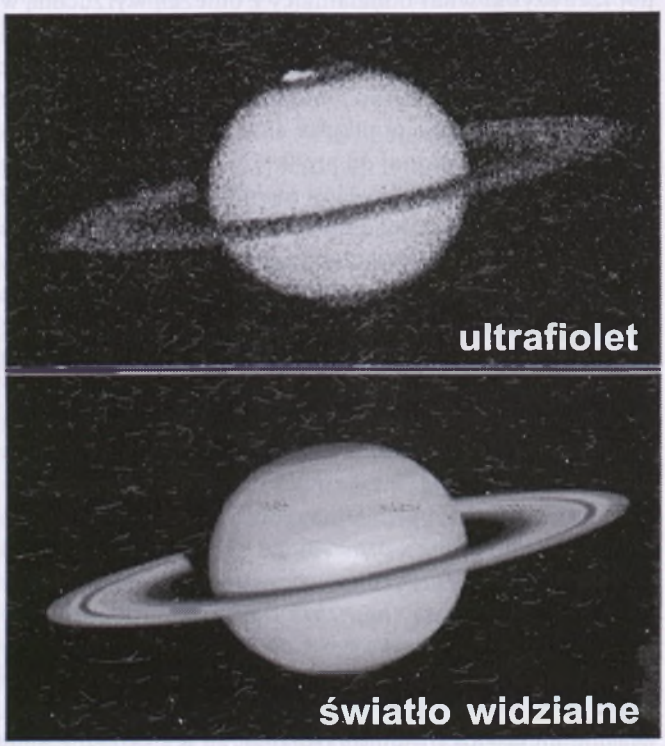
Zorze polarne powstają jako wynik wysypywania do atmosfery cząstek naładowanych. Pobudzony przez nie gaz świeci nie tylko w świetle widzialnym, ale przede wszystkim w ultrafiolecie. Świecenie koncentruje się w okolicach tzw. owalów zorzowych zlokalizowanych w okolicach biegunów magnetycznych planety. Pierwsze obrazy ziemskich owalów zorzowych otrzymano we wczesnych latach 70-tych naszego stulecia.

Zdjęcie wykonane przez HST przedstawia świecenie zorzy na Saturnie widoczne na obydwu półkulach. Olbrzymia, sięgająca do 2000 km ponad powłokę chmur, kurtyna zmieniała swoją jasność i kształt w czasie dwugodzinnej obserwacji przeprowadzonej 9 października 1994 roku. W tym czasie Saturn znajdował się w odległości 1.3 miliarda km od Ziemi. Ponieważ bieguny magnetyczne leżą praktycznie na osi rotacji planety, owale zorzowe są względem wspomnianej osi symetryczne. W Układzie Słonecznym jest to wyjątkowa sytuacja, dla pozostałych planet posiadających własne pole magnetyczne wspomniane osie nachylone są do siebie pod kątami sięgającymi w przypadku Urana nawet 60 stopni.

Skomplikowane zjawiska zachodzące w układzie planeta - magnetosfera, uwidoczniły się w czasie zderzenia komety *Shoemaker'a - Levy'ego* z Jowiszem. Obserwacje radiowe wskazywały na wyższe strumienie cząstek naładowanych w pasach radiacyjnych planety. HST zaobserwował również wzmożoną aktywność zorzową schodzącą przy tym do znacznie niższych niż zwykle szerokości - jej dokładny mechanizm nie jest jeszcze znany. Sprawę komplikuje dodatkowo obecność księżyca Io, który połączony jest z północną i południową półkulą Jowisza rurką prądową, przez którą płynie prąd o natężeniu kilku milionów amperów. Prąd ten został oceniony na podstawie zaburzeń pola magnetycznego planety przezeń wywołanych. Miało to miejsce w roku 1979, kiedy VOYAGER 1 przeleciał w jej pobliżu. Ślady oddziaływania wspomnianego prądu z jonosferą Jowisza udało się zaobserwować w podczerwieni z powierzchni Ziemi w styczniu 1992 roku. Nie wiemy jeszcze, jak tak złożony układ (należy pamiętać jeszcze o torusie plazmowym rozciągniętym wzdłuż orbity satelity) mogą przetworzyć energię wyzwoloną w trakcie zderzeń fragmentów komety z atmosferą planety.

Przedstawione zdjęcia świadczą o możliwościach użycia HST nie tylko do śledzenia „pogody" na planetach, ale pośrednio i stanu ich magnetosfer. Podobne obserwacje będą szczególnie przydatne w czasie trwania przewidzianej na przełom tysiąclecia misji CASSINI i będą stanowić uzupełnienie pomiarów sondy przeprowadzanych na miejscu w układzie Saturna.

(rs)



Powstawanie promieni kosmicznych w otoczkach supernowych

Wystrzelony w lutym 1993 roku japońsko - amerykański satelita rentgenowski ASCA (zobacz *PA* 4/94 str. 176) dostarczył ostatnio kolejnego dowodu na rzecz powstawania promieni kosmicznych w otoczkach supernowych. Obserwacje i ich interpretację przedstawił K. Koyama ze współpracownikami w numerze *Nature* z 16 listopada 1995 roku.

Promienie kosmiczne są naładowanymi cząstkami subatomowymi; najczęściej są to elektrony i protony przyspieszone do wysokich energii. Promienie kosmiczne po raz pierwszy zaobserwował w roku 1912 fizyk austriacki Victor Hess. Pochodzenie ich było niejasne, dopiero odkrycie pól magnetycznych w przestrzeni kosmicznej pozwoliło na zaproponowanie skutecznego mechanizmu przyspieszania cząstek do wysokich energii. Jeszcze w 1949 roku Enrico Fermi zaproponował proces polegający na podwyższaniu energii cząstek relatywistycznych w wyniku wielokrotnego „odbijania" od poruszających się względem siebie obłoków gazu międzygwiazdowego. Proces ten zwany obecnie procesem Fermiego drugiego rzędu nie okazał się jednak dostatecznie wydajny.

Obecnie najlepszymi kandydatami na akceleratory cząstek promieniowania kosmicznego wydają się być pozostałości po wybuchu gwiazd supernowych. W wyniku wybuchu powstaje gwałtownie rozszerzająca się otoczka. Jako zjonizowany gaz, albo inaczej plazma, zawiera ona w sobie również „wmrożone" pole magnetyczne. Pole to jest niejednorodne ze względu na niejednorodności gęstości, ale również na rozchodzące się w otoczce fale Alfvéna. Powstają w ten sposób lokalne centra rozpraszające cząstki naładowane. Cząstki mogą być przez pewien czas uwięzione w ekspandującej otoczce dyfundując w niej i nabierając energii małymi porcjami w wyniku zderzeń ze wspomnianymi niejednorodnościami pola magnetycznego. Mogą wydostać się z otoczki i znowu do niej powrócić, zyskując energię do czasu definitywnej ucieczki lub do uzyskania energii, dla których turbulencja alfvénowska nie jest już w stanie efektywnie z nimi oddziaływać.

We wspomnianym wcześniej mechanizmie Fermiego drugiego rzędu nie ma bezpośredniego sprzężenia między promieniami kosmicznymi a obłokami gazu międzygwiazdowego. W ekspandującej otoczce pozostałej po wybuchu supernowej natężenie fal Alfvéna wynoszonych wraz z otoczką zależy jednak również od strumienia promieni kosmicznych przepływających przez otoczkę . Ten nieliniowy proces prowadzi do uzyskania przez stosunkowo nieliczne cząstki naładowane nieproporcjonalnie dużej części energii z ekspandującego ośrodka. Mówimy wtedy o procesie Fermiego pierwszego rzędu. Teoretyczne oszacowania pokazały, że biorąc pod uwagę częstotliwość wybuchów supernowych w naszej Galaktyce (średnio jedna gwiazda na 30 lat) można wyjaśnić zadowalająco natężenie i widmo promieniowania kosmicznego. Nie wspominamy tu o cząstkach najbardziej energetycznych pochodzących prawdopodobnie spoza naszej Galaktyki. Cząstki przyspieszane w pozostałościach po supernowych mogą teoretycznie uzyskiwać energie do 1000 TeV. W tym zakresie widmo promieni kosmicznych ma postać w przybliżeniu potęgową z indeksem około - 2.7. Powyżej następuje zmiana indeksu do około - 3.1.

Mechanizm Fermiego nie jest jedynym mechanizmem mogącym produkować w przestrzeni kosmicznej cząstki o wysokich energiach. Zachodzące w atmosferze Słońca czy ogonach magnetosfer planetarnych procesy rekoneksji linii sił pola magnetycznego również produkują energetyczne cząstki. Innym przykładem są magnetosfery pulsarów.

Obecność promieni kosmicznych można wykryć na odległość m.in. na podstawie promieniowania synchrotronowego powstającego w wyniku ich ruchu w polu magnetycznym. Promieniowanie posiada charakterystyczne widmo potęgowe różne od widma promieniowania termicznego. Dotychczas obserwowano promienie synchrotronowe pozostałości po supernowych jedynie na falach radiowych, a zatem pobudzane przez cząstki o energiach rzędu 1-10 GeV. Ściślej mówiąc, przez relatywistyczne elektrony o takich energiach. Stąd jednak jeszcze daleko do 1000 TeV, przewidywanych przez teorię dyfuzyjnego przyspieszania promieni kosmicznych w otoczkach po supernowych. Nie było też wcale jasne, czy istnieją jony o odpowiednio wysokich energiach.

ASCA obserwował pozostałość po supernowej 1006 AD. Jest to pozostałość po wybuchu białego karła - tzw. supernowa typu IA. Instrumentarium satelity pozwala nie tylko na uzyskiwanie obrazów, ale i widm poszczególnych fragmentów obserwowanych obiektów. Pozostałość po 1006 AD ma średnicę około 30 minut kątowych. Uzyskano obraz o rozdzielczości około minuty łuku w zakresie widmowym od 0.5 do 10 keV. Pozostałość po 1006 AD świeciła normalnym „termicznym" promieniowaniem X świadczącym o obecności rozgrzanego gazu (w szczególności zaobserwowano linie tlenu, neonu, magnezu, krzemu, siarki i żelaza). Znaleziono jednak dwa dość rozległe kątowo i znajdujące się naprzeciw siebie obszary (o widmach praktycznie pozbawionych linii) świecące nietermicznie. Widmo wskazuje na promieniowanie synchrotronowe świadczące o obecności we wspomnianych obszarach relatywistycznych cząstek naładowanych o energiach rzędu 100 TeV (przy ocenie natężenia pola magnetycznego na 0.00001 Gaussa). Jak piszą autorzy, pole to nie jest dobrze znane i w swoich rachunkach posługują się jedynie jego oceną. Energia fotonu promieniowania synchrotronowego jest wprost proporcjonalna do natężenia wspomnianego pola. Mimo to odkrycie wydaje się o tyle ciekawe, że przesuwa znacznie w górę energię relatywistycznych elektronów zaobserwowanych w miejscu ich generacji, i to do zakresu, gdzie teoria przewiduje równie skuteczne przyspieszanie jonów do podobnych energii - „innymi słowy, jąder promieni

kosmicznych", jak piszą autorzy pracy. Zdają sobie oni sprawę z ryzyka przedwczesnego uogólniania wniosków swojej pracy i dlatego proponują następnych kandydatów (pozostałości po supernowych) do bliższej analizy. Chodzi m.in. o źródła rentgenowskie Cas A, IC443 oraz pozostałość po supernowej obserwowanej przez Tycho de Brahe.

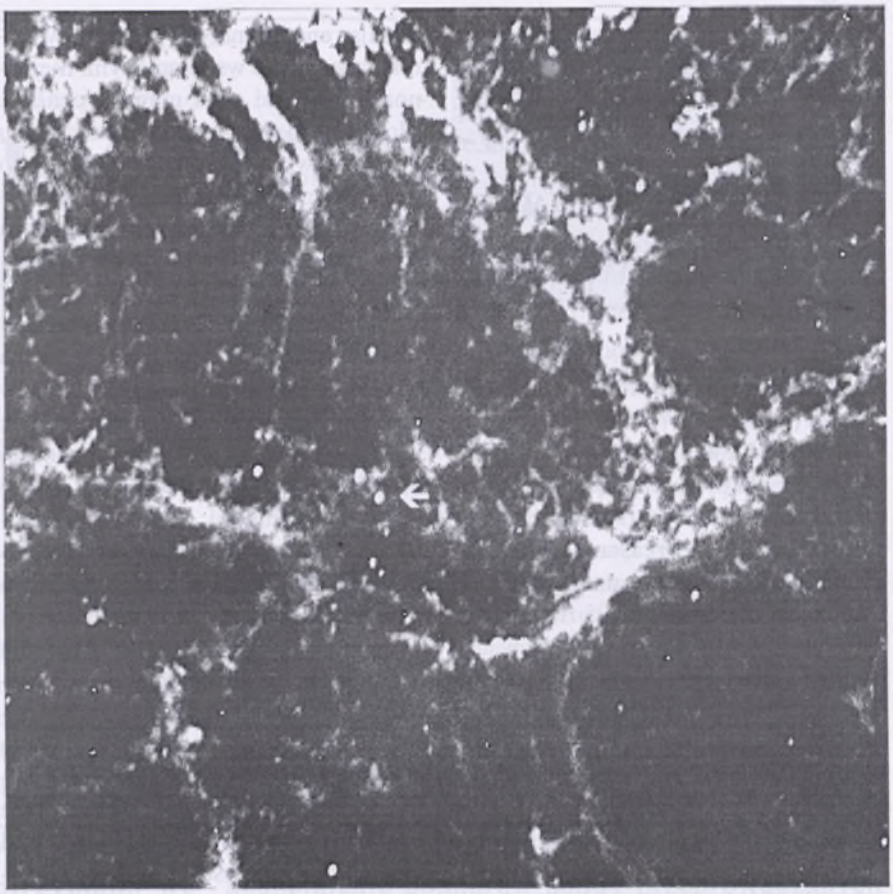
(rs)

Widmo pulsara w Krabie

Dziwnie regularne pulsy radiowe obserwowane w roku 1967 z mgławicy Krab w gwiazdozbiorze Byka przez panią Jocelyn Bell i jej profesora Antoniego Hewish'a dały odkrycie nowej klasy obiektów: pulsarów. Mówiąc w ogromnym skrócie, pulsary to szybko rotujące gwiazdy neutronowe tak zorientowane w przestrzeni, że wąski stożek ich promieniowania omiata Ziemię, jak światło latarni morskiej pływające statki.

Gwiazdy neutronowe to, obok mgławicy, pozostałość po wybuchu supernowej. Mgławica Krab i jej pulsar nazwany *PSR 0531+21* są szczególnie interesujące, ponieważ mamy informację o ich narodzeniu. Powstały w wyniku wybuchu supernowej w roku 1054, której pojawienie się w gwiazdozbiorze Byka zostało obserwowane i opisane przez astronomów chińskich.

Wkrótce po odkryciu pulsów radiowych pochodzących od tego obiektu odkryto również jego pulsacje optyczne. Dość szybko zrozumiano, że za emisję promieniowania optycznego z pulsara nie są odpowiedzialne procesy termiczne (jak w przypadku gwiazd), a jest ono wynikiem oddziaływania wysokoenergetycznych cząstek elementarnych w pobliżu gwiazdy neutronowej z jej niezwykle silnym polem magnetycznym. Sama mgławica Krab promieniuje znaczne ilości energii we wszystkich dziedzinach widma elektromagnetycznego od najdłuższych fal radiowych do wysokoenergetycznego promieniowania gamma. W promieniowaniu rentgenowskim powyżej 1 KeV należy ona do najjaśniejszych obiektów na niebie. Pulsar w Krabie też promieniuje we wszystkich dziedzinach widma, ale jego promieniowanie jest znacznie słabsze niż promieniowanie mgławicy. W optycznym przedziale widma, w dziedzinie widzialnej, jest on słabym obiektem punktowym o jasności 16.6 magnitudo widzianym na tle jasnej mgławicy (zdjęcie). Na długo przed zidentyfikowaniem pulsara, z analizy rozkładu prędkości poszczególnych elementów mgławicy, uznano ten obiekt za centralną pozostałość po wybuchu supernowej A.D. 1054. Pomimo tak małej jasności widomej pulsar w Krabie jest najjaśniejszym pulsarem optycznym. Kolejny co do jasności w dziedzinie widzialnej widma pulsar *PSR 0540-69* w Wielkim Obłoku Magellana jest obiektem około 1000 razy słabszym.



Mgławica Krab jest pozostałością po wybuchu supernowej w roku 1054. Pulsar *PSR 0531+29* znajduje się w pobliżu środka prezentowanego tu zdjęcia: jest to położona bardziej na dole i na prawo jedna z dwóch słabych znajdujących się tam gwiazd - strzałka. Zdjęcie zostało uzyskane w linii wzbronionej dwukrotnie zjonizowanego tlenu [O III] przy pomocy 3.5 metrowego teleskopu *Nowej Technologii* NTT w obserwatorium ESO w La Silla w Chile.

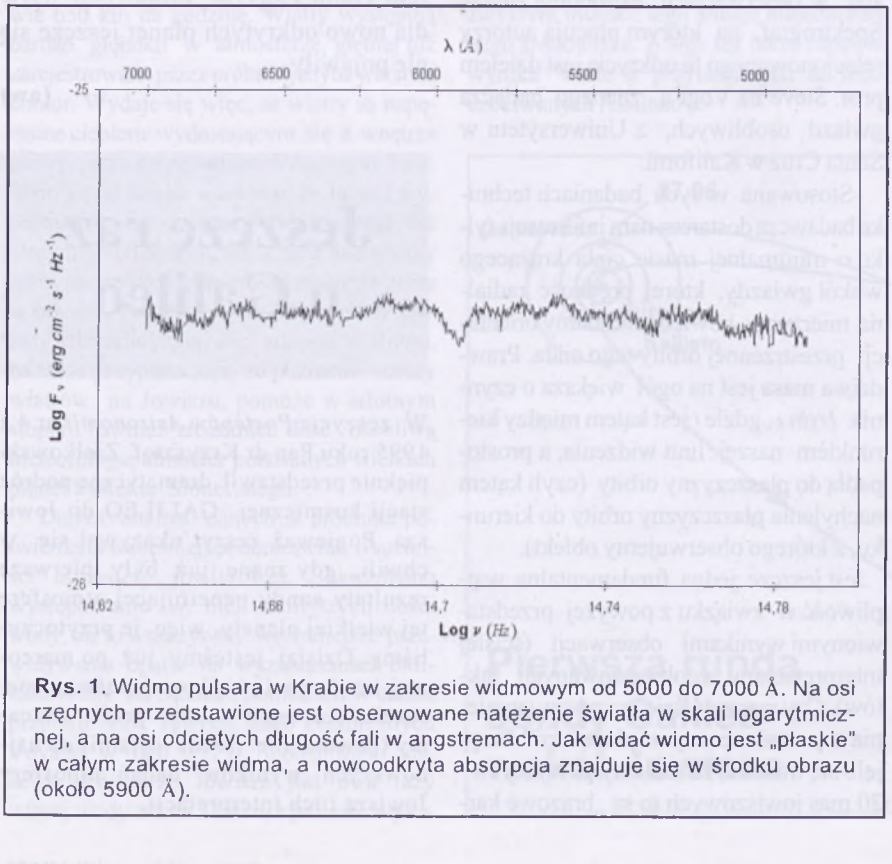
Pierwsze obserwacje widmowe pulsara w Krabie zostały przeprowadzone już w 1969 roku przez Beverley Oke'a na Mt. Palomar. Analiza tych widm prowadziła do jakościowego potwierdzenia oczekiwań teoretycznych, że widmo pulsara jest płaskie i pozbawione jakichkolwiek dyskretnych elementów. Spektralna zdolność rozdzielcza uzyskanych widm była 200 Å (20 nm), a więc była bardzo mała. Zaskakujące jest, że przez kolejnych przeszło 25 lat nikt nie uzyskał lepszego od B. Oke'a widma pulsara *PSR 0531+21*. Usprawiedliwieniem jest fakt, że pulsar jest otoczony bardzo jasnymi, ekspandującymi chmurami gazu mgławicy Kraba. Widmo pulsara jest więc skażone widmem mgławicy, co czyni wielce kłopotliwym wydobycie z tej mieszaniny „czystego" widma pulsara.

Nowe obserwacje spektralne pulsara w mgławicy Krab wykonane przez ekipę włoskich astronomów przy pomocy 3.5 metrowego teleskopu NTT w ESO w Chile wykryły nieznane dotychczas szczegóły w widmie optycznym tego obiektu (Rys.1). Spektralna zdolność rozdzielcza ostatnio otrzymanych widm wynosi 2 Å (0.2 nm), a więc jest 100 razy lepsza niż w czasie obserwacji w 1969 roku na 5 metrowym teleskopie. Z jednej strony odzwierciedla to ogromny postęp instrumentalny. Z drugiej, postęp w technikach obróbki materiału obserwacyjnego, pozwalający na efektywne usunięcie skażeń widma pulsara (co było głównym problemem) przez widmo otaczającej go mgławicy jaki nastąpił w ciągu ostatniego ćwierćwiecza. Omawiane widmo pulsara przedstawione jest na Rys.1. Z jednej strony daje ono sposobność precyzyjnego określenia zależności emisji światła pulsara od długości fali. Teoria przewiduje zależność liniową. Nowe obserwacje potwierdzają taki przebieg zależności promieniowanie - długość fali i pozwalają na wyznaczenie nachylenia tej linii z dokładnością lepszą niż 1 procent. Ten wynik ma bezpośrednie implikacje dla naszego zrozumienia procesów przyśpieszania wysokoenergetycznych cząstek elementarnych w pobliżu powierzchni gwiazdy neutronowej i natężenia jej pola magnetycznego.

Z drugiej strony nowe obserwacje odkryły występowanie szerokiej widmowej struktury absorpcyjnej około λ = 5900 Å (590 nm). Szerokość tej absorpcji jest około 100 Å . Wydaje się, że obserwowana absorpcja pochodzi z bezpośredniego otoczenia gwiazdy neutronowej. Stanowczo wykluczono jej pochodzenie z mgławicy otaczającej pulsara, materii międzygwiazdowej i atmosfery ziemskiej. Nie przypisano tej absorpcji żadnemu ze znanych pierwiastków ani linii widmowych. To ostatnie dodatkowo jest utrudnione faktem występowania w pobliżu gwiazdy neutronowej silnego pola grawitacyjnego mogącego powodować nieznane przesunięcie i poszerzenie grawitacyjne linii widmowej. Pierwsze próby interpretacji idą w kierunku wyjaśnienia obserwowanej depresji w widmie optycznym absorpcją światła powodowaną osobliwym ruchem atomów w supersilnym polu magnetycznym wokół pulsara. Ale konieczne są dalsze i z jeszcze większą zdolnością rozdzielczą uzyskiwane obserwacje. Być może trzeba będzie poczekać do uruchomienia w ESO pierwszego z 8.2 metrowych teleskopów VLT, co nastąpi już za 2 lata.

Prezentowane tu dane zostały opublikowane przez ESO w dniu 20 listopada 1995 r.

(aw)



Rys. 1. Widmo pulsara w Krabie w zakresie widmowym od 5000 do 7000 Å. Na osi rzędnych przedstawione jest obserwowane natężenie światła w skali logarytmicznej, a na osi odciętych długość fali w angstremach. Jak widać widmo jest „płaskie" w całym zakresie widma, a nowoodkryta absorpcja znajduje się w środku obrazu (około 5900 Å).

Odkrycie kolejnych planet!

Na Zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego w San Antonio w Teksasie w dniu 17 stycznia 1996 roku dwaj astronomowie kalifornijscy, prof. G. Marcy i dr P. Butler, ogłosili o odkryciu kolejnych planet poza naszym Układem Planetarnym. Podobne do planet Układu Słonecznego ciała znaleźli wokół widocznych gołym okiem gwiazd *70 Virginis* i *47 Ursae Majoris*.

Zaledwie 3 miesiące wcześniej, w październiku 1995 roku, astronomowie szwajcarscy Michel Mayor i Didier Queloz ogłosili odkrycie ciała o rozmiarach planetarnych krążącego wokół gwiazdy *51 Pegaza*. Tydzień później to odkrycie zostało potwierdzone właśnie przez Geofray'a Marcy'ego i Paul'a Butler'a z Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley i Obserwatorium Licka (Zob. *Postępy Astronomii* nr 4/95 str. 158). Teraz ci ostatni astronomowie donieśli o odkryciu kolejnych planet wokół podobnych do Słońca gwiazd znajdujących się w gwiazdozbiorze Panny i Wielkiej Niedźwiedzicy.

Ta pierwsza planeta wokół podobnej do Słońca gwiazdy ma masę ocenianą na 1/2 masy Jowisza i okrąża swoje słońce w ciągu zaledwie 4.3 dnia. Z jej niezwykle krótkiego okresu obiegu wynika, że jest bardzo blisko swej gwiazdy i wprost praży się w jej promieniowaniu osiągając temperaturę powierzchni wyższą niż 1000 °C.

Nowo odkryte planety mają natomiast masę kilku mas jowiszowych i krążą wokół swoich gwiazd centralnych w odległościach typowych dla naszego Systemu Słonecznego.

Planeta wokół *70 Vir* obiega gwiazdę w średniej odległości 0.43 jednostki astronomicznej po dość ekscentrycznej, wydłużonej orbicie (e = 0.35) w ciągu 116 dni. Jej masa jest 6.5 razy większa od masy Jowisza. Autorzy odkrycia oceniają, że temperatura na jej powierzchni wynosi około 85 °C. Jest więc dostatecznie niska, aby mogły tam istnieć złożone molekuły od dwutlenku węgla po proste molekuły organiczne. Mogą tam padać podobne do ziemskich deszcze i nawet istnieć morza i oceany. Ale, z drugiej strony, wydłużona orbita może sugerować, że planeta ta nie urodziła się, tak jak wyobrażamy to sobie w przypadku naszych planet, w dysku protoplanetarnym otaczającym gwiazdę krótko po jej powstaniu i być może jest zimną i małą gwiazdą tzw. „brązowym karłem", a nie „prawdziwą" planetą.

Gwiazda *70 Vir* jest gwiazdą bardzo podobną do Słońca (typ widmowy G5 V), choć paręset stopni chłodniejsza i około 3 miliardy lat starsza od naszej dziennej gwiazdy. Znajduje się w odległości 78 lat światła od nas, a przedstawione powyżej wnioski odnośnie jej „towarzysza planetarnego" wynikają z pomiarów zmian jej prędkości radialnej sięgającej aż do 311 metrów na sekundę.

Planeta wokół gwiazdy *47 UMa* została odkryta po analizie obserwacji wykonywanych w ciągu ostatnich 8 lat. Jej okres obiegu jest trochę dłuższy od 3 lat (1103 dni). Promień prawie dokładnie kołowej orbity tej planety oceniono na ok. 2 razy większy od promienia orbity Ziemii (2.1 jedn. astr.), a jej masę na 2.3 razy większą od masy Jowisza. Planeta prawdopodobnie ma obszary atmosfery w których temperatura pozwala na istnienie wody w stanie płynnym. Ten układ „gwiazda - planeta" przez proporcje mas i odległości jest, ze wszystkich dotychczas odkrytych, najbardziej podobny do naszego Systemu Słonecznego. Odległość do tego planetarnego sąsiada wynosi 46 lat światła.

Odkrywcy obu opisanych powyżej planet sądzą, że ich odkrycie świadczy o tym, że występowanie planet wokół „normalnych" gwiazd jest zjawiskiem powszechnym w naszej Galaktyce i że wkrótce będą mogli ogłosić swe nowe odkrycia pozasłonecznych układów planetarnych. Pracują nad tym zagadnieniem od 1987 roku. Mają w swoim programie obserwacyjnym ok. 120 gwiazd leżących w odległości od nas między 10 a 100 lat światła. Posługują się metodą pomiarów prędkości radialnych gwiazd i poszukują cyklicznych zmian tego parametru, świadczącego o „kołysaniu" się gwiazdy. Na przykład obrót Jowisza wokół Słońca (ściślej powinniśmy powiedzieć „obrót Słońca i Jowisza wokół wspólnego środka mas"), powoduje radialne ruchy naszej gwiazdy o amplitudzie do 12.5 metra na sekundę. Używany przez Marcy'ego i Batlera spektrograf na 3-metrowym teleskopie Shane'a w Obserwatorium Licka pozwala na osiągnięcie dokładności pomiarów prędkości radialnych rzędu 3 metrów na sekundę! To jest fantastyczna dokładność! Z taką prędkością porusza się przecież szybko maszerujący człowiek - uświadamia nam to lepiej, jaka precyzja pomiarów jest potrzebna i osiągana dzisiaj w obserwacjach astronomicznych. Spektrograf, na którym pracują autorzy relacjonowanego tu odkrycia jest dziełem prof. Steve'na Vogt'a, znanego badacza gwiazd osobliwych, z Uniwersytetu w Santa Cruz w Kalifornii.

Stosowana w tych badaniach technika badawcza dostarcza nam informacji tylko o minimalnej masie ciała krążącego wokół gwiazdy, której prędkość radialną mierzymy, bowiem nie znamy orientacji przestrzennej orbity tego ciała. Prawdziwa masa jest na ogół większa o czynnik $1/\sin i$, gdzie i jest kątem między kierunkiem naszej linii widzenia, a prostopadłą do płaszczyzny orbity (czyli kątem nachylenia płaszczyzny orbity do kierunku, z którego obserwujemy obiekt).

Jest jeszcze jedna fundamentalna wątpliwość w związku z powyżej przedstawionymi wynikami obserwacji (ściślej interpretacjami zaobserwowanych faktów). Czy rzeczywiście mamy do czynienia z pozasłonecznymi planetami? Przyjęło się uważać, że obiekty powyżej 10 - 20 mas jowiszowych to są „brązowe karły", natomiast obiekty o masach mniejszych, to „planety". Ale to rozgraniczenie jest obecnie często kwestionowane, ze względu na nie najlepsze rozumienie mechanizmów tworzenia się brązowych karłów. Wielu specjalistów uważa, że mogą być brązowe karły o masach znacznie mniejszych, niż dotychczas przyjmowana dolna granica masy. A więc mogą też być planety bardziej masywne niż brązowe karły. W szczególności David C. Black z *Lunar and Planetary Institute* w Houston twierdzi, że ze wszystkich dotychczas odkrytych planet pozasłonecznych, tylko obiekt wokół *47 UMa* może być wstępnie uważany za obiekt planetarny, natomiast wszystkie inne są brązowymi karłami, a nie planetami.

Tym niemniej, zachowując tradycję nazywania ciał Układu Planetarnego imionami postaci mitologii greckiej i rzymskiej, proponuje się nazwanie planety wokół *51 Peg*, czyli oficjalnie *51 Peg B*, imieniem Bellerophon - po polsku Bellerofont. Bellerofont był bohaterem greckim (korynckim), pogromcą ziejącej ogniem Chimery z którą walczył na skrzydlatym koniu Pegazie. Propozycje nazw dla nowo odkrytych planet jeszcze się nie pojawiły.

(aw)

Jeszcze raz o Galileo

W zeszycie *Postępów Astronomii* nr 4 z 1995 roku Pan dr Krzysztof Ziołkowski pięknie przedstawił dramatyczną podróż stacji kosmicznej GALILEO do Jowisza. Ponieważ zeszyt ukazywał się w chwili, gdy znane już były pierwsze rezultaty sondy penetrującej atmosferę tej wielkiej planety, więc je przytoczyliśmy. Dzisiaj jesteśmy już po marcowej konferencji naukowej poświęconej rezultatom tejże sondy, przeto wracamy (pewnie nie po raz ostatni) do najnowszych wyników badań atmosfery Jowisza i ich interpretacji.

Najbardziej znaczące jest chyba stwierdzenie, wbrew pierwotnym doniesieniom, że stosunek ilości helu do wodoru w atmosferze Jowisza jest jednak bliski stosunkowi obfitości tych pierwiastków na Słońcu. Wskazuje to, że generalnie skład chemiczny Jowisza nie uległ zmianie od czasów narodzin tej planety przed prawie pięcioma miliardami lat. Po pośpiesznej analizie danych w styczniu br. ogłoszono, że stosunek helu do wodoru wynosi 10 - 14 procent, podczas gdy słoneczna wartość tego stosunku jest 25 procent. To miałoby poważne konsekwencje kosmogoniczne. Teraz, po pełniejszej analizie danych ze spektrografu masowego NMS wartość jowiszowa została podniesiona do 24 procent. Oszacowania obfitości pierwiastków „ciężkich" jak węgiel, azot i siarka wskazują, że jest ich znacznie więcej na Jowiszu niż na Słońcu. Znaczy to zapewne, że spadek meteorytów i innych małych ciał na Jowisza w ciągu epok jego istnienia miał znaczący wpływ na jego ewolucję. Większa obfitość węgla pociąga za sobą wzrost obfitości takich składników atmosfery jak metan. Odkryto też minimalne zaledwie ilości związków organicznych, a to z kolei nie daje praktycznie żadnej nadziei na znalezienie na tej planecie takiej aktywności biologicznej jaką znamy na Ziemi.

Wiatry jowiszowe wydają się silniejsze niż wcześniej oceniano - wieją z szybkością prawie 650 km na godzinę. Wiatry występują bardzo głęboko w atmosferze, głębiej niż zarejestrowana przez próbnik jedyna warstwa chmur. Wydaje się więc, że wiatry są napędzane ciepłem wydostającym się z wnętrza planety, a nie ogrzewaniem słonecznym. Swoją drogą od dawna wiadomo, że Jowisz wypromieniowuje dwa razy więcej energii niż otrzymuje od Słońca, ale ciągle nie wiemy jakie jest źródło ciepła produkowanego przez tę planetę. Ponieważ wszystkie wielkie planety charakteryzują się silnymi wiatrami, badacze przypuszczają, że poznanie natury wiatrów na Jowiszu, pomoże w istotnym stopniu również zrozumieć dość osobliwą meteorologię atmosfer pozostałych wielkich planet Systemu Słonecznego.

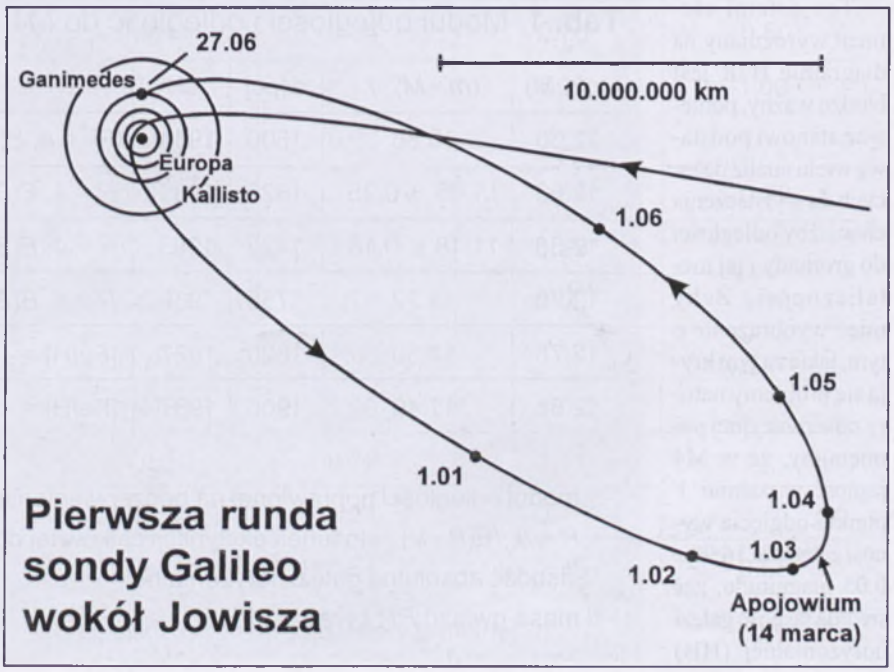
Dalsza analiza danych z próbnika potwierdziła wcześniejsze doniesienia o suchości atmosfery jowiszowej. Stwierdzono występowanie w niej mniejszych ilości wody, niż to wskazywały wcześniejsze przewidywania oparte na wyznaczeniach obfitości wody na Słońcu i pomiarach w czasie przelotu obok Jowisza sond kosmicznych Voyager w roku 1979. Spodziewano się, że w atmosferze Jowisza jest dwa razy więcej wody niż na Słońcu, a próbnik wykazuje, że na Jowiszu wody jest znacznie mniej niż na Słońcu.

Potwierdza się wcześniej ogłoszone odkrycie daleko mniejszej ilości błyskawic na Jowiszu niż się spodziewano. Jest ich nawet od 3 do 10 razy mniej na jednostkę powierzchni niż na Ziemi, ale indywidualne pioruny są tam około 10 razy bardziej energetyczne niż pioruny ziemskie. Świadczy o tym m.in. promieniowanie radiowe emitowane podczas wyładowań atmosferycznych.

Coraz powszechniejsze panuje przekonanie, że próbnik wszedł do atmosfery Jowisza w pobliżu południowego skraju tzw. „podczerwonej gorącej plamy". Plama ta jest obszarem o bardzo małej ilości chmur. Nefelometr (przyrząd do mierzenia chmur) próbnika zarejestrował tylko jedną, cienką nawet jak na standardy ziemskie, warstwę chmur. Prawdopodobnie była to chmura złożona z wodorosiarczku amonu (NH_4SH). Spodziewano się trzech warstw chmur: najwyższą, której górną „powierzchnię" widzimy z Ziemi, utworzoną przez kryształki amoniaku (NH_3), środkową zbudowaną z wodorosiarczku amonu i najgłębszą, a zarazem najgrubszą (najgęstszą) z wody i kryształków lodu (H_2O). Powstaje pytanie, czy miejsce penetracji próbnika było typowe dla atmosfery Jowisza? Odpowiedź wydaje się być przecząca. Próbnik wpadł do atmosfery Jowisza raczej w bardzo niezwykłym miejscu tego wielce niejednorodnego środowiska. Z tego też faktu zapewne wynika wiele z przytaczanych tu nieoczekiwanych rezultatów.

W sumie badacze podkreślają, że dzięki próbnikowi atmosferycznemu Jowisza uzyskano bardzo wiele unikatowych, niezwykle ciekawych informacji o atmosferze tej planety, których w żaden inny sposób nie możnaby zdobyć. A sam pojazd kosmiczny Galileo stał się teraz sztucznym satelitą Jowisza, który w ciągu dwóch lat wykona 11 obiegów wokół tej planety po bardzo wydłużonej orbicie. Jego ruch został tak zaplanowany, aby omijał pasy radiacyjne Jowisza podtrzymywane przez potężną magnetosferę tej planety. Pasy te są znane z wielkiej ilości i wielkiej energii cząstek naładowanych w nich uwięzionych. Sonda Galileo odkryła jeszcze jeden dotychczas nie znany pas radiacyjny około 10 razy „silniejszy" od ziemskich pasów Van Allena, a znajdujący się w odległości 50 tys. km od powierzchni Jowisza. Pas ten składa się z wysokoenergetycznych jonów helu, o których pochodzeniu narazie nic nie możemy powiedzieć. Dnia 14 marca 1996 roku zostały już odpalone odpowiednie silniki, aby umożliwić sondzie Galileo w dniu 27 czerwca 1996 roku spotkanie z największym satelitą Jowisza, Ganimedesem, a następnie z innymi księżycami. Cała misja sondy Galileo jest dziełem NASA, której Laboratorium Napędów Odrzutowych (JPL) w Pasadenie czuwa nad jej przebiegiem i realizacją jej programu naukowego.

(aw)



Gromada kulista M4 (NGC 6121)

Marek Gołębiewski

Za sprawą nieocenionego Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, na popularności zyskała ostatnio gromada kulista M4 - właśnie w niej po raz pierwszy zaobserwowano, w sposób bezpośredni, białe karły. Pisaliśmy o tym odkryciu w PA nr 4/95 (str. 154), gdzie podaliśmy także kilka faktów o M4. W niniejszym artykule chcielibyśmy zaprezentować nieco więcej informacji na jej temat i pokazać, że na tego typu obiekty warto spoglądać nie tylko dlatego, że stanowią one ładnie wyglądające skupiska wielu, wielu gwiazd ...

1. Diagram H - R gromady M4

Z racji zaawansowanego stopnia ewolucji interesujących nas zbiorowisk gwiazd, ich diagramy *Hertzsprunga - Russella*, w praktyce obserwacyjnej sprządzane jako wykresy barwa - jasność, są mocno rozbudowane powyżej tzw. punktu odgięcia (którego położenie wskazuje na wiek gromady). Na efekty ewolucyjne nakładają się dodatkowo w przypadku M4 konsekwencje zjawiska poczerwienienia różnicowego co powoduje, że :

a) górna część gałęzi czerwonych olbrzymów jest słabo obsadzona, ponadto

b) jest ona słabo oddzielona od gałęzi asymptotycznej, za to

c) gałąź horyzontalna jest bogata w gwiazdy.

Ten ostatni element wyróżniany na diagramie H–R jest bardzo ważny, ponieważ stanowi podstawę wielu analiz dążących do wyznaczenia chociażby odległości do gromady i jej metaliczności. Żeby mieć wyobrażenie o tym, jakie za tym kryją się problemy natury obserwacyjnej pamiętajmy, że w M4 jasność w paśmie *V* punktu odgięcia wynosi zaledwie 16.90± 0.05 magnitudo, zaś średnia jasność gałęzi horyzontalnej (HB) zawiera się w przedziale 13.34 - 13.45 magnitudo. Te ostatnie dane skłaniają do zadania sobie pytania, czy obserwowana szerokość HB wynika jedynie z błędów obserwacyjnych? Jak pokazał w 1990 roku Sandage, mierzone różnice jasności widomych gwiazd *RR Lyrae* (przynależących do HB) są rzeczywiste i należy je przypisać ewolucji od gałęzi horyzontalnej wieku zerowego (ZAHB). Co więcej, odpowiednie wielkości liczbowe zależą od metaliczności gromady. I tak, w ubogich w metale gromadach, rozpiętość HB wynosi ~ 0.2 magnitudo, podczas gdy dla gromad bogatszych w metale przewyższa nawet 0.5 magnitudo. Dla M4 wielkość ta osiąga 0.55 magnitudo.

2. Odległość gromady

Wśród gromad kulistych, M4 wyróżnia się tym, iż położona jest najbliżej. Z drugiej strony jednakże, uzyskanie oszacowania odległości jest poprzedzone szeregiem mniej lub bardziej poprawnych założeń. O skali rozbieżności świadczy kilka wybranych danych dostępnych w bogatej literaturze, zebranych w Tab. 1. Wykorzystuje się rozmaite metody prowadzące do wyznaczenia odległości. Można określić jasność absolutną HB, równą jasności absolutnej gwiazd *RR Lyrae*, którą z kolei można otrzymać znając metaliczność (szerzej na ten temat w punkcie 4). Wykonuje się również dopasowania ciągu głównego (MS) do rozmaitych ciągów odniesienia,

Tab. 1. Moduł odległości i odległość do M4

$(m - M)$	$(m - M)_0$ [1]	d [pc]	rok	uwagi
12.36	10.88	1500	1984	R[2] = 4, $E(B - V) = 0.37$, M_V(HB) = 0.98 mag[3]
12.53	11.05 ± 0.25	1622	1989	$R = 4$, $E(B - V) = 0.37$, V(HB) = 13.35 mag
12.66	11.18 ± 0.18	1722	1995	$R = 4$, $E(B - V) = 0.37$,
12.70	11.22	1750	1960	$R = 4$, $E(B - V) = 0.37$,
12.78	11.30	1820	1987	[Fe/H] = - 1.3, $E(B - V) = 0.42$, M(RR)[4] = 0.55
12.88	11.40	1905	1987	[Fe/H] = - 1.3, $E(B - V) = 0.4$, M(RR) = 0.65

[1] moduł odległości poprawionej na poczerwienienie

[2] $R = A_V/E(B - V)$ - stosunek ekstynkcji całkowitej do selektywnej

[3] jasność absolutna gałęzi horyzontalnej

[4] masa gwiazd *RR Lyrae*

co pozwala uniknąć nieco niepewnej kalibracji HB, za to napotykamy na trudności w doborze odpowiedniego ciągu (mogą to być np. podkarły). Można oczywiście szukać pomocy w teorii i dopasowywać do MS teoretyczny ciąg główny wieku zerowego (ZAMS). Jeszcze inne podejście wykorzystuje ponownie RR Lyrae , badając dyspersję ich ruchów własnych i prędkości radialnych.

Tab. 2. Metaliczność M4

[Fe/H]	rok	metoda
- 0.4	1984	spektroskopia niebieskich gwiazd HB
- 0.6	1972	spektroskopia wielobarwna
- 0.8	1977	nadwyżka nadfioletowa dla 15 gwiazd *RR Lyrae*
- 1.05 ± 0.15	1994	spektroskopia echelle 4 olbrzymów; EW[1] Fe I,Fe II, Ca I
- 1.06 ± 0.35	1979	natężenie pasma TiO
- 1.23	1984	fotometria podczerwona
- 1.4 ± 0.2	1978	wskaźnik metaliczności *S* dla 22 gwiazd *RR Lyrae*

[1] szerokość równoważna linii widmowej

3. Metaliczność

Jednym z podstawowych parametrów, charakteryzujących gromadę jest jej metaliczność, czyli zawartość pierwiastków ciężkich. Tradycyjnie w astrofizyce rozpatruje się względną obfitość żelaza, jako miarę tej wielkości, zgodnie z formułą:

$$[Fe/H] = \log(Fe/H)_* - \log(Fe/H)_\odot$$

Widzimy zatem, że [Fe/H] = 0 oznacza względną obfitość żelaza w gwieździe równą tej dla Słońca, a [Fe/H] < 0 - odpowiednio mniejszą zawartość metali (czyli pierwiastków cięższych od helu). Pomiar metaliczności nastręcza wiele trudności. Stosuje się całą gamę metod, polegających na wyznaczaniu rozmaicie zdefiniowanych wskaźników metaliczności, np. parametr *S* (zob. *PA* 4/95, str. 155) jest powiązany z szukaną wielkością następująco: [Fe/H] = - 0.16*S* - 0.23. Jak trudny do prawidłowego uchwycenia ilościowego jest ten problem, niech ponownie uzmysłowi nam zestawienie kilku przykładowych oszacowań (Tab. 2). A dokładność wyznaczenia tej wielkości ma bezpośredni wpływ nie tylko na rozważania dotyczące ewolucji gromady, ale i na wartości szacunków na przykład modułu odległości i poczerwienienia.

Dla danej [Fe/H] obserwowany ciąg główny gromady może być poprawiony na poczerwienienie i odległość, a następnie porównany do ciągów teoretycznych w celu uzyskania informacji o parametrach ewolucyjnych. W szczególności, można określić pierwotną zawartość helu Y_0, na podstawie niższej części ciągu głównego, którego położenie na płaszczyźnie M_V - (B - V) zależy głównie od Y_0 i [Fe/H]. Dla M4, niezależnie od przyjętej zawartości metali otrzymujemy $Y_0 = 0.2$. Wygląda na to, że obfitość helu jest stała wśród gromad kulistych o różnych cechach gałęzi horyzontalnej (rozkład barwy, własności *RR Lyrae*, itp.) i metaliczności, przy czym jest ona raczej niska ($Y_0 \leq 0.20$).

Oczywiście nie tylko żelazo jest w centrum zainteresowania astronomów - w Tab. 3 zaprezentowano względne obfitości kilkunastu innych pierwiastków.

4. Gwiazdy zmienne *RR Lyrae* w gromadzie

Sygnalizowaliśmy już doniosłą rolę odgrywaną przez gwiazdy *RR Lyrae*. Obecnie przyjrzymy im się szczegółowo, by zobaczyć ile ciekawych rzeczy można powiedzieć o tych obiektach (zob. Tab. 4 i Rys. 1, 2). Zmienne te, nazywane również czasami cefeidami krótkookresowymi, występują na każdej szerokości galaktycznej zarówno w gromadach, jak i w ogólnym polu. Taki rozkład przestrzenny predestynuje je do badań i halo i dysku Galaktyki oraz wskazuje na ich przynależność do gwiazd II populacji (są zatem niewątpliwie obiektami starymi). Mechanizmem powodującym ich zmienność są pulsacje radialne, a ich różnice odzwierciedla klasyfikacja na klasy RRa, RRb i RRc, przy czym w niektórych gwiazdach *RR Lyrae* wzbudzone są co najmniej dwa mody (RRd). Z punktu widzenia obserwacyjnego, zaletą tych gwiazd jest dokładność z jaką można z krzywych blasku i prędkości radialnych

Tab. 3. Obfitości pierwiastków w M4

pierwiastek	olbrzymy	*RR Lyrae*	BHB[1]
[Mg/H]	- 0.84	- 0.76	- 0.50
[Sc/H]	-1.13	-1.08	-1.00
[Ti/H] I	- 0.93	- 0.81	
[Ti/H] II		- 0.84	- 0.70
[Cr/H] I	- 1.51	- 1.23	
[Cr/H] II		- 1.06	- 1.10
[Mn/H]	- 1.68	- 1.14	
[Ni/H]	- 1.30	- 1.06	
[Y/H] II	- 0.72	- 1.11	
[Zr/H] II	- 1.21	- 0.76	
[Ba/H]	- 0.64	- 1.35	- 0.65

[1] niebieskie gwiazdy gałęzi horyzontalnej

odczytać parametry atmosferyczne (T_{eff}, log g) oraz jasności absolutne (skąd niedaleko do odległości). Spektroskopia wysokorozdzielcza, będąca podstawową techniką analizy tych zmiennych, pozwala prześledzić ewolucję chemiczną małomasywnych gwiazd od fazy olbrzyma palącego wodór w otoczce, poprzez stadium palenia helu w jądrze na gałęzi horyzontalnej (zarówno dla gwiazd nie będących zmiennymi, jak i dla tych pulsujących) do fazy spalania helu w otoczce podczas drugiego wznoszenia się wzdłuż gałęzi olbrzymów.

Oprócz ewidentnych plusów naszkicowanych powyżej, ewentualną trudność może sprawić fakt, że gwiazdy *RR Lyrae* należące do gromad kulistych są dużo słabsze od pobliskich *RR Lyrae* pola. I tu M4 wyróżnia się dzięki swej bliskości i jasności, ale również z powodu posiadania znaczącej populacji tych obiektów, dla których wykonano wiele pomiarów fotometrycznych i spektroskopowych.

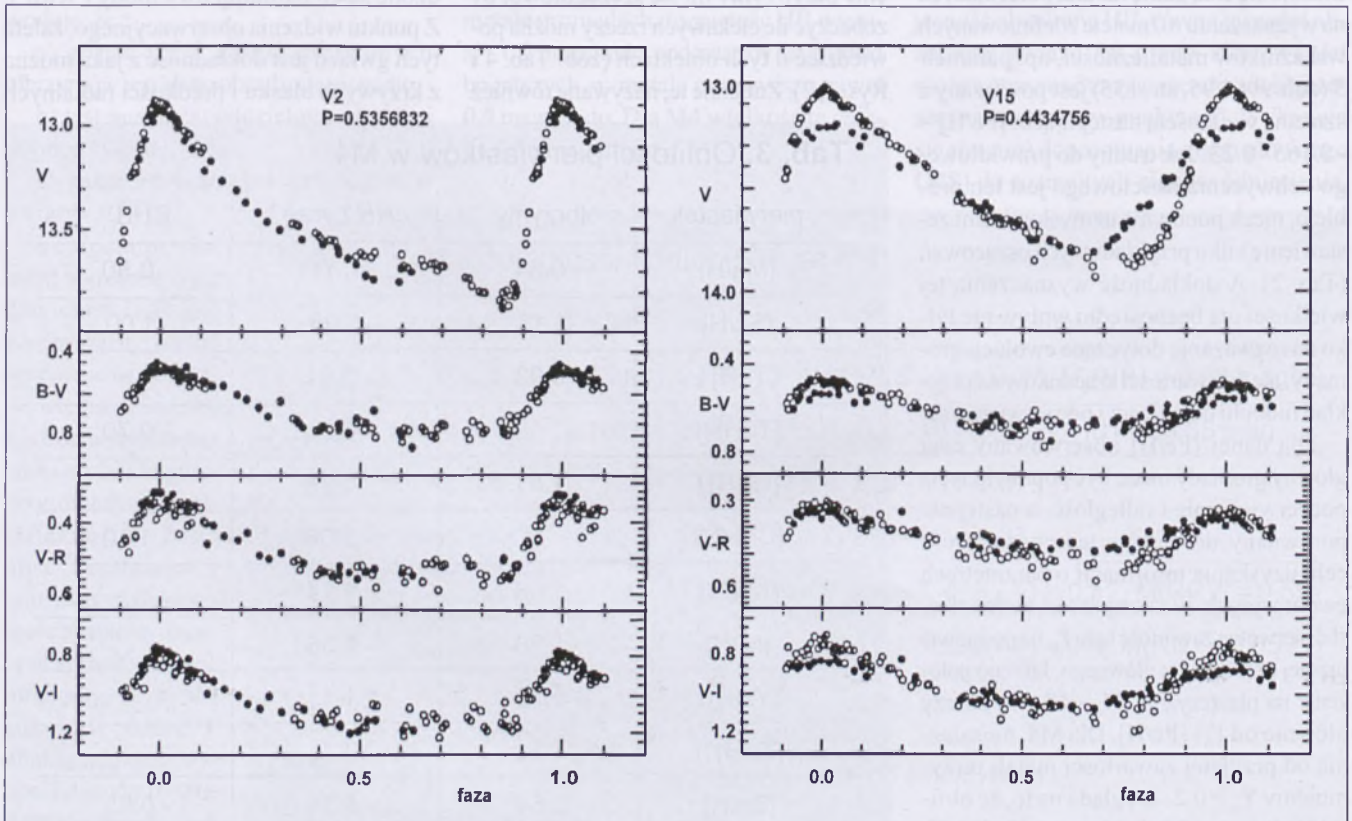
Jako ciekawostkę warto zapamiętać fakt, że już samo zaobserwowanie tych zmiennych w gromadzie oznacza, iż jej metaliczność jest nie mniejsza niż [Fe/H] ≈ - 0.6 - taki wniosek bowiem wypływa z obserwacji. Natomiast sama metaliczność wiąże się bezpośrednio ze średnią jasnością absolutną :

$$<M_V> = 0.20 (\pm 0.06) [Fe/H] + 1.05 (\pm 0.14) \quad (1)$$

czyli ubogie w metale *RR Lyrae* są jaśniejsze. W skrótowym zarysie, metoda wyznaczenia średniej jasności absolutnej polega na obliczeniu dwóch średnic kątowych pulsującej gwiazdy (z danych fotometrycznych i spektroskopowych) i dopasowaniu ich dla każdej fazy, co daje odległość do gwiazdy i w konsekwencji jej M_V. Relacja ta została znaleziona dla gwiazd pola, a zatem chcąc zastosować ją do zmiennych gromady musimy założyć, że obie grupy gwiazd o takiej samej metaliczności, należą do tej samej populacji gwiazdowej. A tak może nie być - świadczy o tym na przykład to, że bogate w metale *RR Lyrae* pola nie mają odpowiedników w gromadach. Co więcej, obie grupy gwiazd mogły przejść odmienne drogi ewolucji fizycznej i chemicznej. Dodatkowo sprawę pogarsza fakt, że w innych badaniach uzyskano prawie dwukrotnie większy współczynnik kierunkowy tej zależności, a jego wielkość ma ważkie konsekwencje interpretacyjne : wartość ~ 0.37 sugerowałaby bowiem jednakowy wiek wszystkich gromad, z kolei ~ 0.20 prowadzi do różnicy wieku rzędu 3 - 4 miliardów lat. Jednakże (jak pokazali w 1990 roku Liu i Janes) w przypadku M4 obserwowana $<M_V> = 0.80 \pm 0.08$, a po podstawieniu do wzoru (1)

Tab. 4. Wybrane parametry dla dwóch gwiazd *RR Lyrae* w M4

	V2	V15
Typ	ab	c
P (dni)	0.5356832	0.4434756
$< V >$	12.038	12.080
$< M_V >$	0.85	0.89
$A(V)$	0.95	1.13
γ [km/s]	72.5	70.0
$< R/R_\odot >$	4.90	4.50
$< M/M_\odot >$	0.57	0.60
$< T_{eff} >$	6401	6609
d (pc)	1729	1729

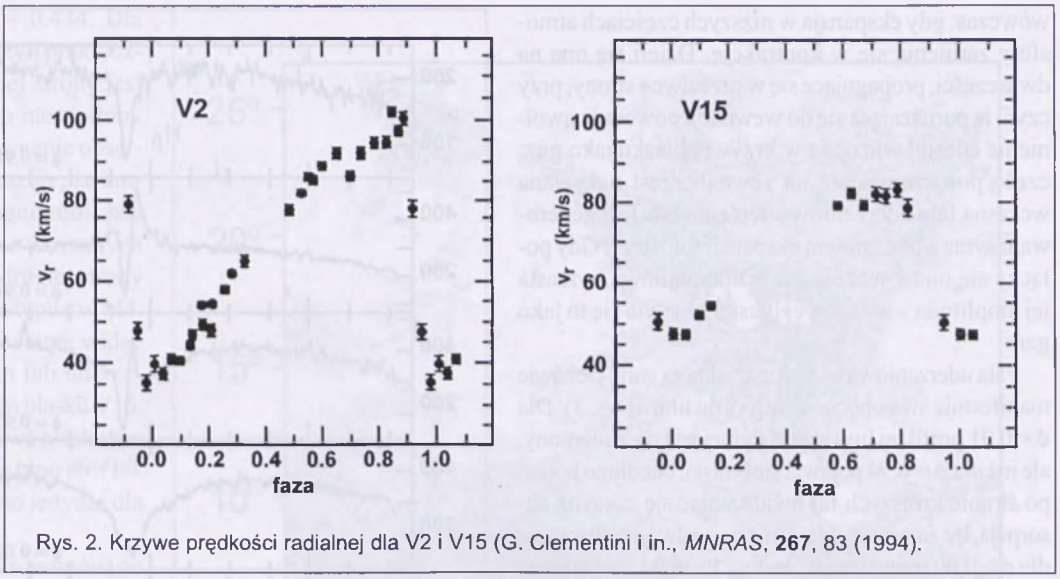


Rys. 1. Krzywe blasku i krzywe barwy dla dwóch gwiazd *RR Lyrae*, V2 i V15. (G. Clementini i in., *MNRAS*, **267**, 83 (1994).

metaliczności [Fe/H] = -1.3, otrzymujemy $<M_V>$ = 0.79 mag, co wskazywałoby jednak na tę samą populację i nierozróżnialność pod względem ewolucyjnym.

Z zależnością (1) wiąże się również zagadnienie swoistej szerokości HB, omówione już w punkcie 1.

Średnia jasność absolutna, tym razem w paśmie K (2.2 μm), jest powiązana z okresem pulsacji zależnością :



Rys. 2. Krzywe prędkości radialnej dla V2 i V15 (G. Clementini i in., *MNRAS*, **267**, 83 (1994).

$$<M_K> = -2.72\,(\pm 0.43)\log P - 0.99\,(\pm 0.18) \quad (2)$$

Ta relacja choć również uzyskana dla gwiazd pola, jest spełniana przez *RR Lyrae* należące do M4. Z rozważań teoretycznych wiadomo, że okres pulsacji wiąże się z dzielnością promieniowania, masą i temperaturą efektywną gwiazdy w sposób następujący:

$$\log P = 11.497 + 0.84 \log L/L_\odot - 0.68 \log M/M_\odot - 3.48 \log T_{eff}$$

Jeśli oprócz krzywej blasku, dla zmiennych RRab przeanalizujemy także krzywą prędkości radialnej to okazuje się, że ich amplitudy spełniają równanie:

$$A(V_r) = 31.8\,(\pm 2.5)\,A(V) + 30.8\,(\pm 2.5) \quad (3)$$

4.1. Fale uderzeniowe w atmosferach *RR Lyrae*

Obecność fal uderzeniowych w atmosferach gwiazd *RR Lyrae* została zarejestrowana po raz pierwszy przez Prestona i Paczyńskiego w 1964 roku. Widać je w krzywych blasku dla fazy $\phi \sim 0.9$ jako *garb* (ang. *hump*), któremu towarzyszy emisja wodoru atomowego i nadwyżka promieniowania w U oraz dla $\phi \sim 0.7$ jako *guz* (ang. *bump*), również z emisją H, choć słabszą (zob. Rys. 1).

Model hydrodynamiczny, zaproponowany przez Hilla w roku 1972 i rozwinięty przez Fokina w roku 1992, wyjaśnia obecność tego zjawiska następująco. W trakcie pulsacji, ruchy zewnętrznych warstw rozległej atmosfery są mocno asynchroniczne w porównaniu do warstw wewnętrznych, czego konsekwencją są właśnie fale uderzeniowe. Pierwsza powstaje

RR Lyrae a R_0 - odległość do centrum Galaktyki

Znajomość tej odległości jest istotna dla wielu aspektów badań Galaktyki. Dwie główne grupy metod jej wyznaczania to: a) metody pierwotne (źródła maserowe blisko centrum i w innych, znaczących położeniach) oraz b) metody wtórne (tzw. świece standardowe - na przykład cefeidy, *RR Lyrae*).

R_0 [kpc]	rok	metoda
6.5 ± 1.5	1988	Sgr B2 (Middle)[1]
7.1 ± 1.5	1988	Sgr B2 (North)[1]
8.1 ± 1.1	1992	W49[1]
8.0 ± 3.5	1987	70 *RR Lyrae*
8.3 ± 1.0	1995	58 *RR Lyrae*
8.6 ± 0.6	1975	1200 *RR Lyrae*

[1] Źródło maserowe

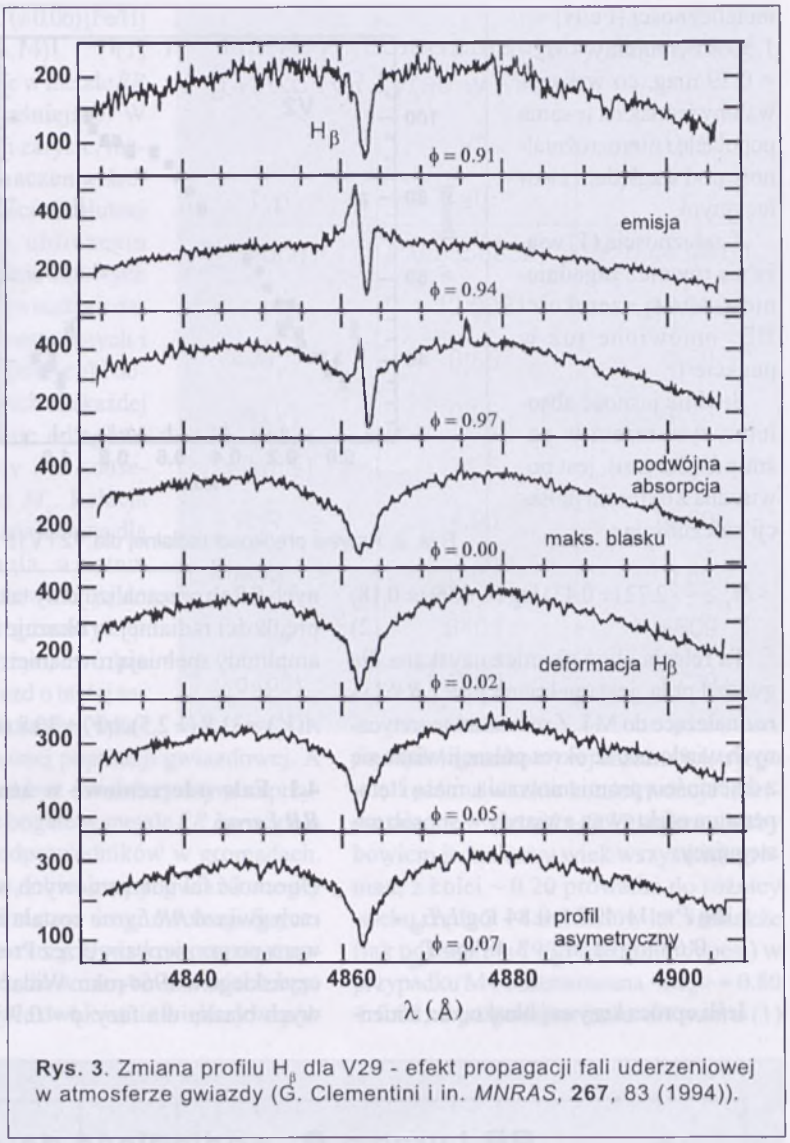
Próby wyznaczenia R_0 borykają się nie tylko z problemami wynikającymi z błędów pomiarowych, ale i z niepewnością co do punktu zerowego swoistej dzielności promieniowania świecy standardowej. Precyzja każdego oszacowania odległości opartego o gwiazdy *RR Lyrae* zależy w szczególnościod poprawek na ekstynkcję międzygwiazdową. W Oknie Baade'go (l = 1°, b = - 3.9°), wyznaczenia ekstynkcji A_V całkowitej leżą w przedziale 1.4 - 1.8 mag, czyli ogólnie jest ona wysoka. Jednakże obserwacje *RR Lyrae* w podczerwieni w dwójnasób zwiększają dokładność. Po pierwsze, odpowiednie wartości ekstynkcji całkowitych są znacząco mniejsze: A_H = 0.175 A_V, A_K = 0.112 A_V. Po drugie, w podczerwieni zachodzi nieczuła na metaliczność relacja pomiędzy $<M_K>$ a log P (patrz równanie (2)).

wówczas, gdy ekspansja w niższych częściach atmosfery zamienia się w kontrakcję. Dzieli się ona na dwie części, propagujące się w przeciwne strony, przy czym ta poruszająca się do wewnątrz powoduje uwolnienie energii widziane w krzywej blasku jako guz; część poruszająca się na zewnątrz jest nazywana wczesną falą uderzeniową. Kolejna fala jest generowana wraz z początkiem ekspansji fotosfery. Gdy połączy się ona z wczesną falą uderzeniową, wzrasta jej amplituda - w krzywej blasku objawia się to jako garb.

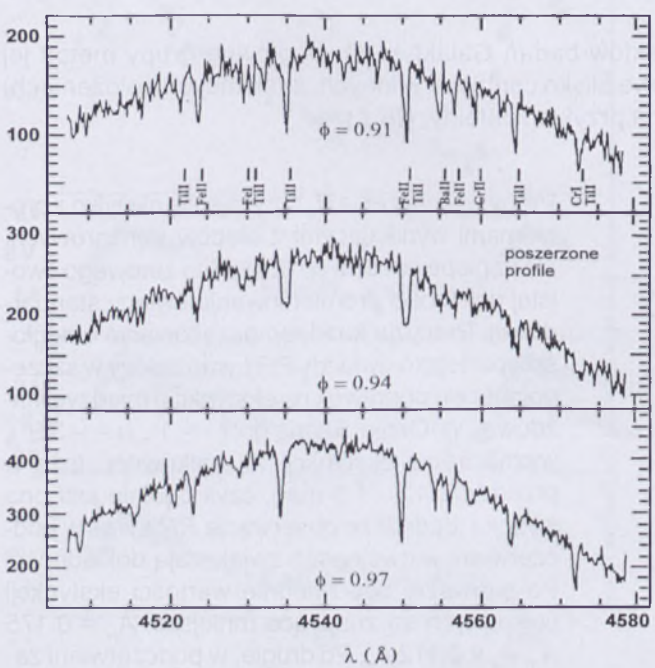
Fala uderzeniowa odpowiedzialna za garb, ciekawie manifestuje swą obecność w profilu linii (Rys. 3). Dla $\phi = 0.91$ profil tej linii absorpcyjnej jest niezmieniony, ale już dla $\phi = 0.94$ pojawia się emisja. Niedługo potem po stronie krótszych fal uwidaczniać się zaczyna absorpcja, by zamienić się później w podwójną absorpcję dla $\phi = 0.00$ (maksimum blasku). Profil H_β jest zdeformowany jeszcze do $\phi = 0.07$, czyli około 1,5 godziny od momentu pojawienia się fali uderzeniowej.

Omawiane zjawisko odciska swe piętno także na liniach metali, choć w sposób mniej „widowiskowy" - ich profile ulegają poszerzeniu (Rys. 4), w skali czasowej zaledwie kilku minut.

Fala uderzeniowa związana z guzem, oprócz słabej emisji H, powoduje deformację krzywej prędkości radialnej. Można domniemywać, że podobny efekt jest obecny również w „czasach" garbu, ale ponieważ przypada on na fazę szybkiego przyspieszania w cyklu pulsacji (jasność, prędkość radialna, temperatura efektywna i grawitacja zmieniają się bardzo mocno w bardzo krótkim czasie), pozostaje niezauważony (tym bardziej, że sam trwa na przykład dla V2 jedynie około 20 minut).



Rys. 3. Zmiana profilu H_β dla V29 - efekt propagacji fali uderzeniowej w atmosferze gwiazdy (G. Clementini i in. *MNRAS*, **267**, 83 (1994)).



Rys. 4. Wpływ fali uderzeniowej na profile linii metali w gwieździe V29 (G. Clementini i in. *MNRAS*, **267**, 83 (1994)).

4.2. Tajemnicza gwiazda V15

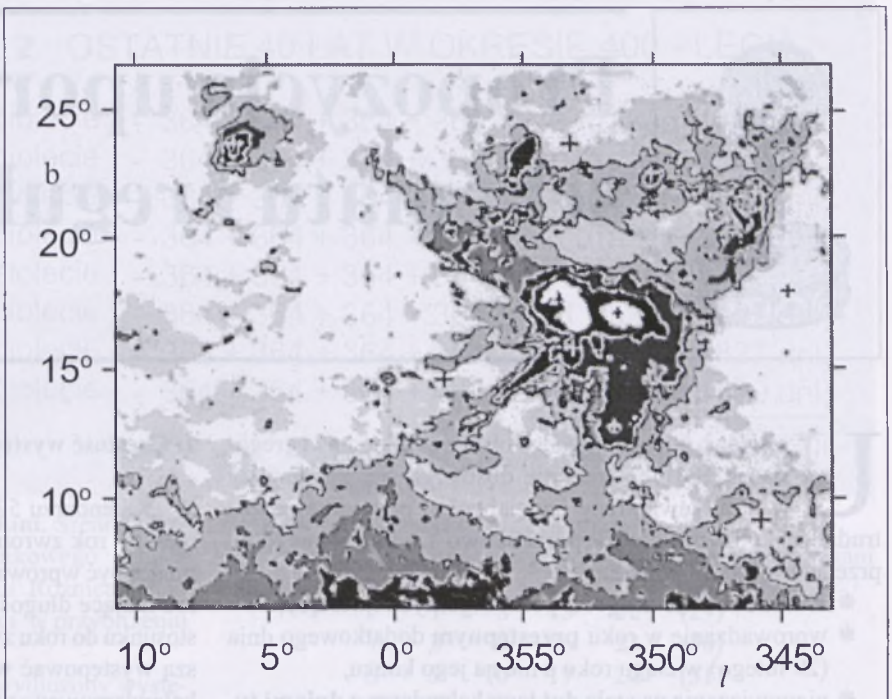
Raczej zagadkowo zachowuje się gwiazda *RR Lyrae*, oznaczana jako V15. Na przestrzeni lat, krzywe blasku wykonywane przez różnych obserwatorów wskazywały raz na klasę RRab, raz na RRc. Co gorsza, w czasie gdy przypisywano ją do tej pierwszej klasy, amplituda i kształt jej krzywej prędkości radialnej wskazywały na typ c (V15 nie spełnia równania (3)). Jako że „nieszczęścia" chodzą parami, w krzywej blasku obserwuje się też znaczący wiekowy spadek okresu, chociaż wykluczono w jej przypadku działanie efektu Błażko, objawiającego się periodycznymi zmianami amplitudy i fazy kolejnych maksimów blasku.

Wygląda więc na to, że V15 zmienia mody pulsacji (czyli ich częstości, przy czym każdy mod oznacza inny przebieg zmian parametrów fizycznych w gwieździe). Teoria pulsacji przewiduje, że taka zmiana zachodzi poprzez znaczący spadek okresu, połączony ze spadkiem amplitudy zmian jasności i transformacją kształtu krzywej blasku z typu ab do c. Z punktu widzenia ewolucji oznacza to, że V15 przesuwa się ku niebieskiej części pasa niestabilności *RR Lyrae* (czyli w lewo na wykresie „B - V, V"). Jeżeli skonstruujemy wykres „amplituda – logarytm okresu", to linia przejścia z RRab do c dla *RR Lyrae* w M4 występuje dla okresu 0.433 dnia, natomiast minimalny okres dla

zmiennych ab to P_{ab}(min) = 0.444. Dla V15 okres P = 0.4434756, czyli praktycznie jest on równy, a z drugiej strony jest bliski okresowi, dla którego nastąpiłoby przejście do typu RRc. Porównanie obserwacji z lat 1977 - 1994 pokazuje, że amplituda zmalała o ~ 0.3 magnitudo i jest mniejsza niż oczekiwana dla zmiennych typu ab o takim okresie, a z drugiej strony odpowiada górnej granicy dla typu c w M4.

Ciekawe jest również to, że nie widać żadnej emisji (a tym samym fali uderzeniowej) w pobliżu maksimum blasku V15, nawet wówczas, gdy jej krzywa blasku ma kształt charakterystyczny dla typu ab. (Jak dotąd emisję H obserwowano jedynie dla *RR Lyrae* typu ab).

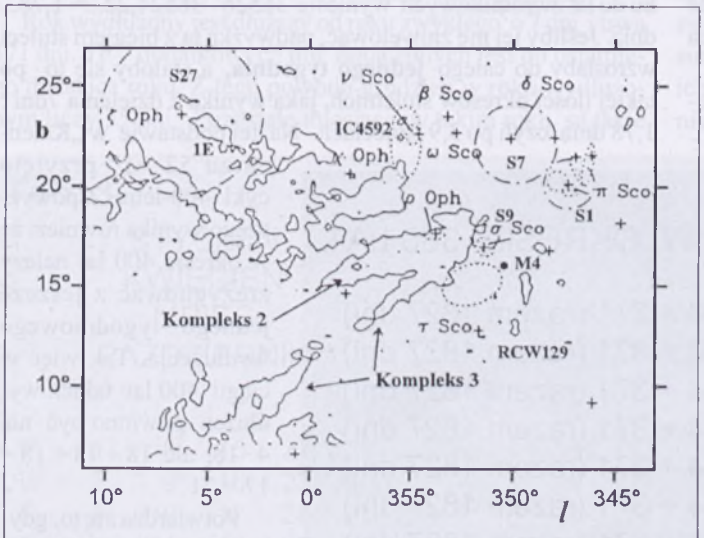
Wszystko to skłoniło astronomów do wysunięcia tezy, że V15 jest przedstawicielką nowej klasy gwiazd *RR Lyrae*, przełączających mody pulsacji (ang. *switching mode pulsators*). Z racji podobnego zachowania, do tej klasy należałoby włączyć również zmienną V79 z gromady kulistej M 3 w *Psach Gończych*.



Rys. 5. Mapa natężenia promieniowania na 60 μm, obrazująca rozmieszczenie pyłu w obszarze *Wężownika*. Odcienie szarości reprezentują strumienie odpowiednio: 8, 11.5, 15 i 30 MJy/sr. (E. J. De Geus i W. B. Barton, *Astron.& Astroph.*, **246**, 559 (1991)).

5. Kompleks *Sco - Oph*

Na zakończenie przyjrzyjmy się otoczeniu, w którym przebywa M4. Jest to królestwo asocjacji *Sco OB2* (*Górny Skorpion*), będącej najmłodszą (wiek ~ 5 milionów lat) podgrupą asocjacji *Sco - Cen*, która rozciąga się do niższych długości galaktycznych, by objąć podgrupy *Górny Centaur - Wilk* i *Dolny Centaur - Krzyż*. Łącznie z obłokami molekularnymi *Wężownika*, obszar ten określany bywa mianem kompleksu *Sco - Oph*. Jako że ten zakątek Galaktyki jest siedliskiem gwiazd wczesnych typów widmowych, ważnym składnikiem ośrodka międzygwiazdowego jest zjonizowany gaz, tworzący wokół tych gwiazd obszary H II - na przykład S27 wokół ζ *Oph*, S7 dokoła δ *Sco*, itp. (Rys. 6). Najgęstszą część obszaru Wężownika tworzy obłok ρ *Oph*, w pobliżu (*l*, b) = (353°, 170°). W kierunku malejących szerokości galaktycznych ciągnie się kompleks 2 i 3 - wydłużone struktury, mieszczące około 200 $M_\odot$, powstałe prawdopodobnie na skutek przejścia fali uderzeniowej.



Rys. 6. Kompleks *Sco-Oph*. Plusy oznaczają gwiazdy o typach widmowych wcześniejszych niż B2. Linie przerywano - kropkowane wyznaczają obszary H II, liniami kropkowanymi zaznaczono jasne mgławice. Linie ciągłe otaczają obszary, w których zarejestrowano CO (E. J. De Geus i W. B. Barton, *Astron.& Astroph.*, **246**, 559 (1991)).

Co ciekawe, jedyną gwiazdą typu O w omawianym rejonie jest ζ *Oph* (O9.5V), o temperaturze efektywnej 34 000 K. Ponieważ jest to jasna i bardzo szybko rotująca gwiazda, odgrywa niepoślednią rolę w badaniach materii międzygwiazdowej (łatwo odróżnić gwiazdowe, szerokie linie widmowe od linii wąskich, tworzonych w ośrodku pomiędzy gwiazdą a obserwatorem).

Na podstawie stosunków natężeń promieniowania rejestrowanego na falach 60 μm (Rys. 5) i 100 μm można oszacować temperaturę pyłu obecnego w tym obszarze. W przeważającej jego części I_{60}/I_{100} = 0.25, co przekłada się na język temperatury jako 24 ± 2 K, jednakże w obłokach *Wężownika* mamy do czynienia nawet z 40 K.

Żeby określić przestrzenne rozmiary obłoków, trzeba porównać informacje wynikające z pomiarów ekstynkcji całkowitej A_v (wywoływanej przez materię znajdującą się pomiędzy gwiazdą a obserwatorem) i promieniowania podczerwonego (świecenie materii wzdłuż całej linii widzenia). Otrzymujemy, że obszar *Wężownika* rozciąga się od 80 do 200 pc, czyli znajduje się w odległości 140 parseków od nas. Masa materii w nim zawartej jest szacowana na około 2×10^3 $M_\odot$.

Marek Gołębiewski jest studentem V roku astronomii na Uniwersytecie M. Kopernika. Niniejsze opracowanie powstało jako jego praca seminaryjna.

Propozycja uporządkowania schematu i reguł kalendarza

Adam S. Kisiel

Używając obowiązującego obecnie kalendarza gregoriańskiego powszechnie dostrzega się, że przyjęty w nim wewnętrzny podział roku powoduje pewne trudności, głównie natury porządkowo - administracyjnej, przede wszystkim poprzez:

- ❋ **zróżnicowanie długości** poszczególnych miesięcy,
- ❋ wprowadzanie w roku **przestępnym** dodatkowego dnia (29 lutego) w ciągu roku a nie na jego końcu,
- ❋ niepowiązanie na stałe **dat** tego kalendarza **z dniami tygodnia**, co szczególnie ilustruje schemat tzw. litery niedzielnej (np. schemat ten stał się bardziej zawiły w kalendarzu gregoriańskim niż w poprzedniku - kalendarzu juliańskim);
- ❋ obecność **grupy tzw. świąt ruchomych** (ruchomych, bo powiązanych ze zmienną datą Niedzieli Wielkanocnej) stanowiącej w obecnym kalendarzu słonecznym relikt kalendarza księżycowo - słonecznego używanego przez mozaizm.

Obecnie zbliżamy się do nowego tysiąclecia i jego początek można uznać za odpowiedni moment do uporządkowania obecnej rachuby czasu.

Chcę przedstawić propozycję nowego kalendarza ze stałym układem roku, to znaczy takiego, w którym każda data w ciągu roku jest związana na stałe z tym samym dniem tygodnia.

Taki kalendarz zbudowany został na założeniu, że **każdy rok ma jedynie pełne tygodnie**: tzn. rok zwykły ma długość 364 dni, czyli 52 tygodnie, a *rok wydłużony* (przestępny) ma długość 371 dni, czyli 53 tygodnie.

Kalendarzowi temu nadajmy nazwę: „Kalendarz pięćdziesięciu dwóch i jednego tygodnia", a krócej „Kalendarz 52 + 1".

1. Częstość występowania lat zwykłych i wydłużonych

W „Kalendarzu 52+1" rok zwykły ma długość 364 dni. Ponieważ rok zwrotnikowy ma w przybliżeniu 365,2422 dni, muszą być wprowadzone lata wydłużone - w naszym kalendarzu mające długość 371 dni - czyli wydłużone o tydzień w stosunku do roku zwykłego. Lata zwykłe i lata wydłużone muszą występować w takiej liczbie, by średnia długość roku kalendarzowego niewiele różniła się od długości roku zwrotnikowego.

Gdyby stosować w kalendarzu same lata zwykłe o 364 dniach, stulecie kalendarzowe zawierałoby tylko 36400 dni, a tymczasem 100 lat zwrotnikowych to 36524,22... dnia. Stulecie kalendarzowe byłoby w stosunku do stulecia zwrotnikowego za krótkie o 124,22... dnia.

Dlatego tygodniowe wydłużenia roku **muszą wystąpić** w ciągu stulecia średnio tyle razy, ile wynika z następującego dzielenia:

$$124{,}22 \text{ dni} : 7 \text{ dni} = 17{,}7 \text{ razy}.$$

Uzasadnione jest więc wprowadzenie takich wydłużeń 18 razy w ciągu stulecia, czyli co 5 lat, ale rezygnując z takich wydłużeń w dwóch pięcioleciach.

Tak ukształtowany okres 100 lat ma następującą ilość dni:

$$18 \cdot 371 + 82 \cdot 364 = 36526 \text{ dni}.$$

Nadwyżka długości takich **100 lat kalendarzowych** w stosunku do lat zwrotnikowych wyniesie 36526 - 36524,22...= 1,78... dnia. Jeśliby jej nie zniwelować, nadwyżka ta z biegiem stuleci wzrosłaby do całego **jednego tygodnia,** a stałoby się to po takiej ilości okresów stuletnich, jaka wynika z dzielenia 7dni : 1,78 dnia czyli po 3,9 stuleciach. Na tej podstawie w „Kalendarzu 52 +1" przyjęto cykl 400-letni. Z powyższego wynika również, że w okresie 400 lat należy zrezygnować z jeszcze jednego tygodniowego wydłużenia. Tak więc w ciągu 400 lat takich wydłużeń powinno być nie $4 \cdot 18$, ale $18 + 18 + 18 + 17 = 71$.

Potwierdza się to, gdyby obliczać łączną długość wydłużeń następująco:

$400 \cdot 1{,}2422 = 496{,}9$ dni.

W kalendarzu należy wprowadzić oczywiście długość 497 dni.

Tab. 1. KAŻDE KOLEJNE 45-LECIE W OKRESIE 360 LAT

I	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
II	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
III	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
IV	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
V	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VI	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VII	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VIII	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
IX	pięciolecie	364 + 364 + 364 + 364 + 364 (razem 1820 dni)
		Łącznie 16 436 dni

497 dni : 7 dni/tydzień = 71,0 tygodni! Jak widać liczba 497 dni jest wielokrotnością tygodnia.

Tak ukształtowany okres 400 lat zawierać będzie:

$71 \cdot 371 + 329 \cdot 364 = 146\,097$ dni.

Stąd średnia długość roku w okresie 400 lat wyniesie:

146 097 dni : 400 lat = **365,24250 !!**

I tyleż samo wynosi średnia długość roku w obecnie stosowanym kalendarzu gregoriańskim. Średnia rozbieżność „Kalendarza 52+1" i cyklu zwrotnikowego narasta zatem tak samo - 0,0003... dnia w ciągu roku. Różnica 1 dnia między obydwiema rachubami nastąpi zatem w przybliżeniu po 3300 latach.

W „Kalendarzu 52+1" przyjęto, że rok wydłużony występuje w zasadzie co 5 lat. W okresie 400 lat jest 80 pięcioleci, jednak wystarczy, by rok wydłużony wystąpił 71 razy. Należy więc 9 - krotnie zrezygnować z dokładania wydłużeń co 5 lat. Te 9 rezygnacji należy rozmieścić równomiernie - stąd projekt, by co 45 lat nie było wydłużenia roku. 400-lecie podzieli się na 8 okresów 45-letnich i 1 okres 40 lat (patrz Tab. 1 i Tab. 2. Łączna liczba dni w okresie 400 lat wyniesie zatem 146 097.

Tab. 2. OSTATNIE 40 LAT W OKRESIE 400 - LECIA

I	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
II	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
III	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
IV	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
V	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VI	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VII	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 371 (razem 1827 dni)
VIII	pięciolecie	- 364 + 364 + 364 + 364 + 364 (razem 1820 dni)

Łącznie 14 409 dni

2. Układ roku

W „Kalendarzu 52+1" rok zwykły obejmujący 364 dni czyli 52 tygodnie podzielony jest na **czterotygodniowe** miesiące czyli miesiące o 28 dniach. Tych miesięcy jest trzynaście - wszystkie jednakowej długości. Dwanaście miesięcy nosi dotychczasowe nazwy, a nowy dodatkowy miesiąc występuje jako miesiąc siódmy o nazwie *miesiąc środkowy*.

Rok wydłużony jest dłuższy od roku zwykłego o 7 dni i trwa 371 dni. Te 7 dodatkowych dni dołączonych jest do ostatniego miesiąca roku. Z tego powodu grudzień w roku wydłużonym liczy 35 dni. Pozostałe miesiące w takim roku są takie same jak w roku zwykłym czyli mają po 28 dni.

Przy takich ustaleniach wszystkie miesiące mają ten sam schemat:

P	**1**	**8**	**15**	**22**	**(29)**
W	**2**	**9**	**16**	**23**	**(30)**
Ś	**3**	**10**	**17**	**24**	**(31)**
Cz	**4**	**11**	**18**	**25**	**(32)**
Pt	**5**	**12**	**19**	**26**	**(33)**
S	**6**	**13**	**20**	**27**	**(34)**
N	**7**	**14**	**21**	**28**	**(35)**

Zaznaczone w nawiasach dni od (29) do (35) występują tylko w grudniu roku wydłużonego (przestępnego). Należy zaznaczyć, że nic nie stoi na przeszkodzie, by rok o 364 dniach był podzielony na 12 miesięcy: 8 miesięcy o 30 dniach i 4 miesiące po 31 dni. Wtedy powtarzalnym okresem staje się kwartał zgodnie ze schematem (Tab. 3):

3. Pory roku i święta

Konsekwencją takiego układu Kalendarza, w którym rok zwykły ma 364 dni, jest coroczne przesuwanie się średnio o 1,2422... dnia każdego przesilenia i równonocy. Dokładniejsze wyliczenia wykazują, że maksymalne **cofnięcie się** cyklu zwrotnikowego w „Kalendarzu 52+1" **wyniesie 7 dni,** a przesunięcie w przód 5 dni kalendarzowych. Nie należy traktować ich jako dużych, gdyż odchylenia pogodowo - klimatyczne nie są mniejsze i takie wahania początku astronomicznych

Tab. 3.

STYCZEŃ KWIECIEŃ LIPIEC PAŹDZIERNIK						LUTY MAJ SIERPIEŃ LISTOPAD						MARZEC CZERWIEC WRZESIEŃ GRUDZIEŃ					
P	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24	(31)
W	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25	(32)
Ś	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26	(33)
Cz	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27	(34)
Pt	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28	(35)
S	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29	(36)
N	**7**	**14**	**21**	**28**		**4**	**11**	**18**	**25**		**2**	**9**	**16**	**23**	**30**	**(37)**

pór roku nie będą odczuwalne.

Jeśli chodzi o datowanie w nowym kalendarzu np. polskich świąt narodowych jak 3 Maja czy 11 Listopada, nic nie stoi na przeszkodzie, by zachowały one dotychczasowe daty, choć ich miejsce w kalendarzu (i wersji, w której rok ma 13 miesięcy i w wersji, w której 4 kwartały mają po 13 tygodni) jako kolejnego dnia roku będzie inne.

Natomiast niektóre święta chrześcijańskie, a mianowicie Wielkanoc i związane z nią święta ruchome powinny mieć ustalone stałe daty. Dla Święta Zmartwychwstania, które dotychczas obchodzone jest w niedzielę po pełni Księżyca, pierwszej od zrównania wiosennego, Kościół Katolicki mógłby ustalić, że w nowym kalendarzu obchodzi się je **w pierwszą niedzielę kwietnia** czyli np. **zawsze 7 kwietnia.**

Zakończenie

W „Kalendarzu 52 + 1" układ roku jest stały, a to oznacza co następuje:

- **Rok zawsze zaczyna się od tego samego dnia tygodnia - w obu omówionych podziałach roku (13 - i 12-miesięcznym) od poniedziałku. W konsekwencji co roku każda data przypada na ten sam dzień tygodnia;**
- **Wszystkie miesiące są jednakowej długości i zawierają pełne 4 tygodnie lub - w drugim wariancie - wszystkie 4 kwartały mają w roku zwykłym po 13 tygodni;**
- **W wariancie roku 13 - miesięcznego we wszystkich miesiącach ten sam kolejny dzień miesiąca przypada w ten sam dzień tygodnia (zawsze np. 14 dzień miesiąca jest niedzielą).**
- **Święta przestają być „ruchome" czyli nie zmienia się w kolejnych latach ich data i dzień tygodnia** np. w wariancie z rokiem 13 - miesięcznym: 3 maja zawsze przypada w środę, 1 listopada zawsze przypada w poniedziałek.

Dzięki szczęśliwemu zbiegowi okoliczności rok 2001 w obecnym kalendarzu rozpoczyna się od poniedziałku i ten rok mógłby być pierwszym rokiem Nowego Kalendarza.

Wtedy w nowym tysiącleciu od początku służyłby nam nowy uporządkowany kalendarz (Tab. 4).

Tab. 4. ROK 364 LUB 371 - DNIOWY PODZIELONY NA 12 MIESIĘCY

STYCZEŃ						LUTY					MARZEC				
P	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24
W	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25
Ś	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26
Cz	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27
Pt	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28
S	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29
N	**7**	**14**	**21**	**28**		**4**	**11**	**18**	**25**		**2**	**9**	**16**	**23**	**30**

KWIECIEŃ						MAJ					CZERWIEC				
P	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24
W	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25
Ś	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26
Cz	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27
Pt	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28
S	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29
N	**7**	**14**	**21**	**28**		**4**	**11**	**18**	**25**		**2**	**9**	**16**	**23**	**30**

LIPIEC						SIERPIEŃ					WRZESIEŃ				
P	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24
W	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25
Ś	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26
Cz	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27
Pt	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28
S	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29
N	**7**	**14**	**21**	**28**		**4**	**11**	**18**	**25**		**2**	**9**	**16**	**23**	**30**

PAŹDZIERNIK						LISTOPAD					GRUDZIEŃ					
P	1	8	15	22	29		5	12	19	26		3	10	17	24	(31)
W	2	9	16	23	30		6	13	20	27		4	11	18	25	(32)
Ś	3	10	17	24	31		7	14	21	28		5	12	19	26	(33)
Cz	4	11	18	25		1	8	15	22	29		6	13	20	27	(34)
Pt	5	12	19	26		2	9	16	23	30		7	14	21	28	(35)
S	6	13	20	27		3	10	17	24		1	8	15	22	29	(36)
N	**7**	**14**	**21**	**28**		**4**	**11**	**18**	**25**		**2**	**9**	**16**	**23**	**30**	**(37)**

CZY ISTNIEJĄ ORBITY KOŁOWE?

Zgodnie z sugestiami wszystkich znanych mi podręczników licealnych wyprowadzamy jedynie wzory na I i II prędkość kosmiczną (prędkość kołową i paraboliczną). Dla orbity kołowej musi być spełniony warunek:

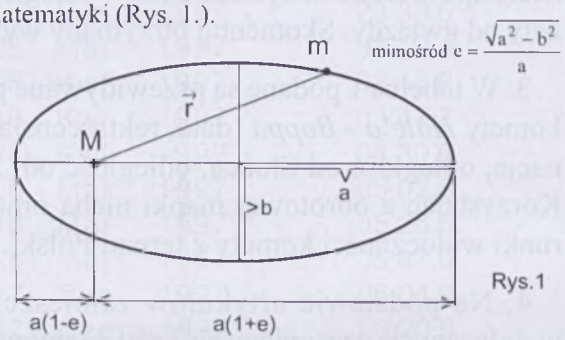
$$E_c = -GMm/2R \quad \text{(dla danego R)}$$

podczas gdy dla orbity eliptycznej (układ związany) wystarcza

$$E_c < 0.$$

Tak ostry warunek (ścisła równość) być może nigdy nie jest spełniony, a jeśli gdzieś się zdarzy, to niesłychanie rzadko.

O orbicie eliptycznej mówimy tylko tyle, ile wynika bezpośrednio z II prawa Keplera. Tymczasem obliczenie prędkości w dowolnym punkcie orbity eliptycznej jest możliwe w sposób najbardziej elementarny. Prawdopodobnie będziemy musieli jedynie podać parę własności elipsy nie znanych z lekcji matematyki (Rys. 1.).



Rys.1

Dla dowolnego punktu orbity możemy napisać :

$$E = E_k + E_{pot} = \text{const.}$$

Na podstawie czego dla apocentrum i perycentrum mamy :

$$\frac{1}{2}mv_a^2 - \frac{GMm}{a(1+e)} = \frac{1}{2}mv_p^2 - \frac{GMm}{a(1-e)} \qquad (1)$$

oraz w oparciu o II prawo Keplera

$$\frac{v_a}{v_p} = \frac{r_p}{r_a} = \frac{a(1-e)}{a(1+e)} \quad \Rightarrow \quad v_a = v_p\frac{1-e}{1+e}$$

co po podstawieniu do (1) daje:

$$\frac{1}{2}mv_p^2 = \frac{GMm(1+e)}{2a(1-e)}$$

Możemy teraz obliczyć energię całkowitą w perycentrum

$$E = \frac{GMm(1+e)}{2a(1-e)} - \frac{GMm}{a(1-e)} = -G\frac{Mm}{2a} = \text{const}$$

i ostatecznie dla dowolnego punktu orbity

$$\frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{r} = -G\frac{Mm}{2a} \qquad \text{skąd}$$

$$v = GM\sqrt{(\frac{2}{a} - \frac{1}{r})}$$

Przykład. Jaką najmniejszą prędkość należy nadać sondzie kosmicznej na powierzchni Ziemi, aby osiągnęła Marsa. Najmniejsza prędkość startowa odpowiada orbicie eliptycznej (*orbita Hohmanna*) stycznej do orbity Ziemi i Marsa. Niezbędne dane wyszukaj w podręczniku.

Rozwiązanie. Z Rys. 1. a = (R + r)/2. Po podstawieniu do wyprowadzonego wzoru mamy:

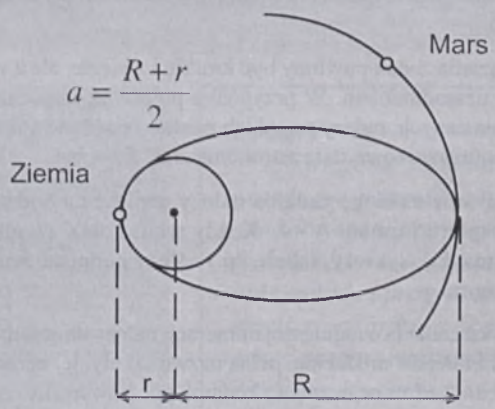
$$v_1 = 32{,}8 \text{ km/s.}$$

Wykorzystując prędkość Ziemi w jej ruchu wokół Słońca wystarcza

$$v_2 - 32{,}8 - 29{,}8 = 3 \text{ km/s.}$$

Nie uwzględniliśmy jeszcze oddziaływania grawitacyjnego sondy z Ziemią. Znając prędkość ucieczki (drugą prędkość kosmiczną) z zasady zachowania energii otrzymujemy:

$$v = \sqrt{v_{II}^2 + v_2^2} = 11{,}59 \quad \text{km/s}$$



Dodatkowe problemy to:
- oblicz czas przelotu sondy,
- jaka powinna być konfiguracja układu Ziemia-Słońce-Mars w chwili startu sondy,
- jak długi jest czas oczekiwania na dogodny moment do startu powrotnego sondy.

Niejako po drodze uzyskaliśmy dwa ważne wyniki :
1) obliczyliśmy energię całkowitą w dowolnym punkcie orbity eliptycznej,
2) stwierdziliśmy: energia całkowita (dla danych mas) zależy tylko od osi wielkiej elipsy.

Jak widać obliczenia były elementarne i niezbyt uciążliwe.

Juliusz Domański

XL OLIMPIADA ASTRONOMICZNA 1996 / 1997

INFORMACJE REGULAMINOWE

1. Olimpiada Astronomiczna jest organizowana dla uczniów szkół średnich.

2. Zawody olimpiady są trójstopniowe. W zawodach I stopnia (szkolnych) każdy uczestnik rozwiązuje dwie serie zadań, w tym zadanie obserwacyjne. Rozwiązywanie zadań zawodów II i III stopnia odbywa się w warunkach kontrolowanej samodzielności.

3. W pierwszej serii zadań zawodów I stopnia należy nadesłać, do **14 października 1996 r.**, rozwiązania 3 zadań, dowolnie wybranych przez uczestnika spośród zestawu zawierającego 4 zadania.

4. Rozwiązanie zadania obserwacyjnego należy przesłać wraz z rozwiązaniami zadań drugiej serii I etapu, do **18 listopada br**. Nadesłanie rozwiązania zadania obserwacyjnego jest warunkiem koniecznym dalszego udziału w olimpiadzie.

5. W przypadku nadesłania rozwiązań większej liczby zadań z danego zestawu, do klasyfikacji zaliczane będą rozwiązania ocenione najwyżej (po trzy zadania z każdej serii i jedno zadanie obserwacyjne).

6. Rozwiązania zadań zawodów I stopnia należy przesłać za pośrednictwem szkoły pod adresem: **KOMITET GŁÓWNY OLIMPIADY ASTRONOMICZNEJ, Planetarium Śląskie, 41-500 Chorzów, skr. poczt. 10**, w terminach podanych w p. 3 i 4.

7. Każdy uczestnik powinien dołączyć do swej pracy kopertę z wypisanym adersem szkoły (lub adresem prywatnym). Do końca października br. zostaną rozesłane w tych kopertach tematy drugiej serii zadań.

8. Rozwiązania zadań powinny być krótkie i zwięzłe, ale z wystarczającym uzasadnieniem. W przypadku polecenia samodzielnego wyszukania danych, należy podać ich źródło. Jako dane traktuje się również podręcznikowe stałe astronomiczne i fizyczne.

9. Rozwiązanie każdego zadania należy napisać na oddzielnym arkuszu papieru formatu A - 4. Każdy arkusz oraz wszelkie załączniki (mapki, wykresy, tabele itp.) należy podpisać imieniem i nazwiskiem.

W nagłówku zadania o najniższej numeracji należy umieścić dodatkowo: rok i miejsce urodzenia, pełną nazwę szkoły, jej adres, klasę i jej profil oraz adres prywatny (z kodami pocztowymi).

10. O uprawnieniach laureatów i finalistów olimpiady decydują senaty wyższych uczelni. Wśród nagród dla najlepszych znajdują się teleskopy.

ZALECANA LITERATURA: obowiązujące w szkołach średnich podręczniki do przedmiotów ścisłych; H. Chrupała, M.T. Szczepański *25 lat olimpiad astronomicznych, Zadania olimpiad astronomicznych XXVI - XXXV* (w dwóch częściach), J.M. Kreiner *Astronomia z astrofizyką*, J. Mietelski *Astronomia w geografii*, E. Rybka *Astronomia ogólna*; E. Pittich, D. Kalmančok *Niebo na dłoni*, P. Kulikowski *Poradnik miłośnika astronomii*, D.L. Mochê *Astronomia - przewodnik po Wszechświecie*, *Słownik szkolny - Astronomia* - praca zbiorowa, *atlas nieba*, *obrotowa mapa nieba*, czasopisma: *Urania*, *Postępy Astronomii*, *Wiedza i Życie*, *Świat Nauki*, *Delta*, *Fizyka w Szkole*.

ZADANIA PIERWSZEJ SERII I ETAPU

1. W 1672 r. astronom francuski J. Richer po przybyciu do Cayenne (Ameryka Południowa, $\varphi = +5°$) zauważył, że jego zegar wahadłowy o dokładnie sekundowych wahaniach w Paryżu ($\varphi = +49°$), spóźnia się 128 sekund na dobę. Jakie wnioski o kształcie Ziemi można wyciągnąć z tego faktu?

2. W 1995 r. odkryto planetę obiegającą gwiazdę *51 Peg* w odległości d = 0.05 j.a. Przyjmując, że gwiazda jest identyczna jak Słońce, oblicz ile wynosi odpowiednik stałej słonecznej w odległości planety od gwiazdy. Skomentuj otrzymany wynik.

3. W tabelce 1 podane są przewidywane pozycje komety *Hale'a - Boppa* (data, rektascensja, deklinacja, odległość od Słońca, odległość od Ziemi). Korzystając z obrotowej mapki nieba omów warunki widoczności komety z terenu Polski.

4. Na podstawie artykułów zamieszczanych w zalecanych czasopismach krótko omów efekty misji Galileo w pobliże Jowisza.

ZADANIA OBSERWACYJNE

1. W nocy 26/27 września 1996 roku o godzinie 2.20 UT rozpocznie się całkowite zaćmienie Księżyca, a 12 października 1996 r. o godzinie 13.23 UT rozpocznie się częściowe zaćmienie Słońca. Przeprowadź obserwacje wizualne jednego z tych zaćmień.

2. W tabelce 2 podano przewidywane pozycje planetki (3) Juno w 1996 r. w momencie 0^h UT. Wykonaj serię co najmniej trzech obserwacji i na ich podstawie nakreśl tor planetoidy wśród gwiazd, a także oceń jej jasność obserwowaną. Porównaj otrzymane wyniki z przytoczoną efemerydą.

3. Jako rozwiązanie zadania obserwacyjnego można również nadesłać opracowane wyniki innych własnych obserwacji astronomicznych prowadzonych w latach 1995, 1996.

Tab. 1. Przewidywane pozycje komety *Hale'a - Boppa* w okresie od września 1996 do końca czerwca 1997 (data, rektascensja, deklinacja, odległośc od Słońca, odległość od Ziemi).

Data 0h UT			rekt. 2000 h m s	dekl. 2000 ° '	r j. a.	d j. a.
1	Wrz	1996	17 38.9	- 6 34.5	3.234	2.823
30	Wrz	1996	17 29.7	- 5 02.6	2.898	2.979
30	Paz	1996	17 38.6	- 3 27.0	2.539	3.053
29	Lis	1996	18 02.1	- 0 50.9	2.169	2.940
9	Gru	1996	18 12.7	+ 0 27.1	2.044	2.853
19	Gru	1996	18 24.7	+ 2 04.1	1.917	2.742
29	Gru	1996	18 38.1	+ 4 04.8	1.790	2.606
8	Sty	1997	18 53.4	+ 6 35.4	1.664	2.449
18	Sty	1997	19 10.8	+ 9 43.5	1.538	2.272
28	Sty	1997	19 31.3	+ 13 39.2	1.415	2.082
7	Lut	1997	19 56.2	+ 18 33.8	1.297	1.885
17	Lut	1997	20 28.1	+ 24 37.6	1.185	1.692
27	Lut	1997	21 11.5	+ 31 47.0	1.085	1.519
9	Mar	1997	22 13.4	+ 39 14.5	1.002	1.387
19	Mar	1997	23 39.6	+ 44 44.8	0.944	1.320
29	Mar	1997	01 19.4	+ 45 23.9	0.916	1.332
8	Kwi	1997	02 45.8	+ 41 06.1	0.922	1.418
18	Kwi	1997	03 47.7	+ 34 32.9	0.963	1.555
28	Kwi	1997	04 30.6	+ 27 51.6	1.031	1.719
8	Maj	1997	05 02.0	+ 21 48.8	1.121	1.891
18	Maj	1997	05.26.6	+ 16 30.1	1.226	2.058
28	Maj	1997	05 47.0	+ 11 47.9	1.341	2.214
7	Cze	1997	06 04.9	+ 7 32.6	1.462	2.356
17	Cze	1997	06 20.9	+ 3 35.5	1.586	2.483
27	Cze	1997	06 35.7	- 0 10.3	1.712	2.593

Tab. 2. Przewidywane pozycje planetki (3) Juno w 1996 r. w momencie 0^h UT

Data m-c	dzień	rekt. 1950 h m	dekl. 1950 ° '	jasność obserwowana m
VII	02	00 24.0	+ 04 46.8	9.7
	11	00 35.5	+ 05 18.7	9.5
	21	00 45.7	+ 05 35.3	9.3
	31	00 54.4	+ 05 33.7	9.1
VIII	10	01 01.4	+ 05 10.7	8.9
	20	01 06.1	+ 04 23.6	8.6
	30	01 08.3	+ 03 10.5	8.4
IX	09	01 07.9	+ 01 31.6	8.1
	19	01 04.8	- 00 29.3	7.8
	29	00 59.6	- 02 43.4	7.6
X	09	00 53.2	- 04 57.6	7.5
	19	00 46.8	- 06 57.6	7.7
	29	00 41.6	- 08 30.4	7.9
XI	08	00 38.7	- 09 29.7	8.1
	18	00 38.5	- 09 53.7	8.3
	28	00 41.4	- 09 45.0	8.4

Uwaga!

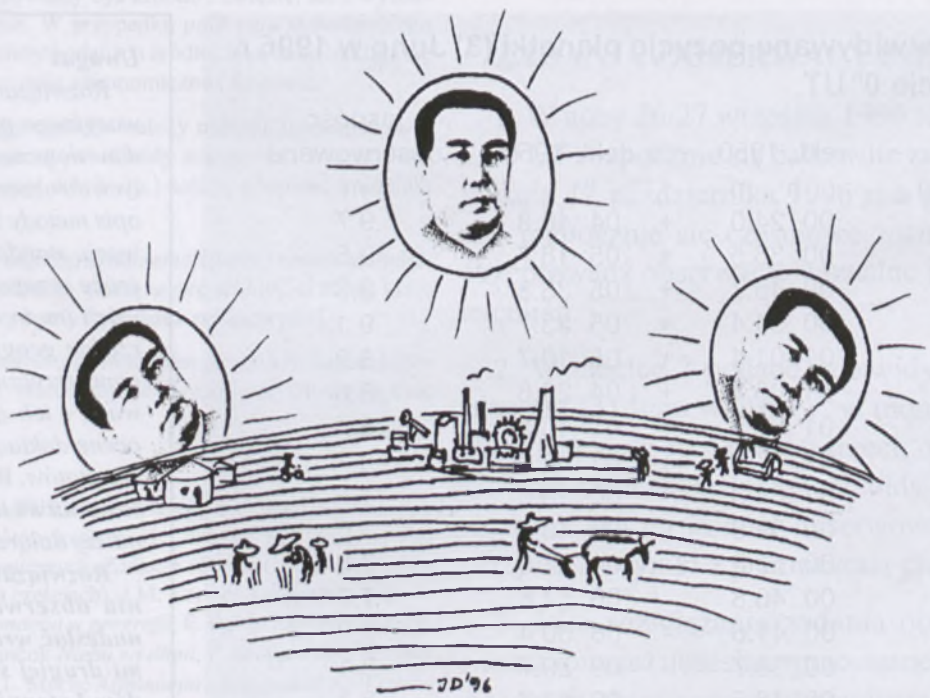
Rozwiązanie zadania obserwacyjnego powinno zawierać: dane dotyczące przyrządów użytych do obserwacji i pomiarów, opis metody i programu obserwacji, standardowe dane dotyczące przeprowadzonej obserwacji (m. in. datę, czas, współrzędne geograficzne, warunki atmosferyczne), wyniki obserwacji i ich opracowanie oraz ocenę dokładności uzyskanych rezultatów. W przypadku zastosowania metody fotograficznej należy dołączyć negatyw.

Rozwiązanie jednego zadania obserwacyjnego należy nadesłać wraz z rozwiązaniami drugiej serii zadań zawodów I stopnia - do dnia 18 listopada 1996 r.

Czasowe kłopoty

Czas to pieniądz - zwykliśmy powtarzać w bodaj najpopularniejszym polskim - i nie tylko polskim - przysłowiu. Nie jest to bynajmniej jedyny powód, dla którego wszelkiej maści totalitaryści, oprócz stosunkowo łatwego panowania nad ludźmi, pragnęli (i pragną) podporządkować sobie i czas. Trafnie to ujął Orwell w swoim słynnym „Roku 1983": *kto rządzi przeszłością, w tego rękach jest przyszłość, kto rządzi teraźniejszością, w tego rękach jest przeszłość*. Niestety, bezlitosna i nieokiełznana natura czasu powoduje, że dla większości z nich kończyło się na haśle: „Lenin (Stalin, Mao, Kim Ir Sen, Fidel Castro - ect.) wiecznie żywy". Tylko nieliczni próbują wyjść poza ten schemat - przykładem niech tu będzie ułożony wbrew prawidłom astronomii kalendarz francuskich rewolucjonistów.

Okazuje się wszakże, że eksperymentować z czasem można jeszcze inaczej: jak wiadomo, na mocy konferencji międzynarodowej z roku 1884, cały świat podzielony jest na strefy czasowe, wynikające z podzielenia kąta pełnego obrotu Ziemi wokół własnej osi - 360^0 przez czas trwania tego obrotu - czyli 24 godziny. Oznacza to, iż mniej więcej co 15^0 długości geograficznej trzeba przesuwać zegarki o godzinę, aby żyć w miarę zgodnie z naturalnym czasem słonecznym. Oczywiście, podział na strefy czasowe ściśle według przebiegu wyimaginowanych przecież południków jest w pratyce niemożliwy - trzeba bowiem uwzględnić granice państwowe i inne naturalne linie podziału kontynentów czy geograficznych krain. Dla większości krajów świata z racji ich wielkości (a właściwie małości) nie stanowi to zresztą żadnego problemu. Wyjątkiem są państwa - giganty: Rosja, Kanada, Chiny, Stany Zjednoczone Ameryki, Brazylia i Australia, które z racji obszaru wielkości całych kontynentów



postępki astronomów

muszą być podzielone na conajmniej kilka stref czasowych: dla przykładu obszar USA i Kanady mieści ich aż dziewięć, w tym niektóre co pół godziny, Australii - trzy, Brazylii - dwie.

Podróżujących przed laty do Związku Radzieckiego dziwiło to, iż wraz z przekroczeniem silnie strzeżonej granicy, musieli przesuwać zegarki nie o godzinę, lecz **aż o dwie godziny do przodu**. Fakt ten miał jednak daleko większe konsekwencje dla Królewca (chwilowo Kaliningradu), w którym miejscowy naturalny czas słoneczny był zbliżony do takiegoż czasu Warszawy, Krakowa czy Torunia - jednak czas zegarowy różnił się znacznie: robotnika idącego do pracy na godzinę 6^{00} w polskim Braniewie wiosną, latem i wczesną jesienią budziło Słońce - parę kilometrów dalej musiał on wstawać zawsze nocą... **Niestety, w Królewcu, podobnie jak w całej europejskiej części ZSRR - aż po Workutę! - obowiązywał czas moskiewski, chociaż Moskwa leżała w odległości 1 100 km dalej na wschód, Workuta - 2 600 km**. Nic więc dziwnego, że pierwsze decyzje niepodległych rządów Litwy, Łotwy i Estonii dotyczyły porzucenia czasu moskiewskiego i przejścia na własny czas wschodnio - europejski.

Sytuacja w europejskiej części b. ZSRR była jednak niczym w porównaniu z ludowymi Chinami, które po dziś dzień, pomimo obszaru równego niemal całej Europie, stanowią w całości **jedną strefę czasową** zamiast pięciu (rozciagają się od 73^0 do 135^0 długości geograficznej wschodniej). Mówiąc inaczej, **w całych Chinach obowiązuje czas pekiński**, właściwy dla 120^0 długości geograficznej wschodniej. Oznacza to, iż np. dla mieszkańców kilkusettysięcznego historycznego miasta Kaszgar w chińskim Turkiestanie (Sinkiangu) Słońce latem wschodzi o oficjalnej godzinie dziewiątej, a zachodzi - o północy. Pracę zaczyna się więc zawsze w nocy, a spać iść trzeba niemal w środku dnia. Poza wytrąceniem ludzi z naturalnego, wyznaczanego przez Słońce rytmu czasowego, powoduje to spore straty ekonomiczne - nic to jednak wobec niebezpiecznego faktu, iż Przewodniczący Mao lub jego następca mógłby smacznie sobie spać w Zakazanym Mieście nie wiedząc, że od paru godzin spiskują przeciwko niemu na rubieżach! Zresztą w takim systemie czas wolny, który - jak wiadomo z koszar - mógłby być wykorzystany niewłaściwie, ulega znacznemu skróceniu...

Być może Stalin wprowadziłby to samo, co Mao - Związek Radziecki był na to dosłownie zbyt wielki: mieszkaniec Władywostoku czy Kamczatki musiałby przestawić się całkowicie i spać za dnia, a pracować nocą. Dlatego też „Słońce Narodów" ograniczało się do europejskiej części imperium, w której żyło zresztą ponad 3/4 wszyskich jego mieszkańców, w dodatku potencjalnie bardziej niebezpiecznych od np. Jakutów czy Ujgurów...

Wszystko to oczywiście drobiazg w porównaniu z innymi wyczynami lewicowych dyktatorów w rodzaju „odkryć" Miczurina, „zawracania rzek", kampanii Mao przeciwko wróblom ect., ect., nie mówiąc już o nagminnym lekceważeniu prawa popytu i podaży będącego w ekonomii tym samym co prawo grawitacji w fizyce. Zaiste, rację miał słynny lwowski (później wrocławski) matematyk Hugo Dyonizy Steinhaus, mówiąc iż - cytuję - **łatwo jest usunąć Boga z Jego miejsca we Wszechświecie - tylko takie dobre posady niedługo wakują...**

Zdzisław Kościelak

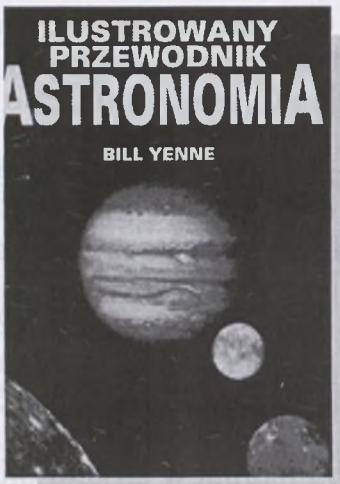
Recenzje PA

Czy ładne musi znaczyć byle jakie?

Tym razem o dwóch popularnych książkach - albumach, które odkryłam w księgarni jeszcze pod koniec ubiegłego roku. Mam na myśli:

- ***Astronomia - ilustrowany przewodnik***, autor Bill Yenne, tłumaczenie Krzysztof Maślanka i Krzysztof Włodarczyk (Wydawnictwo Ryszard Kluszczyński, Kraków 1995), oraz
- ***Gwiazdy - przewodnik,*** autor Robin Kerrod, przekład Anna Michałowska - Smak (wydawnictwo Elipsa, Warszawa 1995).

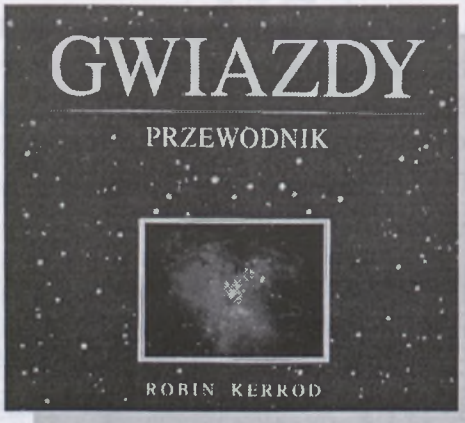
Są one bardzo ładnie wydane, na dobrym papierze, z wieloma pięknymi, kolorowymi zdjęciami. Godne pochwały jest tempo ich edycji - oba angielskojęzyczne oryginały ukazały się w 1993 roku.



Jeśli lubimy astronomię i ładne książki, będąc w księgarni wysuplujemy ostatnie (całkiem spore!) zaskórniaki, aby mieć te albumy na swojej półce z książkami.

Niestety, gdy w domu na spokojnie bierzemy się do czytania formatowo większej z książek (***Astronomia***), czujemy się rozczarowani. Nie jest ona tym, czego oczekiwaliśmy, czyli przewodnikiem o wiarygodnej i wszechstronnie astronomicznej treści, jak sugerowałby tytuł.

Obok błędów literowych i niekonsekwencji w pisowni, np. nazwisk, zdarzają się też nieścisłości i przekłamania merytoryczne, zwłaszcza w krótszej - astronomicznej części książki. Autor, będąc entuzjastą i popularyzatorem badań kosmicznych, jak czytamy na obwolucie, chyba nie do końca bowiem czuje, co to jest astronomia. Badań kosmicznych dotyczy zresztą zdecydowanie większa część przewodnika. Odnosi sie nawet wrażenie, że właśnie tak powinien być on zatytułowany, a konkretnie to *Badania kosmiczne NASA*. Omawiając historię i najnowsze zdobycze astronautyki autor, z typowo amerykańskim patriotyzmem, prawie nie zauważa, jeśli nawet nie osiągnięć, to przynajmniej i s t n i e n i a radzieckich, czy rosyjskich badań kosmicznych. (A może faktycznie przez wiele lat wciskano nam bajki?). Niechętnie też autor dostrzega europejską technikę kosmiczną. Wspomina głównie o wspólnych z NASA projektach Europejskiej Agencji Kosmicznej (jak satelita IUE, czy sonda Ulysses).



Niedociągnięcie autora i jego nieznajomość rynku radzieckiego nadrabiają „zręcznie" t ł u m a c z e . Na stronach 166 i 167, przy okazji omawiania problemów z wadliwym lustrem teleskopu Hubble'a czytamy: „Gdyby coś takiego przydarzyło się w byłym ZSRR, a w badaniach kosmicznych zdarzały się tam nie takie historie, wówczas sprawę zatuszowano by dyskretnie przed światową opinią publiczną (z miejscową opinią publiczną nie liczy się tam przecież nikt). Co najwyżej ktoś nieznany zniknąłby w zagadkowych okolicznościach, a ktoś drugi, zasłużony, przeszedłby na inne, odpowiedzialne stanowisko".

Gdy przeczytałam ten fragment, zdziwiła mnie niekonsekwencja autora, ale poczułam też zażenowanie - takie teksty były dobre i modne na Zachodzie 30 lat temu, ale teraz? Ciekawa byłam, jak to brzmi w oryginale, który to (*The Illustrated Guide To Astronomy*), na całe szczęście, miałam przed sobą. Szukam, szukam i... nic! Niczego takiego nie ma! Czyli twórczość Panów Tłumaczy? Ciekawe jak zareagowałby na to autor? (oczywiście żadnego objaśnienia typu „dopisek tłumaczy" w książce nie ma). Konsekwentnie, tłumacze nie darowali też teleskopowi na Kaukazie. Napisali na własną rękę (str. 54): „Teleskop ten jest typowym przykładem radzieckiej gigantomanii owych czasów i przerostu ambicji nad możliwościami."

Może to wszystko nawet i prawda, co dopisaliście, ale Panowie, to takie nieeleganckie i chyba już nie na czasie, nawet u nas!

Dobrze, że można kupić w księgarni jeszcze jeden przewodnik (***Gwiazdy***). Młodego miłośnika astronomii i obserwatora powinna bardzo ta książka ucieszyć. Styl jej, co prawda, jest nieco zbyt kwiecisty (vide wstęp, czy początki rozdziałów), ale młodzi ludzie to chyba lubią, więc można przymknąć oczy. Poza tym przewodnik wydaje się być bardzo poprawnym metodycznie i dydaktycznie. Autor (**Robin Kerrod** jest znanym autorem ponad stu popularnonaukowych książek dla dzieci i młodzieży - zdobywcą angielskiej nagrody za najlepszą książkę popularnonaukową 1988 roku. U nas w serii „Encyklopedia Wiedzy i Życia" wyszły w 1990 roku dwie jego pozycje, tłumaczone przez Jarosława Włodarczyka, „Układ Słoneczny" i „Gwiazdy i Galaktyki") rozpoczyna od omówienia ruchów sfery niebieskiej, prezentuje wiele map przedstawiających wygląd nieba i gwiazdozbiorów w różnych miejscach i porach roku, omawia też niektóre obiekty i pojęcia astronomiczne. Następnie zapoznaje nas z Księżycem, Słońcem i ciałami Układu Planetarnego. Na koniec mamy nieco o obserwatoriach, instrumentach i wskazówki dla obserwatorów - amatorów. Całość sensowna i godna polecenia.

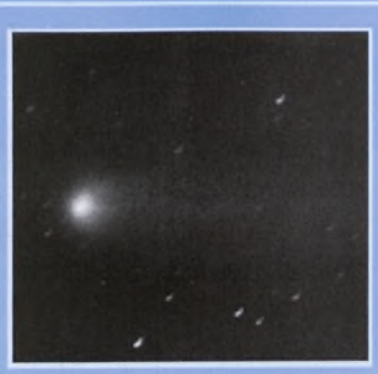
Szczęśliwie zatem odpowiedź na pytanie zawarte w naszym tytule (*czy ładne musi znaczyć byle jakie?*) brzmi: **nie**.

B. G.

FOTObserwacje

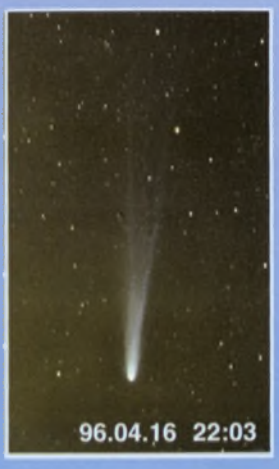
30 stycznia tego roku japończyk Yuji Hyakutake – z zawodu fotograf, astronom z zamiłowania – odkrył nową kometę. Tradycyjnie została nazwana nazwiskiem swego odkrywcy. Ponieważ od wielu lat nie było na naszym niebie komety dobrze widocznej nieuzbrojonym okiem, nie dziwi fakt sporego zainteresowania, jakie wzbudziła w szerokich kręgach miłośników gwieździstego nieba i nie tylko. Była wystarczająco jasna, by z powodzeniem fotografować ją niewyspecjalizowanym sprzętem. Do uwidocznienia struktury jej warkocza nie trzeba było nawet długotrwałych ekspozycji, wystarczyło sięgnąć po dostępne na rynku wysokoczułe materiały. Nawet pogoda, tak kapryśna w naszym kraju, tym razem sprawiła się dość dobrze.

Najgorsze warunki do obserwacji i fotografowania komety mieli mieszkańcy wielkich aglomeracji, gdzie bardzo przeszkadza wielka ilość sztucznych świateł, wydatnie ograniczając widoczność mniej jasnych, a rozległych obszarów kometarnego warkocza. Prezentowane obok zdjęcie zostało zrobione przez panów Konrada i Piotra Kossackich w samym centrum Warszawy 27 marca w czasie minutowej ekspozycji na filmie czarno-białym Fuji Super G+, przy użyciu teleobiektywu 300 mm /5,6.



Przy okazji istotne sprostowanie. Wzór na czas ekspozycji podany w Fotoobserwacjach PA 3/95 zawiera błąd (taki sam błąd jest, niestety, w pierwszym wydaniu cytowanej książki). Mógł o tym przekonać się każdy, kto próbował na jego podstawie przygotować się do fotografowania komety. Prawidłowa jego postać to: $t_e=(f/d)^2/AJ$.

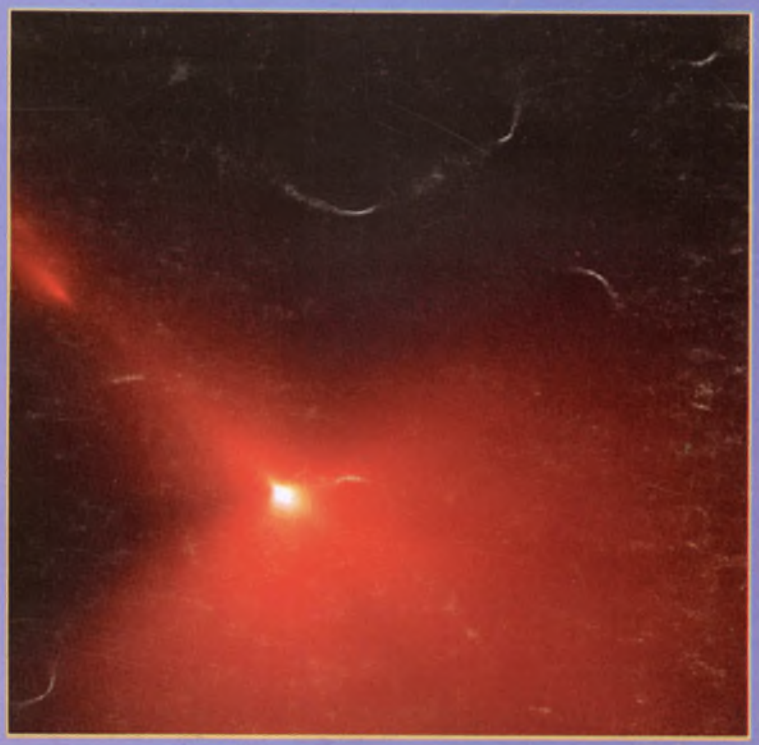
Autorem trzech zdjęć (z lewej strony i poniżej) jest Wiesław Skórzyński ze Złejwsi Wielkiej koło Torunia. Wszystkie trzy wykonane zostały przy pomocy obiektywu Sonnar 200 mm /2,8 z czasem naświetlania 10 minut (film Fuji Super G–800 ASA) i prezentowane są w jednakowej skali, tak, jak kometę widziano z Ziemi – dłuższej krawędzi pierwszych dwóch zdjęć odpowiada ok. 11 stopni łuku sfery niebieskiej.

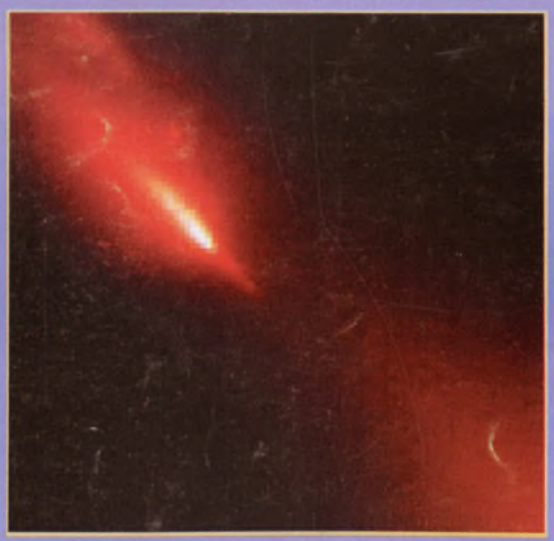


Dwa zdjęcia powyżej, zrobione zostały standardowymi obiektywami. Górne zdjęcie wykonane było w Lidzbarku Warmińskim nieruchomym aparatem na filmie Fuji Super G–400 ASA, z czasem naświetlania 20 sekund (fot. J. Drążkowski). Dolne zostało wykonane w Obserwatorium Astronomicznym Muzeum Mikołaja Kopernika we Fromborku. Tu aparat umieszczony był na mechanizmie prowadzącym teleskopu, a czas naświetlania wynosił 8 minut (fot. A. Pilski, film Kodak 200 ASA). Strzałki wskazują odrzucone fragmenty warkocza komety (patrz tekst na ostatniej stronie okładki). Godziny wykonania zdjęć podane są w czasie środkowoeuropejskim. (JD)

Kometa Hyakutake
w obiektywie kamery WFPC2

Zdjęcia komety Hyakutake (C/1996 B2) otrzymane przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a w dniu 25 marca 1996 roku, gdy kometa znajdowała się w odległości niespełna 15 mln km (była najbliżej) od Ziemi. Obejmują one bardzo mały, położony wokół jądra, obszar głowy komety. Zdjęcia zostały wykonane w świetle czerwonym przez kamerę WFPC2 i zespół astronomów pod wodzą H.A. Weavera z NASA. Położenie Słońca odpowiada pozycji zegarowej godziny 4-tej, a warkocza pozycji godziny 11-tej. Największy obraz obejmuje obszar komety o boku ok. 3340 km i pokazuje, że gros pyłu kometarnego jest produkowane przez skierowaną ku Słońcu hemisferę komety. Ogrzana przez Słońce lodowata materia jądra uwalnia gazy i pyły w formie widocznych na zdjęciu dżetów, które następnie są spychane w kierunku warkocza.





W lewej, górnej części obrazu widać maleńkie fragmenty komety, które zapewne oderwały się od jądra i tworzą swój własny warkocz. Zbliżenie tych fragmentów jest przedstawione na obrazie z lewej strony. Po raz pierwszy zaobserwowano je w czasie obserwacji naziemnych w dniu 24 marca br., a z obrazu HST widać, że są to co najmniej 3 kawałki jądra, które jak gdyby stają się odrębnymi kometami.

Na dolnym obrazie przedstawione jest „zbliżenie" centralnych obszarów (760 km w poprzek) komety. Jądro jest blisko środka obrazu, ale najjaśniejsze rejony obrazu stanowią raczej górne warstwy dżetów materii wyrzucanej z jądra, niż samo jądro.

Przy okazji prezentacji powyższych zdjęć musimy też podzielić się z Czytelnikami ważnym odkryciem. Otóż w tym samym mniej więcej czasie, z którego pochodzą powyższe zdjęcia, inny zespół badaczy odkrył niespotykane dotychczas w kometach, promieniowanie rentgenowskie komety C/1996 B2. Stało się to w dniach od 26 marca do 27 marca 1996 r. Zespół amerykańsko–niemiecki z NASA i MPE (Max–Planck–Institute for Extraterrestial Physics) zaobserwował kometę Hyakutake, przy pomocy teleskopu promieniowania X satelity ROSAT. Kometarne promieniowanie X pochodziło najwyraźniej z odsłonecznej strony komety i ulegało dość istotnym zmianom w odstępach kilku godzin. Tym odkryciem otworzył się nowy rozdział badań kometarnych.

Na rozkładówce

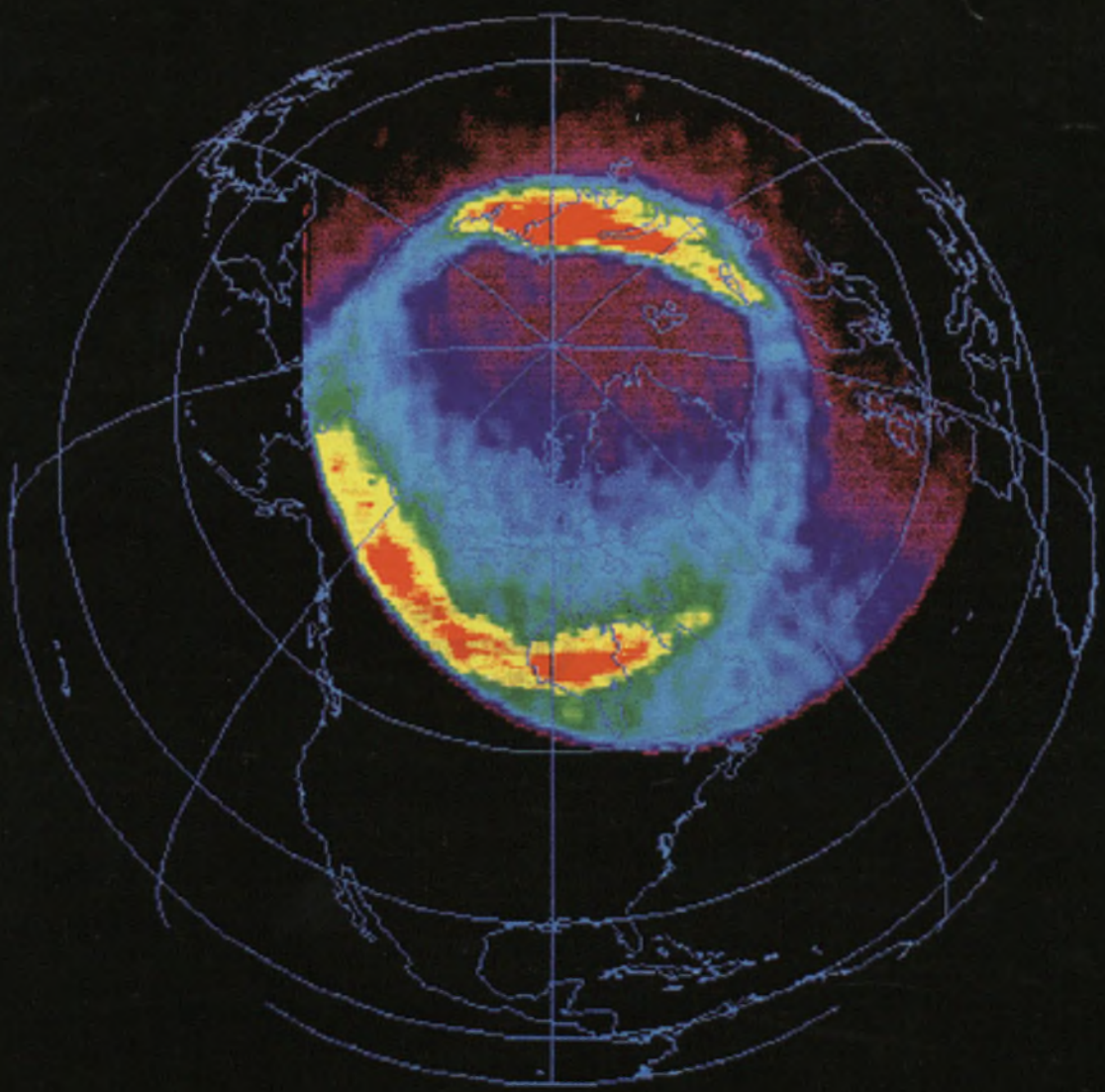
Postępy Astronomii

2/96

tom 44

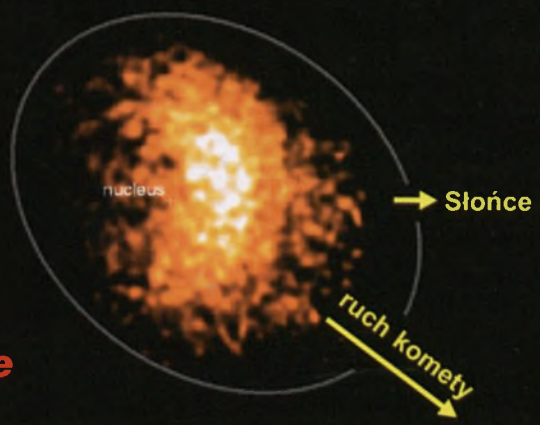
kwiecień - czerwiec

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE



W numerze:

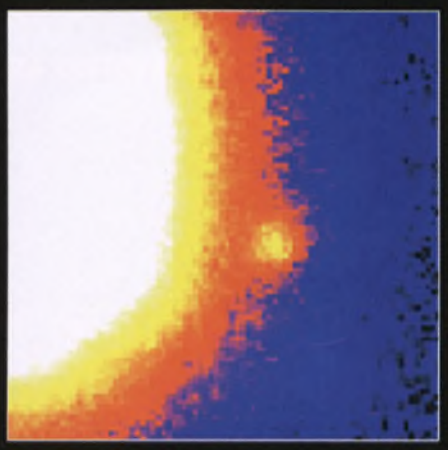
- *obserwacje zórz polarnych*
- *kometa pełna niespodzianek*
- *pożytki z astronomii*
- *kosmologiczne powiązania w przyrodzie*

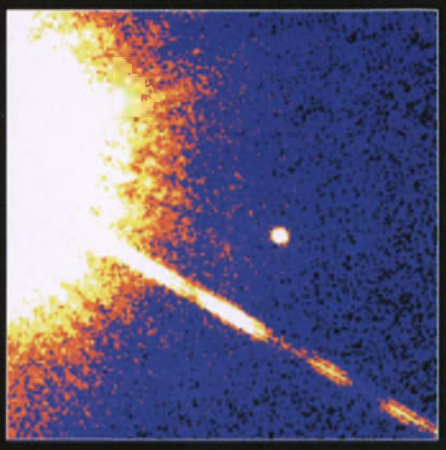


TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

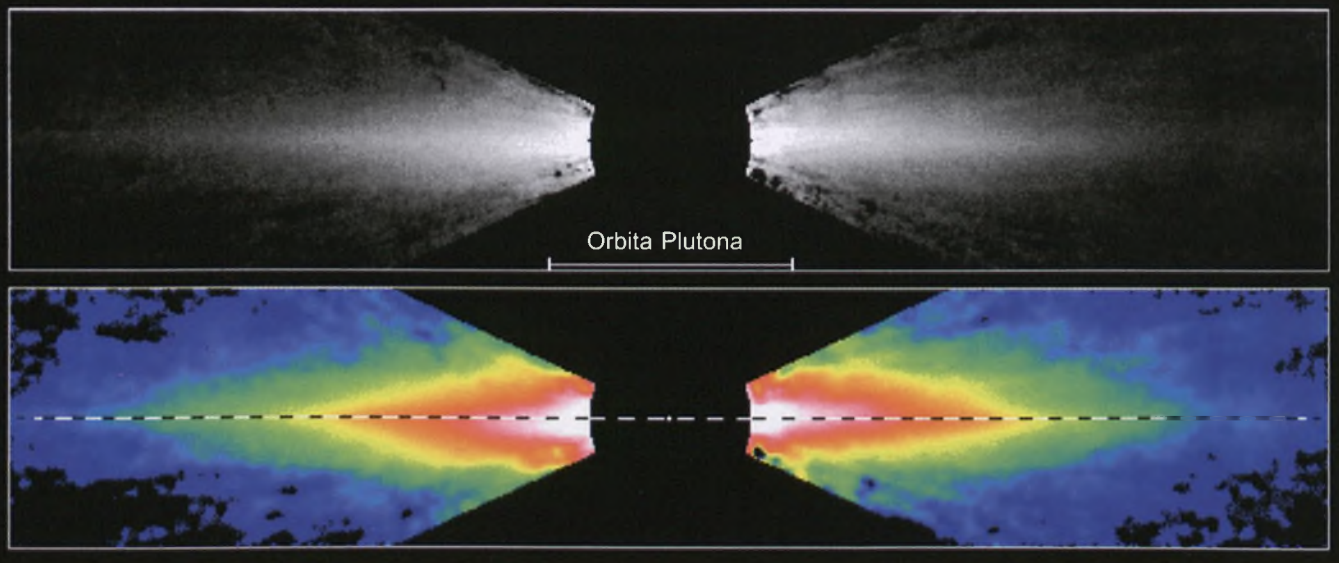
Brązowy karzeł Gliese 229B





Z lewej Brązowy karzeł GL229B został po raz pierwszy zaobserwowany 27 października 1994 roku, przy wykorzystaniu optyki adaptacyjnej i 1,5 metrowego teleskopu w obserwatorium na Mt. Palomar. Kolejny rok był potrzebny by potwierdzić, że obiekt ten jest rzeczywiście związany grawitacyjnie z gwiazdą. Odległość pomiędzy głównym składnikiem a GL229B jest mniej więcej taka sama, jak pomiędzy Plutonem a Słońcem.
Z prawej Zdjęcie wykonane kamerą WFPC2 zainstalowaną na HST, w dniu 17 listopada 1995 roku. Obserwacje wykonane Teleskopem Kosmicznym zostaną wykorzystane do dokładnego pomierzenia odległości brązowego karła od Ziemi i dostarczą danych o jego okresie orbitalnym, który może udzielić wskazówki co do pochodzenia gwiazdy. Ukośne pasmo jest pochodzenia instrumentalnego. (Czytaj również na str. 78 - 79)

Dysk pyłowo-gazowy Beta Pictoris



W styczniu 1996 roku C.Burrows i J.Krist z Europejskiej Agencji Kosmicznej i NASA, przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a uzyskali, najdokładniejsze z dotychczas zrobionych, zdjęcie dysku gazowo-pyłowego wokół gwiazdy Beta Pictoris. Potwierdza ono wcześniejsze podejrzenia (patrz PA 4/91 i 3-4/92), że wokół tej gwiazdy może tworzyć się lub istnieć planeta. Na prezentowanym tu zdjęciu sama gwiazda β Pic jest zasłonięta, aby nie "oślepiała" i pozwoliła dojrzeć okalający ją dysk. Na dolnym, komputerowo przetworzonym obrazie oryginalnego zdjęcia (zrobionego w świetle widzialnym) prezentowanego powyżej, widać wyraźnie, że najbardziej wewnętrzna część dysku jest nieco odchylona od płaszczyzny symetrii całego dysku. Jednym z możliwych wyjaśnień tego faktu jest przyjęcie, że wewnątrz dysku, blisko gwiazdy centralnej, krąży planeta o dużej masie. To właśnie obecność jej pola grawitacyjnego wywiera taki wpływ na kształt dysku. Nie możemy widzieć samej planety, ponieważ w tej skali krąży zbyt blisko gwiazdy (w obszarze zasłoniętym przesłoną), a ponadto jej blask jest prawdopodobnie miliard razy słabszy od blasku β Pic.

Drodzy Czytelnicy,

Oddajemy w Wasze ręce drugi już zeszyt roku 1996 w zmienionej nieco szacie graficznej okładki. Nowe „logo" uzyskało pozytywną opinię zawodowych grafików i akceptację Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. Zaprojektował je nasz redakcyjny kolega ***Jacek Drążkowski****. Choć byliśmy bardzo przywiązani do poprzedniego kształtu graficznego tytułu naszego pisma, wydaje się nam, że nowy również przypadnie do gustu naszym Czytelnikom. Najważniejsze jest dla nas dostarczanie Wam, Drodzy Czytelnicy, rzetelnej wiedzy o postępie współczesnych badań Kosmosu. Pragniemy tę wiedzę podawać w możliwie różnorodnej, atrakcyjnej i trafiającej do Waszych serc i umysłów formie. Tak, abyśmy wszyscy, po lekturze kolejnych zeszytów, wiedzieli więcej o tym, co dzieje się aktualnie w Astronomii i lepiej rozumieli otaczający nas Wszechświat.*

Najważniejszymi twórcami pisma są AUTORZY. Myślę, że możemy być dumni z faktu, iż na łamach „Postępów Astronomii" zechcieli się wypowiadać znani na całym świecie polscy astronomowie. Korzystaliśmy i w dalszym ciągu pragniemy korzystać z Ich doświadczenia naukowego i sławy. Oczekujemy na obiecane artykuły przez jeszcze wielu luminarzy Polskiej Astronomii. Ale oczekujemy też na artykuły tych, których gwiazda ma dopiero rozbłysnąć i tych, którzy już świecą, ale chowają sie gdzieś za tłumiącymi ich blask chmurami. Apelujemy do wszystkich, którzy mają coś, czym mogliby się podzielić z czytelnikami „Postępów Astronomii", aby zechcieli to zrobić. Wszyscy na tym skorzystamy.

Nie ograniczamy się tylko do autorów Polskich. Korzystamy z uprzejmości i uczynności kolegów z różnych krajów. W bieżącym zeszycie na przykład mamy artykuł astronoma francuskiego. Ale obiecali napisać do „Postępów Astronomii" koledzy amerykańscy, brytyjscy i belgijscy.

Bieżący zeszyt otwieramy artykułem dr ***Krzysztofa ZIOŁKOWSKIEGO*** *na temat komety Hyakutake (C/1996 B2), komety niespodzianek. Tak, jak niespodziewanie pojawiła się, tak też objawiła astronomom szereg tajemnic swej natury, których wcale nie spodziewaliśmy się, a czasami nawet narazie nie rozumiemy. Dalej w artykule mgr* ***Leszka BŁASZKIEWICZA*** *otwierają się przed nami odległe czeluście przestrzeni i czasu z początków istnienia Wszechświata. Mamy okazję zdać sobie sprawę, z jakimi problemami stykamy się i jakie trudności trzeba pokonać, aby zrozumieć te pierwsze chwile istnienia Kosmosu. Astronom z Tuluzy,* ***Emmanuel DAVOUST*** *snuje rozważania na temat miejsca i roli Astronomii we współczesnym społeczeństwie w artykule „Pożytki z Astronomii". Jest to, zrobione za Jego zgodą i przy Jego współpracy, tłumaczenie Jego artykułu, który ukazał się na jesieni ubiegłego roku w „Vistas and Astronomy". Doc.* ***Jan HANASZ*** *z Centrum Badań Kosmicznych PAN przedstawia satelitę INTERBALL i eksperyment kosmiczny, nad którym pracuje od kilku lat w szerokiej współpracy międzynarodowej, a dr* ***Jan MIETELSKI*** *omawia problemy rachuby czasu, czyli kalendarza. Zorze polarne, brązowe karły, żelazne jądro Io, mgławice planetarne, są m.in. tematami omawianymi w krótkich notatkach „Rozmaitości" i „HST obserwuje."*

Obok rubryki „Na półce z książkami" otwieramy nową rubrykę „w pudełku z dyskietkami". W pierwszej omawiamy piórem dr ***Kazimierza SCHILLINGA*** *z Olsztyna całą serię „Na ścieżkach nauki" Wydawnictwa M. Prószyńskiego, a w drugiej nowy program dydaktyczny komputerowego nauczania astronomii „Urania" opracowany przez astronomów krakowskich. Dydaktyka astronomii jest obecna na naszych łamach w dwóch relacjach dr* ***Magdaleny SROCZYŃSKIEJ-KOŻUCHOWSKIEJ****: ze spotkania nauczycieli astronomii z astronomami w Koninkach i z Ogólnopolskiego Młodzieżowego Seminarium Astronomicznego w Grudziądzu.*

Znakomity kosmolog ks. prof. Michał Heller został wyróżniony doktoratem honorowym Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Gratulujemy serdecznie i relacjonujemy to wydażenie na stronie 93.

W „In Memoriam" przypominamy postać niedawno zmarłego w USA profesora Romana Smoluchowskiego.

Na koniec dr ***Ewa KUCZAWSKA*** *z Krakowa upomina się za swą płcią i w zamykającym zeszyt felietonie rozważa problemy „równości ras" i od pewnego czasu dość nagłaśniany problem Pań w astronomii.*

Proszę przyjąć życzenia interesującej lektury.

Toruń, w czerwcu 1996 roku

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w Toruniu

In memoriam

Roman Smoluchowski (1910 - 1996)

W dniu 12 stycznia 1996 zmarł w Austin, w Teksasie, profesor Roman Smoluchowski. Międzynarodową reputację zdobył w dziedzinie fizyki ciała stałego i astrofizyki ciał Układu Słonecznego. W tej ostatniej dziedzinie szczególnie znane są Jego pionierskie prace dotyczące budowy wnętrz planetarnych, powstawania Systemu Słonecznego, struktury pierścieni Saturna, ziaren międzygwiazdowych i komet.

Roman Smoluchowski był synem znakomitego polskiego fizyka, profesora uniwersytetów we Lwowie i Krakowie, swego czasu rektora Uniwersytetu Jagiellońskiego Mariana Smoluchowskiego (1872 - 1917). Urodził się w Zakopanem 31 sierpnia 1910 roku. Magisterium z fizyki uzyskał na Uniwersytecie Warszawskim w roku 1933, a doktorat z fizyki i matematyki na Uniwersytecie w Groningen (Holandia) w roku 1935. Od początku II Wojny Światowej przebywał w USA. Tam pracował najpierw w Instytucie „for Advanced Study" w Princeton i laboratorium badawczym General Electric. Później prowadził badania w Instytucie Technologicznym Carnegie w Pittsburgu. Od roku 1960 do 1978 był profesorem i dyrektorem programu badań ciał „stanu stałego" na słynnym Uniwersytecie w Princeton w stanie New Jersey. Od roku 1979 był profesorem „astronomii i fizyki" w Departamencie Astronomii na Uniwersytecie Teksaskim w Austin, gdzie prowadził badania i bogatą działalność dydaktyczną praktycznie aż do śmierci.

Swój dorobek badawczy Roman Smoluchowski opublikował w około 300 pracach naukowych. Ponadto napisał szereg książek i artykułów o charakterze encyklopedycznym i popularnonaukowym.

W początkach swej kariery Roman Smoluchowski badał strukturę atomów, metali i różnych stopów. Choć były to tzw. badania podstawowe, wiele z Jego rezultatów znalazło praktyczne zastosowanie w usprawnieniu szeregu procesów technologicznych w przemyśle. To doświadczenie badacza struktury materii, zwłaszcza materii skondensowanej, pchnęło Go, wraz z programem APOLLO w wir zainteresowań materią innych niż Ziemia ciał Systemu Słonecznego. Angażował się w zrozumienie pyłowej natury powierzchni Księżyca, później struktury wnętrza Jowisza i innych wielkich planet oraz lodowych brył obecnych w pierścieniach Saturna i stanowiących jądra komet. Wyniki Jego teoretycznych prac dotyczących struktury Jowisza dopiero teraz będą porównane z rezultatami sondy zawiezionej na tę planetę przez stację kosmiczną GALILEO. Był bardzo ciekaw tej konfrontacji i miał nadzieję, że dożyje tej chwili.

Autor tej notatki miał przyjemność znać osobiście i cieszyć się sympatią zarówno profesora Romana Smoluchowskiego jak i Jego żony Luizy. Pani Smoluchowska, miłośniczka i badaczka literatury rosyjskiej XIX wieku, kilka lat temu, dedykowała nawet rodzinie autora swą książkę dokumentującą historię miłości i małżeństwa Lwa i Soni Tołstojów. Z książki tej aż bije sympatia Autorki do opisywanych postaci i ich otoczenia. Z taką też sympatią odnosili się oboje do swych znajomych i przyjaciół w Austin i ta sympatia była im odwzajemniona przez ich teksaskie otoczenie. Oboje, choć Roman miał obywatelstwo amerykańskie przez ostatnie 50 lat, czuli i przeżywali codzienne wydarzenia „po polsku". Historyczny przełom w Polsce i Europie roku 1989 był dla nich, jak mówili „ich osobistym szczęściem".

Odejście Profesora Romana Smoluchowskiego stanowi nie tylko stratę dla Nauki, stratę wielce lubianego i szanowanego Przyjaciela i Nauczyciela, ale jest też odejściem Wielkiego Polskiego, choć legitymującego się amerykańskim paszportem, Uczonego.

Andrzej Woszczyk

LISTY... LISTY... LISTY... LISTY...

Szanowna Redakcjo!

Wasze czasopismo czytam od 1991 roku i prawie nigdy nie miałem względem niego poważniejszych uwag czy też zastrzeżeń. Zamieszczane artykuły i doniesienia w dużej części odpowiadały poziomowi posiadanej przeze mnie wiedzy, a oprawa graficzna była rewelacyjna. Właśnie użyłem słowa w czasie przeszłym, gdyż odkąd rozstaliście się z „nierzetelnym" współpracownikiem od składu komputerowego, dwa ostatnie numery *PA*, 4/95 i 1/96 wyglądają fatalnie. Zwłaszcza w pierwszym z nich właściwie wszystkie zdjęcia kolorowe oraz większość czarno-białych jest niewyraźna, pełna ziarnistych plam i przebarwień. Zdjęcia satelitów Jowisza to pstrokate kółka o rozmazanej powierzchni, obraz Słońca w promieniach *X* wygląda w rogach jakby był posypany makiem lub piaskiem, kolory na rozkładówce z mgławicą w Orionie są poprzesuwane. Przykłady można wymieniać dalej, ale po co? Czytelnicy sami to widzą i nie sądzę, żeby aprobowali te fakty. Mimo, że opóźnienie z jakim dostałem dwa ostanie numery było mniejsze niż dawniej, jednak kosztem tego oprawa graficzna Waszego pisma straciła bardzo dużo. Moim zdaniem jest to wina nowego „speca" od składu, który niestety jest zwykłym amatorem. Po części może to być też rezultat korzystania przez niego z tanich i byle jakich programów do składu, ale to tylko jego sprawa, że nie kupił profesjonalnych aplikacji oraz sprzętu i pracuje na tandecie. Chyba wiedział za co się bierze, kiedy otwierał interes?

Myślę, że dla dobra *Postępów* rozstaniecie się z nim i już najbliższe numery wrócą jakością do poziomu poprzednich egzemplarzy. Nie mam też zielonego pojęcia dlaczego zmieniliście logo *Postępów*, to stare bardziej mi się podobało, nie było takie pospolite. Może jednak wróci na okładkę?

Mimo tych uwag nie rezygnuję z czytania *Postępów*, w końcu liczy się przede wszystkim treść. Jednak w mało której dziedzinie nauk ścisłych jak w astronomii obrazy spełniają bardzo dużą rolę w przekazywaniu wiedzy i dlatego ich jakość jest taka ważna (w końcu po co budować coraz większe teleskopy albo wysyłać je w Kosmos?). Życzę Wam, aby poziom *Postępów* był zawsze wysoki, a artykuły pisali dla Was same sławy świata astronomii.

Łączę ukłony.

Wojciech Migda

Szanowny
i Drogi Czytelniku!

Jesteśmy ogromnie wdzięczni za druzgocącą, ale jednak życzliwą krytykę ostatnich zeszytów naszego pisma. Jesteśmy świadomi braków i podpisujemy się oboma rękoma pod oceną jakości druku ostatnich 2 zeszytów *Postępów*, jaką Pan przedstawił w swym liście. Nasze oceny są podobne i dlatego poszukujemy bardziej profesjonalnych wykonawców ostatniego etapu naszej pracy, ponieważ większość wymienionych przez Pana błędów nie była winą „nowego speca od składu", ale drukarni, w której drukowane były ostatnie numery *PA* (tam również przygotowywano kolorowe strony *PA* 4/95).

Cieszymy się jednak z wysokiej oceny treści *Postępów Astronomii*. Nie wszystko się nam udaje, jak to sobie wymarzyliśmy, ale systematycznie pracujemy nad usuwaniem denerwujących zarówno Czytelników, jak i Redakcję mankamentów i nieustannie obiecujemy poprawę.

Być może już ten zeszyt będzie świadczył o sukcesach na tym polu.

Kłaniamy się pięknie.

Redakcja

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 (IA UMK Toruń)

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

Redakcja techniczna i opracowanie graficzne: Jacek Drążkowski

Korekta: Małgorzata Śróbka - Kubiak

Redakcja w Toruniu:
Instytut Astronomii UMK
ul.Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail address);
aw@astri.uni.torun.pl

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

Skład komputerowy: *Parinama - Soft*, Mirosław Kubiak, Grudziądz

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

Dystrybucja: Barbara Gertner, Instytut Astronomii UMK, Toruń

Numer zamknięto w lipcu 1996 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 •

Pismo jest dofinansowywane przez Komitet Badań Naukowych

© POSTĘPY ASTRONOMII 1996

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:

52 **Kometa niespodzianek**

Krzysztof Ziołkowski

Największą niespodzianką było samo pojawienie się komety Hyakutake (C/1996 B2). Po raz pierwszy od dwudziestu lat można było bowiem zobaczyć gołym okiem jasną, urodziwą kometę. Dzięki jej dużemu zbliżeniu do Ziemi, a także sprzyjającemu usytuowaniu w przestrzeni jej orbity, w końcu marca i w pierwszej połowie kwietnia 1996 roku, byliśmy świadkami niecodziennego zjawiska na niebie.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A
Mgławica planetarna Helix (NGC 7293) (76)
GL229B - brązowy karzeł (77)
Mapa Plutona (80)

56 **Pożytki z astronomii**

Emmanuel Davoust

*Pytanie: **Jaki jest pożytek z astronomii?** wydaje się bardzo proste, lecz niełatwo na nie znaleźć odpowiedź. Częściowo wynika to zapewne z faktu, że problem oparty jest na staromodnych pojęciach o rzeczywistym znaczeniu nauk przyrodniczych w ogóle, zaś astronomii w szczególności. Gdyby mi postawiono to pytanie 100 lub 200 lat temu (...)*

61 **Kosmiczne powiązania w Przyrodzie**

Leszek P. Błaszkiewicz

Współczesna kosmologia rozpoczęła się, gdy Albert Einstein zaproponował swój statyczny model Wszechświata (1917), a Edvin Hubble ogłosił swe obserwacje przesunięcia ku czerwieni linii w widmach galaktyk i ich dopplerowską interpretację (1929). W tych faktach obserwacyjnych znalazły potwierdzenie teoretyczne przypuszczenia Aleksandra Friedmana.

73 **Badania magnetosfery ziemskiej - misja Interball**

Jan Hanasz

W nocy z 2 na 3 sierpnia 1995 roku wystartowała z kilkuletnim opóźnieniem z poligonu rakietowego w Plesiecku na północy Rosji Sonda Ogonowa, przeznaczona do badań ogona magnetosfery ziemskiej(...) Celem projektu INTERBALL są badania przepływu energii, pędu i masy w kluczowych obszarach oddziaływań wiatru słonecznego na magnetosferę ziemską.

81 **Kwestia możliwości i celowości korekty reguł kalendarza słonecznego**

Jan Mietelski

Dzisiejsza wiedza astronomiczna o ruchu orbitalnym Ziemi i o precesji jej osi oraz o wydłużaniu się doby, wskazuje jednoznacznie na to, że uzupełnienie reguł kalendarza słonecznego (w szczególności gregoriańskiego) stać się może w pewnym momencie nieubłaganą koniecznością.

różnitości *Żelazne jądro Io (71).*
Polar obserwuje zorzę polarną (72).

50 **In memoriam:** *Roman Smoluchowski (1910 - 1996).*
87 **Na półce z książkami:** *Pasjonująca wędrówka po krętych ścieżkach nauki*
90 **Astronomia w szkole:** Magdalena Kożuchowska - *Seminarium dla nauczycieli fizyki 1-3 grudnia 1995 - Koninki, Przed XIII OMSA w Grudziądzu.*
93 **W kraju:** *Ks. prof. Michał Heller doktorem honoris causa AGH*
94 **Felieton:** *Czy Einstein śpiewał barytonem...*
96 **W pudełku z dyskietkami:** *URANIA - komputerowy program astronomiczny.*

NA OKŁADCE: *obraz zorzy polarnej uzyskany 6 kwietnia 1996 r. za pomocą tzw. Imagera Ultrafioletowego UVI, umieszczonego na pokładzie satelity POLAR, oraz obraz komety Hyakutake, wykonany teleskopem rentgenowskim ROSAT.*

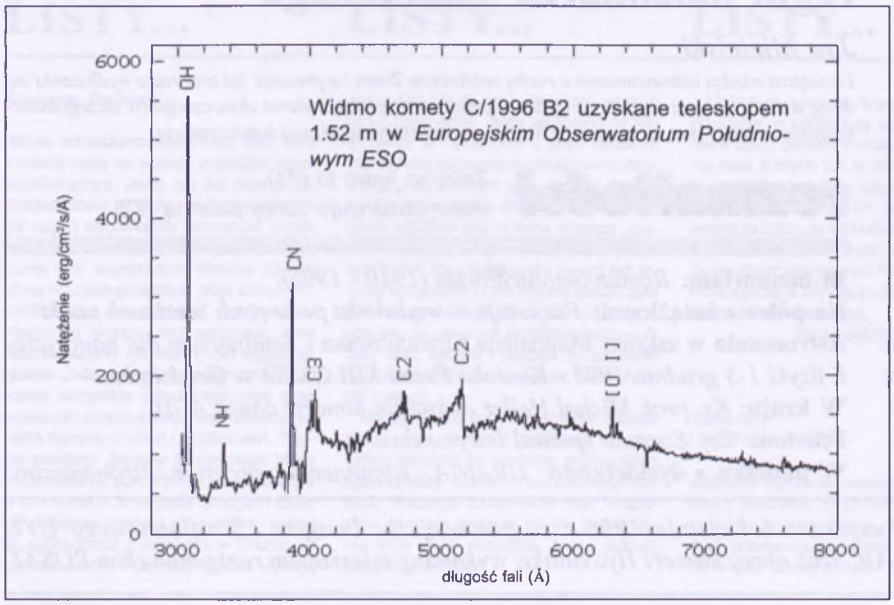
Krzysztof Ziołkowski

Kometa niespodzianek

Największą niespodzianką było samo pojawienie się komety Hyakutake (C/1996 B2). Po raz pierwszy od dwudziestu lat można było bowiem zobaczyć gołym okiem jasną, urodziwą kometę. Dzięki jej dużemu zbliżeniu do Ziemi, a także sprzyjającemu usytuowaniu w przestrzeni jej orbity, w końcu marca i w pierwszej połowie kwietnia 1996 roku, byliśmy świadkami niecodziennego zjawiska na niebie. Liczne informacje o nim w prasie, radiu i telewizji umożliwiły zapewne wielu ludziom zobaczenie po raz pierwszy prawdziwej komety. Miłośnicy astronomii z pewnością przeżywali emocje śledzenia jej ruchu, zmian blasku, ewolucji wyglądu głowy i długiego warkocza. Profesjonalistów cieszyła natomiast niezbyt często zdarzająca się okazja prowadzenia wszechstronnych badań łatwo dostępnego różnego typu obserwacjom, przedstawiciela ciągle jeszcze tajemniczych obiektów, które ostatnio coraz bardziej intrygują wielu badaczy.

Kometę C/1996 B2 odkrył 30 stycznia 1996 roku - jako rozmyty obiekt o średnicy 2.5 minuty kątowej i jasności około 11 wielkości gwiazdowych - japoński miłośnik astronomii **Yuji Hyakutake**, fotografik z Hayato koło Kagoshimy, który miesiąc wcześniej stał się już odkrywcą innej komety C/1995 Y1. Z szybko powiększającego się zbioru obserwacji astrometrycznych nowej komety, wzbogaconego o przedodkryciową pozycję z 1 stycznia 1996 roku, którą udało się znaleźć, stwierdzono, że obiega ona Słońce po torze w kształcie silnie wydłużonej elipsy o mimośrodzie 0.99966, położonej w płaszczyźnie nachylonej do płaszczyzny ekliptyki pod kątem 125°. Przez peryhelium, oddalone od Słońca o zaledwie 0.23 j.a., przeszła 1 maja 1996 roku, a 25 marca zbliżyła się do Ziemi na minimalną odległość 0.1 j.a. czyli około 15 mln km. Dobra znajomość orbity komety pozwoliła ustalić, że przed obecnym zbliżeniem do Słońca okres jej obiegu wynosił około 16.5 tys. lat, a po przejściu przez Układ Słoneczny wydłużył się do około 100 tys. lat.

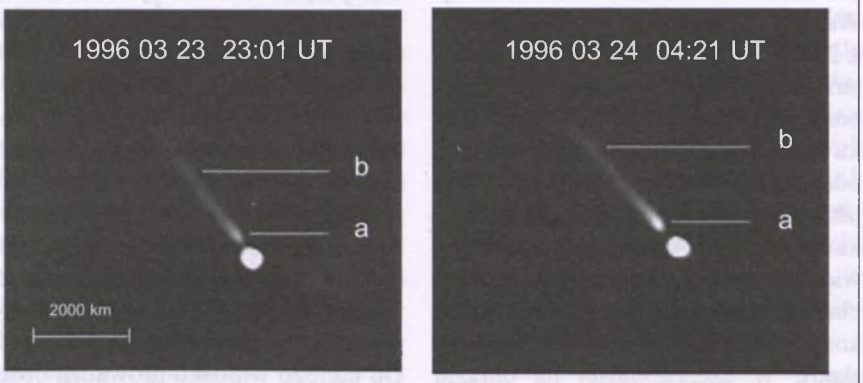
Ponad trzymiesięczny okres obserwacji komety przyniósł tak wiele pomiarów jej pozycji na niebie, że w obliczonym na ich podstawie torze, po którym okrążyła Słońce, zdołano dostrzec subtelne zmiany, nazywane efektami niegrawitacyjnymi, wynikające z sumowania się wektora prędkości orbitalnej i wektora siły reakcji na wyrzut materii z rotującego jądra. Była to niespodzianka, gdyż takie anomalie udaje się wygenerować w zasadzie tylko w przypadku komet krótkookresowych obserwowanych w kilku pojawieniach. Kometa Hyakutake dołączyła więc do grupy zaledwie kilku tzw. komet jednopojawieniowych, dla których udało się dotychczas w sposób wiarygodny wyznaczyć efekty niegrawitacyjne.



Dzięki dużemu zbliżeniu komety Hyakutake do Ziemi nadarzyła się okazja - po raz pierwszy od 10 lat - do śledzenia radarowego komety. Dotychczas udało się zarejestrować echo radarowe w przypadku jedynie 5 komet; ostatni raz tego typu obserwacje prowadzono dla komety Halleya za pomocą radioteleskopu w Arecibo. Tym razem wykorzystano 70 m radioteleskop NASA w Goldstone, który 24 i 25 marca zdołał odebrać (po około 104 s od wysłania sygnału) promieniowanie odbite nie tylko od jądra komety lecz także od bryłek materii o rozmiarach rzędu 1 cm oddalających się od jądra

z prędkościami około 10 m/s. Pierwsze opracowania wyników wskazują, że rozmiary jądra komety zawierają się w granicach 1-3 km. Z analiz fotometrycznych najbliższego otoczenia jądra wynika, że najbardziej prawdopodobny okres jego rotacji przewyższa nieco 6 godzin.

Najwięcej niespodzianek przyniosły obserwacje spektroskopowe komety Hyakutake. Niemal sensacją stało się odkrycie etanu (C_2H_6) w gazie sublimującym z jej jądra. Molekuł tego związku węgla i wodoru dotychczas w kometach nie obserwowano. Nie znaleziono go także w materii międzygwiazdowej i dlatego sądzi się, że nie występował w obłoku gazowo-pyłowym, z którego uformował się Układ Słoneczny, a więc z którego - jak się dziś sądzi - powstały również i komety. Prowadzi to do wniosku, że komety zawierające etan musiały tworzyć się w zupełnie innych warunkach niż komety, w których go nie ma. Być może powstawały w bliższych prasłońca, czyli cieplejszych obszarach pierwotnej mgławicy, blisko formującego się Jowisza i Saturna, a nie w chłodniejszych rejonach kondensacji Urana i Neptuna, bardziej sprzyjających tworzeniu się lodów o składzie odpowiadającym temu, który dotychczas w kometach obserwowano. Nie można też wykluczyć, że lody, które wchodzą dziś w skład komet, powstawały w różniących się składem obszarach pierwotnej mgławicy gazowo-pyłowej jeszcze przed rozpoczęciem formowania się Słońca.

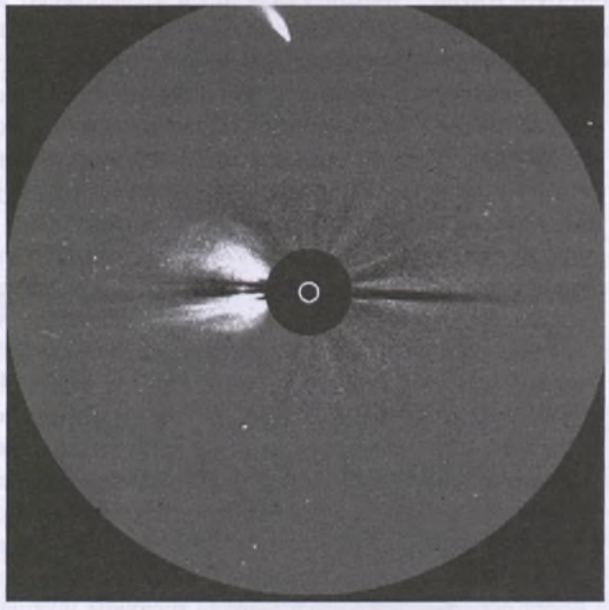


Na tych dwóch obrazach uzyskanych 1. metrowym teleskopem francuskiego obserwatorium Pic du Midi można zobaczyć fragmenty jądra przemieszczające się wzdłuż pyłowego warkocza komety.

Odkrycie w komecie Hyakutake etanu, którego przecież nikt się nie spodziewał, było właściwie dziełem przypadku. Obserwacje spektroskopowe prowadzone za pomocą teleskopu podczerwonego NASA na Hawajach podczas największego zbliżenia komety do Ziemi przez zespół astronomów amerykańskich, któremu przewodniczył Michael J. Mumma, miały przede wszystkim na celu ustalenie zawartości metanolu w komecie Hyakutake. Metanol, czyli alkohol metylowy (CH_3OH), jest prawdopodobnie trzecim po wodzie (H_2O) i tlenku węgla (CO) najobfitszym składnikiem materii lotnej komet. Obserwowano go dotychczas w kilku kometach stwierdzając, że stanowi około 7 procent zawartości wody. Jedynie w dwóch przypadkach (komety Halleya i komety Levy'ego C/1990 K1) zawartość metanolu okazała się znacznie mniejsza, około jednego procenta. Różnica ta wydaje się wskazywać, że lody w tych kometach tworzyły się i ewoluowały w odmiennych warunkach. Nie udało się do tej pory wiarygodnie wytłumaczyć przyczyn różnic obfitości metanolu ani znaleźć jakichś ich korelacji z innymi cechami fizycznymi lub dynamicznymi komet. Sprawa wydaje się jednak na tyle intrygująca, że skwapliwie wykorzystuje się każdą okazję do badań zawartości metanolu w kometach. Przelatująca blisko Ziemi i jasna kometa Hyakutake stwarzała wyjątkowo dobre warunki do bardzo trudnych przecież obserwacji spektroskopowych w podczerwieni.

Zespół M.J. Mummy zaobserwował jednak w widmie komety Hyakutake jedynie bardzo słabą linię emisyjną metanolu (co wskazuje na znacznie mniejszą jego obfitość niż oczekiwano), stosunkowo silne linie emisyjne wody, tlenku węgla i metanu oraz niespodziewanie silną linię wskazującą właśnie na emisję etanu. Tempo produkcji etanu ($6.4 \cdot 10^{26}$ molekuł na sekundę) okazało się porównywalne z tempem produkcji metanu ($1.2 \cdot 10^{27}$ molekuł na sekundę). Badania spektroskopowe komety wykonane za pomocą Teleskopu Kosmicznego Hubble'a w dniu 1 kwietnia umożliwiły określenie względnej obfitości tych najważniejszych składników gazu w głowie komety: $H_2O : CO : CH_4 : C_2H_6 = 100 : 5.8 : 0.7 : 0.4$.

Z obserwacji emisji rodnika OH wykonanych 23 i 24 marca wyznaczono tempo produkcji cząsteczek H_2O



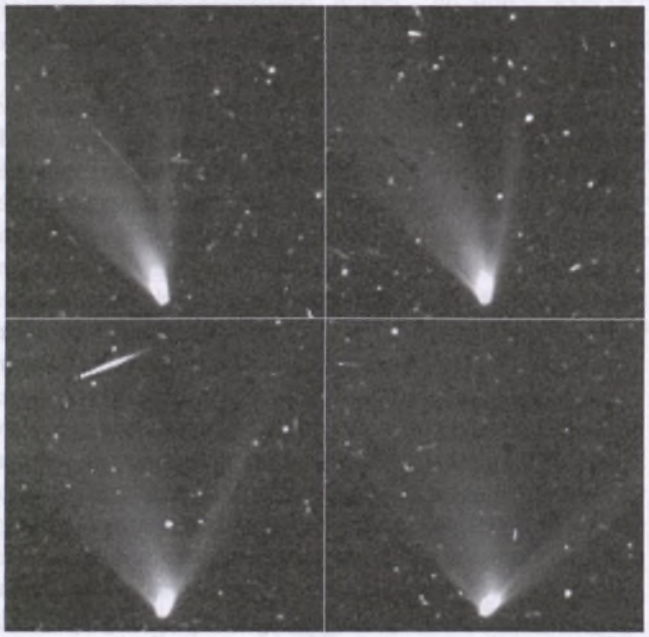
Obraz Słońca i komety uzyskany korografem LASCO znajdującym się na satelicie SOHO w dniu 1 maja 1996 r. Kometa Hyakutake jest widoczna na górnym skraju zdjęcia. Centralną część zdjęcia zajmuje obraz korony słonecznej. Słońce (jego wielkość jest wyrażona centralnym białym kółeczkiem) jest przesłonięte tarczą koronografu, aby w ten sposób wygasić jego blask i zobaczyć zewnętrzną atmosferę Słońca. W tym dniu nastąpił silny wypływ materii ze Słońca, co można wnosić po szczególnie dużej jasności korony słonecznej (na obrazie na lewo od przesłony słonecznej).

na 3.5 $\cdot 10^{29}$ molekuł na sekundę. Wartość tę potwierdziły obserwacje z 27 marca, natomiast 25 marca dostrzeżono wyraźne osłabienie tempa produkcji wody, a także molekuł tlenku węgla. Interpretuje się to jako efekt oderwania się od jądra w tym czasie jakiegoś większego fragmentu. Te ciekawe wnioski wynikające z analizy widma znalazły potwierdzenie na zdjęciach najbliższego otoczenia jądra komety wykonanych przez duże teleskopy. W szczególności na obrazie uzyskanym za pomocą Teleskopu Kosmicznego Hubble'a w czasie największego zbliżenia komety do Ziemi w dniu 25 marca wyraźnie widać rozciągniętą wzdłuż warkocza plamkę, która jest najprawdopodobniej śladem oderwanych od jądra co najmniej trzech jego fragmentów.

Mówiąc o teleskopie Hubble'a warto dodać, że dzięki niemu udała się po raz drugi w historii detekcja w głowie komety dwuatomowej molekuły siarki (S_2). Pierwszy raz zrobił to działający od 1978 roku i niezwykle zasłużony dla badań astronomicznych w nadfiolecie, satelita IUE (*International Ultraviolet Explorer*) obserwując kometę IRAS-Araki-Alcock (C/1983 H1), która w maju 1983 roku przeleciała jeszcze bliżej Ziemi niż obecnie obserwowana kometa Hyakutake (w minimalnej odległości 0.03 j.a.). Molekuła S_2 jest bardzo nietrwała; w odległości 1 j.a. od Słońca ulega rozpadowi w ciągu zaledwie 10 minut i dlatego bardzo trudno jest ją zaobserwować. Odkrycie jej obecności w kometach świadczy o tym, że musiały się one formować w temperaturach mniejszych niż 30 K. Obfitość siarki w komecie Hyakutake oceniono na 0.01% zawartości wody.

Kometa Hyakutake wydaje się być ponadto bogata w związki węgla. Do takiego wniosku prowadzą obserwacje wykonane 1 kwietnia, z których wynika, że stosunek jonów tlenku węgla do jonów wody w odległości rzędu 60 tys. km od jądra wzdłuż warkocza komety jest większy od jedności ($CO^+/H_2O^+ > 1$), podczas gdy dla komety Halleya ten sam stosunek był mniejszy od 0.2. Dodajmy jeszcze, że stosunek obfitości deuteru do wodoru oceniono na $D/H = 1.4 \cdot 10^{-4}$, co jest wartością o rząd wielkości mniejszą niż w przypadku komety Halleya.

Analiza widma ciągłego komety Hyakutake pozwoliła stwierdzić obecność stosunkowo dużych ilości pyłu w obszarze okołojądrowym. Z obserwacji w dniach 23 i 24 marca oszacowano np., że w promieniu 1700 km znajduje się około 10^8 kg pyłu. Zakładając prędkość drobin pyłu równą 10 m/s oceniono tempo jego produkcji w okresie największego zbliżenia komety do Ziemi na 1200 kg/s.



Mozaika czterech obrazów komety Hyakutake uzyskanych między 29 kwietnia, a 6 maja 1996 roku, czyli w pobliżu peryhelium przez koronograf LASCO. Wszystkie zdjęcia zostały wykonane w świetle niebieskim. Widać dramatyczne zmiany kształtu warkocza kometarnego.

Kometa Hyakutake rozwinęła piękny, długi warkocz. Na początku marca, gdy jej jasność była na granicy widoczności okiem nieuzbrojonym, długość warkocza oceniano na około 15'. A. Hale (współodkrywca komety Hale'a-Bopp a C/1995 O1) oszacował długość warkocza w dniu 19 marca już na około 15°. Publikowane w cyrkularzach Międzynarodowej Unii Astronomicznej doniesienia różnych obserwatorów o długości warkocza podczas największego zbliżenia komety do Ziemi w dniach 24-26 marca wymieniały nawet liczbę 100°. Szybko jednak zorientowano się, że jest po prostu fizycznie niemożliwe, aby kątowa długość warkocza (rozciągającego się wzdłuż promienia wodzącego komety) przewyższała wartość tzw. kąta fazowego komety (czyli kąta między kierunkami z komety na Słońce i na Ziemię).W dniu 25 marca kąt ten wynosił około 70°, a maksymalną wartość 111° osiągnął w dniu 6 kwietnia.

Wielką niespodzianką była możliwość prześledzenia szybko zmieniających się struktur warkocza podczas największego zbliżenia komety do Słońca, gdy przechodziła przez peryhelium. Przypomnijmy, że w tym czasie z Ziemi komety nie można było zobaczyć, gdyż znajdowała się na niebie zbyt blisko Słońca. Ale widział ją wtedy satelita SOHO, który w grudniu ubiegłego roku został wystrzelony przez Europejską Agencję Kosmiczną (ESA) i umieszczony w punkcie *Lagrange'a* L_1 układu Ziemia-Słońce dla badań Słońca i heliosfery. Obserwacje komety prowadzono za pomocą znajdującego się na pokładzie tego satelity koronografu LASCO (*Large Angle Spectrometric Coronograph*) w dniach od 29 kwietnia do 6 maja. Uzyskane obrazy pokazały w szczególności interesujące zmiany kształtu warkocza komety podczas jej przelotu koło Słońca. Spowodowały je odmienności reakcji na oddziaływanie Słońca różnych składowych materii stanowiącej warkocz. Poruszające się wzdłuż orbity komety cząstki pyłu poddane ciśnieniu promieniowania słonecznego uległy - w zależności od wielkości i masy - większym lub mniejszym odchyleniom od Słońca, podczas gdy lekkie i zjonizowane cząsteczki gazu zostały radialne uniesione przez wiatr słoneczny i związane z nim pole magnetyczne. Kometa stanowiła więc jakby naturalną sondę, dzięki której będzie można coś powiedzieć również i o górnych warstwach korony słonecznej.

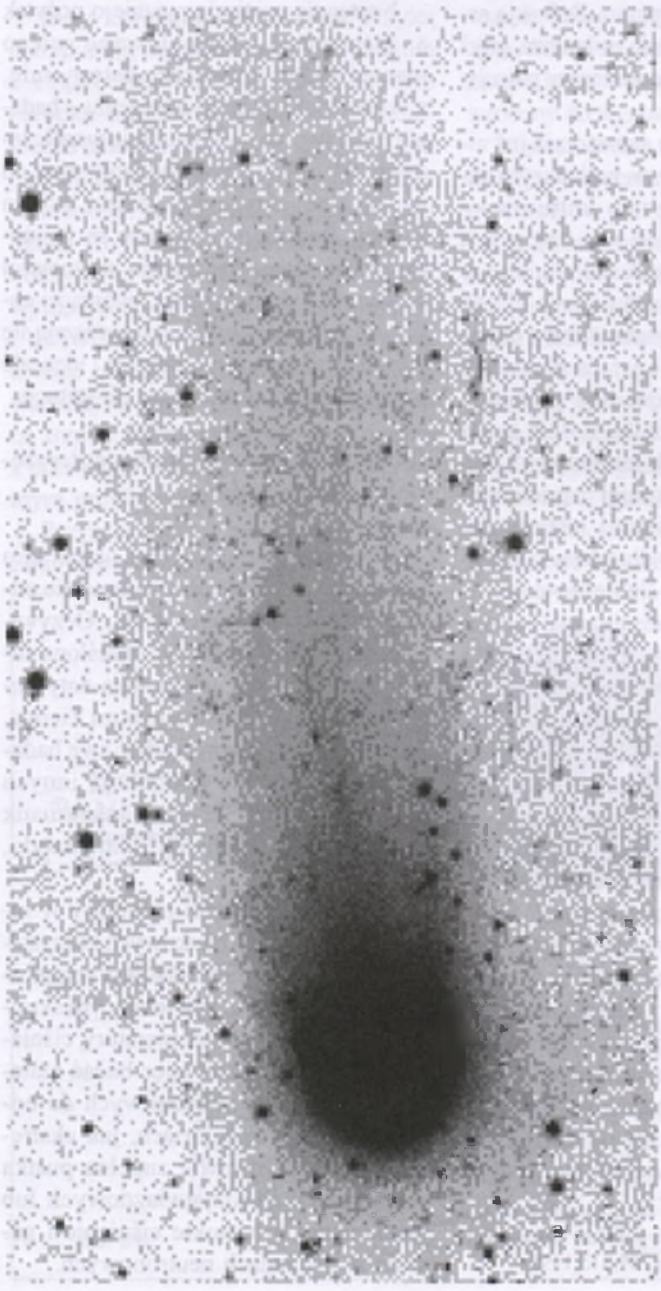
I na zakończenie największa bodaj niespodzianka: **kometa Hyakutake świeci rentgenowsko**. Po raz pierwszy zarejestrowano promieniowanie X pochodzące od komety. Dokonał tego satelita ROSAT obserwując kometę

C/1996 B2 w dniach 26 i 27 marca. Stwierdzono, że stosunkowo silna i zmieniająca się w czasie emisja promieniowania rentgenowskiego pochodzi ze zwróconego w kierunku Słońca półkolistego obszaru wokół jądra komety do odległości mniej więcej 30-40 tys. km. Ponieważ nikt się tego nie spodziewał, rodzi się pytanie, jakie procesy fizyczne w głowie komety prowadzą do generacji tego promieniowania. Nie ma na nie jeszcze odpowiedzi. Podejrzewa się, że może to być efekt rozproszenia słonecznego promieniowania X na materiale komy lub też fluorescencja molekuł wody wywołana przez wiatr słoneczny.

Odkrycie promieniowania rentgenowskiego komety Hyakutake zachęciło do przejrzenia archiwalnych materiałów satelity ROSAT dla ewentualnego znalezienia obserwacji innych komet. Udało się to dla wspomnianej już wyżej komety C/1990 K1 (Levy), dla komety C/1990 N1 (Tsuchiya-Kiuchi) i dla komety okresowej 45P/Honda-Mrkos-Pajdusakova. W okresie rejestracji emisji promieniowania rentgenowskiego tych komet znajdowały się one w odległościach od Słońca mniejszych niż dwie jednostki astronomiczne.

Kometa Hyakutake przejdzie więc do historii badań kometarnych jako obiekt, w którym po raz pierwszy zaobserwowano emisję promieniowania rentgenowskiego i odkryto obecność etanu, jako komety, w której zdołano zaobserwować bardzo nietrwałą dwuatomową molekułę siarki, potwierdzając tym samym jej odkrycie w 1983 roku, jako jedna z pierwszych komet, dla których udała się bezpośrednia detekcja molekuł wody, jako jedna z nielicznych komet sondowanych radarowo oraz obserwowanych w bezpośrednim sąsiedztwie Słońca i wreszcie jako jedna z niewielu komet jednopojawieniowych, w której ruchu ujawniły się efekty niegrawitacyjne.

Dr Krzysztof Ziołkowski, wieloletni Redaktor Naczelny „Uranii" jest specjalistą mechaniki nieba, głównie dynamiki małych ciał Układu Słonecznego. Pracuje w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie.



Obok przedstawiamy negatyw zdjęcia zrobionego we Wrocławiu, 27 marca tego roku w Instytucie Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego. Autorami zdjęcia są panowie: Piotr Skarbutowicz, dr Andrzej Pigulski i dr Paweł Rudawy. Zdjęcie zostało wykonane aparatem Zenit 122 podczepionym pod prowadzony teleskop. Korekcja na ruch własny komety była prowadzona na jądrze. Do aparatu domontowany był teleobiektyw 200/3.5, a jako kliszy użyto popularnej błony Konika 200. Czas ekspozycji wyniósł 2.5 minuty.

Prenumerata
Postępów Astronomii

Wszystkie sprawy związane z prenumeratą i kolportażem *Postępów Astronomii* prosimy kierować na adres:

Barbara Gertner
Instytut Astronomii UMK
ul. Chopina 12/18
tel.: (0-56) 260 18 w. 33
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

konto bankowe:

Polskie Towarzystwo Astronomiczne
Bank Gdański S. A. o/Toruń
Nr 308601-6347-132

Cena prenumeraty na rok 1996 wynosi 15 zł (dla członków PTA - 10 zł). Prenumeratę przyjmujemy przez cały rok i realizujemy począwszy od wskazanego zeszytu.

Posiadamy jeszcze pewną ilość egzemplarzy archiwalnych.

Pożytki z astronomii*)

Emmanuel Davoust

Pytanie *Jaki jest pożytek z astronomii?* wydaje się bardzo proste, lecz niełatwo na nie znaleźć odpowiedź. Częściowo wynika to zapewne z faktu, że problem oparty jest na staromodnych pojęciach o rzeczywistym znaczeniu nauk przyrodniczych w ogóle, zaś astronomii w szczególności.

Gdyby mi postawiono to pytanie 100 lub 200 lat temu, w czasach gdy astronomia była nauką stosowaną, nie miałbym zapewne trudności w sformułowaniu odpowiedzi w takim systemie pojęć, w jakim pytanie zostało postawione.

Wymieniłbym przede wszystkim geografię i długie podróże przedsiębrane przez Karola de la Condamine'a, przez Ludwika - Antoniego de Bougainville'a celem wyznaczenia długości i szerokości geograficznych różnych punktów naszej kuli ziemskiej. Dalej, wymieniłbym nawigację morską, żeglarzy używających sekstantów oraz tablic położeń Księżyca i jasnych gwiazd celem ustalenia pozycji na morzu. W końcu, wymieniłbym metrologię i przyrządy astronomów Jana Chrzciciela Delambre'a i Piotra Mechain'a, którzy przemierzali Francję w okresie rewolucji dla ustalenia długości południka, a w konsekwencji - metra, jako jednej czterdziestomilionowej części południka.

Przypomniałbym Obserwatorium w Besançon w pobliżu granicy Francji ze Szwajcarią, gdzie rozpocząłem moją karierę astronomiczną: Obserwatorium to było założone ponad 100 lat temu dla sprawdzenia dokładności wyrobów miejscowych zegarmistrzów.

Ale ta epoka już się skończyła. Ustalanie południka, nawigacja morska i powietrzna są obecnie prowadzone przez urządzenia radarowe i sztuczne satelity. Definicja metra została zmieniona i jest obecnie oparta na długości fali pewnego przejścia elektronowego w atomie kryptonu. Definicja sekundy czasu także została zmieniona, gdyż czas wyznaczają atomowe zegary pracujące na atomach cezu.

Czy to oznacza, że astronomia już niczemu nie służy? Że w najlepszym razie, pełni już tylko rolę kulturowo - oświatową, nauczając nas czym jest czarna dziura lub jak został utworzony Wszechświat i jak się skończy? Wszak takie znaczenie nie stanowiłoby chyba usprawiedliwienia dla władz płacących pensje zastępom astronomów patrolujących ciągle niebo wielką ilością coraz bardziej kosztownych teleskopów? Byłoby to nawet coraz mniej usprawiedliwione w epoce kryzysu i bezrobocia, w czasie, gdy budżety dla zdrowia, transportu, edukacji stają się deficytowe.

A może władze finansują nadal badania podstawowe w nadziei, że pewnego dnia, raz na 50, czy 100, czy 1000 lat badania wytworzą coś, co będzie mogło być sprzedawane jak komputery, lub będzie równie pożyteczne jak energia elektryczna? Ale pamiętajmy, że politycy na ogół pragną inwestycji zwracających się po krótkim czasie. Nawet jeśli badania podstawowe dostarczają niekiedy „pożytecznych" wyników, nikt nigdy nie wykazał, że jest to najtańsza i najbardziej bezpośrednia droga do postępu technicznego i z tego punktu widzenia taki kraj jak Japonia woli masowo inwestować w badania stosowane.

Widać zatem, że zagadnienie jest źle postawione. Aby na nie odpowiedzieć, omówię najpierw pewne błędne wyobrażenie (Callon, 1995): astronomia jest odrębną nauką o dobrze określonych granicach, a zatem może być badana niezależnie; jest więc nauką abstrakcyjną, która może być, lub nie, wykorzystywana do innych dziedzin działalności danego kraju.

Następnie postawię pytanie o pożytek z astronomii sformułowane nieco inaczej, gdyż umieszczę astronomię, a w bardziej ogólnym znaczeniu - badania podstawowe - w kontekście współczesnym, tak aby nie była ona izolowana od innych form aktywności, dzięki którym żyjemy. Badania podstawowe są w istocie rzeczy integralną częścią aktywności społecznej i ekonomicznej, tworzącej gęstą sieć związków, w których poruszają się i działają nie tylko wyobrażenia i idee, ale również ludzie, instrumenty i instytucje.

Pierwsze błędne wyobrażenie: terytorialny zasięg badań

Pierwsza trudność przy określaniu astronomii powstaje przy usiłowaniu oddzielenia jej od innych nauk. Oczywiście, astronomia może być określona zupełnie precyzyjnie, jako nauka dotycząca wszystkiego, co istnieje poza Ziemią. Jednakże, aby przeprowadzić swe badania, astronomowie potrzebują innych nauk, zwłaszcza fizyki, a także nauk komputerowych, chemii, matematyki, biologii itd.

I odwrotnie, uczeni pracujący w innych dyscyplinach naukowych korzystają z tego, że Wszechświat jest wyjątkowym laboratorium, zawierającym skrajne warunki fizyczne temperatury, ciśnienia i gęstości, można więc badać materię w sytuacjach niemożliwych do odtworzenia w laboratoriach, jak ekstremalne zimno i prawie zupełna pustka w chmurach międzygwiazdowych lub nieskończenie wysokie ciśnienie i gęstość w gwiazdach neutronowych.

*) Dziękujemy Autorowi za zezwolenie na tłumaczenie jego tekstu, który ukazał się pierwotnie w *Vistas in Astronomy*, **39**,315,1995.

Spotykamy zatem wielu uczonych pracujących w dziedzinach leżących na obrzeżu astronomii, którzy rzeczywiście nie wiedzą, czy są jeszcze astronomami, czy też już są chemikami lub fizykami jądrowymi. A zatem - z powodu swej złożoności - badania podstawowe stały się w istocie swej wielodyscyplinarne.

Weźmy kilka konkretnych przykładów.

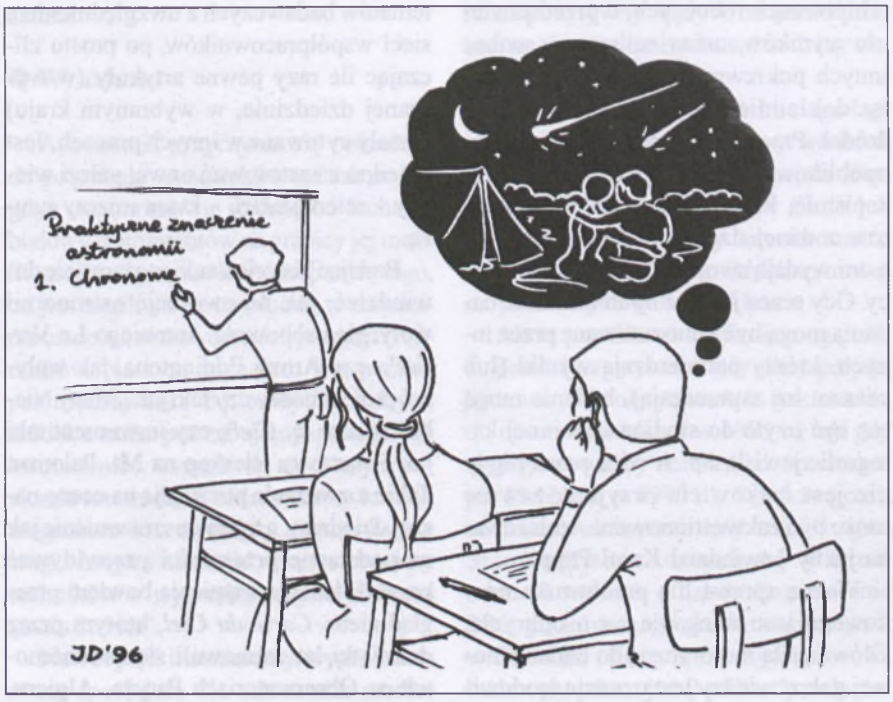
Jedna z moich koleżanek bada, dlaczego pewien atom wapnia o liczbie atomowej 48 występuje we Wszechświecie w większej ilości niż jego izotop o liczbie atomowej 46. Część jej badań przeprowadzanych jest w akceleratorze cząstek, zaś wyniki badań w laboratoriach ziemskich posłużą jej do wyjaśnienia tego, co odbywa się w laboratorium kosmicznym.

Inny kolega interesuje się fizyką ośrodka międzygwiazdowego. Niektóre z cząsteczek występujących w tym ośrodku mogą być zakupione w buteleczce nawet w najbliższej drogerii, lecz jest też wiele takich, których pracujący w laboratorium chemik nigdy nie widział. Aby zidentyfikować molekuły odkryte w ośrodku międzygwiazdowym, trzeba wykonać szereg obliczeń i doświadczeń czysto chemicznych, a więc narzędziami i metodami wprowadzonymi przez chemików. Taką pracę trzeba wykonywać we współpracy z chemikami zainteresowanymi tym samym problemem z innych powodów.

Przyszła misja Cassini wysyłana na Saturna ma objąć także wystrzelenie małej sondy, Huyghensa, dla zbadania atmosfery satelity Tytana. W atmosferze tej uczeni spodziewają się znaleźć molekuły przed - organiczne, lub nawet związki organiczne. A więc w przygotowaniu tej wyprawy współpracują ze sobą specjaliści z różnych dziedzin: fizycy plazmy, biologowie, komputerowcy, specjaliści z dziedziny chemii przed - organicznej, atmosfer planetarnych, telemetrii itd. A zatem paradoksalnie, superspecjalizacja w nauce przynosi w rzeczywistości podział dyscyplin klasycznych i wytworzenie się obszarów wspólnych zainteresowań i owocnej wymiany myśli między sąsiednimi dyscyplinami, wytwarzając w ten sposób nowe dziedziny.

Ta złożoność w badaniach, to zachodzenie na siebie dyscyplin, to mieszanie zadań jest w istocie odbiciem podstawowej cechy charakterystycznej dla nauki współczesnej - jej organizacji w system sieci. Idea sieci jest konieczna dla zrozumienia istoty współczesnych badań, więc wrócimy do tego tematu później.

Można dodać, że formalny podział istniejący obecnie w nauce jest konieczny dla celów praktycznych i administracyjnych, lecz nie odpowiada on już rzeczywistości. Administratorzy nauki chcą tego podziału, aby zarządzać uczonymi i ich działalnością dla swoich celów statystycznych, aby móc powiedzieć, że jest tylu a tylu astronomów, fizyków atomowych, chemików; że każda z tych grup produkuje tyle artykułów i tez, kształci tylu studentów, ma taki budżet, itd. A sami uczeni powinni należeć do laboratorium badawczego.



Drugie błędne wyobrażenie: liniowy model badań

W niekompletnym obrazie nauk przyrodniczych astronomia wydaje się być układem praw, reguł empirycznych i postulatów, układem abstrakcyjnych pojęć, który inżynierowie, technicy, lekarze lub inni przedstawiciele życia ekonomicznego mogą zdjąć z półki i wykorzystać do rozwiązania konkretnego problemu, do zbudowania maszyny przydatnej dla człowieka, do zwiększenia plonów pewnej uprawy, do zwalczenia epidemii, do zapobieżenia materialnej katastrofie, itp.

Mielibyśmy zatem następujący model badań:

Astronomia → Pomysły → „pożyteczne" zastosowania. Z takiego punktu widzenia, jedyny pożytek z badań podstawowych - to zwiększenie ilości wiedzy, która wcześniej czy później znajdzie „pożyteczne" zastosowanie, zawdzięczając to komuś zręcznemu i zainteresowanemu.

Taki punkt widzenia jest odbiciem tego, czego w ciągu długiego czasu nauczano nas w historii astronomii i w historii nauki. Zawsze były to opowiadania o pomysłach i ideach. Ale takie opowiadania interpretują błędnie 3/4 tego, co stanowi naukę. Nawet jeśli pomysły mają do odegrania ważną rolę, to ludzie, instrumenty i instytucje, a także więzy między nimi i sieć jaką tworzą są tak samo konieczne.

Wydaje się oczywiste, że pomysły nie wytworzyły się same, bez pomocy uczonych i instrumentów, więc dlaczego mamy je usuwać z obrazu, jakby były tylko narzędziami pomocniczymi dla wiedzy? Czy to idealizm czy krótkowzroczność? Bo przecież w większości wypadków nie można ich pominąć. Bez teleskopów, Galileo i wszyscy następujący po nim astronomowie, zapewne niczego by nie odkryli. A gdyby astronomowie z dawnych pokoleń nie przekazali swych umiejętności oraz wiedzy, to ta wiedza nie byłaby do niczego potrzebna.

W astronomii, podobnie jak w innych naukach, pomysły są bezużyteczne, jeśli są oddzielone od kompetencji, umiejętności, instrumentów i tej sieci związków, z których one się wywodzą. Właśnie tak, jak grzyb nie może rosnąć bez podziemnej sieci grzybni, tak też pomysły nie mogą wytworzyć „pożytecznych" zastosowań, gdy są wyjęte z kontekstu. Dlatego też, aby ocenić rolę astronomii

w społeczeństwie musimy rekonstytuować kontekst, w którym wiedza została wyprodukowana i ocenić po kolei zgodnie z ich specyficznymi kryteriami, różnych aktorów grających role w procesie badawczym.

W jaki sposób zatem mamy oceniać dziedzinę wiedzy, jeśli nie możemy wyizolować jej z kontekstu badań podstawowych i jeśli musimy wziąć pod uwagę wszystkich aktorów grających role, czy to żywych, czy nieożywionych, czy też abstrakcyjnych? Oczywiście zadanie jest trudne, nawet jeśli nieporozumienia zostały już wytłumaczone. Aby zatem wyjaśnić sytuację, zasugeruję teraz nowy podział obrazu, trochę zmniejszający, lecz bardzo przydatny, gdy staramy się ocenić badania podstawowe, a szczególnie astronomię. Ten podział będzie uwzględniał wielorakie wymiary badań podstawowych i ich sieciowej organizacji.

Diagram kompasu dla badań naukowych

Diagram kompasu dla badań naukowych został zaproponowany przez socjologów z Państwowej Wyższej Szkoły Górniczej w Paryżu jako opis badań podstawowych biorący pod uwagę wszystkie parametry (Callon et al., 1994). Spróbujmy zastosować ten schemat do astronomii, aby ocenić jej rolę w różnych przejawach życia naszego społeczeństwa: socjalnym, kulturowym, ekonomicznym, politycznym, a nawet artystycznym.

Każdy kierunek kompasu odpowiada jakiejś instytucji, jakiemuś rodzajowi bodźca i jakiejś metodzie oceny. Sam prestiż astronoma i kariera astronomiczna nie są oceniane w ten sam sposób. W jednym wypadku liczymy głosy oddane na polityków, którzy byli za projektem naukowym; w innym wypadku rozważamy ilość, jakość i wpływ publikacji naukowych. Te same motywy nie prowadzą do odkrycia nowych galaktyk, do powstania rozprawy doktorskiej, czy też wynalazków technologicznych, gdyż motywem uczonego jest głód wiedzy, doktorant pragnie uzyskać stopień naukowy, zaś wynalazca pragnie zarobić pieniądze.

❶ Ogólnie przyjęta wiedza

Wytworzenie nowej wiedzy jest oczywiście pierwszym celem pracy astronoma. Staramy się wyjaśnić narodziny gwiazdy, jej ewolucję i śmierć, przewidujemy przyszłość Wszechświata, opisujemy kształt Drogi Mlecznej bez zobaczenia jej z zewnątrz - innymi słowami - staramy się wyjaśnić Wszechświat.

Ale ta nowa wiedza nie jest natychmiast - jak tylko zostanie ogłoszona - akceptowana przez całą społeczność astronomiczną. Zanim wiarygodność jakiegoś wyniku badań zostanie zaakceptowana, jej autorzy muszą poddać się ścisłemu protokółowi. Muszą przygotować szczegółowe techniczne sprawozdanie, trzymając się ustalonych reguł o hipotezach roboczych, o przedstawieniu wyników, ustawieniu pracy wobec innych pokrewnych badań, które należy dokładnie zacytować w wykazie źródeł. Praca zostaje wtedy złożona do opublikowania w specjalistycznym czasopiśmie, które zasięga zdania ekspertów z danej dziedziny (recenzentów), a oni wydają swoją opinię o jakości pracy. Gdy praca jest już opublikowana, badania mogą być kontynuowane przez innych, którzy potwierdzają wyniki (lub czasem im zaprzeczają), badania mogą też być użyte do studiowania innej kategorii zjawisk, itp. A więc praca nigdy nie jest całkowicie przyjęta, zawsze może być zakwestionowana, sfałszowana jakby powiedział Karol Popper.

Ważną sprawą dla pracownika naukowego jest ubieganie się o odkrycie. Główną siłą motoryczną do badania nowej gałęzi wiedzy jest uznanie środowiska. Ta opinia wpływa na reputację uczonego, jego karierę; może być szanowany, uzyskać profesurę na uniwersytecie lub kierownictwo laboratorium.

Ta konieczność ubiegania się o odkrycia prowadzi niekiedy do odchyleń od klasycznej procedury zatwierdzania. Na ogół upływa szereg miesięcy lub rok pomiędzy przedstawieniem artykułu do druku a jego publikacją, zaś w tym czasie mogą nastąpić „przecieki". Niektórzy uczeni, przekonani, że ich odkrycie jest sensacyjne, sami rozpowszechniają komunikat prasowy, który wręcz może być wykorzystywany przez prasę niespecjalistyczną. W ten sposób czytamy nieraz w gazecie codziennej, lub słyszymy w wiadomościach radiowych czy telewizyjnych, że pewna grupa odkryła nową planetę, lub kwazara na granicy Wszechświata. Ale wiadomość o tym odkryciu nie przechodzi zwykłymi filtrującymi kanałami.

Zarządzanie zasobami naszej dziedziny wiedzy wymaga bardziej całościowej oceny, albo całego problemu naukowego, albo tematyki badawczej całego kraju. W takich wypadkach ocena bibliograficzna jest coraz częściej stosowana (Devoust i Schmadel, 1987). I rzeczywiście, publikacje naukowe, tak z uwagi na ilość jak i znaczenie, mogą być dowodem powodzenia w różnych dziedzinach wiedzy. W ten sposób można ułożyć mapę tematów badawczych z uwzględnieniem sieci współpracowników, po prostu zliczając ile razy pewne artykuły (w wybranej dziedzinie, w wybranym kraju) zostały cytowane w innych pracach. Jest to jedno z zastosowań nowej gałęzi wiedzy - scientometrii - która mierzy naukę.

Badając historię nauki możemy się dowiedzieć, jak na ewolucję astronomii wpłynęła osobowość Antoniego Le Verrier'a czy Artura Eddingtona, jak wpłynął projekt badawczy taki jak „Mapy Nieba" (*Carte du Ciel*), czy instrument taki jak 5 metrowy teleskop na Mt. Palomar. Takie rozważania pozwalają na ocenę naszej dziedziny, a także na zrozumienie jak na podstawie przeszłości przewidywać przyszłość. Bez wątpienia bowiem przegląd nieba *Carte du Ciel*, którym przez dziesiątki lat zajmowali się astronomowie w Obserwatoriach Paryża, Algieru,

Bordeaux i Tuluzy, był zbyt ambitnym projektem jak na możliwości ludzkie i techniczne tych czasów. A jest on jednym z głównych powodów, dla których początki astrofizyki i astronomii gwiazdowej nie obejmowały francuskich astronomów.

❷ Nabyte umiejętności

Na nic zda się cała wiedza astronomiczna jeśli będzie oderwana od swego otoczenia. Np. można zrzucić podręcznik astronomii na spadochronie w środku Syberii, ale nic się nie będzie działo, jeśli równocześnie nie wylądują astronomowie, teleskopy, komputery i cała sieć związków ze światem zewnętrznym.

Wytwarzane umiejętności, zwykle nabywanych przez studentów, przez nauczycieli na różnych poziomach, jest ważnym produktem ubocznym astronomii. Umiejętności są także przekazywane maszynom, zaprogramowanym do specjalnych zadań. Te umiejętności niekoniecznie muszą być używane do badań astronomicznych, ponieważ student może pracować dla prywatnych towarzystw, zaś techniki opracowania obrazu mogą być wykorzystane przez lekarzy czy geografów. Instytucją odpowiadającą takiemu zastosowaniu badań jest organizacja nauczająca, jak uniwersytet, politechnika, itd, zaś bodźcem jest tu dyplom uzyskiwany na zakończenie studiów czy kursu. Podkreślam, że umiejętności nie przynoszą pożytku samej astronomii, lecz nauczanie poprzez prowadzenie badań jest jednym z naszych zadań.

❸ Wynalazki

Astronomia przyczynia się pośrednio do powstania wynalazków technicznych, gdyż astronomowie żądają od techniki budowy instrumentów na granicy jej możliwości, a często nawet poza granicą tego, co jest możliwe do uzyskania w dziedzinie czułości, niezawodności, precyzji i rozmiarów. Naszym zadaniem jest pomiar promieniowania z niezwykle słabych źródeł, a zatem potrzebujemy ultraczułych instrumentów o możliwie najniższym poziomie szumu tła. Niekiedy mamy też wymagania co do temperatury, rozmiarów czy wagi. Innymi słowami, często prosimy techników o wyprodukowanie jakiegoś „cudu świata".

Nawet jeśli instrumenty wyprodukowane specjalnie dla astronoma rzadko znajdują zastosowanie w innych dziedzinach, to wytwarzanie ich działa stymulująco na techników: muszą bowiem zmienić swe przyzwyczajenia, muszą zawsze rozwinąć nowe metody, a to z kolei może się przydać gdzieś indziej. Przechodząc do czynników ekonomicznych, zamówienia na bardzo kosztowne instrumenty działają stymulująco na przemysł; stąd też - poprzez finansowanie badań - państwo staje się sponsorem dla przemysłu.

Niektóre technologie rozwinięte dla celów astronomicznych mogą znaleźć zastosowanie w innych dziedzinach. Technologia CCD, odbiornik obrazu elektronicznego oraz skomputeryzowane traktowanie obrazu mogą być zastosowane zarówno do obrazów satelitarnych jak i do medycznych. Na przykład dwóch uczonych lekarzy badało w 1987-88 siatkówkę oka prowadząc swe badania w Obserwatorium Astronomicznym w Tuluzie, używając obrazów otrzymanych przy użyciu techniki CCD i opracowując swe wyniki jak obrazy astronomiczne.

❹ Korzyści zbiorowe

Politycy są bezpośrednio zainteresowani astronomią, gdyż jest to coś, co może przynieść prestiż dla kraju. Astronomia jest częścią wielkiej nauki. Naziemne i krążące w przestrzeni instrumenty są bardzo kosztowne, zaś trudności techniczne do przezwyciężenia, aby otrzymać np. nadzwyczajne obrazy powierzchni Marsa czy Neptuna, mogą mieć pozytywny wpływ na prestiż naszej nauki, a także na inne dziedziny aktywności danego kraju.

Dlatego też kraje zachodnie zgadzają się ponieść koszty budowy wielkich instrumentów, jak np. europejski Bardzo Duży Teleskop (VLT) w Chile lub 4 (a niedługo 5) anteny interferometru Instytutu Radioastronomii Milimetrowej na płaskowyżu Bure w Alpach.

Ale te prestiżowe działania mogą także działać negatywnie, gdy dany projekt badawczy się nie powiedzie (jak satelita do obserwacji Marsa w 1993 r.) lub gdy wystąpi poważny defekt (jak w teleskopie Hubble'a w 1990 r.). Są także granice finansowania przez dany kraj; Kongres Stanów Zjednoczonych AP właśnie odrzucił wniosek o dalsze finansowanie SSC, gigantycznego akceleratora cząstek w Teksasie, mimo, iż na dotychczasową budowę wydano już 2 miliardy dolarów z 10 planowanych.

Jeśli dany wielki projekt badawczy nie powoduje żadnego oddziaływania na prestiż kraju, to rząd zwykle upewnia się, czy finansowanie go będzie wpływało na otrzymywanie dalszych zamówień. I tak - ośmiometrowe zwierciadła teleskopu VLT zostały zamówione w REOSC, przedsiębiorstwie z rejonu paryskiego. Oczywiście, otrzymanie zamówień na aparaturę przez przemysł narodowy jest warunkiem sine qua non, aby dany kraj przyłączył się do wielkiego międzynarodowego projektu badawczego.

❺ Ekspertyza

Ekspertyza astronomiczna jest niekiedy wymagana, gdy coś ma związek z kalendarzem. Towarzystwa ubezpieczeniowe muszą wiedzieć, czy było jeszcze widno danego dnia o danej godzinie, gdy wydarzył się wypadek. Ja sam odebrałem kiedyś telefon od pani, która chciała wiedzieć czy będzie ciemno o godz. 18 pewnego dnia, czy zatem do fotografowania ślubu jej córki będą potrzebne lampy błyskowe! Niektóre uroczystości religijne jak Wielkanoc, czy Ramadan są związane z kalendarzem księżycowym.

Wspominałem wyżej, że astronomia nie prowadzi już najdokładniejszych pomiarów sekundy, ale z powodów historycznych astronomowie wykonują takie ekspertyzy. Ciągle jeszcze mierzą sekundę w Międzynarodowym Biurze Czasu (BIH) w Paryżu. Obserwatorium paryskie jeszcze podaje publicznie dokładny czas, zaś inne francuskie obserwatoria współpracują we francuskiej służbie czasu atomowego.

Astronomowie pomagają także przy korekcie kalendarzy. Nieco chwiejne ruchy ziemskiej osi rotacji wokół położenia średniego skracają lub wydłużają trwanie samej rotacji, a potem BIH decyduje się dodać lub odjąć jedną sekundę od godziny urzędowej, aby dopasować ją do czasu słonecznego.

❻ Popularyzacja nauki

Popularyzacja jest napewno najbardziej związana z astronomią, gdyż publiczność zawsze interesuje się istotą i historią Wszechświata. Rola astronoma nie byłaby spełniona w sposób kompletny, gdyby propagował wiedzę wyłącznie wśród swych kolegów. Ponieważ płatnicy podatków finansują badania naukowe, więc mają prawo skorzystania z nich

dla pogłębienia swej wiedzy, oraz dla oceny w jaki sposób publiczne pieniądze zostały wykorzystane.

Popularyzacja może być także zdeformowana, gdy staje się tylko „gablotą wystawową" wiedzy; gdy zamiast dzielenia się wiedzą, uczeni pokazują tylko piękne obrazki i nie wytłumaczone wzory lub potężne instrumenty bez pokazania jak one działają, twierdząc, że publiczność i tak nic z tego nie zrozumie.

Nie wychodząc poza obręb nauk ścisłych, możemy opowiadać o pięknych teoriach, a jest to właściwość często brana pod uwagę przy ocenie teorii. Niestety, to piękno jest często dostępne tylko dla specjalistów. A z drugiej strony, każdy może oceniać piękno obrazów nieba, lub majestat galaktyki spiralnej rozwijającej swe ramiona w pustce kosmicznej. Zapewne ten aspekt badań jest najłatwiej dostępny dla szerokiej publiczności.

Astronomia jako źródło natchnienia artystycznego, literackiego lub religijnego

Dodałbym szóstą dziedzinę po pięciu poprzednich: rola astronomii jako natchnienia w sferze poza naukami ścisłymi, w twórczości artystycznej, literackiej i religijnej.

Astronomia jest nie wyczerpalnym źródłem twórczości we wszystkich dziedzinach sztuki, zwłaszcza literatury fantastyczno - naukowej, poezji, malarstwa i sztuk plastycznych. Niebo zawsze było miejscem istot wyższych, nadzmysłowych i dlatego tyle dzieł sztuki przez nie zainspirowanych.

Spróbujmy pokazać ilustracje z Układu Słonecznego uczniom w klasie w szkole podstawowej, sugerując napisanie poematu lub wykonanie rysunku, a zobaczymy jakie cuda powstaną.

Pewien kompozytor z Tuluzy, Jan Girves czerpał natchnienie z dźwięków chwytanych przez mikrofon podłączony do radioteleskopu obserwującego pulsary, gwiazdy emitujące fale radiowe w okresie około 1 sekundy i skomponował oryginalny utwór muzyczny. Dziełem muzyka było wytworzenie dźwięków muzycznych opartych na rytmach, które nie stanowią całości harmonicznej, gdyż okresy wybranych pulsarów nie były współmierne.

Te trzy przykłady są lepsze niż długie dysertacje na ten temat. Chciałbym tylko dodać, że nie może być mowy o ocenie wartości naukowej wymienionych dzieł. Na ogół nie mają żadnej, lecz powinny być oceniane jako dzieła sztuki.

Astronomia może być też źródłem natchnienia religijnego, jeśli znajomość mechanizmów kosmicznego zegara stanowi bodziec do poszukiwania Zegarmistrza lub tylko medytacji nad pięknością Stworzenia. Lecz nie możemy poszukiwać współdziałania między astronomią i religią, np. przy interpretacji Pisma św. Takie stanowisko jest uważane za błędne przez Kościół. Zarówno astronomia jak i religia tłumaczą Wszechświat, lecz każda w inny sposób, wzajemnie się uzupełniający, lecz nie konfliktowy, przynajmniej z mojego punktu widzenia. Z jednej strony mamy racjonalne wytłumaczenie, z drugiej zaś dogmaty, objawienie, inne pojmowanie rzeczywistości.

Tłumaczyła
Cecylia Iwaniszewska

Literatura:

1. Callon, M.(1995) *La recherche et ses enjeux,* Journal des Astronomes Francais, **48**, 14-18.
2. Callon, M. Laredo P., Mustar, P. (1994) *Panorama de la science francaise,* La Recherche, **25** 378-383.
3. Davoust, E. , Schmadel, L. (1987) *A study of the publishing activity of astronomers since 1969*, Publ. Astron. Soc. Pac. **99**, 700-710.

Dr Emmanuel Davoust jest urodzonym w Szwecji, a wykształconym w Kanadzie astronomem francuskim Obserwatorium Midi - Pirènes w Tuluzie. Prowadzi badania galaktyk metodami optycznymi i radiowymi oraz w dziedzinie historii astronomii. Szczególnie interesuje się rolą astronomów i astronomii w społeczeństwie.

Któż z nas nie uległ kiedyś fascynacji widokiem gwiaździstego nieboskłonu usianego mrowiem migoczących gwiazd, z szeroko rozlaną, krętą wstęgą Mlecznej Drogi, z leniwie przesuwającym się ku zachodowi sierpem Księżyca. A jeśli, na dodatek, na tym niebie zdarzy się coś niezwykłego? Zabłyśnie oślepiający bolid, spadnie deszcz gwiazd, czy choćby najjaśniejsze z gwiazd i planet utworzą niecodzienną konfigurację? Wrażliwy człowiek nie pozostanie obojętny. Ktoś napisze wiersz lub piosenkę, inny namaluje obraz, niektórzy zaczną swoją przygodę z Astronomią.

Francuski impresjonista Vincent Van Gogh namalował kilkanaście obrazów uwieczniających jego zauroczenie widokami nieba. Jeden z bardziej znanych, którego reprodukcję przedstawiamy obok, zatytułowany jest po prostu *Gwiezdna noc.*

Kosmologiczne powiązania w Przyrodzie

Leszek P. Błaszkiewicz

Współczesna kosmologia rozpoczęła się, gdy Albert Einstein zaproponował swój statyczny model Wszechświata (1917), a Edvin Hubble ogłosił swe obserwacje przesunięcia ku czerwieni linii w widmach galaktyk i ich dopplerowską interpretację (1929). W tych faktach obserwacyjnych znalazły potwierdzenie teoretyczne przypuszczenia Aleksandra Friedmana. Gdy w latach 40-tych George Gamow uściślił hipotezę, że Wszechświat był niegdyś gęsty i gorący, rozważania na temat fizyki wczesnego Wszechświata stały się faktem. Odtąd rozwój kosmologii nierozerwalnie wiązał się i wiąże nadal z fizyką wysokich energii, czerpiąc z tej nauki rozbudowującą się błyskawicznie teorię, oferując w zamian najwspanialsze laboratorium - wczesny Wszechświat.

1. Modele i ich potwierdzenie obserwacyjne

Podstawą do wyprowadzenia większości modeli kosmologicznych jest *równanie pola*, zwane także *równaniem Einsteina*. W największym skrócie równanie to możemy zapisać następująco:

$$R_{\mu\nu} = \kappa T_{\mu\nu}$$

Po prawej stronie tego równania mamy *tensor energii - momentu pędu*, który opisuje rozkład materii. Po stronie lewej zaś znajduje się *tensor Ricciego*, opisujący krzywiznę czasoprzestrzeni. Widzimy przeto już na pierwszy rzut oka, że rozkład materii determinuje krzywiznę przestrzeni - im więcej materii, tym przestrzeń bardziej zakrzywiona.

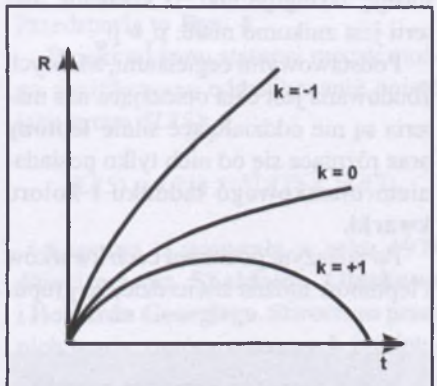
Wychodząc od tego równania i stosując odpowiedni kształt metryki, Friedman wyprowadził słynne równanie różniczkowe, którego rozwiązanie pokazuje nam ewolucję Wszechświata, a postać tego rozwiązania symbolicznie możemy zapisać:

$$R = R(\mathrm{t}, \mathbf{k})$$

gdzie t to czas, natomiast **k** to pewien znormalizowany czynnik krzywizny określający globalny kształt czasoprzestrzeni i przyjmujący wartości *1, 0, -1*. Rozwiązania *równania Friedmana* pokazuje **Rys. 1a i b.**

Wielu kosmologów szukało rozwiązań równania Friedmana dla różnych przypadków otrzymując liczne warianty ewolucji Wszechświata. Szczególnie wiele na tym polu uczynił **Georges Lemaître**, przedstawiając tory ewolucyjne dla różnych wartości *stałej kosmologicznej* (wprowadził ją Einstein, by jego rozwiązanie dało w wyniku Wszechświat statyczny).

W roku 1923 Hubble dokonał przypadkowego odkrycia. Stwierdził on, że linie w widmach galaktyk przesunięte są w stronę fal o większej długości. O swym odkryciu poinformował świat naukowy w 1929 roku, kiedy to zdecydował się na dopplerowską interpretację obserwowanego zjawiska. Obecnie interpretacja *przesunięcia ku czerwieni*, oznaczanego przez „**z**" związana jest ściśle z odległością obiektu. Im dalej od nas znajduje się dany obiekt, tym szybciej się oddala (odpowiada to większemu **z**). Tempo ekspansji Wszechświata *określa stała Hubble'a* $\mathbf{H_0}$, której wartość szacuje się obecnie z 15% przybliżeniem na 75 km/s·Mpc. Jeżeli przez *c* oznaczymy prędkość światła,



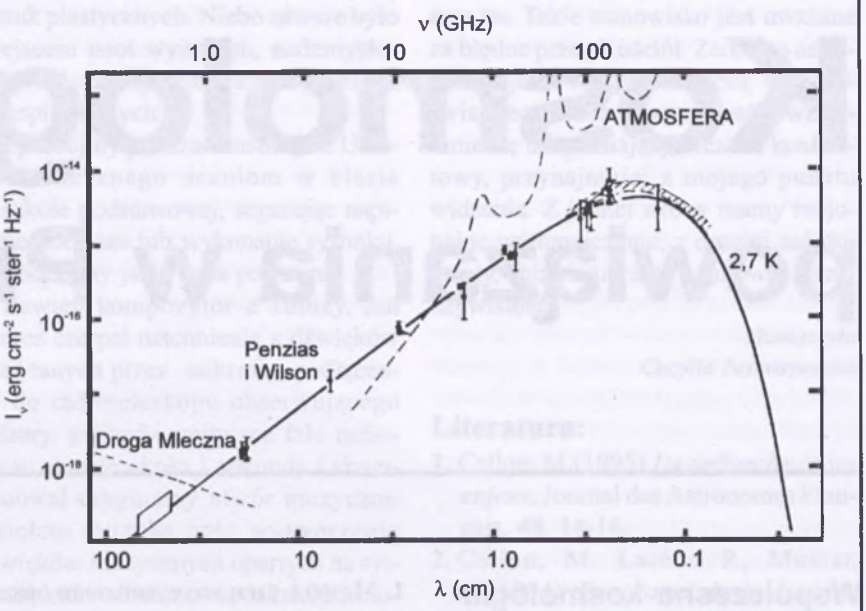
Rys. 1a. Zależność czynnika skali R od czasu w modelach Wszechświata. Dla **k** = 1 mamy model zamknięty, dla **k** = 0 i -1 dostajemy modele otwarte (zaczerpnięte z : M. Demiański *Astrofizyka relatywistyczna*, PWN, W-wa 1991, str. 310.

wtedy możemy zapisać, że:

$$c \cdot z = d \cdot H_0$$

gdzie d to odległość.

Istnienie promieniowania reliktowego przewidział już w latach 30-tych Lemaître, kiedy zaczynano rozważać sprawy związane z przeszłością Wszechświata. Hipotezę *Wielkiego Wybuchu*, sformułowaną przez Lemaître'a uściślił w drugiej połowie lat 40-tych Gamow, stwierdzając, że okres gorącej młodości Wszechświata powinien pozostawić wypełniające przestrzeń tło mikrofalowe. Celowe poszukiwania tego promieniowania nie przynosiły rezultatu, aż do 1965 roku, kiedy to **Arno Penzias** i **Robert Wilson** odkryli przypadkowo promieniowanie, którego widmo odpowiada promieniowaniu ciała doskonale czarnego o temperaturze 2.735 K (± 0.006), co w pełni potwierdza rozważania teoretyczne. Widmo promieniowania tła pokazuje **Rys. 2.**



Rys. 2. Widmo promieniowania tła o temperaturze 2.7 K. Naniesiono obserwacje dokonane przez Penziasa i Wilsona (zaczerpnięto z : G. Börner, *The Early Universe*, Springer - Verlag, 1988, str. 80).

Z przedstawionych powyżej faktów wynika niezbicie, że Wszechświat na drodze swej ewolucji przeszedł przez stan, w którym był gorący i miał niewielkie rozmiary. Panowały wtedy warunki, które częściowo można odtwarzać i badać metodami fizyki cząstek elementarnych.

2. Fizyka wysokich energii

Cała otaczająca nas przestrzeń wypełniona jest promieniowaniem i materią, dlatego właśnie możemy napisać, że gęstość jest sumą gęstości materii i promieniowania: $\rho = \rho_\gamma + \rho_m$, przy czym na uwagę zasługuje fakt, iż ciśnienie materii jest znikomo małe: $p_\gamma \gg p_m$.

Podstawowymi cegiełkami, z których zbudowana jest cała otaczająca nas materia są nie oddziałujące silnie **leptony** oraz różniące się od nich tylko posiadaniem ułamkowego ładunku i koloru **kwarki.**

Po bliższym poznaniu cech kwarków i leptonów można stwierdzić, że grupują się one w wyróżnione podgrupy, zwane generacjami. **(Tab. 1.)**

Tab. 1. Generacja leptonów i kwarków.

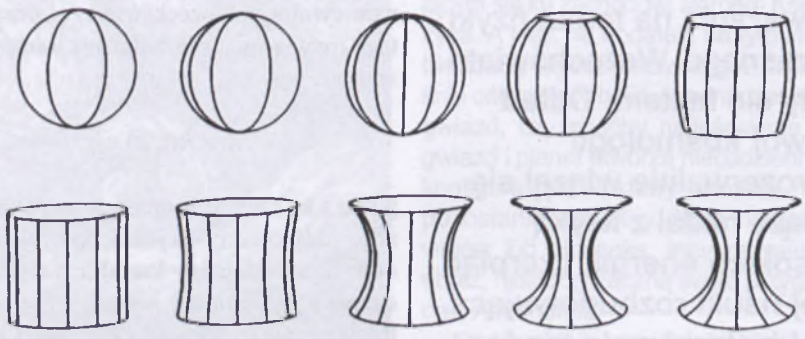
$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu^- \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau^- \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} b \\ t \end{pmatrix}$$

Górny szereg stanowią trzy generacje leptonów, których cechy przedstawia **Tab. 2**, natomiast szereg dolny stanowią odpowiednio trzy generacje kwarków: u - górny, d - dolny, c - powabny, s - dziwny, b - dolny (piękny), t - górny (prawdziwy).

Oczywiście każdy z leptonów i kwarków każdej generacji występuje w postaci cząstki i antycząstki. Każdy natomiast kwark dodatkowo występuje w trzech kolorach. Uwidocznione jest to na **Rys. 3.** Kwarki tworzą strukturę wewnętrzną pewnych, dostępnych obserwacjom cząstek. Cząstkami tymi są **hadrony.** Dzielą się one na dwie odrębne grupy, ze względu na cechy wynikające z odrębnej struktury wewnętrznej:
bariony = qqq, czyli trzy kwarki,
mezony = $q\bar{q}$, a więc kwark i antykwark. Wynikają stąd na przykład różne wewnętrzne momenty pędu (spiny), które dla barionów są połówkową wielokrotnością *stałej Plancka* $\hbar$, natomiast dla mezonów wielokrotnością całkowitą $\hbar$, co z kolei stanowi podstawę do innego podziału cząstek elementarnych na **fermiony** i **bosony.**

Zobaczmy teraz jak wyglądają niektóre cechy cząstek elementarnych **(Tab. 2 i 3).**



Rys. 1b. Krzywa czasoprzestrzeni pokazuje nam globalne właściwości geometryczne. Rysunek przedstawia transformacje kuli (**krzywizna dodatnia** - proste równoległe lokalnie są wszędzie równoległe), aż do walca hiperbolicznego wklęsłego, który pokazuje dwuwymiarową przestrzeń siodłową (**krzywizna ujemna** - dwie proste lokalnie równoległe rozchodzą się). W równaniu Friedmana używa się krzywizn znormalizowanych do 1, 0 i -1 (zaczerpnięte z: J. Bronowski, *Potęga wyobraźni*, PIW, W-wa 1988, str. 240).

2.1 Unifikacja oddziaływań

Oddziaływania występujące w przyrodzie i ich opis przedstawione zostały w ramce na stronie 64, a także schematycznie na **Rys. 3.** Obecnie zajmiemy się rozważeniem tego, co dzieje się z podstawowymi siłami w momencie, gdy energia wzrasta i osiąga bardzo duże wartości.

Przy energiach niskich, tzn. takich, jakie panują obecnie (z dużym marginesem oczywiście), oddziaływania różnią się między sobą zasięgiem, stałą sprzężenia i rodzajami cząstek, jakie im podlegają.Na przykład dla oddziaływań elektromagnetycznych stała sprzężenia oznaczona jest jako α i wynosi:

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi\hbar c} = \frac{1}{137}$$

Eksperymenty i badania prowadzone między innymi w CERN-ie, gdzie akcelerator pozwala na uzyskanie skrajnie wysokich energii sugerują, że wszystkie wymienione w poprzednim paragrafie siły są tylko przejawem i różnymi postaciami jednego oddziaływania (zob. **Rys. 4**). Od wielu już lat trwa próba stworzenia jednolitej teorii, która poprawnie by ten stan rzeczy opisała. Jednym z wyników tej pracy jest *Teoria Wielkiej Unifikacji* - GUT (ang. *Grand Unification Theory*).

W latach 1967 - 1968 Steven Weinberg i Abdus Salam zaproponowali w miarę poprawny model, który unifikuje grupy $U(1)$ i $SU(2)$, czyli oddziaływania elektromagnetyczne i słabe.

Pierwotnie istniejące oddziaływanie *elektrosłabe*: $U(1) \times SU(2)$ na skutek spontanicznego złamania symetrii podzieliło się i w wyniku tego istniejące bozony pośredniczące, będące kombinacją W_μ i B_μ rozdzieliły się na posiadające masę $W^\pm$ i Z^0, oraz na bezmasowy foton (odkrycie w roku 1983 bozonów W i Z w pełni potwierdziło teoretyczne przewidywania Weinberga i Salama). Ekstrapolacja w kierunku coraz to wyższych energii, wynikająca z doświadczeń naukowych sugeruje, że w odpowiednich warunkach do unifikacji przystępują także oddziaływania silne. Wynika to między innymi z dążenia stałej sprzężenia do ustalenia się na jednej wartości dla wszystkich trzech sił. Przedstawia to **Rys. 4.**

Dzięki takiemu stanowi rzeczy można zunifikowane oddziaływanie opisać jako grupę $SU(5)$.

$$SU(5) = U(1) \times SU(2) \times SU(3)$$

Sugestia ta powstała w roku 1974 dzięki pracom **Sheldoma Glashowa** i **Howarda Georgiego**. Stworzona przez nich teoria, oprócz poznanych już fotonów, bozonów i gluonów, postuluje istnienie jeszcze jednego rodzaju cząstek pośredniczących - supercięższkich bozonów X i Y. Cząstka ta istnieje w dwóch zapachach, trzech kolorach i dodatkowo występuje w formie cząstki i antycząstki. Przewidywana teoretycznie masa bozonu X wynosi $>10^{15}$ GeV.

Tab. 3. Skład kwarkowy i niektóre cechy wybranych hadronów.

nazwa	symbol	skład kwarkowy	czas życia t [s]	kanał rozpadu (%)
piony	$\pi^\pm$	$u\bar{d}$, $d\bar{u}$	$2.66030(23)\cdot10^{-8}$	$\mu\bar{\nu}_\mu$ (100)
	π^0	$u\bar{u}$, $d\bar{d}$	$0.83(6)\cdot10^{-16}$	$\gamma\gamma$ ($\approx$ 99)
proton	p	uud	$> 2\cdot10^{30}$ lat	$e^+\pi^0$
				$\bar{\nu}_e\pi^+$
				$\mu^+\pi^0$
				$\nu_\mu\pi^+$
netron	n	udd	896 ± 16	$pe^-\nu$ (100)
kaony	$K^\pm$	$u\bar{s}$, $s\bar{u}$	$1.2371\cdot10^{-8}$	$\mu\nu$ (63)
				$\pi\pi^0$ (21)
hiperony	Λ	uds	$2.632(20)\cdot10^{-10}$	$p\pi^-$ (65)
				$p\pi^0$ (35)
	Σ^-	sdd	$1.483\cdot10^{-10}$	$n\pi^-$ (100)
	Σ^0	usd	$5.8\cdot10^{-20}$	$\Lambda\gamma$ (100)
	Ξ^-	ssd	$1.48\cdot10^{-10}$	$\Lambda\pi^-$ (100)
mezony powabne	$D^\pm$	$c\bar{d}$, $d\bar{c}$	$2.5\cdot10^{-13}$	kaon + cokolwiek

Tab. 2. Wybrane cechy leptonów.

nazwa	symbol	czas życia [s]	symbol
elektron	e	trwała	
neutrino elektronowe	ν_e	trwała	
mion	μ	$2.197\cdot10^{-6}$	$e\nu\bar{\nu}$ (100)
neutrino mionowe	ν_μ	trwała	
taon	τ	$3.04\cdot10^{-3}$	$\mu\nu\bar{\nu}$ (18)
			$e\nu\bar{\nu}$ (18)
			$\pi^-\nu$ (8)
			$\rho\nu$ (22)
			hadron+ν (34)
neutrino taonowe	ν_τ	–	–

Oddziaływania w Przyrodzie.

- **Oddziaływanie grawitacyjne** - jego źródłem jest masa i właśnie do masy wzajemnie oddziałujących ciał jest proporcjonalna siła. Oddziaływanie to jest długozasięgowe i odpowiada za wielkoskalowe struktury we Wszechświecie. W niekompletnej jeszcze kwantowej teorii grawitacji, za oddziaływanie odpowiadałyby bezmasowe nośniki o spinie równym 2, tak zwane *grawitony*. Teoria ta, być może niebawem pozwoli uogólnić Teorię Wielkiej Unifikacji, da nam wgląd w głębszą i bardziej odległą historię Wszechświata. Na razie jednak musimy zadowolić się falową teorią grawitacji, w myśl której masa jest źródłem fal, za pośrednictwem których działa na inną masę.

- **Oddziaływanie elektromagnetyczne**. Jest około 10^{40} razy silniejsze od sił grawitacyjnych:

$$G \cdot m \cdot M / e^2 \approx 10^{-40}$$

co oznacza, że w opisie mikroświata nie uwzględnia się grawitacji, jako oddziaływania mało znaczącego. Siły elektromagnetyczne odpowiadają za przyciąganie i odpychanie ładunków elektrycznych, a co za tym idzie, za istnienie struktury atomowej i cząstek. Mówiąc krótko, elektromagnetyzm utrzymuje strukturę obiektów większych od jąder. Nośnikiem tych oddziaływań jest *foton*, przenoszący informację o oddziaływaniu z prędkością $v = c$, czyli z prędkością światła. W zmatematyzowanej formie siły elektromagnetyczne opisywane są grupą symetrii wewnętrznej, oznaczaną przez $U(1)$. Grupa ta należy do ogólnej klasy teorii zwanej *teorią pola z cechowaniem.*

- **Oddziaływanie słabe**. Przy zwiększonych energiach przejawia charakter zbliżony do poprzednio omówionych oddziaływań elektromagnetycznych **(Rys. 3)**, ale i tak jest około 10^9 razy słabsze od oddziaływań silnych, o których już za chwilę. Odpowiedzialne jest za rozpad neutronu, co jak nie tak dawno stwierdzono, jest wynikiem działania jednego z trzech możliwych nośników tych oddziaływań, a mianowicie bozonu W^-. Następuje ten rozpad według schematu:

$d \rightarrow W^- + u$, $\nu_e + W^- \rightarrow e^-$

$d \rightarrow d$

$u \rightarrow u$

a to w zapisie ogólnym daje $\nu_e + n^0 \rightarrow e^- + p^+$. Oznacza to, że jeden z kwarków tworzących strukturę neutronu emituje bozon W^-, zmieniając się w kwark *u*, a wyemitowany bozon łącząc się z neutrinem elektronowym, tworzy elektron. Oprócz bozonu W^- w oddziaływaniach słabych biorą też udział: odpowiedzialny za słabe prądy naładowane bozon W^+ oraz biorący udział w przemianach bez wymiany ładunku bozon Z^0. Masy wymienionych bozonów wynoszą:

1) masa W^- = masa W^+ = 82 ± 2 GeV

2) masa Z^0 = 92 ± 2 GeV

Opisane wyżej oddziaływania tworzą, podobnie jak poprzednie, unitarną grupę symetrii, oznaczaną jako $SU(2)$.

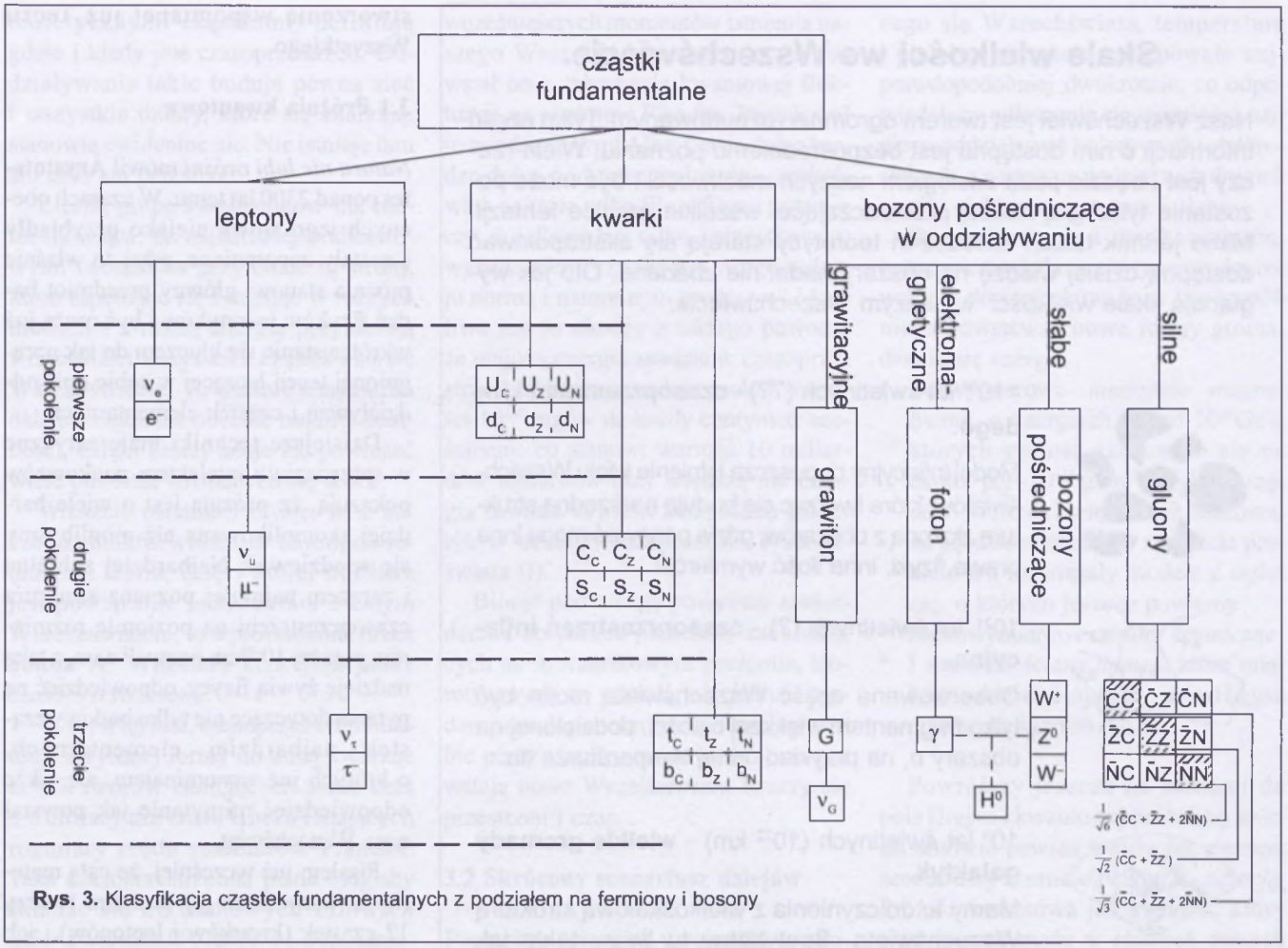
- **Oddziaływania silne**. Są wielokroć silniejsze od oddziaływań elektromagnetycznych, bo przeciwstawiając się tym siłom wiążą nukleony w jądrze atomowym. Siły te są tylko pozostałością innych, krótkozasięgowych, sklejających kwarki wewnątrz nukleonów *sił kolorowych*. Siły te działają na odległość kilku zaledwie fermich (1fm = 10^{-13} cm). Zależności między kolorami kwarków i ich wzajemnym oddziaływaniem jest przedmiotem badań *chromodynamiki kwantowej* - QCD (ang. *Quantum Chromodynamics*).Podstawą jest stwierdzenie, że każdy kwark występuje w trzech kolorach **(Rys. 3),** co automatycznie rozwiązuje problem cząstki dziwnej Ω^-. Cząstka ta, złożona z trzech dziwnych kwarków, godziła w *zasadę Pauliego*, która wykluczała istnienie w jednej strukturze trzech kwarków o tym samym spinie. Po wprowadzeniu koloru sprzeczność z przytoczoną zasadą została usunięta. W myśl QCD mezony to układ koloru i antykoloru:

mezon = **czerwony** + **antyczerwony** = $q_c + \bar{q}_c$

Natomiast bariony są kombinacją trzech kolorów:

barion = **czerwony** + **niebieski** + **zielony** = $q_c + q_n + q_z$

Nośnikami oddziaływań kolorowych są *gluony*, których w sumie jest osiem i niosą sobą kolor i antykolor: *(cñ, cž, nž, zč, nč, zñ, cč - nñ,cč + nñ - zž).*
Dla przykładu oddziaływanie pomiędzy kwarkiem czerwonym i niebieskim może nastąpić poprzez wymianę pojedynczego gluonu $G_{c\bar{n}}$. Wydawać by się mogło, że bezmasowe gluony, podobnie jak fotony i hipotetyczne grawitony, będą przenosić kolor na nieskończoną odległość. Jednak łączenie się kolorów w grupy o zerowym kolorze całkowitym, czyli hadrony, jest regułą **przestrzeganą bezwzględnie**. Wszelkie przesłanki wykazują, że gluony działają na odległości około 1 fermiego i podobnie jak kwarków nie udało się ich zaobserwować.Zadziwiający jest fakt, że siła wzrasta wraz z odległością, to znaczy, że wewnątrz hadronu kwarki zachowują się prawie swobodnie, a kolor daje o sobie znać, gdy spróbujemy je od siebie odłączyć (analogicznie jak sprężyna). Oddziaływania silne opisywane są grupą symetrii $SU(3)$.



Rys. 3. Klasyfikacja cząstek fundamentalnych z podziałem na fermiony i bosony

W myśl teorii bozon ten odpowiadałby za przemianę kwark - lepton:

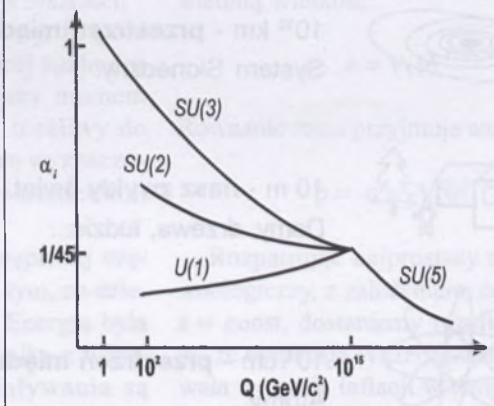
$$X \quad Q \Leftrightarrow L$$

Stan, w którym możliwe są takie reakcje określany jest mianem *supersymetrii* - SUSY. Niektórzy teoretycy nie ustają w próbach posunięcia się o krok dalej w teorii unifikacyjnej i starają się dojść w swych rozważaniach do *superunifikacji* - stanu w którym wszystkie cztery siły przyrody stanowią jedno. Jest to jedna z dróg wiodących do stworzenia *Teorii Wszystkiego* - TOE (ang. *Theory of Everything*).

Opis unifikacji oddziaływań nosi nazwę *modelu standardowego* i mimo swej przejrzystości, nastręcza wiele trudności. Głównym kłopotem jest niemożliwość, jak dotychczas, włączenia do unifikacji grawitacji, czego powodem są w dużej mierze nieudane próby stworzenia kwantowej teorii opisującej siły grawitacyjne.

Z Teorii Wielkiej Unifikacji wysnuć można wiele ciekawych wniosków. Między innymi:

1. Kwarki mają ułamkowe ładunki (± 2/3 i ±1/3), występują bowiem w trzech kolorach.
2. Ładunki elektronu i protonu są równe.
3. Przemiany wzajemne kwarków i leptonów powodują, że dualność poszczególnych generacji **(Tab. 1)** jest naturalna.
4. Proton nie jest trwały, jak to dawniej sugerowano.
5. Neutrina mogą posiadać masę, co niesie za sobą poważne konsekwencje w modelowaniu Wszechświata.



Rys. 4. Zmienne stałe sprzężenia dla oddziaływań silnych (SU(3)), słabych (SU(2)) i elektromagnetycznych (U(1)) wydają się zmierzać do wspólnej wartości w okolicach energii 10^{15} GeV. Stałą sprzężenia oznaczono przez α_i, Q zaś oznacza energię. (Zaczerpnięto z: E. Leader, E. Predazzi, *Wstęp do teorii oddziaływań kwarków i leptonów*, PWN, W-wa 1990.

3. Wczesny Wszechświat

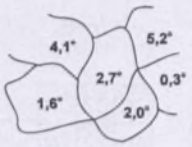
Rozważania nad najwcześniejszymi etapami ewolucji Wszechświata stanowią wielkie wyzwanie dla fizyków teoretyków, którzy dzięki bardzo rozwiniętemu aparatowi matematycznemu mogą zastanawiać się nad strukturą przestrzeni i czasu. Jednym z głównych nurtów badań współczesnej nauki jest świat na poziomie subcząstkowym, którego zrozumienie może dać odpowiedzi nie tylko z dziedziny kosmologii, może przyczynić się także do

Skale wielkości we Wszechświecie.

Nasz Wszechświat jest tworem ogromnie rozbudowanym. Tylko część informacji o nim dostępna jest bezpośredniemu poznaniu. Wiele rzeczy jest i będzie poza zasięgiem naszych możliwości i być może pozostanie tylko grą naszej przekraczającej wszelkie granice fantazji. Mimo jednak takich zastrzeżeń teoretycy starają się ekstrapolować dostępną dzisiaj wiedzę na obszary nadal nie zbadane. Oto jak wyglądają skale wielkości w naszym Wszechświecie:

$>10^{33}$ lat świetlnych (??) - **czasoprzestrzeń Lindego**.

Model inflacyjny dopuszcza istnienie wielu Wszechświatów, które tworząc się budują nadrzędną strukturę złożoną z obszarów, gdzie panować mogą inne prawa fizyki, inna ilość wymiarów...

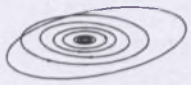


10^{21} lat świetlnych (?) - **czasoprzestrzeń inflacyjna.**

Obserwowana część Wszechświata może być tylko fragmentem większej całości, podzielonej na obszary o, na przykład, innej temperaturze tła.

10^{9} lat świetlnych (10^{22} km) - **wielkie gromady galaktyk.**

Mamy tu do czynienia z wielkoskalową strukturą Wszechświata. Spotykamy tu twory takie jak „Wielki mur", „Wielki Atraktor".



10^{10} km - **przestrzeń międzyplanetarna.**

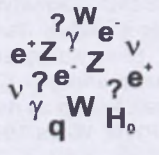
System Słoneczny.

10 m - **nasz zwykły świat.**

Domy, drzewa, ludzie...

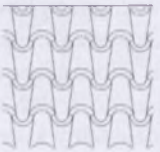
10^{-9} cm - **przestrzeń międzyatomowa.**

Atomy.



10^{-21} cm - **głęboko w fizycznej próżni.**

Próżnia w modelu standardowym wypełniona jest całym mrowiem cząstek wirtualnych.



10^{-33} cm - **kwantowa struktura czasoprzestrzeni.**

Jeszcze nie wiemy, jaka jest ta struktura, ale kilka z możliwych odpowiedzi sugeruje istnienie na tym poziomie twistorów, grawitonów, superstrun lub też postulowanej przez Wheelera piany kwantowej.

stworzenia wspomianej już Teorii Wszystkiego.

3.1 Próżnia kwantowa

Natura nie lubi próżni mówił **Arystoteles** ponad 2300 lat temu. W czasach obecnych jego słowa niejako przybladły i zostały zapomniane, gdyż to właśnie próżnia stanowi główny przedmiot badań fizyków teoretyków i być może już wkrótce stanie się kluczem do tak upragnionej teorii łączącej w sobie opis oddziaływań i cząstek elementarnych.

Dzisiejsze techniki matematyczne w sprzężeniu z intelektem naukowców pokazują, że próżnia jest o wiele bardziej skomplikowana niż moglibyśmy się spodziewać. Najbardziej subtelna i zarazem najmniej poznana struktura czasoprzestrzeni na poziomie rozmiarów poniżej 10^{-20} cm pozwoli nam, a taką nadzieję żywią fizycy, odpowiedzieć na pytania dotyczące nie tylko budowy cząstek najbardziej elementarnych, o których już wspominałem, ale także odpowiedzieć na pytanie jak powstał nasz Wszechświat.

Pisałem już wcześniej, że całą materię ze wszystkimi jej formami tworzy 12 cząstek (kwarków i leptonów) i ich antycząstek oraz kilka nośników, które są niejako „posłańcami" informującymi o oddziaływaniach. Każda z tych cząstek, jak na przykład elektron otoczona jest, zgodnie ze standardowym modelem próżni, rojem cząstek wirtualnych, żyjących około 10^{-21}s. Są tam tworzące się i anihilujące elektrony i pozytony wirtualne, a być może także postulowane przez **Petera Higgsa** bosony H^0, które oddziałując nadają cząstkom masę. Nas interesuje jednak świat położony głębiej, gdzie nie roi się od mrowia otaczających cząstki wirtualnych sąsiadów, gdzie skala czasu jest wielokroć krótsza, a rozmiary tworów znacznie mniejsze. Zastanówmy się bowiem, jak wyglądają procesy na poziomie *parametrów Plancka*. Rozmiary Plancka to 10^{-33} cm, czas, w jakim światło przebywa tę odległość, to czas Plancka, który wynosi 10^{-44} s. Na tym właśnie poziomie czasoprzestrzeń przejawiać powinna swoją kwantową naturę. Jak „wygląda" ta struktura możemy się tylko domyślać.

Istnieje kilka opisów czasoprzestrzeni na poziomie Plancka. Niektórzy twierdzą, że tylko oddziaływania pomiędzy grawitonami albo *twistorami* (nadal słabo poznanymi matematycznie

teoretycznymi cząstkami) definiują gdzie i kiedy jest czasoprzestrzeń. Oddziaływania takie budują pewną sieć i wszystkie dziury, które się zdarzają, stanowią ewidentne nic. Nie istnieje tam ani czas ani przestrzeń.

Liczną grupę zwolenników ma teoria mówiąca, że najbardziej podstawowymi tworami w przyrodzie są struny, które zapętlając się i drgając w różnych modach i z różną energią przybierają właściwości wszystkich cząstek i sił we Wszechświecie. To właśnie teoria strun dała początek tak obecnie modnej dualności, dzięki której udaje się powiązać wiele pozornie różniących się teorii.

Wreszcie ostatnia i myślę, że z naszego punktu widzenia najodpowiedniejsza teoria, dzięki której możliwe jest powiązanie mikroświata z całym Wszechświatem, to wprowadzona przez **Johna A. Wheelera** koncepcja *piany czasoprzestrzennej*.

W myśl tej idei, czasoprzestrzeń fluktuuje od jednej formy do innej, tworząc zespół tworów istniejących przez czas nie dłuższy niż czas Plancka i mających rozmiary rzędu rozmiarów Plancka. Taka czasoprzestrzenna piana mogłaby składać się z kwantowych *czarnych dziur* i *wormholi*[1], które we wspomnianej skali przechodzą jedne w drugie. Ta idea jest naturalną ekstrapolacją standardowego modelu próżni z cząstkami wirtualnymi, albowiem te, jeśli istniałyby na poziomie Plancka, wtedy musiałyby mieć masę rzędu 10^{-5} gramów. W takim przypadku grawitacja tych cząstek powoduje, że prędkość ucieczki wielokrotnie przekracza prędkość światła - pojawiają się malutkie czarne dziury. Bezpośrednio z czarnymi dziurami wiąże się koncepcja wormholi, które są niejako tunelami łączącymi dwa bardzo nawet odległe miejsca czasoprzestrzeni. Daje to pole do popisu dla obdarzonych fantazją teoretyków, którzy rozważali nawet możliwość podróżowania z prędkościami nadświetlnymi dzięki wormholom. Pomysł z pianą kwantową jest doskonałym fundamentem pod teorię *wszechświatów niemowlęcych* i w ostateczności pod teorię Wielkiego Wybuchu. Dzisiejsze przypuszczenia dotyczące najwcześniejszych momentów istnienia naszego Wszechświata sugerują, że powstał on z zaburzenia kwantowej fluktuacji na poziomie Plancka. Postulował to między innymi **Alan Guth**, dając bardzo dobrą podstawę pod ważne, aczkolwiek na razie tylko filozoficzne pytanie: czy *Big Bang* był tylko jednostkowym wydarzeniem, czy też jest swego rodzaju normą i naturalnym procesem? Możliwe jest to choćby z takiego powodu, że utajona energia zawarta w czasoprzestrzennej pianie oscyluje wokół wartości 10^{105} ergów na każdy centymetr sześcienny, co stanowi wartość 10 miliardów miliardów razy większą niż energia zawarta w masie wszystkich galaktyk w obserwowanej części Wszechświata (!).

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzenia dotyczące procesów zachodzących na subcząstkowym poziomie, teoretycznych co prawda, ale jednak bardzo prawdopodobnych, pomyślmy sobie przez chwilę, że oto wokół nas powstają nowe Wszechświaty, tworzy się przestrzeń i czas...

3.2 Skrócony scenariusz dziejów

Popatrzmy teraz, jak wyglądała ewolucja Wszechświata, od jego narodzin aż po dzień dzisiejszy i zastanówmy się na koniec nad jego losem w przyszłości.

Sytuacja, jaką zastajemy, to pole próżni kwantowej, w której zachodzą fluktuacje. Najwcześniejszy moment w historii Wszechświata możliwy do poprawnego opisania to ten wyznaczony wspomnianymi już parametrami Plancka.

Zastanówmy się na wstępie tej części naszych rozważań nad tym, co dzieje się z siłami przyrody. Energia była ogromna, a zatem jak wynika z wcześniejszego opisu oddziaływania są zunifikowane. W chwili spadku energii symetria grupy cechowania $SU(5)$ powinna być złamana do:

$$SU(3) \times SU(2) \times SU(1)$$

Pamiętać należy, że energia próżni opisana jest potencjałem *pola Higgsa* - pola skalarnego opisującego próżnię kwantową. Gdy temperatura osiąga pewną wartość, kształt potencjału ulega znacznej zmianie, czego następstwem jest złamanie symetrii, zgodnie z przedstawionym wcześniej schematem. W warunkach wczesnego, rozszerzającego się Wszechświata, temperatura i podobne przejście następowało najprawdopodobniej dwukrotnie, co odpowiadałoby odłączaniu się stopniowo najpierw oddziaływań kolorowych i elektrosłabych, a następnie podział tych drugich na siły elektromagnetyczne i słabe.

Rozważania nad mechanizmami spontanicznego łamania symetrii doprowadziły do wniosków, że w ten sposób mogą powstawać nowe formy gromadzenia się energii:

- Bezwymiarowe *monopole magnetyczne*, o energiach ponad 10^{16}GeV, których gęstość szacowało się na około: $\rho_M \sim 10^{-15}$ g/cm^3, czyli 15 rzędów wielkości więcej, niż szacowana gęstość materii. Na szczęście problem ten rozwiązały modele z *inflacją*, o których jeszcze powiemy.
- Jednowymiarowe *struny kosmiczne*.
- I wreszcie *ściany domen*, które miałyby oddzielać obszary pola Higgsa o różnych kierunkach.

Powróćmy jeszcze na moment do pola Higgsa i kwantowej próżni, by krótko omówić pewien trwały już element scenariuszy kosmologicznych - *inflację*. Próżnia kwantowa jest tworem, który występować może w różnych stanach ϕ. W zależności od stanu, w jakim znajduje się pole, energia przybiera odpowiednią wielkość:

$$\varepsilon = V(\phi)$$

Równanie stanu przyjmuje wtedy postać

$$p = -\varepsilon = -V(\phi)$$

Rozpatrując najprostszy model kosmologiczny, z założeniem, że $\Lambda = -p = \varepsilon = \text{const}$, dostaniemy rezultat mówiący, że ekspansja Wszechświata następowała w czasie inflacji w tempie wykładniczym, a skala procesu była ogromna. I tak, startując od rozmiarów rzędu 10^{-25} cm możemy w niesłychanie krótkim czasie powiększyć rozmiary o kilkadziesiąt rzędów wielkości.

Powróćmy jeszcze na kilka chwil do naszej kwantowej próżni. Otóż, jak już to zostało powiedziane może posiadać ona różne stany. Stan o skrajnie wysokiej energii to stan tak zwanej *fałszywej próżni*. W pewnej chwili, gdy temperatura osiąga wartość większą od krytycznej, próżnia zaczyna ewoluować od stanu $\phi = 0$ w kierunku stanu o najniższej energii, czyli stanu próżni prawdziwej.

[1] Definicja wormholi, wymyślonych w 1962 roku przez Johna Wheelera mówi, że są to topologiczne twory, łączące dwie asymptotyczne części czasoprzestrzeni. Obrazowo można stwierdzić, iż są to niejako wielowymiarowe tunele, które łączą nawet odległe w czasie i przestrzeni obszary w naszym czterowymiarowym świecie.

Asymetria barionowa.

Dzisiejsze obserwacje (między innymi Układu Słonecznego) dowodzą, że antymateria stanowi niewielki ułamek całej zawartości Wszechświata. Stosunek na przykład ilości protonów i antyprotonów wynosi:

$$\frac{p^+}{p^-} = \frac{1}{3 \cdot 10^{-4}},$$

natomiast stosunek podobnie docierających do Ziemi w promieniowaniu kosmicznym He i anty-He wynosi:

$$\frac{^4He}{^4\bar{H}e} = \frac{1}{10^{-5}}$$

Nie jest też sprawą pewną, czy docierające do nas antycząstki są produktem pierwszych chwil istnienia Wszechświata, czy też powstają w chwili obecnej. Przykładem jest tu reakcja wysokoenergetycznych zderzeń pp: $p + p \rightarrow 3p + \bar{p}$, która daje rozpowszechnienie rządu 10^{-4}. Także obserwacje tła gamma nie potwierdzają tezy, że niektóre galaktyki mogą być zbudowane z antymaterii. W sposób naturalny rodzi się zatem pytanie: Jakie mechanizmy zadecydowały, że przy początkowym stanie, w bardzo wczesnym Wszechświecie, przy oznaczeniu n_b liczba barionów, $n_{\bar{b}}$ liczba antybarionów, stosunek:

$$\frac{(n_b - n_{\bar{b}})}{n_b} = 0,$$

natomiast w chwili obecnej wynosi on:

$$\frac{(n_b - n_{\bar{b}})}{n_b} = 10^{-10}.$$

Po anihilacji barionów zniknęły prawie wszystkie antybariony, a pozostałe przy życiu bariony stanowią ilościowo znikomy ułamek względem fotonów:

$$\frac{n_b}{n_\gamma} = 10^{-10}.$$

Aby omówić ten problem i dojść do wyjaśnień, dlaczego liczba barionowa Wszechświata nie jest równa zero, musimy raz jeszcze cofnąć się do momentu, w którym obowiązuje teoria Wielkiej Unifikacji. W tym bowiem czasie bardzo wysokoenergetyczne fotony produkują tyle samo ciężkich bozonów egzotycznych X i Y, co ich antycząstek $\bar{X}$ i $\bar{Y}$, przy okazji rozpadów: $\gamma = X + \bar{X}$. Gdy temperatura spada poniżej 10^{27}K, a energia ma wartość ok. $\varepsilon = 10^{14}$ GeV, następuje złamanie symetrii i przejście od stanu równowagi termodynamicznej. W tym czasie następują przemiany cząstek X, zgodnie ze schematem:

$$X \nearrow (r) \quad \bar{q}\bar{q} \quad \text{lub} \quad qq$$
$$X \searrow (r\text{-}1) \quad \bar{q}\bar{l} \quad \text{lub} \quad ql$$

Wystarczy teraz nawet bardzo mała różnica w prawdopodobieństwach (r) - odpowiadającym za rozpad $X \rightarrow qq$ lub ql i (r - 1) odpowiadającym odpowiednio za $X \rightarrow \bar{q}\bar{q}$ lub $\bar{q}\bar{l}$, rzędu około 10^{-10}, by wytłumaczyć obecny stan rzeczy. Oczywiście założeniem wstępnym jest stan, w którym:

$$n_X = n_{\bar{X}} \approx n_\gamma$$

Niestety, do teraz nie ma pewności, jakie konkretnie mechanizmy spowodowały tę różnicę prawdopodobieństw. Wiadomo jednak, że zachodzące procesy naruszały symetrie C i CP, czyli symetrię sprzężenia ładunkowego i sprzężenia ładunkowego z odbiciem zwierciadlanym. Takie naruszenie symetrii mogło nastąpić tylko w czasie, gdy nie była ustalona równowaga termodynamiczna, a więc w pierwszej fazie podziału zunifikowanych sił.

Możemy zauważyć, że swego rodzaju „odpychająca" grawitacja i ujemne ciśnienie, które charakteryzuje stan fałszywej próżni pola Higgsa, odpowiedzialne są za rozszerzenie przestrzeni i przejście do stanu próżni prawdziwej. Energia wyzwolona w tym procesie została zmieniona w inne formy (min. materię i promieniowanie), a efektywność tych zmian powiększały jeszcze drobne zmiany stanu (drgania). Inflacja kończy się, gdy temperatura osiągnie wartość krytyczną, a dalsza ewolucja przebiega już w sposób zgodny z modelem standardowym.

Co takiego ciekawego daje nam teoria inflacyjna? Po pierwsze wyjaśnia problem horyzontu. Rozmiary bowiem Wszechświata mówiły nam, że już odległe na niebie o dwa stopnie łuku obszary nie mogły być z sobą przyczynowo związane, czyli horyzont, zgodnie z szacowaniem był za daleko. Powstawały pytania na temat izotropowości promieniowania tła, które modele z inflacją częściowo wyjaśniają. Jedyna, związana z tym kwestia, to ta, jak daleko wypchnięty został horyzont.

W trakcie naszych rozważań pojawił się też problem monopoli magnetycznych, powstałych w procesie Wielkiej Unifikacji. Liczba monopoli wynosi bowiem $n_M R^3 = \text{const}$, zatem obecna gęstość monopoli jest mniejsza od gęstości sprzed inflacji o czynnik $\sim 10^{80}$. Inflacja rozwiązuje także problem płaskości Wszechświata, oraz przewiduje parametr gęstości na poziomie $\Omega = 0$.

Zatem, jak widać modele z inflacją wolne są od różnych nieścisłości, które w pewien sposób wyjaśniają. Jednak pytanie o to, czy zaproponowane wyżej rozwiązania rzeczywiście miały miejsce jest podobne do wielu innych niewyjaśnionych i trudnych do sprawdzenia kwestii.

Zostawiając w tyle problemy inflacyjne, które były tylko wtrętem, możemy powrócić do modelu standardowego, czyli do naszego rozpoczętego już scenariusza. Przygotowani w pewne, niezbędne wyjaśnienia możemy udać się w podróż w czasie, przyglądając się bacznie rozwojowi przestrzeni i materii i rejestrując ważniejsze parametry. Jak już wiemy pierwszym możliwym do opisu momentem jest era Plancka, a podstawowe parametry podałem wyżej. Prześledźmy teraz kolejne etapy rozwoju Wszechświata.

♠ Dla momentów sprzed ery Plancka, tzn. dla czasu $t < 10^{-43}$s istniał zapewne stan *superunifikacji*, kiedy to wszystkie oddziaływania, łącznie z grawitacją były zunifikowane. Niemożliwy jest opis fizyczny pola bez stworzenia kwantowej teorii grawitacji.

♠ **Era Plancka** (zdefiniowana parametrami Plancka). Następuje złamanie symetrii, co powoduje oddzielenie się grawitacji od pozostałych zunifikowanych oddziaływań, które opisuje GUT. Pozostałością po tym okresie może być *tło grawitonowe*.

* Dla momentu w czasie 10^{-43}s $< t < 10^{-35}$s realizowany jest proces spontanicznej inflacji Wszechświata.

♠ Od momentu określonego parametrami - $t = 10^{-33}$ s, $T = 10^{27}$ K, $\varepsilon = 10^{15}$ GeV trwa **era hadronowa**. Procesy kontrolowane przez ciężkie bozony X i Y ulegają znacznemu zahamowaniu, a temperatura jest już na tyle niska, że cząstki te ulegają rozpadowi na kwarki i leptony. Dzięki istniejącym jeszcze bozonom X i Y możliwa jest przemiana kwarków w leptony i odwrotnie - istnieje stan supersymetrii. Przy dalszym spadku temperatury najważniejszą rolę zaczynają pełnić oddzielone od superoddziaływania siły kolorowe, które wiążą kwarki w hadrony. Hadronowo - kwarkowo - leptonowa plazma znajduje się w równowadze termodynamicznej, a licznie zachodzące procesy anihilacji par hadron-antyhadron, lepton - antylepton i kwark - antykwark, doprowadza ją do ustalenia się przewagi materii nad antymaterią (patrz ramka dotycząca asymetrii barionowej na str. 68).

Wyżej opisany stan trwa aż do momentu $t = 10^{-10}$ s.

♠ Wtedy to parametry wynoszą $\varepsilon = 100$ GeV, a $T = 10^{15} K$. W tym momencie ulega zamrożeniu proces powstawania bozonów W i Z, a spontaniczne złamanie symetrii doprowadza do osłabienia i oddzielenia się oddziaływań słabych od elektromagnetycznych. Jest to okres, który dostępny jest badaniom w akceleratorach. Jego koniec zwiastuje zaś nadejście...

♠ **...ery leptonowej** ($t = 10^4$ s, $\varepsilon = 1$GeV, a $T = 10^{12}$ K, a $\rho = 10^{14}$ g/cm^3. Do tego momentu przeżyć mogły tylko najbardziej trwałe hadrony - nukleony. Na pierwsze miejsce wysunęły się leptony, które ze spadkiem temperatury w czasie anihilowały ze sobą i rozpadały się pozostawiając ostatecznie ze swego grona tylko elektrony i neutrina. W trakcie ery leptonowej, w chwili określanej jako t^{++} ($T = 2 \cdot 10^{10} K$), nastąpiło oddzielenie się neutrin od reszty materii. Utworzyło się wówczas tło neutrinowe, którego obserwacja, obecnie jeszcze niemożliwa, pozwoliłaby sięgnąć obserwacyjnie w głąb czasu do chwili t^{++}. Era leptonowa trwa kilkadziesiąt sekund i jej koniec zwiastuje nadejście nowych procesów, bardziej możliwych do wyobrażenia.

♠ W chwili t =100 s rozpoczyna się **era promieniowania**. Podstawowe parametry kształtują się na poziomie: $T = 10^9 K$, $\varepsilon = 10^{-4}$ GeV, $\rho = 10^4$ g/cm^3. Wypełniająca ognistą kulę Wszechświata plazma jest w równowadze termodynamicznej. Największy jednak wkład energetyczny wnosi promieniowanie, czyli fotony i neutrina, ale jak wiadomo wkład cząstek bezmasowych do energii spada jak R^{-4}. Pod koniec tej ery fotony całkowicie oddzielają się od materii, a pozostałość tego faktu obserwujemy w postaci promieniowania tła. Moment oddzielenia się fotonów jest pierwszym możliwym do obserwacji przez astronomię bazującą na promieniowaniu elektromagnetycznym.

W erze promieniowania trwa wydajna nukleosynteza. Powstają lekkie jądra, od deuteru i helu, aż po lit i śladowe ilości dalszych. W początkowym etapie wydajna jest reakcja $n + p \Leftrightarrow D + \gamma$, a gdy temperatura spada poniżej $10^9 K$, zachodzą reakcje, które prowadzą do powstania helu:

$$D + D \rightarrow {}^3He + n$$
$${}^3He + n \rightarrow T + p$$
$$T + p \rightarrow {}^4He + \gamma$$

Bariera kulombowska nie sprzyja powstawaniu jąder cięższych od helu, jednak mimo to powstają niewielkie ilości ${}^7Li$ i ${}^7Be$ dzięki reakcjom:

$${}^4He + {}^3He \rightarrow {}^7Be + \gamma$$
$${}^4He + T \rightarrow {}^7Li + \gamma$$

Stężenie jeszcze cięższych jąder jest zaniedbywalnie małe. Proces powstawania pierwiastków ustaje, gdy temperatura spada poniżej $T = 3 \cdot 10^8$ K. Materię wówczas tworzy plazma lekkich jąder i elektronów. Przy dalszym spadku temperatury (do ok. T = 4000 K) zaczyna zachodzić proces rekombinacji i tworzą się atomy.

Nie wnikając w obecny stan wiedzy na temat rozpowszechnienia pierwiastków, głównie helu i wodoru, przenosimy się dalej w tej wędrówce w czasie.

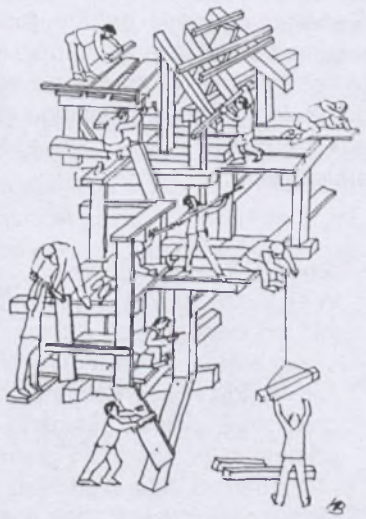
♠ Pod koniec ery promieniowania oddzieliły się fotony, Wszechświat stał się więc przeźroczysty dla promieniowania. W chwili $t = 10^6$ lat gęstość materii nie jest już tak niewyobrażalnie duża, jak na samym początku i wynosi $\rho = 10^{-21}$g/cm^3. Wchodzimy w **erę galaktyczną**.Powstają w tym czasie zalążki galaktyk, gwiazdy III populacji, we wnętrzach których następuje synteza pozostałych pierwiastków.

Dalsza wędrówka w czasie to już tylko obserwacja spokojnej ekspansji Wszechświata, który w swej ewolucji dotrwał do dnia dzisiejszego, czyli do chwili ok. $t = 10^{10}$ lat. W tym czasie zdążyły narodzić się gwiazdy II i I populacji, a także, ku naszemu zadowoleniu, planety.

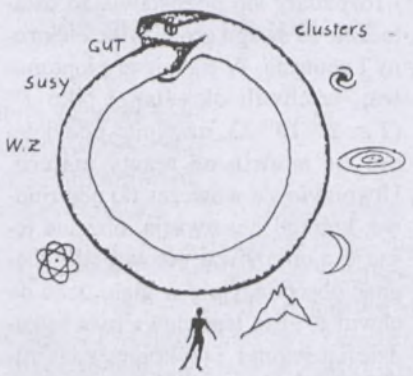
4. Na koniec o końcu

Wypada jeszcze kilka słów poświęcić przyszłości Wszechświata i roli, jaką człowiek w nim odgrywa.

Rys. 1 pokazuje nam trzy możliwe i zarazem najbardziej prawdopodobne tory ewolucji. Zależą one, jak mieliśmy się okazję przekonać, w zdecydowanej mierze od gęstości materii. I tak, dla gęstości większej od krytycznej, po pewnym etapie, w którym przestrzeń rozszerza się,



Rys. 5. Wielka ilość kosmologów ciężko pracuje, by wznieść solidną konstrukcję gmachu współczesnej kosmologii. (Zaczerpnięto z: G. Börner, *The Early Universe*, Springer - Verlag, 1988, str. 32).



Rys. 6. Pokrewieństwo i połączenie makroświata ze światem cząstek elementarnych i światem kwantowej próżni, przedstawione symbolicznie przez połykającego swój ogon węża. Czy rzeczywiście cały Wszechświat i świat w skali Plancka mają ze sobą tak wiele wspólnego? Czy nasz Wszechświat jest tylko niewielkim bąblem w pianie Kosmosu? Czy cały czas, wszędzie powstają nowe Wszechświaty, podobne do naszego lub krańcowo od niego różne? Takie pytania są naturalną konsekwencją badania struktur otaczających człowieka. (Zaczerpnięto z: G. Börner, *The Early Universe*, Springer - Verlag, 1988, str. 302)

nastąpi kurczenie się Wszechświata. Kto wie, czy może po dotarciu do *stanu osobliwego* nie nastąpi nowy Big Bang, rozpoczynając wszystko od nowa. Kto wie, czy podstawowe stałe fizyczne (np. *stała grawitacyjna G*) nie zmienią swej obecnej wartości, formując świat krańcowo różny od dzisiejszego. Można snuć na ten temat wiele domysłów, mniej lub bardziej fantastycznych, jednak w jednym podobnych - niesprawdzalnych.

Co się stanie, gdy gęstość materii jest mniejsza lub równa krytycznej. Modele kosmologiczne dają nam jedną odpowiedź, a mianowicie to, że Wszechświat będzie rozszerzał się do nieskończoności. Konsekwencje tego będą takie, że po pewnym czasie nastąpi całkowita erozja materii. Jak bowiem wiemy, proton rozpada się z okresem połowicznym $\approx 10^{30}$ lat, a czarne dziury tracą w efektach kwantowych masę. Zatem ciągnąc dalej scenariusz możemy dopisać:

- po 10^{14} lat od Wielkiego Wybuchu wszystkie gwiazdy wypalą swoje paliwo jądrowe,
- 10^{17} lat gwiazdy posiadające planety utracą je,
- 10^{18} lat gaz i neutrina rozproszą się w przestrzeni lub zapadnie się w masywne czarne dziury,
- jeżeli $\rho_0 = \rho_\kappa$ - to po 10^{30} lat Wszechświat będzie 10^{13} razy większy niż obecnie, a temperatura spadnie do $T = 10^{-13}$K
- jeśli zaś $\rho_0 < \rho_\kappa$, to rozmiary wzrosną o czynnik 10^{20}
- po 10^{32} lat skończy się rozpad protonów, a materię stanowić będą: gaz elektronowo - pozytonowy, neutrina i fotony,
- supermasywne czarne dziury, powstałe w wyniku kolapsu galaktyk parują zgodnie z *efektem tunelowym Hawkinga*, czego wynikiem są głównie fotony, a stan taki może trwać nawet 10^{100} lat ,
- model inflacyjny przewiduje obrót Wszechświata, którego cykl trwa 10^{124} lat...

No cóż, to nas chyba już nie dotyczy, ale warto na sam koniec przytoczyć dosyć może egocentryczną zasadę antropiczną, która w sposób dobitny uzmysławia nam, jak wiele potrzeba było zbiegów okoliczności, aby zaistnieć i rozwinąć mogło się życie. Zasada ta brzmi:

Wszechświat, który nas otacza, jest taki, a nie inny, bo my w nim jesteśmy.

Kłopoty z wiekiem Wszechświata

Określenie wieku Wszechświata dostarcza nam niemało kłopotów, a to z racji tego, że istnieje wiele metod prowadzących do jego wyznaczenia. Szkopuł tkwi w fakcie, że różne metody dają rozmaite wyniki. Generalnie dosyć dobrze możemy określić okres trwania początkowych etapów istnienia Wszechświata, aż do okresu formowania się galaktyk, to znaczy do około 10^9 lat od Wielkiego Wybuchu. Im dalej jednak się posuwamy w czasie, tym sytuacja staje się mniej jasna.

- **Modele kosmologiczne.**
  Wiek Wszechświata uzależniony jest od sposobu, w jaki ten ewoluuje, co z kolei uzależnione jest od gęstości materii zawartej we Wszechświecie. Stosunek gęstości obserwowanej, do pewnej wielkości teoretycznej, zwanej gęstością krytyczną nosi nazwę parametru gęstości Ω. Parametr ten znany jest jednak z bardzo dużą niedokładnością (między 0.1 i 1). Dodatkowo musimy znać stałą Hubble'a, której wyznaczona wartość obarczona jest także sporym błędem. Ostatecznie wiek Wszechświata, dla modelu o stałej kosmologicznej $\Lambda = 0$ zawiera się w przedziale od 12 do 14 miliardów lat.

- **Kosmochronologia i wiek Wszechświata.**
  Wiemy dosyć dokładnie, iż wiek Ziemi wynosi około 4.6 miliarda lat. Problemem jest wyznaczenie przedziału od momentu rozpoczęcia formowania się Galaktyki, do chwili, gdy zaczął się tworzyć Układ Słoneczny. Można próbować to uczynić znając dane odnośnie produkcji i obfitości radioaktywnych i stabilnych izotopów pierwiastków. Biorąc na przykład ^{235}U i ^{238}U wspomniany okres czasu wyniesie 1.87 miliarda lat. Wiedząc przeto, że dolna granica życia Galaktyki wynosi 6.5 miliarda lat dostaniemy, że wiek Wszechświata wynosi 7.5 miliarda lat. Biorąc jednak pod uwagę inne pary izotopów dostajemy w wyniku wiek Wszechświata wynoszący nawet 21 miliardów lat.

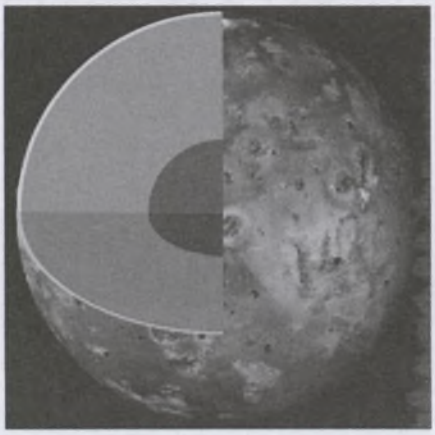
- **Gromady kuliste i wiek Wszechświata.**
  Studia nad ewolucją i składem gromad kulistych mogą wiele powiedzieć nam o ich wieku. Gromady kuliste mogły powstać w bardzo wczesnych etapach ewolucji Wszechświata, jednak nie wcześniej niż około miliard lat od Wielkiego Wybuchu. Wiek najstarszych gromad szacuje się na 13 do 17 miliardów lat, co daje nam wiek Wszechświata osadzony w granicach 14 do 18 miliardów lat.

Żelazne jądro Io

Jeden z galileuszowych satelitów Jowisza, Io, znany był od dawna jako wyjątkowy w swoim rodzaju obiekt. Jeszcze przed badaniami układu Jowisza przez sondy kosmiczne zauważono korelacje między sporadycznymi emisjami radiowymi planety obserwowanymi z Ziemi a fazą Io względem centralnego południka Jowisza. Również z Ziemi udało się zaobserwować linie sodu w otoczeniu satelity. Kamery VOYAGER-ów przekazały obrazy dziwnego żółto-czerwonego świata z aktywnymi „wulkanami" wyrzucającymi fontanny dwutlenku siarki wysoko ponad powierzchnię satelity. Okazało się, że gazy są obecne wzdłuż całej orbity Io, tworząc gruby torus znacznie gęstszy od otaczającej plazmy. Pomiary pól magnetycznych w pobliżu księżyca wskazywały na obecność silnych prądów płynących między nim a jonosferą Jowisza. Widać to zresztą na zdjęciach w podczerwieni robionych z Ziemi, gdzie (u podstawy linii sił pola łączącej Io z jonosferą Jowisza) widać świecącą plamkę.

Io jest najbardziej wewnętrznym satelitą Jowisza spośród czterech księżyców galileuszowych. Jego promień zbliżony jest do promienia ziemskiego Księżyca, średnia gęstość wynosi 3.529 g/cm^3. Io znajduje się jednak w znacznie silniejszym polu grawitacyjnym Jowisza i rotuje bardzo szybko (1.769 dnia w porównaniu z 27.3217 dnia dla Księżyca). Poza tym okres orbitalny Io jest w rezonansie z okresami Ganimedesa i Europy. Dlatego siły przypływowe i siły związane z rotacją działające na Io są około 220 razy większe niż dla przypadku Księżyca. W związku z tym (biorąc pod uwagę również aktywność wulkaniczną Io świadczącą o wysokich temperaturach pod jego skorupą) sądzi się, że w pierwszym przybliżeniu można traktować go jako ciało ciekłe znajdujące się w równowadze hydrostatycznej. Do tego spisu osobliwości naukowcy pracujący nad opracowaniem danych sondy GALILEO dołączyli kolejne zaskakujące fakty.

1. 7 grudnia 1995 roku GALILEO przeleciał w odległości 897 km od powierzchni Io w pobliżu płaszczyzny równikowej księżyca. W tym czasie prowadzono z Ziemi pomiary zmian częstotliwości fali nośnej nadajnika GALILEO pracującego w pasmie S (2.3 GHz, fala o długości 13 cm). Sam nadajnik kontrolowany był przez bardzo stabilny oscylator (był to zapasowy oscylator z misji VOYAGER!) a jego sygnał był w określonych odstępach czasu porównywany z sygnałami maserów wodorowych na Ziemi. GALILEO był śledzony przez anteny o średnicy 70 m ze stacji należących do *DEEP SPACE NETWORK* (anteny są umieszczone w Kaliforni, Australii i Hiszpanii - w Goldstone, Parks i Villafranca). Problemem była ocena stabilności oscylatora w porównaniu z naziemnym standardem wodorowym. Chodziło tu nie tylko o wewnętrzną dokładność oscylatora znajdującego się na pokładzie GALILEO wynikającą z własności drgającego kryształu, ale również o ocenę dryfu częstotliwości wywołanego napromieniowaniem kryształu przez naładowane energetyczne cząstki magnetosfery Jowisza. Okazało się, że o ile dryf częstotliwości przy podejściu do Io wyniósł ok 46 MHz w ciągu 89 godzin, to dryf wywołany obecnością cząstek naładowanych wyniósł już 660 MHz w ciągu 2 godzin. Po uwzględnieniu wspomnianych poprawek otrzymano sygnał, którego zmiany częstotliwości można było interpretować jako wynik efektu Dopplera wywołanego zmianami prędkości sondy znajdującej się pod wpływem zewnętrznego pola grawitacyjnego Io.



Technika redukcji obserwacji była skomplikowana, obejmowała ona dopasowanie do danych 23 parametrów (pozycji i prędkości sondy, analogicznych danych dla Io - uzyskanych z efemeryd, sześciu współczynników wielomianów opisujących zmierzony dryf oscylatora, mas układu Jowisza, Io i Europy - a ściślej mówiąc iloczynów GM wspomnianych mas i stałej grawitacji G którą znamy ciągle ze stosunkowo małą dokładnością - oraz dwóch współczynników z rozwinięcia pola grawitacyjnego Io na harmoniki sferyczne - J_2 i C_{22}). Współczynniki te opisują efekty związane z rotacją i przypływami na Io. Pozostałe wyrazy rozwinięcia zostały zaniedbane. Założenie to zostało sprawdzone; dokonano również dopasowań dla wyższych harmonik, ale amplitudy tych niehydrostatycznych składników były porównywalne z poziomem szumu.

Założenie o przypływowej i rotacyjnej równowadze księżyca pozwoliło na wyznaczenie trzech głównych momentów bezwładności Io. Okazało się, że przy znanej średniej gęstości satelity istotna część jego masy musi był skupiona w ograniczonym obszarze. Autorzy krótkiego raportu (z którego m.in. powstała niniejsza notatka), opublikowanego w numerze *SCIENCE* z 3 maja 1996 roku (J.D. Anderson, W.L.Sjogren i G. Schubert) przyjęli najprostszy dwuwarstwowy model wewnętrznej budowy Io - w środku znajduje się duży metaliczny rdzeń zbudowany prawdopodobnie z siarczku żelaza lub/i żelaza otoczony płaszczem z częściowo stopionych skał. Na wierzchu mamy skorupę. Bardziej szczegółowe oceny przewidują dla jądra złożonego z czystego żelaza masę rzędu 10.5 ± 3.7% całkowitej masy satelity skupioną w obszarze o promieniu równym ok. 36% średniego promienia Io. Analogiczne jądro złożone z mieszaniny żelaza i siarczku żelaza zawierałoby 20.2 ± 7.4% całkowitej masy wewnątrz obszaru o promieniu równym ok. 52% promienia księżyca. Podejrzewa się związek takiej budowy wewnętrznej Io z faktem jego silnego grzania przez tarcie przypływowe. Pomimo trzykrotnie mniejszych od Ziemi rozmiarów Io produkuje dwa razy więcej ciepła niż

nasza planeta. Stąd bierze się jego silna aktywność geologiczna. Żelazny rdzeń mógł powstać jednocześnie z uformowaniem się księżyca, ale mogło się to również stać wskutek wspomnianego już tarcia przypływowego.

Ubocznym efektem analizy sygnału nadajnika GALILEO stało się poprawienie niektórych wielkości fizycznych dotyczących układu Jowisza, w szczególności wartości GM dla Io i Europy (która znalazła się w odległości 32958 km od GALILEO), ich średnich gęstości, jak i stosunku masy Słońca do masy układu Jowisza.

2. Drugim, niespodziewanym zjawiskiem był nagły spadek o ok. 30% natężenia pola magnetycznego Jowisza w trakcie maksymalnego zbliżenia do Io. Nie bardzo wiadomo co jest tego przyczyną, być może Io posiada własne pole magnetyczne. Uzupełniające dane pochodzące z innych instrumentów mierzących parametry fizyczne plazmy zostaną przesłane na Ziemię w czerwcu lub w lipcu. Gdyby hipoteza własnego pola magnetycznego potwierdziła się, to Io stałby się pierwszym księżycem posiadającym takie pole.

3. Od lipca 1994 roku GALILEO obserwował strumienie pyłu pochodzące z okolic Jowisza. Były one obserwowane już wcześniej przez ULYSSES-a - choć miały one wtedy mniejsze natężenie. GALILEO widział narastające sztormy pyłowe osiągające w maksimum do 20 tysięcy zderzeń z detektorami sondy na dzień. Niektóre cząstki miały tak duże prędkości, że były w stanie opuścić Układ Słoneczny. Po przelocie w pobliżu Io strumienie pyłu przestały był widoczne. Jeszcze w trakcie trwania misji VOYAGER-ów (gdy zauważono aktywność wulkaniczną Io) próbowano tłumaczyć obecność pyłu faktem posiadania przez jego ziarenka ładunku elektrycznego, który uwrażliwiał je na obecność rotującego pola magnetycznego Jowisza. Indukowane pole elektryczne miało wyrzucać pył poza układ Jowisza. Obecnie wydaje się, że procesy przyspieszania pyłu w magnetosferze Jowisza są bardziej złożone.

W trakcie trwania misji GALILEO przewidziane są dalsze spotkania z księżycami Jowisza - 27 czerwca b.r. z Ganimedesem (przelot w odległości ok. 850 km od powierzchni), później z Kallisto i Europą. Prawdopodobnie dojdzie do większej liczby przelotów w pobliżu wymienionych księżyców.

Niniejsze uwagi są spisywane w ostatnich dniach maja - ze względu na znane kłopoty z anteną telemetryczną, na Ziemię przekazano jedynie część dotychczasowych pomiarów i na dokładniejsze ich opracowanie trzeba jeszcze poczekać.

Aktualne informacje o statusie i wynikach misji GALILEO można znaleźć pod adresem **http://www.jpl.nasa.gov:80/galileo/ albo http://ccf.arc.nasa.gov:80/galileo_probe/.**

(rs)

Polar obserwuje zorzę polarną

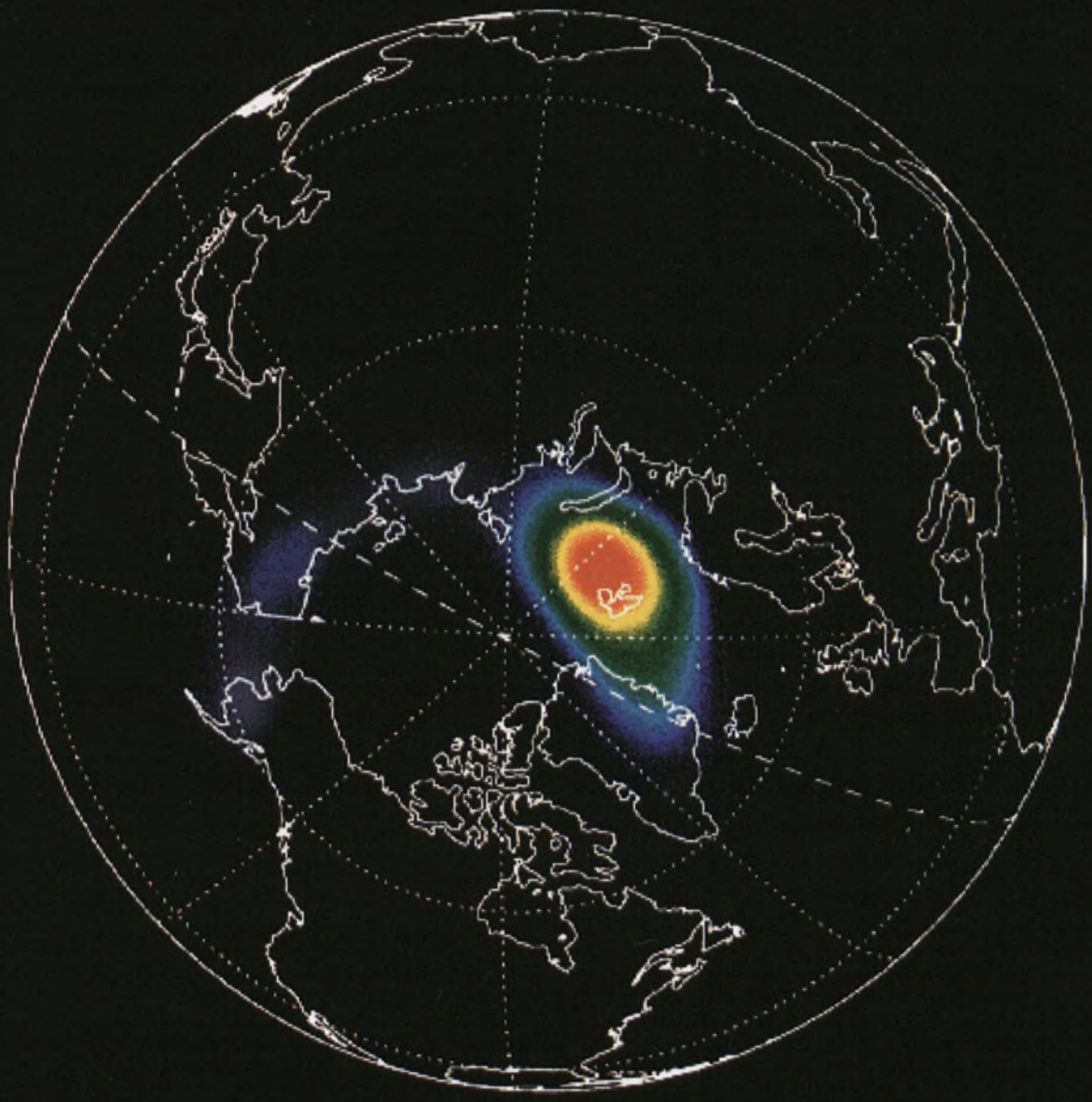
24 lutego 1996 roku wystrzelony został satelita NASA - POLAR. Umieszczono go na eliptycznej orbicie o nachyleniu 86^{o}, perigeum 1.8 R_E i apogeum 9 R_E. Apogeum znajduje się nad północnym biegunem Ziemi. Dzięki temu możliwe są długotrwałe obserwacje północnego owalu zorzowego jak i próbkowanie na dużych wysokościach strumieni naładowanych cząstek pochodzących z jonosfery w obszarach polarnych i zorzowych. POLAR stanowi fragment większego przedsięwzięcia zwanego *Global Geospace Science* (GGS). W listopadzie 1994 wystrzelono pierwszego satelitę w programie - WIND. W odróżnieniu od POLAR-a porusza się on głównie w wietrze słonecznym w bliskim otoczeniu Ziemi. Jego apogeum znajduje się po stronie dziennej tuż za orbitą Księżyca. GGS stanowi część jeszcze większego międzynarodowego programu badawczego zwanego *International Solar Terrestrial Physics* (ISTP). W skład ISTP wchodzą m.in. satelita ESA - *Solar and Heliospheric Observatory* (SOHO) wystrzelony w grudniu 1995 roku oraz japoński satelita GEOTAIL badający ogon magnetosfery ziemskiej. Niestety, nieudany start rakiety ARIANE 5 w czerwcu br. spowodował zniszczenie czterech satelitów misji ESA CLUSTER - przeznaczonych do badań drobnoskalowych struktur i turbulencji plazmowej w magnetosferze Ziemi jak i jej bezpośrednim sąsiedztwie. Cztery satelity były potrzebne dla uzyskania trójwymiarowego obrazu wspomnianych zjawisk oraz odróżnienia zmian czasowych od przestrzennych. W chwili obecnej nie wiadomo jeszcze jak będzie wyglądała przyszłość tego projektu. Jest to duży cios dla programu ISTP. Do ISTP wchodzi też misja INTERBALL przedstawiona w bieżącym numerze przez doc. Jana Hanasza (zob. str. 73). Sonda Ogonowa wystartowała w sierpniu 1995 roku, Zorzowa ma być wystrzelona w drugiej połowie 1996 roku. Projekt zapowiada się bardzo ciekawie i jeśli wszystko pójdzie dobrze, to będzie jeszcze niejednokrotnie pojawiał się w *Postępach Astronomii.*

W tym numerze przedstawiamy zdjęcia owalu zorzowego wykonane z pokładu POLAR-a w promieniach UV oraz X i zaprezentowane na wiosennym spotkaniu Amerykańskiej Unii Geofizycznej (AGU) w Baltimore.

Owale zorzowe otaczają ziemskie bieguny magnetyczne. Zaburzenia magnetosfery Ziemi wyzwalane przez zjawiska w wietrze słonecznym powodują powstawanie wiązek naładowanych cząstek wędrujących wzdłuż linii ziemskiego pola magnetycznego. Ze względu na gradient pola i zakrzywienie wspomnianych linii cząstki dryfują również w poprzek linii (w długości magnetycznej). Część z nich dociera do górnych warstw polarnej atmosfery Ziemi powodując m.in. jej świecenie. Obserwator z Ziemi widzi po stronie nocnej zorzę polarną. Obserwator patrzący z zewnątrz zobaczy świecący owalny pas otaczający biegun magnetyczny; świecący nie tylko po stronie nocnej ale niekiedy i dziennej. Najlepiej owal zorzowy obserwować w świetle UV, szczególnie w dalekim ultrafiolecie, gdzie przyczynki pochodzące od światła słonecznego rozproszonego w atmosferze Ziemi są niewielkie. POLAR posiada wąskopasmowe filtry pozwalające jeszcze lepiej wydzielić świecenie zorzowe na tle światła słonecznego.

(rs)

POLAR obserwuje zorzę polarną

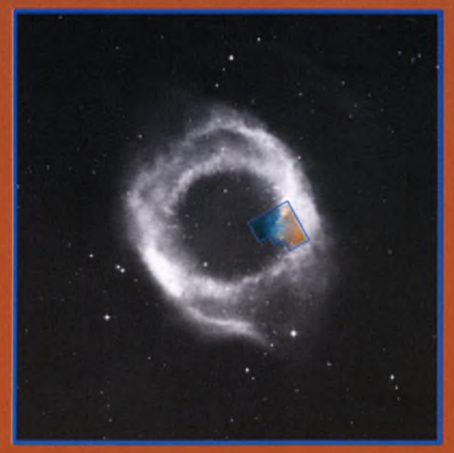


Jest to pierwszy globalny obraz świecenia zorzowego w promieniach X. Uzyskano go 20 marca 1996 roku przy pomocy eksperymentu PIXIE - Polar Ionospheric X-ray Imaging Experiment (projektem kieruje dr David Chenette z Lockheed Martin Advanced Technology Center. Jak i na następnych obrazach zarysy kontynentów i tarczy Ziemi zostały naniesione na obraz. Przerywana linia obrazuje położenie terminatora. Paleta barw jest podobna do tęczy - ale tutaj najsłabsze świecenie ma kolor ciemnoniebieski. Jasna plama powstała w wyniku zderzenia elektronów o energiach od 2 kV do 10 kV z górnymi warstwami atmosfery Ziemi. Widoczne jest obok niej dużo słabsze, rozmyte w szerokości geograficznej, świecenie dryfujących wokół Ziemi elektronów. Niektóre z nich wpadają do atmosfery - ich energia zostaje przekazana kwantom promieniowania X zarejestrowanego przez kamerę. Istnieje bezpośredni związek między natężeniem świecenia, a strumieniem wysypujących się do atmosfery elektronów. W czasie rejestrowania obrazu Ameryka Północna była na półkuli oświetlonej przez Słońce, Europa i Azja były po stronie nocnej.

Postępy Astronomii 2/1996

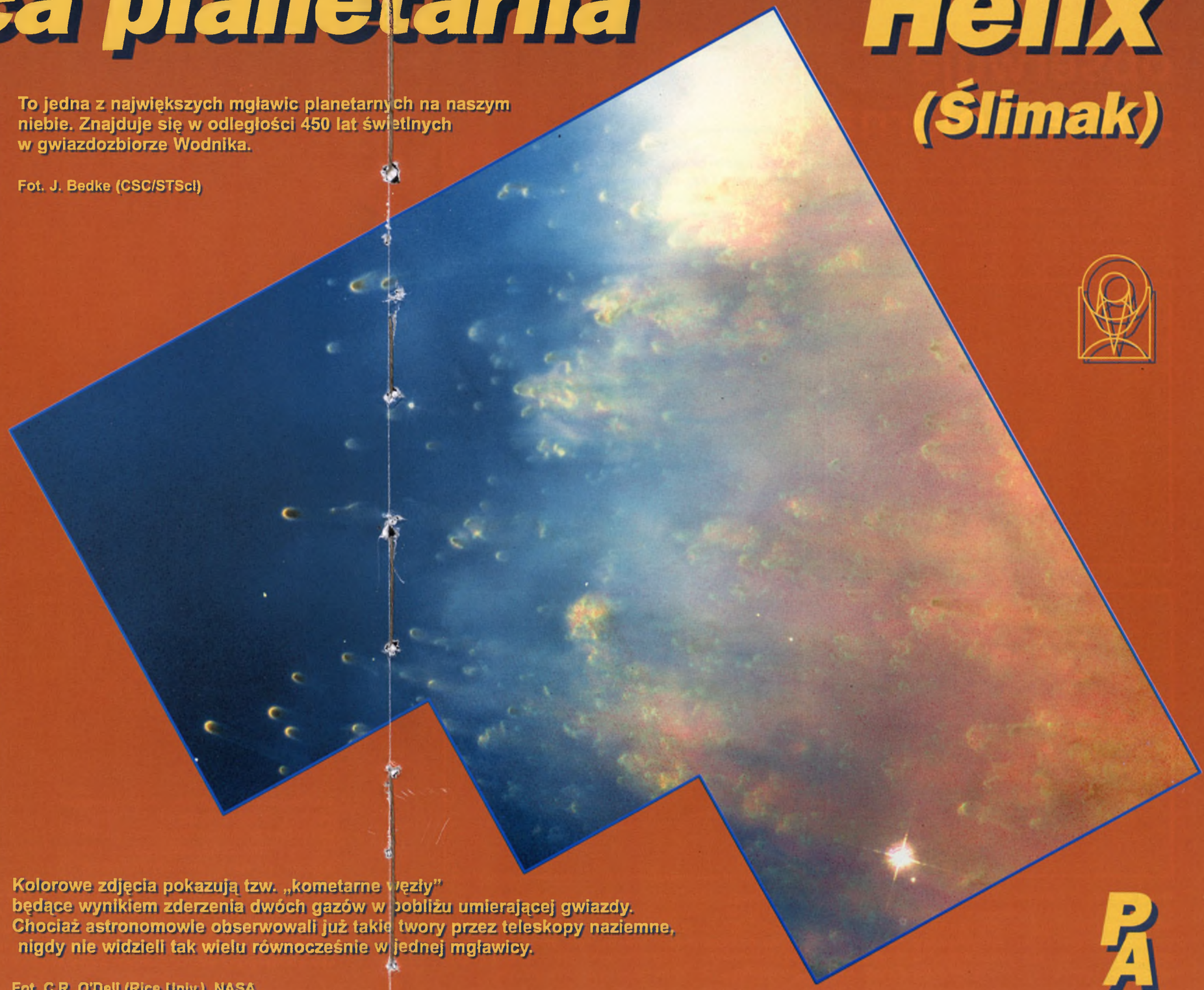
Mgławica planetarna Helix

(Ślimak)



To jedna z największych mgławic planetarnych na naszym niebie. Znajduje się w odległości 450 lat świetlnych w gwiazdozbiorze Wodnika.

Fot. J. Bedke (CSC/STScI)

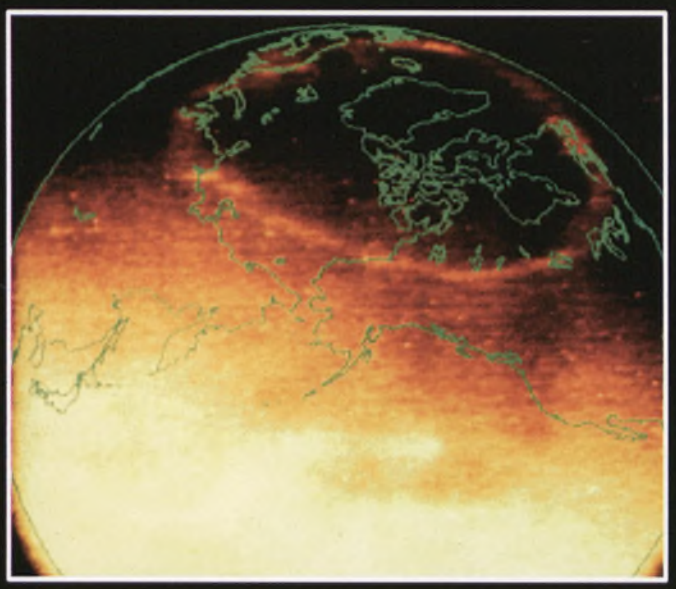


Kolorowe zdjęcia pokazują tzw. „kometarne węzły” będące wynikiem zderzenia dwóch gazów w pobliżu umierającej gwiazdy. Chociaż astronomowie obserwowali już takie twory przez teleskopy naziemne, nigdy nie widzieli tak wielu równocześnie w jednej mgławicy.

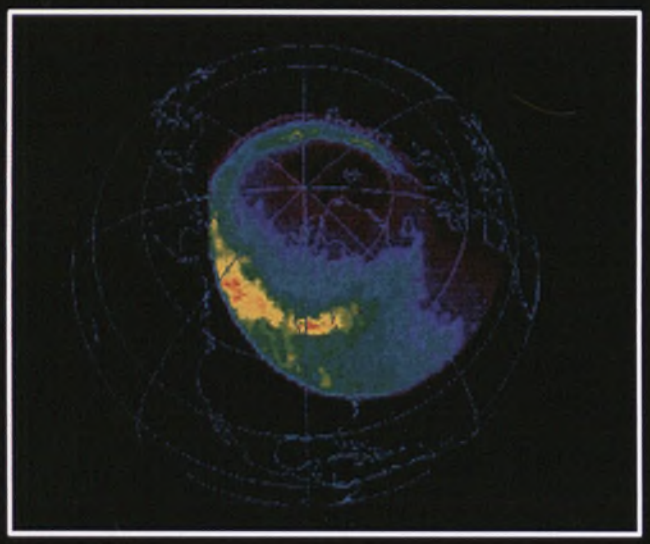
Fot. C.R. O'Dell (Rice Univ.), NASA

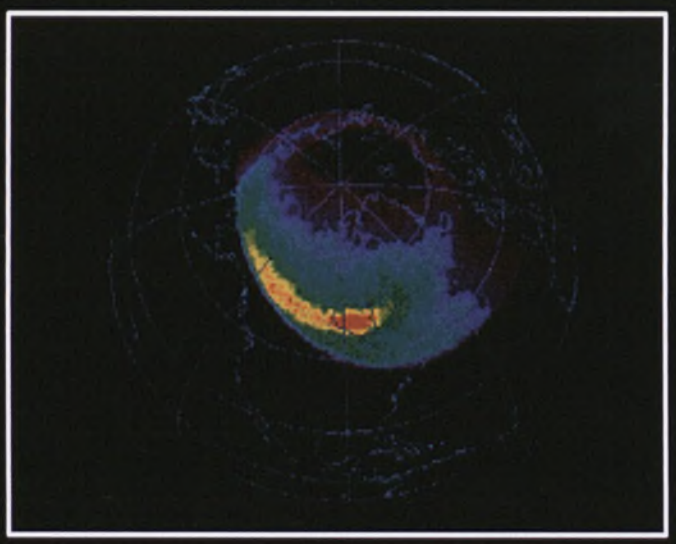
PA

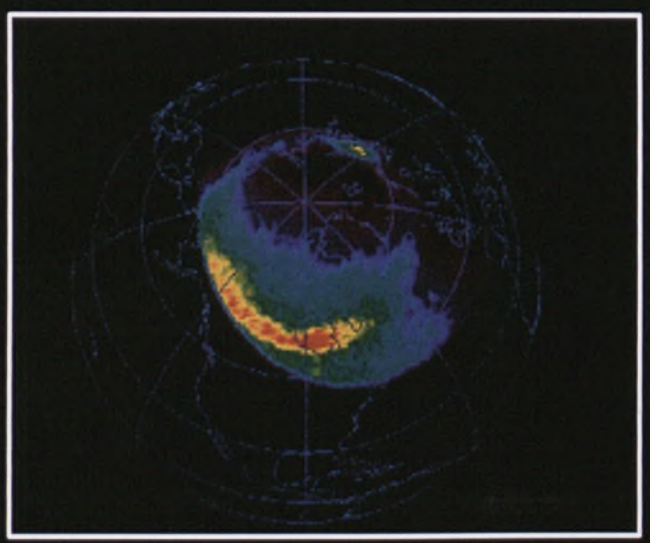
POLAR
obserwuje zorzę polarną

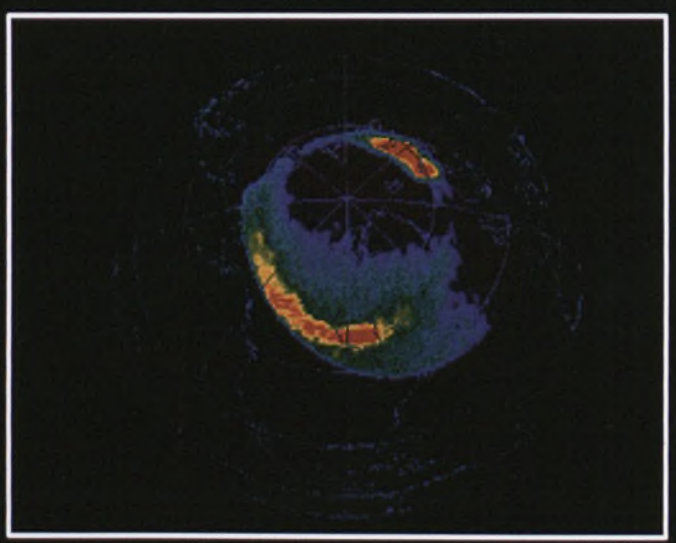


Zdjęcie z lewej przedstawia pełny obraz północnego owalu zorzowego obserwowanego dnia 25 marca 1996 roku w świetle UV z odległości 25740 km. Uzyskano go z pomocą tzw. Kamery Ziemskiej (Earth Camera) skonstruowanej pod nadzorem dr. Louisa A. Franka z University of Iowa. Obszary najsłabiej świecące mają kolor ciemnoczerwony, najjaśniejsze są biało-żółte.

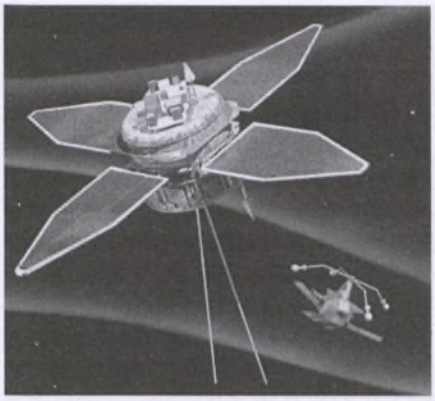








Wyżej sekwencja czterech obrazów uzyskanych za pomocą tzw. Imagera Ultrafioletowego UVI (szefem projektu jest dr George E. Parks z University of Washington) dnia 9 kwietnia 1996 roku. Widoczne są zmiany w obydwu częściach owalu - dziennej i nocnej. Nie bardzo wiadomo, jak powstaje dzienne świecenie i czy istnieje związek pomiędzy obydwoma typami świecenia. Sekwencja czasowa przebiega od górnego lewego obrazu (przyjmując, że biegun północny znajduje się w górnej części każdego panelu) - T=0 min. Po 40 minutach uzyskano górny obraz z prawej strony, po 42 minutach od chwili T=0 powstał obraz w lewym dolnym rogu, a po 47 minutach w prawym dolnym.



Badania magnetosfery ziemskiej - misja INTERBALL

Jan Hanasz

W nocy z 2 na 3 sierpnia 1995 roku wystartowała z kilkuletnim opóźnieniem z poligonu rakietowego w Plesiecku na północy Rosji **Sonda Ogonowa** (zob. Ramka na str. 74), przeznaczona do badań ogona magnetosfery ziemskiej. Krąży ona dookoła Ziemi po wydłużonej orbicie eliptycznej z apogeum oddalonym od Ziemi o 200 tys. km, nachylonej do równika pod kątem 65 stopni. Wraz z jej startem zaczęła się pierwsza faza międzynarodowego projektu kosmicznego znanego pod nazwą INTERBALL. Realizacja drugiej części rozpocznie się wraz ze startem **Sondy Zorzowej** (zob. Ramka na str. 75), której celem są badania obszarów zorzowych magnetosfery ziemskiej, spodziewanym w drugiej połowie 1996 roku. Jej orbita będzie miała apogeum odległe od powierzchni Ziemi o 20 tys. km i będzie nachylona do równika również o 65 stopni.

Sonda Ogonowa wyniosła na swoim pokładzie subsatelitę, który po odłączeniu krąży dokoła Ziemi tak, że odległość między nim a sondą zmienia się podczas jednego okresu od 100 do 10 tysięcy km. Sonda Zorzowa wyniesie również w przestrzeń swojego subsatelitę, który będzie krążył po zbliżonej orbicie w odległości zmieniającej się od 10 do 1000 km. Tak więc w niedługim czasie znajdzie się w magnetosferze ziemskiej „flotylla" czterech satelitów realizujących w sposób skoordynowany wspólny program badań magnetosfery.

Celem projektu INTERBALL są badania przepływu energii, pędu i masy w kluczowych obszarach oddziaływań wiatru słonecznego na magnetosferę ziemską. Chodzi o odpowiedzi na dwa zasadnicze pytania:

– *W jaki sposób wiatr słoneczny wpływa na stan magnetosfery po stronie dziennej?* Szczegółowiej, chodzi o wyjaśnienie mechanizmów oddziaływań między wiatrem i magnetosferą w obszarach czołowej magnetopauzy, kaspu i na bocznych flankach magnetosfery oraz wyjaśnienie, w jaki sposób masa, energia i pęd przenikają z wiatru słonecznego do magnetosfery, a następnie jonosfery.

– *W jaki sposób procesy plazmowe dziejące się w obszarach polarnych i zorzowych są wywoływane i zasilane przez prądy i pola generowane w warstwie plazmowej ogona magnetosfery?* Wymagają wyjaśnienia procesy grzania i akceleracji cząstek, zjawiska typu sub-burz, generacje silnych prądów i związane z nimi niestabilności plazmowe, oraz oddziaływania pomiędzy magnetosferą i jonosferą, manifestujące się m.in. zorzami polarnymi i świeceniem nocnego nieba.

Te 2 grupy zagadnień będą rozwiązywane w 3-ch etapach:

1) - wtedy, gdy Sonda Ogonowa będzie orbitować po stronie dziennej magnetosfery, w wietrze słonecznym, powłoce magnetycznej *(magnetosheath)* i w warstwie granicznej na niskich szerokościach geomagnetycznych *(low latitude boundary layer)*, podczas gdy Sonda Zorzowa będzie przecinać obszar porannego i przedpołudniowego kaspu i kleftu oraz dziennej czapy polarnej;

2) - wtedy, gdy Sonda Ogonowa będzie orbitować po nocnej stronie i przecinać warstwę plazmową i warstwę neutralną ogona na odległościach od 10 do 30 promieni ziemskich, podczas gdy Sonda Zorzowa będzie się znajdować w obszarach zorzowych, gdzie mają miejsce procesy akceleracji na wysokościach od 5 do 20 tys. km, na zbliżonych liniach sił pola magnetycznego tj. w przybliżonej „koniunkcji magnetycznej" z Sondą Ogonową. Będą mogły być obserwowane równocześnie relacje pomiędzy nagłymi zmianami prądów i pól w warstwie plazmowej ogona i wyrzutami cząstek, jak np. wysypywanie elektronów do jonosfery i injekcje jonów jonosferycznych do warstwy plazmowej. Odnoszenie punktów w obszarze zorzowym do odpowiednich punktów w ogonie magnetosfery wymaga zaawansowanych metod modelowania magnetosfery i stanowi problem sam w sobie. Zestawianie obserwacji prowadzonych w koniunkcjach magnetycznych ma na celu znajdowanie opóźnień czasowych i lokalizacji korespondujących ze sobą zjawisk w tych tak odległych, ale fizycznie związanych obszarach.

3) Pomiędzy tymi dwoma etapami będą prowadzone przez Sondę Ogonową badania procesów, które dzieją się na flakach ogona, a ich projekcje będą mogły być obserwowane po stronie dziennego owalu zorzowego przez Sondę Zorzową.

Sonda Ogonowa i jej subsatelita badają oddziaływanie wiatru z magnetopauzą i zewnętrznymi obszarami magnetosfery a w ogonie magnetosfery - procesy związane z generacją silnych prądów elektrycznych, powstawaniem sub-burz i lawiny innych zjawisk w różnych obszarach magnetosfery. Wszystkie one są skutkiem oddziaływań wiatru słonecznego z plazmą ogona magnetosfery. Równoczesne obserwacje tych samych zjawisk z Sondy i jej subsatelity mają na celu badanie struktur przestrzennych w obszarze ogona o rozmiarach od kilkuset do kilku tysięcy kilometrów.

Opóźnienie startu INTERBALL-a stworzyło nowe możliwości koordynacji jego programu badawczego z innymi misjami, które już badają magnetosferę. Wymienić tu należy: GEOTAIL, WIND, POLAR, AKEBONO i CLUSTER. Jednak katastrofa ARIANE 5 przypuszczalnie znacznie opóźni realizację tego ostatniego projektu. Równoczesne obserwacje z tak wielu punktów w rozmaitych konfiguracjach pozwolić mogą na oddzielenie zmian czasowych od różnic przestrzennych. Jeśli dodać jeszcze sieć zgłaszających się do współpracy naziemnych stacji obserwacji jonosfery, to pojawia się niespotykana

dotąd możliwość badań wzajemnych oddziaływań w systemie wiatr słoneczny - magnetosfera - jonosfera. Koordynacja tych badań jest w kompetencji Międzyagencyjnej Grupy Koordynacyjnej (IACG). Jej skład stanowią szefowie poszczególnych projektów. Do jej zadań należy sugerowanie priorytetów badawczych w sytuacjach przewidywanych przez modele magnetosfery. Planowane są wspólne kampanie obserwacyjne podczas interesujących konfiguracji satelitów.

Wydaje się więc, że mimo znacznego opóźnienia startu projekt INTERBALL nie stracił na znaczeniu. Również i dlatego, że wciąż odkrywa się w magnetosferze ziemskiej nowe zjawiska. Stanowi ona ogromne laboratorium dla podstawowych badań w dziedzinie fizyki plazmy. Jest to też najłatwiej osiągalna dla badań magnetosfera i dlatego może służyć jako punkt odniesienia w badaniach znacznie mniej dostępnych magnetosfer innych planet i obiektów astrofizycznych. Ponadto, mimo znacznego postępu w teorii i modelowaniu sub-burz i zjawisk zorzowych, wciąż nie jest jasna ich ewolucja czasowo-przestrzenna. INTERBALL może zatem dostarczyć nowych danych dla poznania związków fizycznych między nimi. Również nowe koncepcje chaotycznego zachowania cząstek i prądów w plazmie mogą się okazać kluczowymi w interpretacji obserwowanych zjawisk magnetosferycznych. Projekt ten, realizowany pod auspicjami Międzyagencyjnej Grupy Koordynacyjnej i STEP-u *(Solar-Terrestrial Energy Program)*, uczestniczy w 2 programach koordynowanych przez te ciała. Są to GEM *(Geospace Environment Modeling)* i CEDAR *(Coupling Energetics and Dynamics of Atmospheric Regions)*.

Istnieje również aspekt aplikacyjny badań magnetosferycznych. Coraz więcej znaczenia nabierają prognozy „pogody kosmicznej", szczególnie dla mieszkańców Arktyki. Nagłe zmiany ziemskiego pola magnetycznego mogą zaindukować silne prądy w długich liniach energetycznych, a w skrajnych wypadkach mogą je nawet uszkodzić. Słabe sub-burze zdarzają się niemal codzień, ale tylko najsilniejsze mogą stanowić niebezpieczeństwo. Prognozowanie sub-burz wymaga najpierw wyjaśnienia, w jaki sposób jest akumulowana energia w magnetosferze i w jakich warunkach jest nagle uwalniana. Do tego potrzebna jest dobrze udokumentowana eksperymentalnie teoria, która pozwoli przewidywać tempo zmian w magnetosferze podczas sub-burzy, a w szczególności tempo przerywania prądu płynącego w poprzek ogona. Tak więc problem sub-burz ma aspekt nie tylko poznawczy ale i praktyczny.

INTERBALL jest uważany obecnie za kluczowy projekt w programach badań związków Słońce-Ziemia. Jego instrumentarium jest starannie dostosowane do planowanych badań. Zawiera ono urządzenia do pomiarów otaczającej plazmy, w tym jej składu jonowego, funkcji rozkładów energii cząstek o energiach od termicznych do relatywistycznych oraz pól elektrycznych i magnetycznych w zakresie częstotliwości od prawie 0 Hz do pojedynczych MHz. Ponadto na pokładzie Sondy Zorzowej zostanie zainstalowana kamera video do rejestrowania ultrafioletowych obrazów obszarów zorzowych, w celu umiejscowienia pomiarów prowadzonych lokalnie z pokładów satelitów na tle szerszej perspektywy struktur obejmujących cały obszar polarny.

Pełny opis plazmy jest możliwy wtedy, gdy można określić jednocześnie położenia i pędy cząstek oraz pola elektryczne i magnetyczne generowane w wyniku kolektywnych oddziaływań między cząstkami naładowanymi. Wszystkie te wielkości są w plazmie wzajemnie związane przez oddziaływania cząstek z falami. Badacze plazmy kosmicznej dążą więc do skompletowania na pokładach satelitów zestawów aparatury, za pomocą których będą mogli określać w 3-ch wymiarach statystyczne parametry ruchu cząstek i jednocześnie i w tym samym miejscu statystyczne właściwości zmiennych pól wektorowych elektrycznych i magnetycznych. Dlatego też satelity INTERBALL-a zostały wyposażone w szereg analizatorów energii cząstek naładowanych i mierników pól elektrycznych i magnetycznych.

Pomiary prowadzone w ramach projektu INTERBALL zostały podzielone na pomiary plazmy, pomiary pól i fal elektro-ma-

SONDA OGONOWA.

Eksperymenty ukierunkowane na **badania plazmy** obejmują pomiary jonów prowadzone za pomocą kilku przyrządów. Są określane składy chemiczne jonów oraz ich rozkłady energetyczne w 3-ch wymiarach (SKA-1 - P/I: O. Weisberg, Rosja; Promics-3 - P/I: Ingrid Sandahl, Szwecja; AMEI-2 - P/I: R. Koleva, Bułgaria; Monitor-3 - P/I: Z. Nemecek, Czechy). Eksperymenty te różnią się zakresami i innymi charakterystykami, ale razem pokrywają zakres energii od 50 eV do 40 keV. 3-wymiarowe pomiary widm energetycznych elektronów będzie prowadził eksperyment Electron (P/I: J.A. Sauvaud, Francja), o zakresie od 10 eV do 26 keV.

Eksperymenty związane z **pomiarami pól magnetycznych i elektrycznych** w zakresie od quasi-stałych (DC) do częstości 50 kHz. Część z nich została skomasowana w jednym kompleksie po nazwą ASPI (*Analysis of Spectra of Plasma Instabilities*).

W ramach tego kompleksu na Sondzie Ogonowej pomiary prowadzą:

- miernik 3 składowych fluktuacji pola magnetycznego w zakresie od 0 do 40 kHz (MIF-M, P/I: S. Romanow, Rosja),
- miernik fluktuacji strumieni jonów i elektronów w zakresie od 0.1 Hz do 1 kHz (IFPE, P/I: J. Buechner, Niemcy).

Z powodu awarii nie są prowadzone 3-wymiarowe pomiary fluktuacji pól elektrycznych, wraz z ich analizą widmową na pokładzie w zakresie od 0 do 40 kHz (eksperyment Opera) oraz pomiary widm pól elektrycznych i magnetycznych i ich korelacji skrośnych w zakresie od 0.1 Hz do 40 kHz (ADS).

Poza kompleksem ASPI prowadzone są:

- pomiary radioemisji w zakresie od 100 kHz do 1.5 MHz (AKR-X, P/I: L. Fischer, Słowacja), oraz
- pomiary 3 składowych pola magnetycznego w zakresie czułości od 0.2 do 1000 nTesla w pasmie od 0 do 10 Hz (FM-31, P/I: M. Nozdraczow, Rosja).

Eksperymenty związane z **pomiarami strumieni cząstek o wysokich energiach**. Są to pomiary składu i anizotropii cząstek naładowanych w zakresie od 40 do 200 keV, (SKA-2, P/I: E. Morozowa, Rosja) oraz pomiary widm energetycznych i rozkładów kątowych elektronów i jonów w zakresach 15 - 400 keV dla elektronów i 20 do 1000 keV dla jonów (DOK-2 P/I: K. Kudela, Słowacja).

W czwartej grupie eksperymentów optycznych na Sondzie Ogonowej jest tylko 1 przyrząd, do **badania widm i profili czasowych wybuchów** rentgenowskich na Słońcu w zakresie od 2 do 240 keV (RF-15-I, P/I: O. Likin, Rosja, Co/I: J. Sylwester, Polska).

SONDA ZORZOWA.

W ramach eksperymentów odnoszących się do plazmy zorzowej będą mierzone **widma elektronów i jonów i ich anizotropia** za pomocą dwóch przyrządów: SKA-3, widma w zakresie od 0.03 do 15 keV, anizotropia od 30 do 500 keV (P/I: J. Galperin, Rosja), oraz ION, widma i anizotropia od 5 eV do 20 keV (P/I: J.A. Sauvaud, Francja). Ponadto skład chemiczny jonów i ich 3-wymiarowy rozkład energii będzie mierzony w zakresie od 10 eV do 30 keV za pomocą przyrządu PROMICS-3 (P/I: I. Sandahl, Szwecja).

Pomiary plazmy termicznej będą prowadzone w ramach trzech eksperymentów:
- wyznaczanie składu jonów i 3-wymiarowych funkcji rozkładu dla M=1,...,32, w zakresie od 0.1 do 80 eV (HYPERBOLOID, P/I: J.J. Berthelier, Francja),
- wyznaczanie temperatury chłodnych elektronów, T < 10 eV (KM-7, P/I: J. Smilauer, Czechy),
- wyznaczanie strumienia jonów w zakresie do 25 eV (Alpha3, P/I: V. Bezrukich, Rosja).

Pomiary fal i pól będą realizowane w 4-ch eksperymentach:
- obserwacje widm i polaryzacji Zorzowego Promieniowania Kilometrowego w zakresie od 20 do 2000 kHz (POLRAD, P/I: J. Hanasz, Polska, Co/I: R. Schreiber, Polska),
- pomiary składowych fal elektromagnetycznych w zakresie od 0 do 240 kHz z wysoką zdolnością rozdzielczą w częstotliwości (MEMO, P/I: F. Lefeuvre, Francja),
- badania emisji fal elektromagnetycznych w zakresie bardzo niskich częstotliwości (VLF), 20 Hz - 20 kHz (NVK-ONCH, P/I: A. Goliawin, Rosja),
- badania turbulencji plazmowej na ekstra-niskich częstotliwościach (ELF), 0.1 - 30 Hz (IESP-2M, P/I: Sylvaine Perraut, Francja).
- pomiary 3-ch składowych pola magnetycznego dla wyznaczania położenia czujników względem aktualnego wektora pola magnetycznego, zakres 1 - 70 000 nT (IMAP-3, P/I: I. Arshinkov, Bułgaria).

Do pomiarów cząstek o wysokich energiach posłuży aparatura DOK-3. Jest ona przeznaczona do wyznaczania widm energetycznych, rozkładów kątowych i zmienności w czasie elektronów w zakresie 15 do 400 keV i jonów w zakresie 20 do 1000 keV (P/I: K. Kudela, Czechy). Potencjał satelity będzie mierzony za pomocą aparatury RON (P/I: W. Riedler, Austria).

Obserwacje optyczne owalu zorzowego i całego obszaru czapy polarnej będą prowadzone za pomocą kamery UVAI (Ultra-Violet Auroral Imager, P/I: L. Cogger, Kanada) oraz za pomocą aparatury UVSIPS do określania strumienia emisji ultrafioletowej tlenu zorzowego (P/I: A. Kuzmin, Rosja).

gnetycznych, pomiary cząstek energetycznych oraz rejestrację widm i obrazów w zakresie ultrafioletowym i rentgenowskim.

Oprócz przyrządów naukowych Sonda Ogonowa jest wyposażona w szereg urządzeń pomocniczych, takich jak:
– system telemetryczny (SSNI - *System Sbora Naucznoj Informacji*),
– nadajnik telemetryczny STO do interferometrycznego pomiaru odległości pomiędzy głównym satelitą i jego sub-satelitą oraz czujnik orientacji satelity (BNS).

W wyposażeniu Sondy Zorzowej przewidziano grupy eksperymentów mających na celu badania plazmy zorzowej, plazmy termicznej, pól i fal, cząstek o wysokich energiach, kontroli potencjału satelity i obserwacje optyczne.

Ze względu na dużą ilość danych przekazywanych na Ziemię Sonda Zorzowa zostanie wyposażona w 3 systemy telemetryczne: RTK - do transmisji na pokład komend i zbierania danych z kilku eksperymentów, SSNI - do zapisu i transmisji na Ziemię rezultatów pomiarów większości eksperymentów oraz STO - telemetrię do transmisji danych pomiarowych w czasie rzeczywistym i pomiarów interferometrycznych odległości satelita-subsatelita. Sonda Zorzowa będzie również wyposażona w czujnik orietacji (BNS).

Oba subsatelity zostały zaprojektowane i wykonane w Czechach. Ich prawie jednakowe wyposażenia są dostosowane do pomiarów przeprowadzanych na głównych sondach w stopniu na jaki pozwalają mniejsze wymiary i masa.

Eksperymenty wspólne na obu subsatelitach:
- kompleks falowy (KEM-3, Czechy),
- analizator widma (SAS, P/I: Juchniewicz, Polska),
- analizator form falowych (LF, Czechy),
- 3-składnikowy magnetometr (SG-R8, Rumunia),
- spektrometry cząstek wysokiej energii (DOK-S, Słowacja; MPS, SPS, Czechy).

Dodatkowo na subsatelicie Sondy Ogonowej znajduje się fotometr rentegowski RF (Czechy), detektor strumienia plazmy VDP (Czechy) i 2-składnikowa sonda Langmuira (Rosja). Natomiast na subsatelicie dodano miernik temperatury termicznych elektronów i miernik gęstości jonów KM-14 (Czechy).

Polska uczestniczy w projekcie INTERBALL zarówno od strony naukowej jak i konstrukcyjnej. Pozycje P/I i Co/I są świadectwem uznania dla twórców założeń eksperymentów i osób odpowiedzialnych za budowę aparatury naukowej, jak też i za nadzór naukowy i koordynację prac przygotowawczych do eksperymentów. Polscy uczestnicy zostali wymienieni wyżej przy okazji opisu naukowego wyposażenia projektu.

Główny wysiłek organizacyjny, techniczny i koszty startu i wyposażenia projektu w satelity typu Prognoz-M2 oraz koszty odbioru danych, ponosi Rosyjska Agencja Kosmiczna. Projekt jest koordynowany przez Instytut Badań Kosmicznych Rosyjskiej Akademii Nauk. Do odbioru telemetrii STO jest przygotowana czeska stacja w Panskej Wsi. Wyposażenie pokładowe dla telemetrii STO zostało wykonane na Wegrzech. Jej część analogowa jest polskim wkładem w całość projektu.

W projekcie INTERBALL uczestniczą grupy badawcze z 16 krajów. Są to: Austria, Bułgaria, Czechy, Finlandia, Francja, Grecja, Kanada, Niemcy, Polska, Rumunia, Rosja, Słowacja, Szwecja, Węgry, Ukraina i Włochy. Głównymi autorami projektu są znani badacze plazmy okołoziemskiej, profesorowie: Albert Galejew, Jurij Galperin, i Lew Zielonyj.

Home Page projektu INTERBALL jest już dostępna pod adresem: **http://www.rssi.ru/interball.html** - dotyczy ona zarówno Sondy Ogonowej jak i Zorzowej.

Doc. Jan Hanasz jest astrofizykiem, który od wielu lat zajmuje się badaniami magnetosfery ziemskiej za pomocy aparatów kosmicznych. Był kierownikiem naukowym pierwszego polskiego kosmicznego eksperymentu „Kopernik 500" w 1973 roku, a obecnie w szerokiej współpracy międzynarodowej, przygotowuje eksperyment kosmiczny POLRAD.

Mgławica planetarna *Helix* (NGC 7293)

Barwne zdjęcia z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a (w skrócie z języka angielskiego - HST) ukazują zderzanie się dwóch gazów w pobliżu umierającej gwiazdy. Wyraźnie widoczne są na nich charakterystyczne, podobne do kijanek obiekty. Nazywać je będziemy węzłami kometarnymi, ponieważ budową swoją przypominają astronomom komety. Nazwa ta jest dosłownym tłumaczeniem jednej z kilku pojawiających się w literaturze angielskiej nazw: *cometary knots, cometary globules, emission knots*. Chociaż z naziemnych teleskopów węzły kometarne były obserwowane, to nigdy dotąd nie obserwowano tak wielu w jednej mgławicy i z taką zdolnością rozdzielczą. Właśnie te węzły były powodem skierowania na mgławicę Helix teleskopu kosmicznego przez astronoma z zespołu HST, C. Roberta O'Della wespół z doktorantem Kerry D. Handronem z Teksasu.

Mgławice planetarne są ostatnią fazą życia gwiazd o masach początkowych pomiędzy 1 a 8 $M_{\odot}$. Zanim do niej dojdą, największą część swojego życia gwiazdy spędzają w stadium palenia wodoru w jądrze. Gdy to źródło energii się wyczerpie, życie gwiazdy nabiera przyspieszenia. Gwiazda spala hel w jądrze, a gdy już helu w środku zabraknie, to dookoła jądra węglowego (węgiel jest popiołem po spalonym helu), w otaczającej je cienkiej warstwie, wypala się na przemian to wodór to hel. Ta faza charakteryzuje się ogromnym wypływem masy z gwiazdy. Jest on tak intensywny, że właściwie z gwiazdy pozostawia tylko jej jądro o masie od 0.4 do 0.8 $M_{\odot}$. Jądro zapadając się zaczyna się rozgrzewać i wyświecać duże ilości promieniowania ultrafioletowego. Gwiazda nadal traci ze swej powierzchni materię, lecz już w dużo mniejszym tempie, ale za to z dużo większą prędkością. Wyrzucona wcześniej materia zdążyła oddalić się od gwiazdy i rozrzedzić. Wewnętrzny brzeg takiej otoczki jest teraz kształtowany przez bardzo szybki wiatr wywiewany właśnie z gwiazdy, a promieniowanie ultrafioletowe jonizuje materię, pobudzając ją do świecenia w liniach emisyjnych. Tę właśnie fazę życia gwiazdy obserwujemy jako mgławicę planetarną. Jednak gwiazda szybko stygnie, a otoczka rozpływa się w przestrzeni kosmicznej. Faza mgławicy planetarnej trwa zaledwie kilkanaście tysięcy lat.

Z faktu, że mgławica planetarna to dwa oddziałujące ze sobą wiatry gwiazdowe, astrofizycy zdali sobie sprawę dopiero pod koniec lat siedemdziesiątych. Obecnie obowiązujący model mgławicy składa się z zewnętrznego, gęstego i powolnego wiatru, ekspandującego z prędkością rzędu kilkunastu kilometrów na sekundę, a od środka warstwa ta jest rozpychana przez rzadki i szybki wiatr o prędkościach rzędu 2000 km/s. Te dwa wiatry zderzają się ze sobą wytwarzając warstwę turbulentną i fale uderzeniowe.

Mgławica Helix (*helix* to po łacinie - ślimak winniczek, albo po angielsku - linia śrubowa, jak kto woli) jest najbliższą Ziemi mgławicą planetarną. Leży w odległości 450 lat świetlnych w gwiazdozbiorze Wodnika. Ma jasność $6^{m},5$, a rozmiary kątowe 15' x 12'. Można ją dostrzec już przez niewielką lunetkę, na jesiennym niebie, niewysoko nad południowym horyzontem.

Ze względu na znaczne rozmiary i bliskość Ziemi mgławica ta nie tylko trafiła do większości podręczników z astronomii, ale też była od wielu lat dokładnie badana. Do wyjaśniania obserwowanej budowy proponowano obecność pól magnetycznych albo obecność w centrum mgławicy układu podwójnego, z niewykrytym jak dotąd drugim składnikiem (Fabian A. C. and Hansen C. J., 1979, *MNRAS,* **187**, 283). Ale struktura spiralna, której obiekt zawdzięcza swoją nazwę, pozostaje do dziś zagadką. Mgławica była obserwowana w promieniach rentgenowskich (Leahy D. A. et al., 1994, *ApJ,* **422**, 205). Będące obiektem naszego zainteresowania węzły kometarne były obserwowane radiowo (Huggins P. J. et al., 1992, *ApJ*, **401**, L43) i optycznie (Walsh J. R. and Meaburn J., 1993, Messenger 73, 35). Zanim skierowano na NGC 7293 teleskop HST, wiele o niej wiedziano i wiele wiedziano o jej węzłach, przynajmniej tych największych.

Każda obserwowana głowa węzła kometarnego ma średnicę co najmniej dwukrotnie większą od naszego Układu Słonecznego, każdy ogon rozciąga się na odległość tysiąckrotnie większą, niż odległość Ziemi od Słońca. Najwyraźniejsze fragmenty gazu leżą po wewnętrznej stronie pierścienia otaczającego gwiazdę, w odległości bilionów kilometrów od niej. Podobne do kometarnych warkocze tworzą promienisty wzór, jak szprychy w kole rowerowym. Te same węzły obserwowane w liniach Hα i [NII] widoczne są jako emisyjne, a obserwowane w linii [OIII] widoczne są w absorpcji, jako ciemne plamy na jasnym tle. W węzłach obserwowane były także molekuły CO. Obserwacje wskazują, że nie jest to mgławica sferyczna, lecz raczej dysk, czy torus, położony niemal dokładnie w płaszczyźnie nieba.

Astronomowie teoretyzują, że węzły w gazie są rezultatem kolizji pomiędzy gazami: gorącym, właśnie wyrzucanym przez gwiazdę ze swojej powierzchni, a chłodniejszym gazem, wyrzuconym przez gwiazdę 10000 lat wcześniej. Zderzenie wytwarza na granicy obszarów niestabilne warunki, gazy mieszają się i dochodzi do fragmentacji wcześniej gładkiej chmury. Taki proces, nazywany *niestabilnością Rayleigha - Taylora*, rozrywa chmurę na mniejsze i gęstsze kropelki. Podobnie, jak rozdziela się na krople ściekająca warstwa farby. Astronomowie oczekują, że zgęszczenia w gazie ostatecznie rozproszą się w zimnej i czarnej przestrzeni międzygwiezdnej.

W sierpniu 1994 roku na mgławicę Helix skierowany został teleskop HST (O'Dell C. R. and Handron K. D., 1996, *AJ,* **111**, 1630). O'Dell obserwował ten obiekt, gdyż był ciekawy, czy widoczne węzły mogą być ubocznym rezultatem końcowego wybuchu gwiazdy, który powinien był wydobyć komety z „zamrażalnika", gdyby jakieś były w nim przechowywane.

Miałoby się to odbyć przez odparowanie stałych lodowych jąder kometarnych. Tak właśnie komety zachowują się przelatując w pobliżu Słońca. Węzły mają dokładnie odpowiedni wygląd i są w odpowiedniej odległości od umierającej gwiazdy, by być od dawna wypatrywaną chmurą kometarną (to ten wspomniany wcześniej zamrażalnik), bardzo podobną do hipotetycznej chmury Oorta otaczającej Słońce. Ale każda gazowa głowa komety jest co najmniej dwukrotnie szersza, niż nasz Układ Słoneczny. Jest to, według obecnej wiedzy, zdecydowanie za wiele, jak na gazową otoczkę aktywnej komety. Po przedyskutowaniu kilku innych możliwości, O'Dell i Handron konkludują, że niestabilności Rayleigha - Taylora pozostają nadal najbardziej prawdopodobnym czynnikiem prowadzącym do utworzenia węzłów kometarnych.

Standardowe modele przewidują, że węzły powinny rozejść się w przeciągu kilkuset tysięcy lat. Ale cząsteczki pyłu w środku każdej z gazowych kul mogą zderzać się ze sobą i zlepiać. Mogą w ten sposób powstawać z upływem czasu zlepki rozmiarów planet. Takie obiekty mogłyby wyglądać, jak ziemskich rozmiarów kopie lodowej planety - Plutona. Mogłyby uciec od wygasłej gwiazdy i włóczyć się po przestrzeni międzygwiezdnej na zawsze.

Gdyby takie zjawisko było czymś powszechnym dla gwiazd, nasza Galaktyka byłaby obsypana bilionami takich obiektów - konkluduje O'Dell (STScI - PR96 - 13). Mgławice planetarne powstają w naszej Galaktyce od miliardów lat, mniej więcej jedna co roku, gdyż jest to naturalny koniec życia dla miliardów podobnych do Słońca gwiazd w naszej Drodze Mlecznej. W takiej postaci mogłaby istnieć część tzw. brakującej masy Galaktyki, jednak raczej mniej, niż dziesięć procent.

Teleskop Hubble'a będzie wykorzystany do poszukiwań podobnych zjawisk w odleglejszych mgławicach planetarnych. O'Dell planuje powrócić do mgławicy Helix za kilka lat, gdyż kolejne obrazy mogą ujawnić ruch węzłów na zewnątrz.

Mgławica Helix jest także interesująca dla astrofizyków teoretyków. Jest to, jak dotychczas, jedyny obiekt, w którym bezpośrednio obserwuje się oddziaływanie dwóch wiatrów. Zatem jest jedyny do dokładnych porównań obliczeń teoretycznych z rzeczywistością. Teoretycy do opisu oddziałujących wiatrów gwiazdowych stosują skomplikowane programy komputerowe rozwiązujące równania hydrodynamiczne. Dzieląc model mgławicy planetarnej na niezbyt wielką ilość komórek można prześledzić numerycznie ewolucje kształtu mgławicy oraz w przybliżeniu oddziaływanie obu wiatrów. Zastosowane ostatnio najszybsze komputery typu CRAY YMP pozwoliły na istotne zwiększenie dokładności modelowania i uzyskano na granicy dwóch wiatrów pojawienie się niestabilności Rayleigha -Taylora. Ale tym obliczeniom jeszcze daleko do szczegółowego wyjaśniania obserwowanych struktur.

A jak się mają do rzeczywistości najpowszechniejsze ciagle modele mgławic planetarnych, w których wszystko jest ciągłe i sferycznie symetryczne?

Krzysztof Gęsicki

GL229B - brązowy karzeł!

Współpracujący ze sobą astronomowie z Kalifornijskiego Instytutu Technologii w Pasadenie i Uniwersytetu Johna Hopkinsa w Baltimore, przy pomocy teleskopów zainstalowanych na Mt. Palomar uzyskali obraz i widmo GL229B, z których jasno wynika, że gwiazda ta jest na pewno brązowym karłem. Rok po odkryciu, ci sami uczeni : Kulkarni, Nakajima, Matthews, Oppenheimer, Durrance i Golimowski wsparci przez Burrowsa wykonali, potwierdzające to odkrycie, obserwacje przy użyciu HST.

Sukces zapewniło wykorzystanie techniki określanej jako optyka adaptacyjna, dzięki czemu w ogóle zaobserwowano GL229B, która jest 10 razy słabsza (będąc jedynie 5.7 pc od Ziemi) niż uprzednio znane kandydatki na brązowe karły.

W przypadku obiektów pośrednich pomiędzy małomasywnymi gwiazdami i planetami - brązowych karłów - trudno jest podać definicję, która w sposób jednoznaczny wyodrębniałaby tę klasę ciał niebieskich. Z punktu widzenia sposobu uformowania się, brązowe karły to wszystkie ciała, które powstają w sposób analogiczny do narodzin gwiazd, czyli w wyniku fragmentacji i kolapsu grawitacyjnego obłoku materii, ale skupiają w sobie za mało masy, by zainicjować i podtrzymać reakcje termojądrowe, a konkretnie spalanie wodoru. (Odpowiednia masa krytyczna wynosi 0.08 $M_{\odot}$, dla składu chemicznego określonego przez wartości kosmiczne). I tu właśnie tkwi klucz do bezsprzecznego rozróżnienia pomiędzy brązowymi karłami, a planetami typu Jowisza. Te ostatnie bowiem formowały najpierw skalno-lodowe jądra, które akumulowały materię gazową. Co więcej, sam Jowisz jest wzbogacony w cięższe pierwiastki - jego skład chemiczny jest różny do słonecznego (np. stosunek obfitości węgla do wodoru jest dwukrotnie większy).

CO MÓWI TEORIA ?

Warunki początkowe. Przyglądając się dokładniej problemowi powstawania brązowych karłów, można wyróżnić kilka poprawnych z teoretycznego punktu widzenia scenariuszy tego procesu. Najprostszym przypadkiem warunków początkowych byłaby adiabatyczna, jednorodna sfera gazowa o niskiej gęstości. Następstwem takiego stanu początkowego jest *faza*

Hayashi'ego, charakteryzująca się gwałtowną utratą energii i kontrakcją, zapewniająca dużą swobodę w doborze szczegółowych parametrów opisujących warunki początkowe (np. początkowego promienia). Natura niestety nie jest taka prosta, co w danym przypadku objawia się chociażby tym, że przyjęcie tempa akrecji masy proporcjonalnego do całkowitych jej zasobów, spowoduje efekty objawiające się tym, że wzrośnie nieco dolna granica masy gwiazdy ciągu głównego i prawdopodobnie spowoduje zmniejszenie dzielności promieniowania młodego brązowego karła. Po drugie, teoria nie wyklucza możliwości tworzenia przez brązowe karły dysków akrecyjnych, jeśli akreowałyby materię w sposób analogiczny do małomasywnych gwiazd ciągu głównego. Miałoby to niezaprzeczalny wpływ na wiele parametrów opisujących te gwiazdy. Obiekt taki bowiem rotowałby gwałtownie, co wiązałoby się ze zwiększeniem jego promienia. Ponadto, możliwe wiatry, aktywność koronalna i pole magnetyczne, modyfikowałyby wielce ich widmo. Co prawda nie wiadomo jaki wpływ miałyby te zjawiska na dalszą ewolucję takich obiektów, ale jedną z naturalnych konsekwencji byłaby możliwość formowania się planet, krążących wokół brązowego karła.

Po trzecie, trudno jest rozstrzygnąć, czy brązowe karły powstają jako ciała jednorodne, chociaż należy raczej odrzucić scenariusz planetarny opisany powyżej w odniesieniu do Jowisza. Sprawa jest wszakże skomplikowana poprzez możliwość spontanicznego tworzenia przez brązowe karły jądra żelazowego, w wyniku ograniczonej rozpuszczalności żelaza w metalicznym wodorze, na co zwrócił uwagę D. J. Stevenson. Te i inne wątpliwości póki co muszą poczekać na lepsze zrozumienie atmosfer brązowych karłów, ze szczególnym naciskiem na stopień, w którym ich skład chemiczny przypomina słoneczny.

Należy także pamiętać, że podobnie jak wiele innych obiektów, tak i brązowe karły mogą powstawać w układach podwójnych z małomasywnymi gwiazdami w sposób znaczący wpływającymi na ich ewolucję. Jak pokazali w 1990 roku Stringfellow, Black i Bodenheimer, gdy w roli składnika głównego występuje biały karzeł, to interesujące nas obiekty będą znacząco gorętsze, niźli wynikałoby to z przewidywań teoretycznych dla ciał pojedynczych, w zależności od m. in. promienia orbity.

Modele stygnięcia. Wynikają z nich ciekawe wnioski, warte uwzględnienia w trakcie prób detekcji brązowych karłów. Okazuje się bowiem, że daleko łatwiej jest je zaobserwować, gdy są one młode (tzn. ich wiek nie przekracza 1 - 10% wieku Galaktyki) - emitują wtedy większość energii traconej w trakcie ewolucji, a dodatkowo w obserwowalnej bliskiej podczerwieni. Mają wtedy także większą dzielność promieniowania; więcej - mogą być naonczas nawet jaśniejsze niż najmniej masywne gwiazdy ciągu głównego, dla których $L \sim 10^{-4} L_{\odot}$. Wniosek jest więc dość zaskakujący - brązowe karły we wczesnych etapach swej ewolucji nie wyróżniają się w sposób oczywisty spośród obiektów zbliżonych pod względem masy! Dopiero w okresie „starości" wyraźnie odznaczają się od ciał ciągu głównego lub takich, które go dopiero osiągną.

JAK ZATEM OBSERWOWAĆ ?

Żeby dopełnić obraz zaprezentowany dotąd, w odniesieniu do empirycznej części zagadnienia, warto nadmienić, że typowy masywny brązowy karzeł, czyli o $M \sim 0.07\ M_{\odot}$ (i wieku rzędu kilku miliardów lat) ma jasność zaledwie rzędu $10^{-5}\ L_{\odot}$, zatem naprawdę trudno jest zaobserwować te gwiazdy. Z tego też powodu stosowane techniki obserwacyjne są generalnie metodami pośrednimi. Przyjrzyjmy się pokrótce kilku z nich, przyjmując ich podział za Stevensonem.

Metody pośrednie. Ogólnie mówiąc opierają się one na pomiarach astrometrycznych i prędkości radialnej gwiazdy, którą się podejrzewa o posiadanie małomasywnego towarzysza. Oba rodzaje pomiarów dążą do rejestracji ruchu głównego składnika układu podwójnego lub wielokrotnego względem jego barycentrum, który to ruch znajduje odzwierciedlenie w postaci przesunięć w ruchu prostoliniowym (astrometria) lub zmianach prędkości radialnej (efekt Dopplera). Jak zwykle ma to swoje plusy i minusy: wielką zaletą jest czułość tych metod, pozwalająca przecież odkrywać planety (przypadek *51Peg*, gdzie amplituda zmian prędkości radialnej wynosi 53 m/s); z drugiej strony jednak dostarczają one jedynie pewnych ograniczeń na masę towarzysza i promień orbity. Jednym z interesujących przykładów są obserwacje opisane przez Heintza w 1989 roku, a dotyczące gwiazdy *Wolf 424* -wizualnego układu dwóch ciał o masach 0.06 i 0.05 $M_{\odot}$, o okresie orbitalnym 50 lat. Ograniczenia astrometrii powodują, że techniką tą można rejestrować składniki o masie $\geq 0.02 M_{\odot}$, jeśli wszakże ich okres orbitalny przekracza 2 lata. Dużo czulsze są za to pomiary prędkości radialnej, zwłaszcza dla składników o krótkich okresach orbitalnych (≤ 4 lat).

Interferometria plamkowa w podczerwieni. Można przy jej pomocy obserwować domniemane układy podwójne, w których energia emitowana przez główny składnik nie skrywa całkowicie towarzysza. Założenie to jest najlepiej spełnione w bliskiej podczerwieni, przez małomasywne systemy.

Poprzez bardzo szybkie skanowanie obrazu przy wykorzystaniu wąskiej szczeliny, można uzyskać amplitudę widzialności; układ podwójny będzie się manifestował jako jej oscylacyjna funkcja. Swego czasu bardzo obiecującym kandydatem na brązowego karła był towarzysz pobliskiej małomasywnej gwiazdy VB8 - jednakże obserwacje wykonane po 1985 roku nie przyniosły potwierdzenia oczekiwań co do natury tego składnika.

Opisana technika może być bardzo skuteczna w przypadku gdy towarzysz jest jedynie umiarkowanie (mniej więcej rzędu magnitudo) słabszy niż składnik główny - ogranicza to jednocześnie obszar możliwych zastosowań do najlżejszych gwiazd ciągu głównego albo masywniejszych lub młodszych

brązowych karłów.

Fotometria i obrazowanie w podczerwieni. Rozwój w zakresie technologii detektorów podczerwieni zaowocował wieloma systematycznymi przeglądami nieprzypadkowo dobranych gwiazd. Bardzo obiecujące są tutaj białe karły, jako obiekty pospolite, o małej jasności (z racji posiadania promienia rzędu 0,1 promienia brązowego karła) i ponadto mogące utrzymać odległe składniki w trakcie swej ewolucji po podejściu od ciągu głównego. Innymi słowy, gwiazdy te są świetnymi celami obserwacyjnymi w poszukiwaniach starych brązowych karłów.

Pomiary wykonane pod koniec lat osiemdziesiątych przez Becklina i Zuckermana dostarczyły dwie kandydatury : Giclas 29-38 i GD165. Niewidoczny towarzysz Giclas 29-38 został wykryty na podstawie nadwyżki promieniowania podczerwonego; od samego początku wskazywano na możliwą interpretację tych obserwacji, w postaci pierścienia pyłowego, za którą przemawia choćby niezgodność obserwowanego strumienia na 10 mm z przewidywaniami teoretycznymi dla brązowych karłów.

Z drugiej strony, Graham z kolegami wykryli dodatkowe okresy zmienności (Giclas 29–38 jest gwiazdą zmienną typu *ZZ Ceti*, co ma miejsce dla wielu białych karłów), które można zinterpretować jako pulsacje domniemanego brązowego karła.

Druga z wymienionych gwiazd posiada małego, „zwartego" towarzysza, GD165B, oddalonego od niej o około 120 jednostek astronomicznych, o temperaturze 2100 K i jasności $8 \times 10^{-5} L_{\odot}$. Nie można wszakże odrzucić możliwości, że jest to jednak gwiazda z małomasywnej końcówki ciągu głównego.

Obserwacje pól i gromad. W grę wchodzą tutaj dokładne zliczenia gwiazd i obserwacje gwiazd w gromadach otwartych, dążące do wykrycia pojedynczych brązowych karłów. Ogólnie można powiedzieć, że trudności związane z tymi metodami wywodzą się zarówno z małej ich czułości, jak i poziomu jasności, z którymi ma się do czynienia - $10^{-4} L_{\odot}$. Dla porównania, jasność GL229B według najnowszych pomiarów wynosi $\sim 6.4 \times 10^{-6} L_{\odot}$.

Przy pomocy tych technik obserwacyjnych można poszukiwać bardzo młode (niezdegenerowane) brązowe karły; trzeba przy tym pamiętać, że zaobserwowanie słabych obiektów, nie oznacza automatycznie znalezienia obiektu tej kategorii.

GL229B

Jak zatem w świetle tego co już wiemy, prezentuje się nowo odkryty obiekt ? Niedawno, Allard ze współpracownikami zaproponowali model atmosfer i wnętrz chłodnych brązowych karłów (wybrane wartości dla kilku parametrów zawiera tabela 1). Jako obiekt, na którym zostały przeprowadzone testy został wzięty właśnie GL229B, dzięki czemu można określić jego kilka podstawowych parametrów fizycznych.

Temperatura i grawitacja powierzchniowa. Najpewniejszą metodą określenia temperatury efektywnej chłodnego karła jest rozpatrzenie w odniesieniu do teorii jego całego rozkładu widmowego. Bardzo ważną cechą widma GL229B jest obecność absorpcji metanu. Jest to istotne dlatego, że gwiazda mieszcząca się w dolnej granicy obiektów palących wodór ma temperaturę efektywną rzędu 2000 K, która wyklucza istnienie metanu. Stąd wypływa potwierdzenie faktu, że naprawdę zaobserwowano brązowego karła.

Tab. 1. Wartości modelowe dla brązowych karłów.

$M/M_{\odot}$	T_{eff} [1]	wiek (mld lat)	$L/L_{\odot}$ [2]	$\log g$ [3]	M_K [4]
0.020	1000	0.37	-4.97	4.66	14.51
-	900	0.522	-5.17	4.67	15.36
0.025	1000	0.61	-5.01	4.80	14.69
-	900	0.88	-5.22	4.82	15.58
0.035	1000	1.43	-5.10	5.02	15.07
-	900	1.99	-5.27	5.04	15.87
0.065	1000	10.0	-5.26	5.46	15.80
-	900	13.9	-5.46	5.47	16.72

[1] temperatura efektywna
[2] dzielność promieniowania w odniesieniu do Słońca
[3] g - przyśpieszenie grawitacyjne na powierzchni gwiazdy
[4] jasność absolutna w pasmie podczerwonym K (2.2 μm)

Ponadto w widmie GL229B nie widać absorpcji CO w zakresie od 4.3 do 5.2 mm, dominującej w widmach chłodnych karłów M i „gorących" brązowych karłów i znikającej wraz ze spadkiem temperatury z powodu stopniowego tworzenia się CH_4 i CO_2 kosztem CO. To pozwala ograniczyć temperaturę efektywną GL229B - nie powinna ona być wyższa niż 1000 K, a inne poszlaki wskazują na to, że może być nawet niższa niż 900 K.

Z najlepszego dopasowania teorii do danych wynika, że grawitacja na powierzchni gwiazdy wynosi $\log g = 5.3 \pm 0.2$ (gdzie $g = GM/R^2$).

Masa i ewolucja. Ponieważ brązowe karły ze wzrostem masy stają się bardziej zwarte, gorętsze i starsze (dla danej jasności), uzyskane górne granice temperatury i grawitacji pozwalają określić dopuszczalny zakres masy i wieku GL229B.

O głównym składniku - GL229A- wiadomo, że jest to gwiazda typu widmowego M1, należąca do młodej populacji dysku, chociaż brak emisji H_{α} wyklucza bardzo młody wiek. Z drugiej strony, rejestracja absorpcji H_{α} świadczy przeciwko bardzo staremu obiektowi; dodatkowe potwierdzenie tego wypływa z faktu odpowiednio wysokiej metaliczności, określonej z pomiarów fotometrycznych. Niezależnie, obserwowane charakterystyki GL229A ($M_V = 9.33$ oraz wskaźniki barwy $V–I = 2.9$, $I–K = 1.96$) mogą być wytłumaczone modelowo

przy założeniu masy ~ 0.6 $M_{\odot}$, co pociąga za sobą ograniczenie wieku układu do zakresu 0.5 - 5 miliardów lat. Dodatkowo można wtedy ograniczyć spodziewaną masę brązowego karła do zakresu od 0.02 do 0.055 $M_{\odot}$, a przy wykorzystaniu zależności grawitacji od masy przy danej temperaturze, dolną granicę można przesunąć do 0.04 $M_{\odot}$.

Omawiany model nie uwzględnia powstawania pyłu w atmosferach interesującego nas typu gwiazd, a którego rola jest istotna :

- pył może powodować znaczące grzanie fotosfery chłodnych karłów M oraz brązowych karłów - oznaczałoby to niższą faktyczną temperaturę efektywną GL229B,
- brak przewidywanych struktur widmowych VO (tlenku wanadu) i FeH wskazuje na obniżoną obfitość pierwiastków tworzących ziarna pyłu, a stąd obecność jego kondensacji w tej gwieździe, jasność spada znacząco, gdy miejsce tworzenia się ziaren osiąga dno fotosfery.

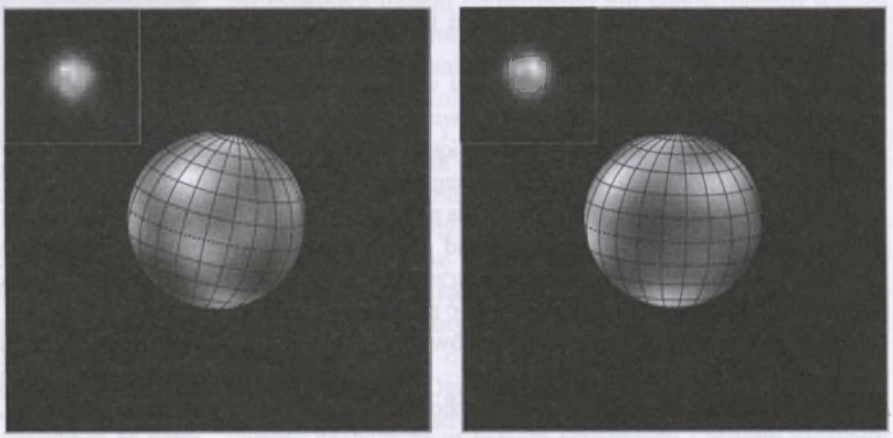
* * *

Omówiona obserwacja GL229B jako brązowego karła jest istotna także z punktu widzenia problemu tzw. brakującej masy. Jedna z teorii przewiduje, że to właśnie m. in. ta klasa gwiazd może stanowić część tej ciemnej materii. Skoro więc jeden brązowy karzeł jest na pewno, stwarza to nadzieję na to, że może ich być tak naprawdę całe mnóstwo!

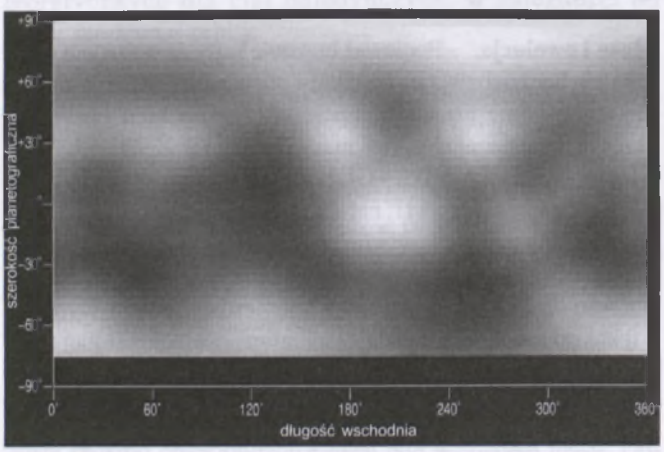
Marek Gołębiewski

Mapa Plutona

W początku marca 1996 roku Instytut Teleskopu Kosmicznego w Baltimore przedstawił pierwsze obrazy powierzchni Plutona. Na podstawie zdjęć wykonanych w czerwcu i lipcu 1994 roku przy pomocy Kamery Słabych Obiektów (FCO) zespół astronomów pod kierunkiem Alana Sterna z Boulder opracował mapę tej planety.



Odkryty w roku 1930, Pluton jest jedną z najmniejszych planet i ciągle jednym z najmniej poznanych ciał naszego Systemu Słonecznego. Jego średnica sięga zaledwie 2/3 średnicy Księżyca, co w odległości około 40 jednostek astronomicznych od Słońca powoduje, że widziany z Ziemi ma tarczkę o średnicy zaledwie 0.1 sekundy kątowej. Oczywiście rozedrgana atmosfera ziemska nie pozwala nam widzieć tak drobnych szczegółów ciał niebieskich, a nawet dla Teleskopu Kosmicznego było to zadanie na granicach jego zdolności rozdzielczej. I trzeba było użyć specjalnych i czasochłonnych technik, aby dodatkowo wydobyć szczegóły na obserwowanej tarczy planety.



Prezentowana tu mapa dotyczy 85% powierzchni planety. Potwierdza wcześniejsze doniesienia o niejednorodności powierzchni Plutona, która pokryta jest rozległymi ciemnymi i jasnymi plamami, w tym wyróżnia się ciemny pas równikowy i jasne czapy polarne. Obserwowane różnice jasności pochodzą zapewne od tworów topograficznych i niedawnych upadków meteorów, ale też istotne znaczenie może tu mieć osadzający się na powierzchni Plutona szron takich gazów jak azot, dwutlenek węgla czy metan. To ostatnie przypuszczenie implikuje sezonowe zmiany wyglądu powierzchni Plutona, ale o tym przekonamy się dopiero po obserwacjach obejmujących znaczną część orbity tej planety, której okres trwa aż 250 lat. Więc to trochę potrwa.

Małe zdjęcia umieszczone w lewych, górnych rogach dwóch obrazów powyżej to właśnie zdjęcia otrzymane Teleskopem Kosmicznym Hubble'a dla dwóch półkul planety. Większe obrazy pokazują mapy uzyskane na podstawie tych zdjęć z naniesioną siatką współrzędnych. Biegun północny znajduje się u góry.

Zdjęcie obok pokazuje mapę całej sfotografowanej części powierzchni Plutona.

(aw)

Kwestia możliwości i celowości korekty reguł kalendarza słonecznego

Jan Mietelski

1. Wprowadzenie.

Dzisiejsza wiedza astronomiczna o ruchu orbitalnym Ziemi i o precesji jej osi oraz o wydłużaniu się doby, wskazuje jednoznacznie na to, że uzupełnienie reguł kalendarza słonecznego (w szczególności gregoriańskiego) stać się może w pewnym momencie nieubłaganą koniecznością, jeśli przyszłe pokolenia nie zechcą przystać na systematycznie narastającą rozbieżność kalendarza oficjalnego z rytmami astronomicznymi - podobną do tej, której doświadczały pokolenia poprzednie, stosujące kalendarz juliański. Z drugiej strony wiadomo jednak, że fizyczne ograniczenia wartości parametrów wspomnianych procesów astronomicznych gwarantują nam, nawet w skrajnie niekorzystnym przypadku jakieś 2000 lat „spokoju" w sprawie kalendarza; natomiast niemożność dokładnego ustalenia przyszłych wartości choćby tylko niektórych spośród tych parametrów, nie pozwala na odważne zaproponowanie modyfikacji reguł gregoriańskich w celu uzyskania lepszego przybliżenia roku zwrotnikowego, ważnego zarówno dziś jak i w odległej przyszłości.

Kalendarz gregoriański, wprowadzony bullą papieża Grzegorza XIII w 1582 r. oddawał - poprzez swe reguły - znacznie lepiej wartość roku zwrotnikowego, niż jego poprzednik - kalendarz juliański (p. *Mietelski, 1983*). Np. dzięki dodatkowej (w stosunku do juliańskich) regule, postulującej, by spośród lat „setkowych" przestępnym były tylko te, których liczba setek jest podzielna przez 4, wprowadzał liczący 400 lat cykl kalendarzowy. W cyklu tym jest tylko 97 (wobec 100 w kalendarzu juliańskim) lat przestępnych. Zatem średni rok kalendarza gregoriańskiego, wynoszący 365 i 97/400 (czyli 365.2425) dób, jest o zaledwie 0.0003 doby dłuższy od zaokrąglonej wartości roku zwrotnikowego (365.2422 dób). Stąd pochodzi (pozornie słuszny) wniosek, że kalendarz ten rozbiegnie się z przyrodą o 1 dobę po upływie ponad 3300 lat.

Za próbę „przelicytowania" dokładności tego kalendarza można uważać kalendarz neojuliański (inaczej nowy wschodni), przyjęty w 1923 r. przez niektóre patriarchaty i autokefalie Kościoła Prawosławnego. Jego reguły proponują, by spośród lat „setkowych" uznawać za przestępne tylko te, których numer po podzieleniu przez 900 daje resztę 200 lub 600. Otrzymuje się w ten sposób cykl 900-letni, w którym 2 razy rok „setkowy" jest rokiem przestępnym (ulepszenie polega więc na tym, że ewenement tego rodzaju zdarza się średnio raz na 450 lat, a więc nieco rzadziej, niż w kalendarzu gregoriańskim, gdzie przypada raz na 400 lat). W systemie kalendarza neojuliańskiego wypada zatem 218 (= 225 - 9 + 2) lat przestępnych w cyklu 900-letnim, co daje dla ułamkowej końcówki wartości średniego roku kalendarzowego: 0.2422_{22}...dnia i prowadzi do (znów pozornego) wniosku, iż uzyskano tu rewelacyjnie dobre przybliżenie roku zwrotnikowego, dające jednodobową rozbieżność z przyrodą po upływie aż 45 tysięcy lat! Wnioski tego rodzaju wynikają jednak z przyjęcia zbyt prostego modelu rzeczywistości, który oznaczymy, jako wstępny, symbolem *a* .

2. Wpływ przyspieszenia ruchu precesyjnego osi ziemskiej.

W modelu dokładniejszym (*b*) należy uwzględnić wiekowe przyspieszenie precesji; korzystamy tu z podanego swego czasu przez Simona Newcomba (1895) wyrażenia na średnią długość Słońca:

$$L = 279°41' 48''.04 + 129602768''.13\ T + 1''.089\ T^2 ,$$

skąd wynika długość roku zwrotnikowego:

$$365.^d24219879 - 0.^d00000614\ T. \qquad (1)$$

Nie możemy oczywiście wnioskować na podstawie (1), że skraca się okres obiegu Ziemi, gdyż rok gwiazdowy, określony tamże przez: $365.^d25636042 + 0.^d00000011\ T$, nawet lekko wydłuża się. Sprawę wyjaśnia do reszty to, że „stała" precesji: $p = 5025''.64 + 2''.22\ T$, nie jest stała, lecz rośnie.

We wszystkich cytowanych tu wzorach Newcomba czas T jest odliczany w stuleciach juliańskich (po 36525 dób każde) od epoki, **0.5 stycznia 1900 = JD 2415020.0.**

Dzisiaj roczniki astronomiczne, posługując się systemem stałych IAU 1976, stosują dla średniej długości Słońca wyrażenie:

$$L = 1009677''.850 + (100^r + 2771''.270)\ T + 1''.089\ T^2,$$

z którego wynika, że

$$\text{rok zwrotnikowy} = 365^d.24218993 - 0^d.00000614\ T. \qquad (2)$$

Wyraźniejszej modyfikacji uległa formuła stałej precesji; np. współczynniki wielomianu 3. stopnia, stosowanego dla obliczenia łącznej wartości precesji przy przejściu odstępu czasu t pomiędzy dwiema epokami, wynoszą:

przy pierwszej potędze t: $5029''.0966 + 2''.22226\ T - 0.000042\ T^2$;
przy drugiej: $1''111.61 - 0.000127\ T$;
przy trzeciej: $- 0.000113$.

We wszystkich powyższych formułach czas T liczy się w stuleciach juliańskich od epoki wyjściowej: **J2000.0 = 1.5 stycznia 2000 = JD 2451545.0.** (p. *USNO Circ. N 163, 1981*).

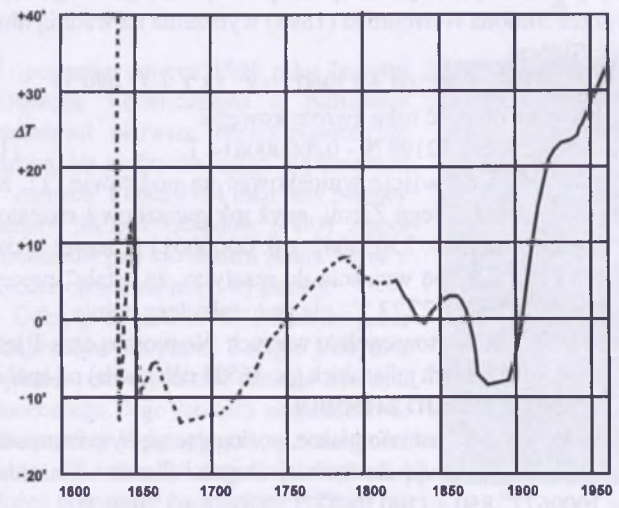
Dla bezpośredniego porównania dzisiejszej formuły (2) z wzorem Newcomba (1) zredukujmy ją na epokę 1900.0, co daje:

$$\text{rok zwrotnikowy} = 365.^d24219607 - 0.^d00000614\ T. \qquad (3)$$

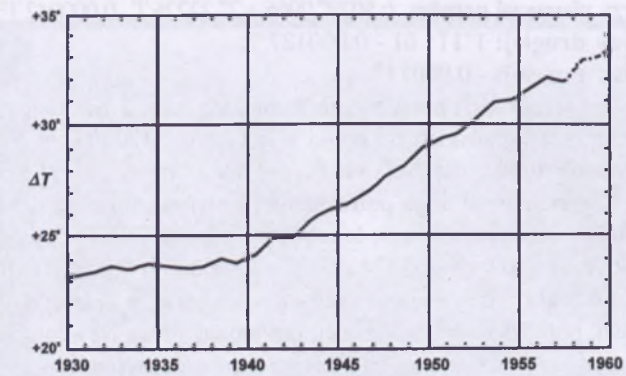
Formuła (3), którą będziemy się posługiwać w dalszej dyskusji, potwierdza w zupełności, otrzymaną przez Newcomba, wartość efektu wiekowego skracania się roku zwrotnikowego o $0^s.53$ na stulecie (spowodowanego wiekowym przyspieszeniem precesji); natomiast daje się zauważyć, że na jej podstawie, rok zwrotnikowy w epoce 1900.0 był krótszy od

newcombowskiego o prawie ćwierć sekundy ($0^s.235$). Podobna redukcja współczesnego wyrażenia dla roku gwiazdowego: $365^d.25636331 + 0.^d00000012$ T, prowadzi do wniosku, że rok ten jest dłuższy od newcombowskiego odpowiednika o $0^s.239$.

Istnieją już dziś wprawdzie dokładniejsze formuły teoretyczne, określające średnią długość Słońca, odniesioną do daty równonocy; wśród nich warto wymienić - cytowaną przez francuski rocznik *Connaissance des Temps* (1990) - zależność wynikającą z analizy wiekowych zmian orbit planetarnych (*Bretagnon, 1982*). Z formuły tej otrzymać można dokładniejszy wzór na długość roku zwrotnikowego, co uczynił Borkowski (1991), konfrontując ponadto czasowy przedział stosowalności tych formuł z rozwinięciami jeszcze dokładniejszymi (*Laskar 1986*). Efekty o które tam chodzi są oczywiście o wiele subtelniejszej natury, niż rozpatrywane w tym artykule czynniki wpływające na długość doby, choć i tamte przyczynią się zapewne w jakimś stopniu (ale raczej w bardziej odległej przyszłości) do dodatkowej modyfikacji spodziewanych rozbieżności między skalami kalendarzowymi a naturalną skalą lat zwrotnikowych. (Dla zobrazowania wartości, o które chodzi w tamtych pracach, zaznaczmy, że rok



Rys. 1. Przebieg różnicy Δ = ET - UT w latach 1635 -1960, gdzie ET jest czasem efemeryd (p. *Borkowski 1992, 1994, 1995*). Brouwer (1952) otrzymał wyniki dla przedziału 1621 - 1948.5. Później przejęło tę tematykę U.S. Naval Observatory (p. Explanatory Supplement 1961, 91).



Rys.2. Powiększenie końcowego fragmentu wykresu z Rys. 1.

zwrotnikowy w epoce J2000 jest u Borkowskiego krótszy, niż określony przez (2), o zaledwie $0^s.0225$, a współczynnik wiekowego skracania się tegoż roku jest bezwzględnie większy o 0.00189 (na sto lat); pojawił się też, wspomagający w przyszłości ów efekt, wyraz kwadratowy o współczynniku $0^s.0000556$).

3. Efekt przypływowego wydłużania się doby.

Obracająca się Ziemia nie jest wzorowym zegarem, gdyż zmienia swą prędkość kątową; dominuje jednak efekt hamowania. Zauważono to w astronomii już w XIX w., a w połowie XX w. podjęto próby określenia, jak dalece odbiegają wskazania tego zegara od wskazań zegara idealnego (*Brouwer 1952*). Wyniki ukazują **Rys. 1 i 2**.

Natomiast dobę występującą we wzorach (1), (2) i (3) uważa się za stałą jednostkę czasu, jako dobę czasu dynamicznego (p. *Borkowski 1992, 1994, 1995*). Wspomniane formuły ilustrują zatem fakt, że liczba dób niezmiennych, mieszczących się w roku zwrotnikowym, maleje z biegiem czasu. W rzeczywistości jednak wyrażamy owe większe interwały czasu poprzez wielokrotności doby słonecznej, która wydłuża się ustawicznie dzięki permanentnemu działaniu momentów sił przypływowych ze strony Księżyca i Słońca.

Z rozważań teoretycznych wynika, że czynnik ten powinien powodować wzrost długości doby średnio o 2.4 milisekundy ($0^s.0024$) na stulecie. Należy tu podkreślić, że analiza momentów dawnych obserwacji zaćmień (*Stephenson 1982, Stephenson and Morrison 1984, Morrison 1985*) potwierdziła, iż w dalekiej przeszłości, w przybliżeniu aż do roku 900 n.e., efekt rzeczywisty odpowiadał oczekiwanemu teoretycznie. Natomiast w ciągu ostatniego tysiąca lat jest mniejszy i wynosi ok. 1.4 milisekundy ($0^s.0014$) na stulecie (p. **Rys. 3 i 4**). To osłabienie wydajności hamowania przypływowego wyjaśnia się przyjmując pewną polodowcową relaksację rozkładu mas w skorupie ziemskiej, zmniejszającą nieco moment bezwładności globu. Nie wnikając szczegółowo w istotę tego zjawiska przyjmijmy do wiadomości owe dwie wartości wydłużania się doby, stwierdzone już obserwacyjnie w dziejach.

W teoretycznym ujęciu mechanicznym efekty powodowane przez hamowanie przypływowe i przez wiekowe przyspieszenie precesji są addytywne i nie komplikują formalnie postaci formuł (1), (2) i (3); otrzymuje się jedynie inne wartości liczbowe współczynnika wyrazu wiekowego. Procedura ta prowadzi do skonstruowania dwóch łącznych wyrażeń („modeli") roku zwrotnikowego: *c* i *d*, bardziej realistycznych, niż wyidealizowane przypadki wstępne: *a* i *b*.

W modelach *c* i *d* przyjmuje się, obok przyspieszenia precesji (z modelu *b*) także: bądź umiarkowane (1.4 ms/stulecie) wydłużanie się doby, obserwowane w ciągu ostatniego tysiąca lat (model *c*), bądź większe (2.4 ms/stulecie), przewidywane teoretycznie (model *d*).

4. Łączne ujęcie wydłużania się doby i przyspieszenia precesji.

Formułę (3), wyrażoną w dobach niezmiennych D_0, należy wyrazić w dobach wydłużających się np. liniowo (tzn. w stałych, mnożonych przez czynnik $(1 + \delta T)$), co zmodyfikuje odpowiednie współczynniki liczbowe:

$$R_oD_o - \Delta D_oT \longrightarrow R'D_o(1 + \delta T) - \Delta' D_o (1 + \delta T)T. \quad (4)$$

Z formuły (4) wynika, że zarówno rok zwrotnikowy R', wyrażony w dobach wydłużających się, jak i nowy wyraz wiekowy Δ' pozostają do swych poprzednich odpowiedników (R_o, Δ) w tym samym stosunku:

$$R'/R_o = \Delta'/\Delta = 1/(1+\delta T) = 1 - \delta T + \delta^2 T^2 - \delta^3 T^3 + \ldots \quad ,(5)$$

gdzie δ przyjmuje wartość odpowiednio:

1.62×10^{-8} (dla 1.4 ms/stulecie), bądź

2.78×10^{-8} (dla 2.4 ms/stulecie).

Szereg po prawej stronie (5) daje:

dla $\delta = 1.62 \times 10^{-8}$:

$R' = 365^d.24219607 - 0^d.00000592\ T + 9^d.59 \times 10^{-14}\ T^2 - 1^d.55 \times 10^{-21}\ T^3$;

$\Delta' = -0^d.00000614\ T + 9^d.95 \times 10^{-14}\ T^2 - 1^d.61 \times 10^{-21}\ T^3$;

natomiast dla $\delta = 2.78 \times 10^{-8}$:

$R' = 365^d.24219607 - 0^d.00001015\ T + 2^d.82 \times 10^{-13}\ T^2 - 7^d.85 \times 10^{-21}\ T^3$;

$\Delta' = -0.^d 00000614\ T + 1^d.71 \times 10^{-13}\ T^2 - 4.^d 75 \times 10^{-21}\ T^3$.

Widać stąd, że wyrazy kwadratowe stałyby się zaledwie dostrzegalne, dając jednostkę na 8 miejscu po przecinku, dopiero po - odpowiednio - 230, bądź 150 stuleciach, co dobrze koresponduje z granicą sensownego posługiwania się formułą (3).

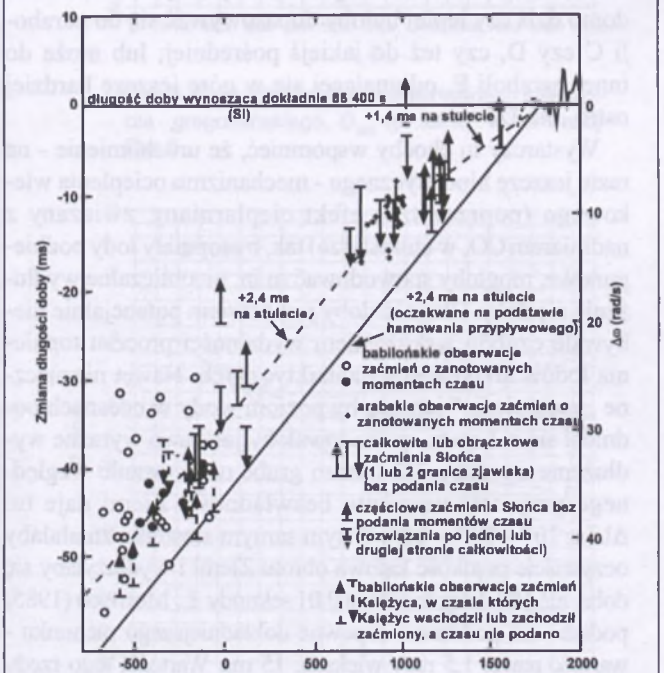
Otrzymujemy zatem (przy adaptacji konkretnie zastosowanej formuły (3)) następujące wyrażenia, ujmujące łącznie efekty wiekowe, zarówno przyspieszenia precesji, jak i wydłużania się doby:

rok zwrotnikowy = $365^d.24219607 - 0^d.00001206\ T$ (6)

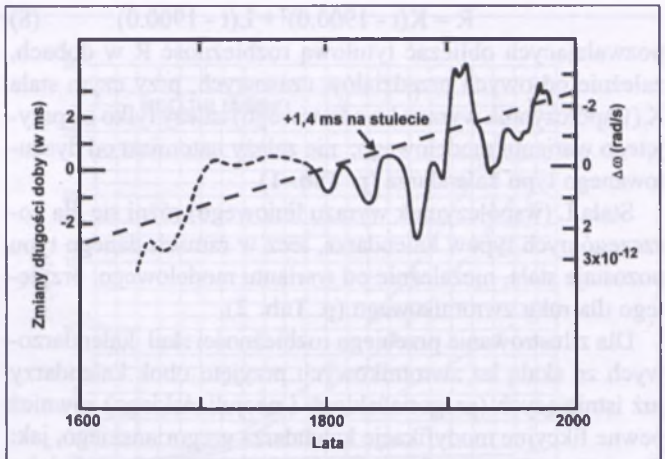
(dla wiekowego wydłużania się doby o 1.4 ms/stulecie, którego udział w drugim członie (6) wynosi: $-0^d.00000592\ T$), oraz

rok zwrotnikowy = $365^d.24219607 - 0^d.00001629\ T$ (7)

(dla wiekowego wydłużania się doby o 2.4 ms/stulecie, którego udział w drugim członie (7) wynosi: $-0^d.00001015\ T$).



Rys. 3. Momenty zaćmień, zanotowane w kronikach babilońskich, chińskich i arabskich, informują o długości doby w przeszłości (p. *Morrison 1985, Stephenson and Morrison 1984*).



Rys.4. Powiększenie końcowego fragmentu wykresu z Rys.3; uwidoczniono wiekowy trend na tle cyklicznych zmian długości doby (p. *Morrison 1985*).

W formułach (6) i (7) T jest wyrażone w stuleciach julianskich, liczonych od 1900.0, co wiąże się z tym, że efekty kumulacyjne opóźnienia się Ziemi w jej ruchu obrotowym są praktycznie naliczane od tamtej epoki, a jednostki czasu jednostajnie upływającego (skali dynamicznej, ale także atomowej) powstały dzięki swego rodzaju „zamrożeniu" ówczesnych jednostek średniego czasu słonecznego. Najwygodniej jest zatem rozpatrywać łączny wpływ obydwu, branych tu pod uwagę, efektów wiekowych od tego właśnie momentu. Można zatem przyjąć, że formuły (6) i (7) oddają długość roku zwrotnikowego w dobach wydłużających się liniowo; uwzględniają przy tym także wiekowe przyspieszenie precesji i mogą być stosowane, podobnie jak formuła (3), w przedziale czasowym do około 20 000 lat w przyszłość, bądź w przeszłość. Formuły te nadają się więc do bezpośredniego analizowania ścisłości reguł kalendarzowych, gdyż te wyrażają rok, zarówno konkretny, jak i uśredniony, w dobach rzeczywistych, czyli wydłużających się.

5. Rozbieżność skal lat kalendarzowych i zwrotnikowych.

Konfrontację efektu kumulacji różnic rytmów naturalnych i umownych można przeprowadzać posługując się wyrażeniami mniej lub bardziej uproszczonymi; przyjmując np. na wartość roku zwrotnikowego jedynie pierwszy (stały) wyraz wzoru (3). Przy takich założeniach konstruowano dotychczas reguły kalendarzowe. Tego rodzaju wstępną dyskusję oznaczymy symbolem *a*, utrzymując zgodność z symboliką „modelową", przyjętą poprzednio.

Pełna, uwzględniająca wiekowe przyspieszenie precesji, formuła (3) (a dawniej (1)) prezentuje model lepiej przystający do rzeczywistości, choć jeszcze idealizowany przez zastosowanie doby niezmiennej. Dyskusję z nim związaną oznaczmy symbolem *b*.

Formuły (6) i (7) stanowią modele najlepiej nawiązujące do rzeczywistości, zatem ich zastosowanie prowadzi do wniosków bardziej miarodajnych, ujętych odpowiednio w wariantach *c* i *d* zależnie od przyjętego tempa wydłużania się doby.

Zastosowanie wspomnianych tu formuł do obliczania interwałów czasu, określanych skądinąd regułami odpowiednich kalendarzy, prowadzi do związków postaci:

$$R = K(t - 1900.0)^2 + L(t - 1900.0) \quad (8)$$

pozwalających obliczać tytułową rozbieżność R w dobach, zależnie od owych przedziałów czasowych, przy czym stała K (współczynnik wyrazu kwadratowego) zależy tylko od przyjętego wariantu modelowego; nie zależy natomiast od dyskutowanego typu kalendarza (p. **Tab. 1**).

Stała L (współczynnik wyrazu liniowego) różni się dla poszczególnych typów kalendarza, lecz w ramach danego typu pozostaje stała, niezależnie od wariantu modelowego, przyjętego dla roku zwrotnikowego (p. **Tab. 2**).

Dla zilustrowania przebiegu rozbieżności skal kalendarzowych ze skalą lat zwrotnikowych przyjęto obok kalendarzy już istniejących (gregoriańskiego i neojuliańskiego) również pewne fikcyjne modyfikacje kalendarza gregoriańskiego, jak: G_{500}, G_{600}, G_{1000} i G_{LSZ}, w których lata „setkowe" byłyby przestępnymi nie raz na 400 lat (jak w kalendarzu gregoriańskim), lecz raz na: 500, 600, 1000 lat, albo mielibyśmy w ogóle wszystkie lata „setkowe" zwykłe (LSZ).

Odwrócenie zależności w celu otrzymania momentu czasu *t* (w latach), odpowiadającego postulowanej wartości rozbieżności R (w dobach) prowadzi ogólnie do związków typu:

$$t_{(A.D.)} = A + B(1 + CR)^{0.5}, \quad (9)$$

gdzie A, B, C są stałymi, które dla kolejnych wariantów przybliżeniowych roku zwrotnikowego dają w przypadku np.kalendarza gregoriańskiego następujące adaptacje (9):

b) $t_{(A.D.)} = -3050.0 + 4950.0\ (1 + 1.3293864\ R)^{0.5}$

c) $t_{(A.D.)} = -620.149254 + 2520.149254\ (1 + 2.61114\ R)^{0.5}$

d) $t_{(A.D.)} = +34.254 + 1865.746\ (1 + 3.52699\ R)^{0.5}$

przy czym dla wariantu *a)* wyrażenie redukuje się do postaci:

$$t_{(A.D.)} = 1900.0 + 3290\ R.,$$

Podobne formuły, uzyskane z rozwiązań równań kwadratowych typu (8), otrzymujemy dla kalendarza neojuliańskiego i różnych, występujących w Tabeli 2. przykładowych „udoskonaleń" kalendarza gregoriańskiego. Ostateczny przebieg narastania rozbieżności skal przy zastosowaniu różnych wariantów modelowych roku zwrotnikowego wobec różnych kalendarzy ilustrują **Rys. 5 - 10**, z których łatwo można odczytać następujące wnioski.

6. Wnioski.

1. Najbardziej bliskie prawdy, przyszłe wartości rozbieżności kalendarzowych, są przedstawione na każdym z 6 diagramów **(Rys. 5 - 10)** przez parabole C i D; proste A i parabole B mają jedynie orientacyjne znaczenie, odpowiadają bowiem zbyt uproszczonym modelom roku zwrotnikowego.
2. Staranie się (poprzez formułowanie wyrafinowanych reguł) o uzyskanie wyjątkowo udanego zbliżenia średniej wartości roku kalendarzowego do aktualnej wartości roku zwrotnikowego jest bez wątpienia godne pochwały, lecz autor kalendarza powinien umieć pogodzić się ze stosunkowo szybkim niweczeniem swych wysiłków przez łączny wpływ wiekowego przyspieszenia precesji i przypływowego wydłużania się doby, widoczny w przebiegu parabol C i D - na wszystkich rysunkach.
3. Nawet rozmyślne nawiązywanie nie do obecnych, lecz do przyszłych wartości roku zwrotnikowego (p. kalendarze: G_{500}, G_{600}, G_{1000}, G_{LSZ}) nie tylko nie chroni takiego „dzieła" przed nieubłaganym efektem „parabolicznym" w dalszej przyszłości, lecz psuje jego dopasowanie do naturalnego rytmu lat zwrotnikowych natychmiast i na najbliższe tysiąclecia; pojawiają się wtedy na wykresach rozbieżności ujemne.
4. Nasuwa się wprawdzie pomysł rozwiązania w postaci „dynamicznych" reguł kalendarza, które dawałyby z jednej strony bardzo staranne zbliżenie średniego roku kalendarzowego do aktualnego (lub mającego wnet stać się aktualnym) roku zwrotnikowego, a z drugiej strony przewidywałyby przyspieszane (w ciągu wieków) „gubienie" lat przestępnych, przez ich zamianę na zwykłe - tak, aby kalendarz mógł dotrzymać kroku „kurczącemu się" rokowi zwrotnikowemu. Problem jednak leży w tym, że nie wiadomo dziś czy lepiej byłoby dopasowywać się do paraboli C czy D, czy też do jakiejś pośredniej; lub może do innej paraboli E, odginającej się w górę jeszcze bardziej ostro, niż D?

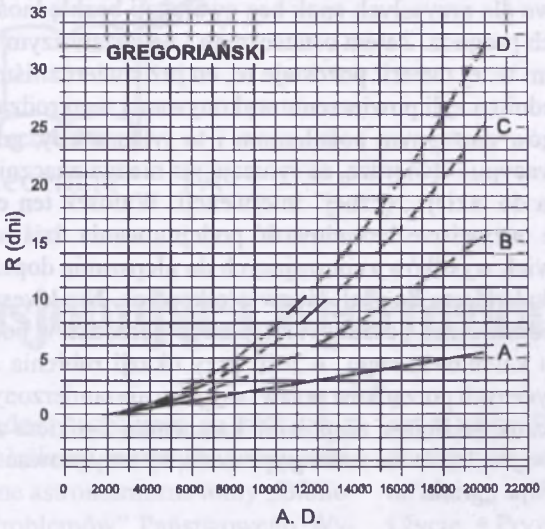
Wystarczy tu choćby wspomnieć, że uruchomienie - na razie jeszcze hipotetycznego - mechanizmu ocieplenia wiekowego (poprzez tzw. efekt cieplarniany, związany z nadmiarem CO_2 w atmosferze) tak, by topniały lody podbiegunowe, mogłoby spowodować m.in. nieobliczalne wydłużenie się doby. Długość doby jest bowiem potencjalnie niebywale czułym wskaźnikiem wydajności procesu topnienia lodów arktycznych i antarktycznych. Nawet nieznaczne „nadtopienie" ich tak, by poziom wody w oceanach podniósł się o 1 metr, spowodowałoby jaskrawo wyraźne wydłużenie się doby. Już bardzo grube oszacowanie względnego przyrostu momentu bezwładności Ziemi daje tu: $\Delta I/I \cong 10^{31} / 10^{38} = 10^{-7}$. W tym samym stosunku zmalałaby oczywiście prędkość kątowa obrotu Ziemi i wydłużyłaby się doba; ale 10^{-7} doby, to prawie 0.01 sekundy. L. Morrison (1985) podaje - na podstawie zapewne dokładniejszego rachunku - wartość nawet 1,5 razy większą: 15 ms. Wartości tego rzędu są olbrzymie, zarówno wobec efektów przypływowych, o których tu już mówiliśmy, jak i wobec współczesnych możliwości dokładnego pomiaru czasu. Byłyby zatem bardzo łatwo wykrywalne. (Nb. brak tego rodzaju fenomenu

Tab. 1. Wartości stałej K, w zależności od wariantu modelowego

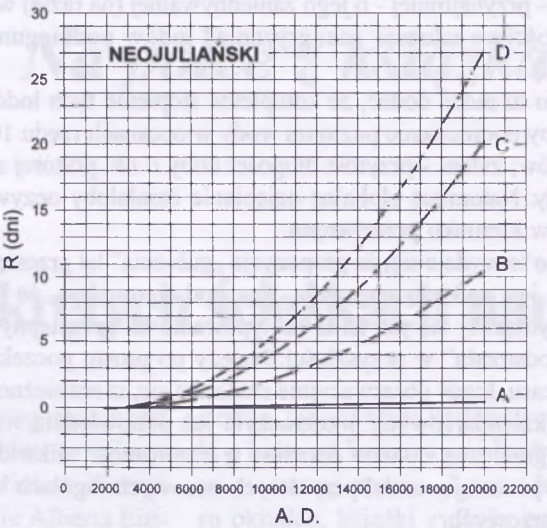
wariant	K
a	0
b	3.07×10^{-8}
c	6.03×10^{-8}
d	8.145×10^{-8}

Tab. 2. Wartości stałej L dla poszczególnych kalendarzy

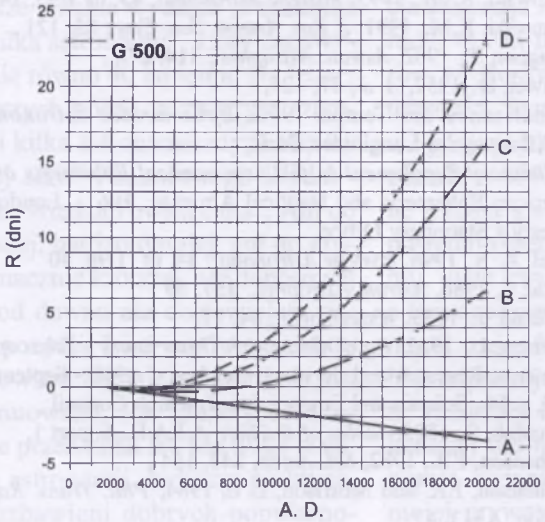
Kalendarz	L
gregoriański	0.00030393
neojuliański	0.000026152
G_{500}	−0.00019607
G_{600}	−0.00052940
G_{1000}	−0.00119607
G_{LSZ}	−0.00219607



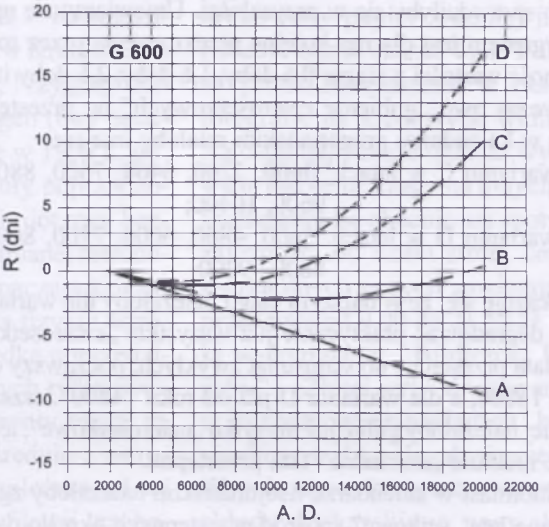
Rys. 5. Rozbieżność R kalendarza gregoriańskiego ze skalą lat zwrotnikowych. Linie A, B, C, D odpowiadają modelom przybliżonym: *a, b, c, d* roku zwrotnikowego (p. tekst artykułu).



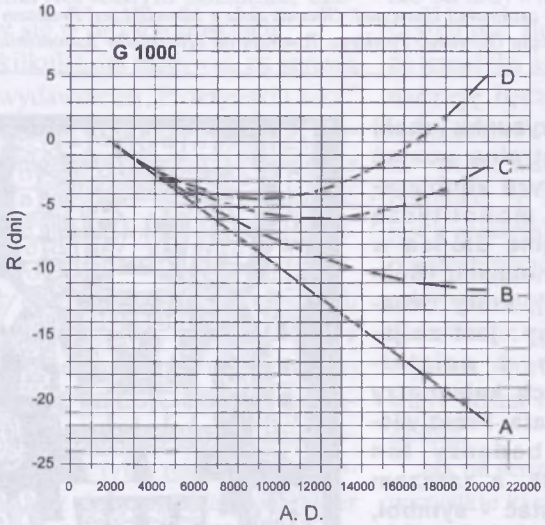
Rys. 6. Rozbieżność R kalendarza neojuliańskiego w konwencji Rys. 5.



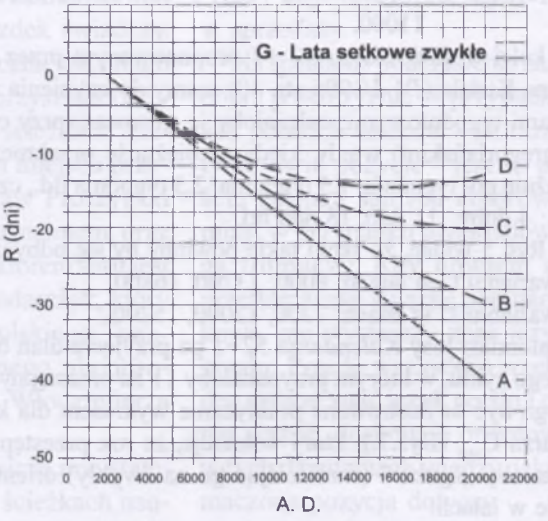
Rys.7. Rozbieżności R zmodyfikowanego kalendarza gregoriańskiego, G_{500} (p. tekst), w konwencji Rys.5.



Rys.8. Rozbieżności R zmodyfikowanego kalendarza gregoriańskiego, G_{600} (p. tekst), w konwencji Rys.5.



Rys.9. Rozbieżności R zmodyfikowanego kalendarza gregoriańskiego, G_{1000} (p.tekst), w konwencji Rys.5.



Rys. 10. Rozbieżności R zmodyfikowanego kalendarza gregoriańskiego G_{LSZ} (p. tekst), w konwencji Rys. 5.

świadczy albo o nieistnieniu efektu globalnego ocieplenia, albo - przynajmniej - o jego zaniedbywalnej (na razie) wydajności w zakresie „nadgryzania" lodów podbiegunowych).

Warto tu może dodać, że kompletne stopienie tych lodów dałoby podniesienie poziomu wody w oceanach rzędu 100 metrów; zatem - przyrost długości doby o ok. półtorej sekundy. Natomiast globalne oziębianie działałoby oczywiście w kierunku przeciwnym.

Mimo to wydaje się, że propozycja „gubienia" lat przestępnych jest całkiem sensowna, lecz pod warunkiem, że nie zdecydujemy się już teraz na typowanie lat przestępnych „do odstrzału" w przyszłości. Należy po prostu poczekać do czasu, kiedy obserwacyjnie stwierdzi się, iż rozbieżność skal kalendarzowych przekroczyła już odpowiednią wartość graniczną i wtedy doraźnie tę rozbieżność zlikwidować, pozostając nadal przy dotychczasowych regułach kalendarzowych.

5. Wniosek powyższy nie przeszkadza nam w odczytaniu z **Rys. 5, 6 i 7** przepisów na przyszłościowy „odstrzał" lat przestępnych w założeniu, że modele *c* i *d* roku zwrotnikowego sprawdziłyby się w przyszłości. Umawiamy się np., że sygnałem jest dla nas kolejne przekroczenie przez rozbieżność wartości z ciągu: 0,6 doby, 1,6 doby, 2,6 doby itd. Wówczas owo „gubienie czterosetkowych" lat przestępnych w kalendarzu gregoriańskim miałoby miejsce:

dla wariantu C w latach: 3600, 5200, 6400, 7600, 8800, 9600, 10400;

dla wariantu D w latach: 3600, 4800, 6000, 7200, 8000, 8800, 9200;

Okazuje się, że w dalszym ciągu należałoby dla wariantu C degradować praktycznie już wszystkie „czterosetkowe" lata przestępne do statusu lat zwykłych, począwszy od roku 16800, a dla wariantu D już od roku 14800. Jeszcze później należałoby gubić już nie tylko „czterosetkowe", lecz także niektóre „normalne" lata przestępne.

Natomiast w kalendarzu neojuliańskim należałoby zgubić inne lata „setkowe" spośród przestępnych określonych jego regułami:

dla wariantu C: 5100, 6900, 8300, 9600, 10500, 11400, 12300;

dla wariantu D: 4700, 6500, 7400, 8700, 9200, 10100, 11000.

Z kolei w *Kalendarzu 52 +1* proponowanym przez p. Adama Kisiela (*PA 1*/1996 str. 40) mamy do czynienia ze skokami tygodniowymi; należałoby je stosować (przy cyklu gregoriańskim) wtedy, kiedy rozbieżność przekroczy wyraźnie pół tygodnia, 1,5 tygodnia, 2,5 tygodnia itd., czyli np.: 4 doby, 11 dób, 18 dób itd.

Z Rys. 5 widać, że skoki takie powinny by się odbyć:

dla wariantu C w latach: 8000, 13200, 16800;

dla wariantu D w latach: 7200, 12000, 15200;

Natomiast losy *Kalendarza 52+1* po przyjęciu dlań 62-letniego cyklu, w którym przypadałoby 11 lat przestępnych - mogą być tu ilustrowane praktycznie wykresem dla kalendarza G_{500} **(Rys.7.)**, który wskazuje, że rok przestępny należałoby „zgubić" (zamieniając go na zwykły) orientacyjnie w latach:

dla wariantu C: 12000, 17200, 20800;

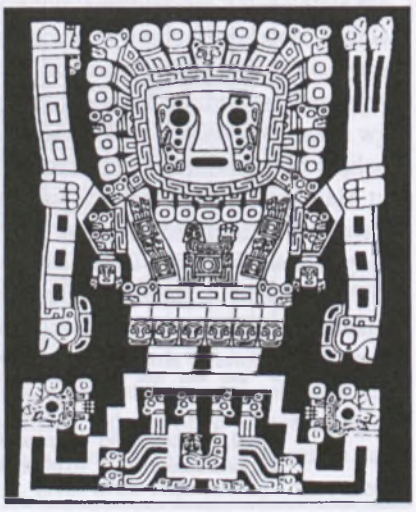
dla wariantu D: 10200, 14800, 18000.

Nie mamy jednak prawa, by programować reguły kalendarzowe dla przyszłych epok bez gwarancji bezbłędności naszych prognoz. Zatem ostatecznym i najuczciwszym wnioskiem w tej materii pozostaje to, co już stwierdziliśmy poprzednio, czyli powierzenie wykonywania tego rodzaju zabiegów następnym pokoleniom i to tylko wtedy, gdy obserwacyjnie stwierdzą, że sytuacja już niedwuznacznie dojrzała do takiej „ręcznej" interwencji. Wniosek ten eksponuje oczywiście bezcelowość podejmowania dziś jakichkolwiek wysiłków zmierzających do ulepszania dopasowania kalendarza do skali lat zwrotnikowych. Nie kwestionuje jednak sensu poszukiwań lepszego porządku w podziale roku kalendarzowego. A jeśli przy okazji robienia systematycznych porządków pojawi się, jako niezamierzony twór uboczny, ściślejsze zespolenie kalendarza z rokiem zwrotnikowym, to nie ma żadnego powodu, by rezygnować z tego rodzaju „gratki".

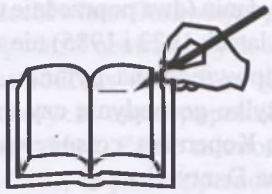
Literatura:

Borkowski, K. M., 1992, *Postępy Astronomii*, **40**, nr 2/92, 62,
Borkowski, K. M., 1994, *Postępy Astronomii*, **42**, nr 1/94, 14,
Borkowski, K. M., 1995, *Postępy Astronomii*, **43**, nr 1/95, 14,
Borkowski, K.M., 1991, *J. Roy. Astron. Soc. Can.*, **85**, 121 ,
Bretagnon, P., 1982, *Astron. Astrophys.*, **114**, 278 ,
Brouwer, D., 1952, *A. J.*, 57, 125,
Connaissance des Temps, 1990, *Ephemerides astronomiques 1991*,Bureau des Longitudes, Paris,
Explanatory Supplement to the Astronomical Ephemeris and the, American Ephemeris and Nautical Almanac, 1961, London, Her Majesty's Stationery Office.
Kisiel, A. S., 1996, *Postępy Astronomii*, 44, nr 1/96, 40
Laskar, J., 1986, *Astron. Astrophys.*, **157**, 59 ,
Mietelski, J., 1983, *Wszechświat*, **84**, 77,
Morrison, L., 1985, *Royal Greenwich Observatory - Telescopes*, Instruments, Research and Services, October 1 1980 - September 30 1985, p.44 , Science and Engineering Research Council ,
Newcomb, S., 1895, *Tables of the Sun*, A.P.A.E., 6, part 1,
Stephenson, F.R., 1982, *Sci. Amer.*, **247**, 154 ,
Stephenson, F.R. and Morrison, L.V., 1984, *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, A313, 47,
U. S. N. O. Circ. N. 163, 1981.

Dr Jan Mietelski jest astronomem krakowskim, specjalizującym się w astronomii klasycznej. Obecnie doktor Mietelski jest Prezesem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii.



Na rysunku (obok) centralna postać z fryzu zdobiącego monolityczą Bramę Słońca w Tiahuanaco (Boliwia), który uznawany jest za jeden z najstarszych kalendarzy świata. Przez wielu badaczy ten znak, a zarazem postać - symbol, utożsamiany jest z Wirakoczą - Twórcą Świata.



Recenzje PA

Na półce z książkami

Pasjonująca wędrówka po krętych ścieżkach nauki

Błądząc wzrokiem po półkach z książkami, z łatwością rozpoznaję liczne astronomiczne tomy „Biblioteki Problemów" Państwowego Wydawnictwa Naukowego. Z rozrzewnieniem spoglądam na mocno „zaczytany" tom pierwszy - toż to przecież pierwsze polskie wydanie „Poradnika miłośnika astronomii", który zachwycił mnie równo 40 lat temu. Na jednej z wyższych półek, w zwartym szeregu stoi kilka astronomicznych tomów „Złotej serii" Państwowego Wydawnictwa „Wiedza Powszechna". Ani do pierwszej, bardzo długiej, ani do drugiej, znacznie krótszej, ale doborowej serii, od dawna nie dostawiałem nowych pozycji. I już nigdy nie dostawię, bowiem żadna z tych serii nie jest kontynuowana. Ich zanik spowodował, że przez kilka lat, nie tylko w zakresie astronomii, byliśmy praktycznie pozbawieni dobrych popularnonaukowych książek. Właśnie książek, bo kolorowe popularnonaukowe komiksy, o różnym, częstokroć bardzo niskim merytorycznym poziomie, ukazywały się w dużych ilościach.

Po kilkuletniej przerwie, za sprawą firmy wydawniczej „Prószyński i S-ka" znowu mogę kompletować dobre popularnonaukowe książki. W reklamie serii „Na ścieżkach nauki" przeczytać można: „książki o największych odkryciach astronomii, biologii czy fizyki oraz opowieści o najsłynniejszych uczonych, mogą być równie ciekawe jak najlepsze powieści sensacyjne". Po przeczytaniu książek, jakie się już ukazały, stwierdzić mogę, że zdanie powyższe jest nie tylko reklamowym sloganem, lecz dobrze oddaje charakter wydanych dotąd pozycji. Serię zaczęto wydawać w 1995 r. i obecnie, to znaczy w maju 1996 r. w księgarniach jest dostępnych już 13 tytułów: *** Czarne dziury i Wszechświat, * Ziemia i życie, * Prywatne życie Alberta Einsteina, *** Czy jest tam kto ?, Podwójna helisa, ** Hiperprzestrzeń, Przez dziurkę od klucza, *** Prywatne życie Mikołaja Kopernika, * Kres ewolucji, ** Pan Tompkins w Krainie Czarów, ** Boska cząstka, Przygody matematyka, Samolubny gen (trzy ostatnie pozycje ukazały się w 1996 r., pozostałe w 1995 r.). Tytuły poprzedzone trzema gwiazdkami, dotyczą bezpośrednio szeroko rozumianej astronomii, dwie gwiazdki oznaczają książki o tematyce z pogranicza fizyki i astronomii, zaś jedną gwiazdką poprzedziłem te pozycje, w których tylko pewne rozdziały lub fragmenty tekstu są bardziej lub mniej pośrednio z astronomią związane. Niezależnie od tej mojej prywatnej klasyfikacji, zachęcam do sięgnięcia po wszystkie pozycje. Wszystkie są bowiem bardzo ciekawe i warte przeczytania. Niezależnie od indywidualnych zainteresowań czytelnika. Ilość gwiazdek świadczy, że tematyka astronomiczna jest i mam nadzieję, będzie też w przyszłości często prezentowana „Na ścieżkach nauki". Może warto w tym miejscu przypomnieć, że Mieczysław Prószyński jest z wykształcenia astronomem, oraz poinformować, że redaktorem serii jest astronom Jarosław Włodarczyk, który na ostatnim zjeździe Polskiego Towarzystwa Astronomicznego uhonorowany został medalem Włodzimierza Zonna.

Jak na serię wydawniczą przystało, wszystkie książki „Na ścieżkach nauki" mają jednakowy format (142 x 202 mm) i jednakową szatę graficzną - czarne, lakierowane kartonowe okładki z ładnymi kolorowymi ilustracjami na pierwszej stronie. Z powodu koloru okładek, książki zyskały już przydomek „czarnej serii" ale w dobrym tego słowa znaczeniu. Pomiędzy okładkami znajdujemy starannie zadrukowany papier średniej jakości. Niezbyt liczne czarno-białe ilustracje, to rysunki umieszczane w tekście lub fotografie na kredowych wkładkach. Na ostatniej stronie okładki wydrukowana jest cena, czego na innych książkach raczej się obecnie nie spotyka. W zależności od ilości stron, ceny poszczególnych pozycji zawierają się w przedziale od 9.00 do 21.50 zł. Książki wspomnianej „Biblioteki Problemów" i „Złotej serii" drukowane były w jednorazowych nakładach i bardziej chodliwe szybko ulegały wyczerpaniu. Współczesna, komputerowa technika składu drukarskiego pozwala tego uniknąć. Wydawca obiecuje, że poszczególne tytuły „Na ścieżkach nauki" będą na bieżąco dodrukowywane - tak, aby wszystkie były zawsze w sprzedaży.

Na specjalne podkreślenie zasługuje dobra polszczyzna. W przypadku książek polskich autorów - na razie są to tylko dwie pozycje - jest to oczywiście zasługą samych autorów, natomiast w przypadku przekładów zasługą tłumaczy. Aby bowiem dobrze przetłumaczyć książkę popularnonaukową, nie wystarczy znać język oryginału. Przede wszystkim trzeba bardzo dobrze znać język polski i co równie ważne, doskonale orientować się w tych dziedzinach wiedzy, jakich tłumaczona pozycja dotyczy.

Po tych ogólnych uwagach, czas na dokładniejsze przyjrzenie się poszczególnym

astronomicznym pozycjom serii „Na ścieżkach nauki".

Autorem **„Czarnych dziur i Wszechświata"** (przekład - Stanisław Bajtlik, posłowie - Marek Demiański; ilustracje - 24, dowcipne rysunki Konstantina N. Moszkina, literatura uzupełniająca w języku polskim; indeks nazwisk; str. 240; cena 9 zł) jest Igor Nowikow. Wybitny rosyjski astrofizyk i kosmolog, pracujący obecnie w Danii. Zgodnie z tytułem, w pierwszej części książki jest mowa o naturze czarnych dziur i ich powstawaniu, o zjawiskach fizycznych zachodzących w otoczeniu tych niezwykłych obiektów oraz o metodach ich poszukiwań. Część druga dotyczy budowy Wszechświata, jego powstania w Wielkim Wybuchu i jego przyszłych losów. Książka napisana jest prostym, niemalże potocznym językiem i nie zawiera ani jednego wzoru. Pomimo tego, a może właśnie dlatego i dzięki popularyzatorskiemu talentowi autora, powinna być zrozumiała przez każdego czytelnika. Ponieważ oryginał ukazał się ładnych kilka lat temu, bardzo cennym dodatkiem jest posłowie, z którego dowiadujemy się, na jakim etapie dzisiaj znajdują się badania czarnych dziur i ewolucji Wszechświata.

Autorem książki **„Ziemia i życie. Rozważania o ewolucji i ekologii"** (ilustracje - 32 rysunki Karola Sabatha oraz piękne grafiki zaczerpnięte ze starych wydawnictw, indeks, str. 272, cena 9 zł) jest Marcin Ryszkiewicz. Znany popularyzator wiedzy, pracujący w Muzeum Ziemi PAN w Warszawie. Jego najnowsza książka, to zbiór esejów, publikowanych w ciągu kilku ostatnich lat na łamach miesięcznika „Wiedza i Życie". Wszystkie są bardzo ciekawe, a szeroko rozumianej astronomii dotyczy rozdział „Czy człowiek mógł powstać na innych planetach?" i pewne fragmenty rozdziałów „Efekt szklarni" oraz „Czy człowiek może zniszczyć życie?".

Książkę **„Prywatne życie Alberta Einsteina"** (przekład - Marek Krośniak; ilustracje - 18 fotografii, obszerne przypisy i źródła cytatów; bibliografia, indeks nazwisk, str. 416, cena 12 zł), której autorami są Roger Highfield i Paul Carter, czyta się jednym tchem. Wiedzieliśmy oczywiście, że Einstein, twórca szczególnej i ogólnej teorii względności, będących podstawą relatywistycznej astrofizyki i całej współczesnej kosmologii, był osobowością nietuzinkową. Słyszeliśmy wiele anegdot i widzieliśmy jego zdjęcie z wywalonym na fotoreporterów językiem. Ale były to tylko zabawne drobiazgi, nie psujące dostojnego obrazu, wyłaniającego się z uładzonych biografii. Dopiero prywatna korespondencja uczonego, udostępniona historykom pod koniec lat osiemdziesiątych, pozwoliła napisać niniejszą, skandalizującą, ale doskonale udokumentowaną książkę. W 1993 r. jej angielskie wydanie wywołało spore poruszenie i stało się światowym bestsellerem. Okazało się bowiem, że ten genialny fizyk był człowiekiem z krwi i kości. Lubił nie tylko muzykę, o czym powszechnie wiadomo, ale także wino i kobiety. W stosunku do bliskich potrafił być zarówno czuły jak i okrutny, o czym najdobitniej przekonała się jego pierwsza żona Mileva. Pisywał do niej namiętne miłosne listy, a równocześnie nakłonił do oddania do adopcji ich przedślubnej córki. Zaś po latach wspólnego życia, porzucił ją dla kuzynki Elzy. Bywał wspaniałomyślny, ale także samolubny, tchórzliwy i arogancki. No cóż, nawet geniusz jest tylko człowiekiem, targanym namiętnościami i szukającym zwykłego ludzkiego szczęścia.

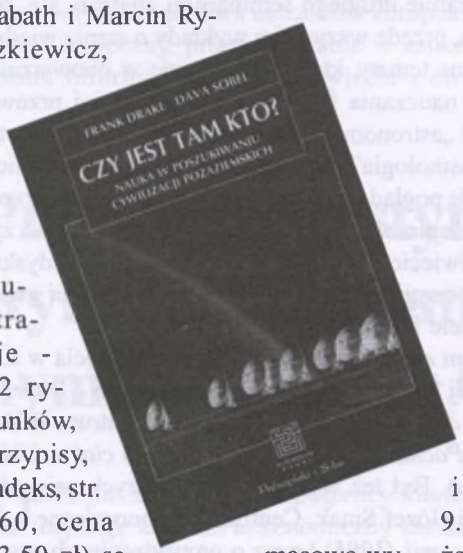
Przystępując do pisania książki **„Prywatne życie Mikołaja Kopernika"** (wydanie trzecie przejrzane i uzupełnione; ilustracje - 25 fotografii i reprodukcji dokumentów; str. 312; cena 14 zł), olsztyński historyk Jerzy Sikorski nie miał łatwego zadania, bo dysponował tylko garścią, przypadkowo zachowanych informacji. Prócz tego, miał jeszcze historyczną wiedzę o tym, jak żyli ludzie na przełomie XV i XVI wieku. I co najważniejsze, własną wyobraźnię, która pozwoliła nakreślić zdumiewająco bogaty wizerunek wielkiego astronoma. Wizerunek człowieka renesansu o wszechstronnych zainteresowaniach i umiejętnościach, rzetelnie wykonującym powierzane mu obowiązki. Mnie osobiście - z racji noszonego nazwiska - najbardziej interesuje sprawa Anny Schilling. Ale i w tym wydaniu (dwa poprzednie ukazały się w latach 1973 i 1985) nie znalazłem odpowiedzi na pytanie, czy była ona tylko gospodynią czy może konkubiną Kopernika, co sugerują listy biskupa Dantyszka.

Frank Drake i Dava Sobel są autorami książki **„Czy jest tam kto? Nauka w poszukiwaniu cywilizacji pozaziemskich"** (przekład - Elżbieta Bielicz i Marceli Krogulec, ilustracje - 14 fotografii i 11 rysunków, bibliografia, literatura uzupełniająca w języku polskim; słownik, zestawienie - programy SETI, indeks nazwisk, str. 320, cena 11 zł). Nazwisko pierwszego z autorów, wybitnego amerykańskiego radioastronoma, jest na pewno dobrze znane Czytelnikom *Postępów*. To właśnie on jako pierwszy, w 1960 r. podjął radiowe nasłuchy gwiazd w celu wyłowienia sygnałów, wysyłanych przez rozumne istoty. To on wymyślił termin „pulsar" i podał „wzór Drake'a", pozwalający szacować liczbę kosmicznych cywilizacji, z którymi moglibyśmy się porozumieć. Książka jest barwną opowieścią autora o jego życiowej przygodzie z problemem poszukiwania pozaziemskiej inteligencji (*Search for ExtraTerrestrial Inteligence* w skrócie SETI). Omówione są dotychczasowe poszukiwania oraz nowe programy badawcze, które - zdaniem autora - już wkrótce powinny wykazać, że nie my sami podziwiamy piękno Kosmosu.

Autorem książki **„Hiperprzestrzeń. Naukowa podróż przez wszechświaty równoległe, pętle czasowe i dziesiąty wymiar"** (przekład - Ewa L. Łokas i Bogumił Bieniok, ilustracje - 42 pomysłowe poglądowe rysunki Roberta O'Keefe, obszerne przypisy, literatura uzupełniająca angielska i polska, indeks, str. 456, cena 16.50 zł) jest amerykański fizyk Michio Kaku. Tematem książki jest liczba wymiarów, jakie posiada otaczający nas świat. Ponieważ problem ten dotyczy zarówno mikroświata cząstek elementarnych, jak i makroświata gwiazd i galaktyk, zagadnienia astronomiczne i kosmologiczne stanowią większą część obszernego tekstu. Między innymi, mowa o krzywiźnie przestrzeni i czarnych dziurach oraz o Wielkim Wybuchu i przyszłych losach

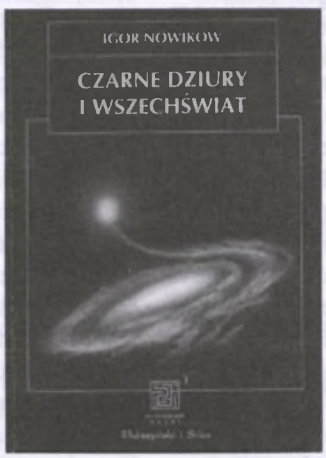
Wszechświata. Omawiając powstawanie gwiazd neutronowych i czarnych dziur podczas wybuchów gwiazd supernowych, autor popełnia merytoryczny błąd. Pisze mianowicie (str. 282-283), iż jako supernowe, wybuchają białe karły. Pisząc o podróżach w czasie, o wszechświatach równoległych i czasoprzestrzennych tunelach oraz o władcach hiperprzestrzeni czyli o kosmicznych cywilizacjach III typu, autor niezbyt wyraźnie zaznacza, że są to na razie zagadnienia czysto hipotetyczne. Kilku miłośnikom astronomii, powołującym się na tę doskonałą skądinąd książkę, musiałem już wyjaśniać, w jakich to miejscach autor puścił wodze fantazji.

Tematem książki **„Kres ewolucji. Dinozaury, wielkie wymierania i bioróżnorodność"** (przekład - Karol Sabath i Marcin Ryszkiewicz,



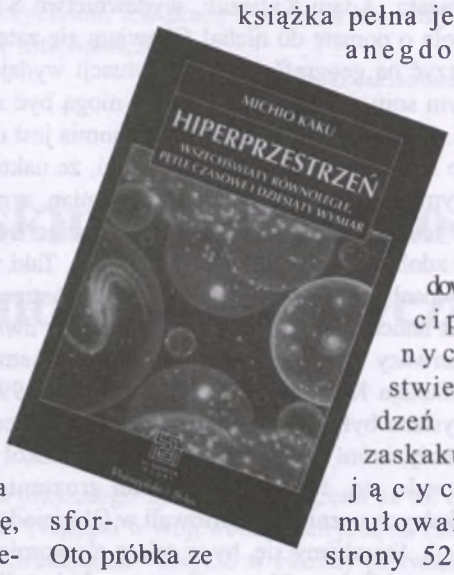
ilustracje - 12 rysunków, przypisy, indeks, str. 360, cena 13.50 zł) są masowe wymierania większości gatunków roślin i zwierząt, jakim wielokrotnie podlegała ziemska biosfera. Spośród pięciu wielkich wymierań, jakie miały miejsce w ciągu ostatnich 570 milionów lat, amerykański geolog i paleontolog Peter Ward wybrał trzy. Pierwsze z nich nastąpiło około 245 milionów lat temu na przełomie ery paleozoicznej a mezozoicznej, drugie na przełomie ery mezozoicznej i kenozoicznej, zaś trzecie zaczęło się około 2.5 miliona lat temu i trwa do dzisiaj, przy wydatnym i coraz wydajniejszym udziale człowieka. Czytelników *Postępów* szczególnie powinien zainteresować kosmiczny epizod, mocnym uderzeniem kończący wielkie wymieranie z przełomu mezozoiku i kenozoiku. Wtedy to, przed 65 milionami lat, uderzyła w Ziemię kilkukilometrowa planetoida. Jest niemalże pewne, iż ta kosmiczna katastrofa była bezpośrednią przyczyną nagłego wyginięcia dinozaurów. Drugim astronomicznym akcentem książki jest wzmianka o hipotezie, zgodnie z którą, zlodowacenia wywoływane są okresowymi zmianami nachylenia osi obrotu Ziemi oraz zmianami jej odległości od Słońca. Autor książki odnosi się do tej hipotezy bardzo sceptycznie.

Gdy wziąłem do ręki książkę George Gamowa: **„Pan Tompkins w Krainie Czarów"** (przekład - Maria J. Hurwic, Barbara Wojtowicz-Natanson, Ludwik Natanson, Marek Krośniak, słowo wstępne - Roger Penrose, ilustracje - 43 dowcipne rysunki George Gamowa



i Johna Hookhama, str. 208, cena 9.50 zł), od razu zorientowałem się, że kiedyś dawno już ją czytałem. I rzeczywiście, na półce stoi książka „Mister Tompkins w Krainie Czarów", wydana w 1960 r. jako 40 tom „Biblioteki Problemów". Obecne, trzecie polskie wydanie (drugie ukazało się w 1962 r.), bazujące na angielskiej edycji z 1994 r., jest obszerniejsze niż poprzednie. Warto wspomnieć, że pierwsze angielskie wydania niezwykłych przygód pana Tompkinsa, ukazały się w latach 1940 i 1944. Pomimo upływu ponad 50 lat, wspaniałe, fantastyczno-naukowe dzieło Gamowa - wybitnego amerykańskiego astrofizyka, jednego z twórców teorii Wielkiego Wybuchu - jest lekturą pasjonującą. Tytułowa „kraina czarów" to zadziwiający świat współczesnej fizyki i kosmologii. Sympatyczny bohater doświadcza tam efektów ogólnej i szczególnej teorii względności, przeżywa pulsowanie Wszechświata, spotyka wybitnych kosmologów w roli śpiewaków operowych, jako elektron krąży wokół atomowego jądra i w kwantowej dżungli poluje na kwantowego tygrysa.

Opasłe tomisko **„Boska cząstka. Jeśli Wszechświat jest odpowiedzią, jak brzmi pytanie?"** (przekład - Elżbieta Kołodziej-Józefowicz, ilustracje - 12 rysunków, literatura uzupełniająca w języku polskim, str. 564, cena 21.50 zł), napisane przez Leona Ledermana i Dicka Teresi, czyta się bardzo lekko. Pierwszy z autorów w 1988 r. dostał Nagrodę Nobla za badania cząstek elementarnych, a w 1993 r. napisał książkę, która jest podobno najzabawniejszą książką o fizyce, jaką dotąd wydano. Podzielam tę opinię - książka pełna jest anegdot,



dowcipnych stwierdzeń i zaskakujących sformułowań. Oto próbka ze strony 520: *„Model Wielkiego Wybuchu pojawił się na skutek odkrycia, że wszystkie galaktyki oddalają się od pewnego pana, który nazywa się Edwin Hubble"*. W sumie, jest to błyskotliwa, skrząca się dowcipem opowieść o poszukiwaniach najmniejszych, niepodzielnych składników materii - od atomów, wymyślonych w V wieku p.n.e. przez Demokryta, aż do kwarków, z których ostatni odkryto w 1994 r. Zaś tytułowa „boska cząstka", to hipotetyczny bozon Higgsa, który powinien rozwiązać obecne problemy, związane nie tylko z teorią cząstek elementarnych, ale także z teorią powstania Wszechświata w Wielkim Wybuchu.

Kazimierz Schilling

Seminarium dla nauczycieli fizyki

1 - 3 grudzień 1995, Koninki

Od wielu lat nie ma już przedmiotu „astronomia" w szkołach średnich. Wbrew jednak ustaleniom Ministerstwa Edukacji, zarówno dzieci jak i młodzież bardzo się astronomią interesują. Władze oświatowe twierdzą, że tematy astronomiczne pojawiają się w ramach innych lekcji, głównie fizyki i geografii. Tymczasem np. na Uniwersytecie Warszawskim Wydział Geografii od kilku lat w ogóle wykładów z astronomii nie ma! Astronomiczna część podręcznika, jaki został przez „nowe pokolenie geografów" napisany (Geografia 5 - Krajobrazy świata; Katarzyna Ostaszewska, Wojciech Lewandowski, Adam Kaliszuk, wydawnictwo STENTOR, 1995) woła o pomstę do nieba! Obawiam się zatem, że nie ma co liczyć na geografów. W tej sytuacji wydaje się, że naturalnym sojusznikiem astronomów mogą być nauczyciele fizyki. Z drugiej jednak strony astronomia jest obecnie tak szybko rozwijającą się dziedziną nauki, że uaktualnianie wiedzy wymaga nieustannego śledzenia zmian, a na to trudno nauczycielom znaleźć czas. Dobrze więc byłoby im pomóc w zdobyciu niezbędnych wiadomości. Taki właśnie cel przyświecał organizowaniu przez Komitet Astronomii seminariów dla nauczycieli fizyki. Odbyły się już dwukrotnie. Po raz pierwszy - w Warszawie, w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika, 19 i 20 listopada 1994 r. Zaproszenia wysłane były do wielu szkół w całej Polsce - wybieraliśmy szkoły, które należą do Towarzystwa Szkół Twórczych (wydawało się, że znajdziemy tam zrozumienie) oraz takie, z których uczniowie startowali w Olimpiadach Astronomicznych. Staraliśmy się, by w miarę równomiernie rozsiać listy po całej Polsce. Uprzywilejowana była tylko Warszawa, bo przy ograniczonych funduszach zaproszenie miejscowych nauczycieli było po prostu najtańsze. Wbrew pozorom, mimo, że organizatorzy zapewniali zajęcia merytoryczne, zwrot kosztów podróży oraz całodzienne wyżywienie - nie było za dużo chętnych do skorzystania z zaproszenia. Na seminarium w Warszawie udało się zgromadzić 14 nauczycieli poza warszawskich i 19 warszawskich (a liczyliśmy na 50 !). Program przewidywał przede wszystkim wykłady ze współczesnej astronomii. W podsumowującej dyskusji ostatniego dnia zasugerowano, by nieco zmienić formułę ewentualnego przyszłego seminarium i wprowadzić rodzaj warsztatów dla nauczycieli.

Organizując zatem spotkanie po raz drugi bogatsi byliśmy o doświadczenia i uzbrojeni w wiedzę z przeprowadzonej wśród uczestników ankiety. Drugie seminarium odbyło się w Koninkach - miejscowości wypoczynkowej położonej u podnóża Góry Tobołów, na obrzeżu Gorczańskiego Parku Narodowego. Pozwoliło to nie tylko na większą integrację zebranych (w Warszawie zarówno miejscowi wykładowcy jak i nauczyciele po zajęciach wracali do domów; w Koninkach niejako automatycznie było więcej czasu na dyskusje i dłuższe spotkania), ale i na wizytę w Obserwatorium Astronomicznym Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Krakowie. Obserwatorium to mieści się na Suhorze, 1000 m npm (wjazd z Koninek wyciągiem krzesełkowym na Górę Tobołów, 1195 m; dalej czekał nas około 20 minutowy spacer po wspaniałym śniegu). Zwiedzenie obserwatorium było jednym z marzeń uczestników pierwszego seminarium. Proponowano zresztą także przeprowadzenie prostych obserwacji astronomicznych, ale w ciągu niespełna 3 dni nie da się zrobić wszystkiego. W programie drugiego seminarium znalazły się, tak jak i poprzednio, przede wszystkim wykłady o stanie wiedzy astronomicznej na tematy, które znajdują się w obowiązującym programie nauczania fizyki. W klasie drugiej przewidziany jest dział „astronomia i grawitacja", w klasie czwartej „astrofizyka i kosmologia". W szkole powinno więc być miejsce na omówienie poglądów na budowę Wszechświata, przedstawienie praw Keplera, Układu Słonecznego, możliwości życia we Wszechświecie. Powinno być miejsce na przedyskutowanie źródeł energii gwiazd, na trochę spektroskopii gwiazdowej, na modele kosmologiczne.

Pod tym kątem zostały dobrane wykłady na zajęcia w Koninkach (Andrzej Sołtan, Centrum Astronomiczne - *Wszechświat wczoraj i dziś*, Krzysztof Ziołkowski, Centrum Badań Kosmicznych - *Pochodzenie i ewolucja małych ciał w Układzie Słonecznym*). Był też wykład o najnowszych osiągnięciach astronomii (Józef Smak, Centrum Astronomiczne - *Co nowego w astronomii (1995)*) oraz o prowadzeniu obserwacji astronomicznych (Jerzy Kreiner, WSP Kraków - *Szkolne obserwacje astronomiczne*) - „wzmocniony" wspomnianą wycieczką do obserwatorium. Nie zawsze można liczyć na pogodę i nie zawsze nauczyciel ma możliwości pokazania uczniom nieba - koledzy z Krakowa (Waldemar Ogłoza i Bartłomiej Zakrzewski) przygotowali prezentację różnych programów komputerowych mogących pomóc w nauczaniu astronomii.

Organizatorzy starali się, by wyjeżdżający z seminarium nauczyciele wywozili nie tylko wspomnienia, ale i materiały jakie mogą się im przydać w przyszłej pracy w szkole. Za pierwszym razem uczestnicy dostali dyskietki z programem Andrzeja Branickiego i Lecha Kaniowskiego pt. „As". W Koninkach przegrano nauczycielom na dyskietki wiele innych (omówionych wcześniej) programów. Konspekty wykładów i kopie foliogramów używanych przez wykładowców nauczyciele także dostali podczas seminarium. Biorąc pod uwagę kłopoty z wyborem książek astronomicznych, jakie mogą się nauczycielom przydać - podczas seminarium został zaprezentowany nowy podręcznik pt. *Astronomia - przewodnik po Wszechświecie*, Dinah L. Moche

(tłumaczenie Elżbieta Bielicz, Marceli Krogulec, Gdańskie Wydawnictwo Oświatowe, 1995). Prezentację prowadziła Elżbieta Bielicz.

Nie udało się niestety rozdać tych książek w Koninkach (drukarnia nie zdążyła z drukowaniem), ale zostały do uczestników rozesłane później. Dołączono też do nich dwa, zawierające astronomiczne plakaty, zeszyty Wiedzy i Życia ofiarowane przez Redakcję tego miesięcznika (Dziękujemy!).

Kilka godzin spotkania w Koninkach zostało przeznaczone na samodzielne (w kilkuosobowych grupach) przygotowanie konspektów lekcji astronomicznych. Cały czas dostępna była biblioteka (książki astronomiczne pożyczone z krakowskiej WSP) i wszyscy astronomowie wykładowcy obecni byli na sali, by ewentualnie służyć pomocą przy przygotowywaniu lekcji. Tematy zaproponowali w ankietach uczestnicy pierwszego seminarium, a były to: kosmologia (dwie grupy przygotowały dwa niezależne konspekty na ten temat), Układ Słoneczny, promieniowanie w astronomii - główny nośnik informacji o Wszechświecie i ewolucja gwiazd. Następnego dnia konspekty tych lekcji były prezentowane przez autorów (każdy wyjechał z ich kompletem, bo powielano je na miejscu). W dyskusji podsumowującej nie tylko omawiano konspekty, ale swoimi doświadczenimi dzielili się nauczyciele, którzy nieraz w bardzo nietypowy sposób astronomii uczą (np. pan Tomasz Kanarkowski ze Żnina urządza biwaki astronomiczne, na których młodzież sama wybiera sobie sposób, często zaskakujący, prezentacji astronomicznych treści.

Organizacją na miejscu zajmowali się koledzy z WSP Kraków (Jerzy Kreiner, Janusz Kałużny, Waldemar Ogłoza, Gabriel Pajdosz, Bartłomiej Zakrzewski), z ramienia Komitetu Astronomii szefował imprezie Mirosław Giersz, pomagała mu dzielnie Joanna Kuraszkiewicz, czasem też niżej podpisana.

Miejsce spotkania było cudowne, warunki bytowe wspaniałe, atmosfera miła, pogoda jak na zamówienie.

Miejmy więc nadzieję, że trzydniowe spotkanie w Koninkach ułatwi nauczycielom ich pracę i pozwoli nie omijać w szkole tematów astronomicznych.

Magdalena Kożuchowska

Przed trzynastym Ogólnopolskim Młodzieżowym Seminarium Astronomiczno-Astronautycznym (OMSA) w Grudziądzu*)

Od 20 już lat *Komisja Współpracy Planetariów Polskich* rozpisuje konkurs astronomiczny dla szkół ponadpodstawowych. Zadaniem uczniów jest przedstawienie, początkowo na piśmie, pracy na wybrany astronomiczny temat. Pisemne prace ocenia wojewódzkie jury, w skład którego musi wchodzić przynajmniej jeden zawodowy astronom, po czym prace najlepsze referowane są podczas wojewódzkiego seminarium. Tym razem jury ocenia wystąpienie przed publicznością (na ogół szkolni koledzy referentów i ci wszyscy, którzy nie zakwalifikowali się do referowania). Uczeń powinien przedstawić swoją pracę w 15 minut i umieć odpowiedzieć na zadawane pytania. Wbrew pozorom nie jest to dla młodzieży łatwe - często mają tendencję do używania słów, których nie rozumieją, starają się olśnić jury zamiast wyjaśniać zagadnienia kolegom, nudzą, czytają z kartki itp. Zadaniem jury jest prostowanie błędów i tłumaczenie trudniejszych spraw.

Wydaje mi się, że szkoła prezentacji jaką jest wygłaszanie referatu przed dużym zgromadzeniem dobrze przygotowuje młodych ludzi do przyszłego życia - bez względu na to, co kiedyś będą robić. Najlepsi w województwach jadą na finał ogólnopolski do Grudziądza - zwykle w okolicy pierwszego dnia wiosny, gdy większość młodzieży ucieka na mniej czy bardziej legalne wagary - zainteresowani mają swoje kilkudniowe święto: spotykają się na OMSA i w gruncie rzeczy na ogół ciężko pracują. Od rana do wieczora, często późnego, słuchają referatów, dyskutują, o ile się da - patrzą w niebo. Jest to jeden z wielu powodów, dla których cenię te spotkania.

Wróćmy jednak do spraw organizacyjnych. Rokrocznie jeden z głównych animatorów tej imprezy - dr Kazimierz Schilling z Planetarium Olsztyńskiego - wysyła do kuratoriów we wszystkich województwach prośbę o zawiadomienie szkół o konkursie. W województwach, które wyraziły ochotę wzięcia udziału w seminarium rozsyłane są do szkół zawiadomienia i około listopada/grudnia młodzież może zaczynać myśleć o przygotowaniu konkursowej pracy. Odzew bywa różny, ale seminarium rozwija się - od początkowo międzywojewódzkiego (dla kilku województw północnych) do ogólnopolskiego (np. w 1990 roku brało udział **19** województw, w 1996 - **27**). W 1997 roku planuje się ogólnopolskie seminarium numer trzynaście.

*) Ewentualnych Czytelników tej notki chciałam z góry uprzedzić, że będą to wyłącznie moje osobiste poglądy - nie reprezentuję stanowiska żadnej organizacji, stowarzyszenia itp. Nie mam oczywiście prawa twierdzić, że jestem obiektywna, ani że patrzę na sprawę z pozycji obserwatora - od lat współorganizuję konkursy w Warszawie i wielokrotnie bywałam w Grudziądzu jako juror.

Jak każda impreza, OMSA ma swoje liczne plusy i minusy. To co mi się szczególnie podoba to - jak już pisałam - możliwość zgromadzenia w jednym czasie i miejscu wielu osób interesujących się podobnymi zagadnieniami. Myślę, że bodaj najwięcej uczą się w grupie rówieśniczej. Sama niejednokrotnie bywałam świadkiem wymiany doświadczeń: podają sobie referencje do literatury, opisują kruczki numeryczne, dają instrukcje do konstrukcji przyrządów itp. Konkurs ma bardzo „miękki" regulamin - w ten sposób jest możliwość prezentacji bardzo różnych zagadnień, w bardzo różny sposób. Nie ma sztywnych wymagań, konieczności przebrnięcia wszystkich uczestników przez te same zadania - jak na Olimpiadzie Astronomicznej. Jest to konkurs bardzo demokratyczny - bez względu na to, czy ktoś mieszka w dużym czy w małym mieście, czy woli teorię czy obserwacje, czy ma pieniądze na duży komputer czy tylko własne oczy i myślącą głowę - szanse są równe. Najlepszym dowodem są doskonałe miejsca (w pierwszej piątce laureatów) zajmowane regularnie przez uczniów z Zespołu Szkół w Pasłęku - znalazła się tam znakomita nauczycielka, pani Maria Niegowska, która opiekuje się Kółkiem Astronomicznym i młodzież przygotowuje pod jej opieką bardzo ciekawe , wartościowe i nietypowe prace (np. parę lat temu dziewczyna użyła własnej twarzy jako „fotometru" i oszacowała wielkość... stałej słonecznej).

W 1996 roku uczeń Technikum Budowlanego z Włodawy pokazywał zdjęcia zbudowanego samodzielnie zegara słonecznego! Kiedyś chłopcy z Gdańska nakręcili film o Heweliuszu. Prezentowane są licznie prace obserwacyjne - często wynik wieloletniego zaangażowania autora w śledzenie nieba. Grube zeszyty notatek z amatorskich obserwacji nie różnią się od zapisków zawodowych obserwatorów z końca XIX i początku XX wieku! Jest to naprawdę imponujące. Młodzi ludzie, o których tak często i chętnie pisze się głównie niepochlebne opinie, pokazują w Grudziądzu - jak Księżyc - zupełnie inną twarz.

Nie bez znaczenia jest i to, że uczniowie mają okazję spotkania się z zawodowymi astronomami, popytać ich, podyskutować. Ostatnio OMSA trwa aż cztery dni - w środę rano zaczyna się pierwsza sesja referatów, w sobotę rano jest uroczystość zakończenia seminarium i wręczenie nagród. Jest to dość uciążliwe dla wszystkich uczestników, którzy praktycznie tydzień mają „wyrwany" z normalnych zajęć, ale z drugiej strony – świadczy o ilości zainteresowanych tą imprezą. Może więc tak już musi być?

XII Ogólnopolskie Młodzieżowe Seminarium Astronomiczne - sala kinowa Planetarium w Grudziądzu (jak zwykle wypełniona po brzegi).

Nie twierdzę rzecz jasna, że światek grudziądzkich seminariów jest całkowicie różowy - zdarzają się i sytuacje niemiłe, nieodpowiedzialni opiekunowie młodzieży bratający się z chętnymi za pomocą dużej ilości piwa itp. Są to jednak wg mnie „wypadki przy pracy" i trzeba przyznać, że główni organizatorzy - Małgorzata Sróbka - Kubiak i jej mąż Mirosław Kubiak - starają się jak mogą, by drugi raz taki opiekun już się w Grudziądzu nie pojawił. Poza tym doświadczenie uczy, że często uczniowie są pozbawieni jakiejkolwiek opieki ze strony nauczyciela - nadesłane prace potrafią być żenujące. Widać to szczególnie na poziomie wojewódzkich konkursów, bo do Grudziądza jadą na szczęście tylko zwycięzcy (1 do 2) konkursów wojewódzkich. Moje doświadczenia z konkursów wojewódzkich (w Warszawie jestem w jury od kilkunastu lat) pokazują, że często prace są po prostu przepisane z istniejących na rynku książek i czasopism. Nauczyciele albo tego nie zauważają, albo nawet nie uważają tego za naganne - wielu mi mówiło, że przecież w ten sposób uczeń też się uczy. Tu oczywiście mają rację, ale pomysł, by taką pracę puścić na konkurs pozostawiam do oceny innym!

Reasumując:
Grudziądz stał się w moim przekonaniu miejscem, gdzie bardzo dużo dobrego się dzieje, gdzie młodzież „aktywizuje się astronomicznie". I dlatego wiadomość o tym, że Kutatorium Oświaty w Toruniu postanowiło... **wycofać swoje poparcie finasowe dla tej imprezy** przyjęłam nie tylko z ogromnym żalem ale i z prawdziwym rozgoryczeniem, a Zarząd Główny Polskiego Towarzystwa Astronomicznego też nie widzi możliwości finansowego patronatu nad Seminarium. Zlikwidowano astronomię jako przedmiot w liceum - starajmy się ją propagować tam wszędzie, gdzie to jest możliwe!

Akurat Grudziądz to nie jest przecież przedsięwzięcie bardzo kosztowne - seminarium odbywa się w sali kinowej planetarium, szkoła odstępuje ją nieodpłatnie. Dojazd do Grudziądza oraz wyżywienie i noclegi w Bursie finansują uczniom i ich opiekunom szkoły. Nagrody kupują kuratoria uczestniczące w konkursie - nie ma narzuconych kwot, jakie należy na nie przeznaczyć, więc w zależności od sytuacji materialnej „sponsora" nagrody bywają różne (w różnych latach bywały plecaki, turystyczne torby, kalkulatory, rozmaite książki, albumy, lunetki, lornetki). Towarzystwa, które delegują jurorów dorzucają na ogół swoje nagrody, ale też nie są to ogromne wydatki. Cała impreza istnieje dzięki garstce zapaleńców - czemu jej nie wspierać?

Czy naprawdę chcemy, by trzynastka stała się feralna?

Magdalena Kożuchowska

fot. Zbigniew Sulima

Ks. prof. Michał Heller doktorem honoris causa AGH

Znany bez wątpienia wszystkim polskim astronomom, a także wielu innym, wybitny kosmolog i filozof, ksiądz prof. Michał Heller otrzymał tę najwyższą godność naukową w jubileuszowym momencie swojego życia; urodził się bowiem w 1936 roku. Szczególnym zbiegiem okoliczności, uroczystość nadania mu doktoratu *honoris causa* miała miejsce dokładnie w dniu 37. rocznicy jego święceń kapłańskich, czyli prawie w połowie przedziału dzielącego srebrny i złoty jubileusz podjęcia Powołania.

Miał 10 lat, gdy powrócił z rodziną z syberyjskiej wywózki; siedem lat później zdawał w Tarnowie maturę, by po dalszych 6 latach uzyskać w KUL tytuł magistra teologii. Po następnych 6 latach studiów uzyskuje w 1965 r. na tej samej Uczelni tytuł magistra filozofii, na podstawie rozprawy dotyczącej zagadnień interpretacyjnych szczególnej teorii względności. Obejmuje następnie funkcję prefekta Seminarium Duchownego w Tarnowie, gdzie wykłada filozofię przyrody i kończy swą rozprawę doktorską na temat kosmologii relatywistycznej. Doktorat filozofii uzyskuje na KUL w 1966 r. Trzy lata później odbyło się w tej samej Uczelni jego kolokwium habilitacyjne; rozprawa dotyczyła zasady Macha w kosmologii relatywistycznej.

W 1972 r. podejmuje obowiązki docenta na Papieskim Wydziale Teologicznym w Krakowie, gdzie uzyskuje tytuł profesora nadzwyczajnego w 1985 r. już na Papieskiej Akademii Teologicznej, a zwyczajnego - tamże, w 1990 r. Do dziś kieruje Katedrą Filozofii Przyrody i Ośrodkiem Badań Interdyscyplinarnych na Wydziale Filozoficznym PAT; wykłada także filozofię przyrody w - agregowanym do PAT w Krakowie - Instytucie Teologicznym w Tarnowie, gdzie ostatnio został wybrany rektorem. W 1981 r. został członkiem stowarzyszonym Watykańskiego Obserwatorium Astronomicznego, a w 1991 r. został wybrany członkiem zwyczajnym Papieskiej Akademii Nauk.

Ks. Michał Heller jest autorem lub współautorem około 600 pozycji, w tym: 38 książek, 69 oryginalnych prac z zakresu teorii względności i kosmologii - opublikowanych m. in. w *Acta Physica Polonica, Physics Letters, Classical and Quantum Gravity, Physical Reviev D, Journal of Mathematical Physics*; 308 artykułów filozoficznych, teologicznych i popularnonaukowych, 146 recenzji, sprawozdań i polemik, 9 przekładów i 32 innych tekstów; redagował ponadto 8 książek.

Niezależnie od siebie, lecz zgodnie, ks. prof. Zygmunt Hajduk (KUL) i prof Andrzej Staruszkiewicz (UJ) podkreślają - jako recenzenci przewodu doktorskiego h. c. - że ks. Michał Heller jest prekursorem pomysłu kosmologicznego modelu inflacyjnego, wysuniętego 20 lat później przez Alana Gutha.

Pośród wielości dziedzin naukowych, w których ks. Heller jest kompetentny i badawczo aktywny, akcentuje ks. prof Z. Hajduk specjalnie trzy: filozofię nauki, filozofię w nauce i filozofię przyrody, podkreślając drugą z nich jako pewne *novum*. Zwraca też uwagę na ten wątek twórczości ks. Hellera, który wiąże się z wyraziście dostrzeganą przez niego potrzebą humanizacji nauk ścisłych, w tym także technicznych. Znaczenie tego aspektu działalności ks. Hellera, podobnie jak jego prac w dziedzinie filozofii w nauce, dostrzega również ks. bp prof. Józef Życiński, który w swojej recenzji, szkicując życiorys naukowy Doktoranta omawia wnikliwie jego bogaty i oryginalny dorobek. Wyróżnia w nim trzy szczególnie wartościowe grupy tematyczne o odmiennym statusie epistemologicznym, są to: a) prace z zakresu nauk przyrodniczych, zwłaszcza fizyki relatywistycznej i kosmologii kwantowej; b) prace z zakresu szeroko pojętej metodologii i filozofii nauki; c) prace ściśle filozoficzne, zawierające oryginalną wersję platonizmu ontologicznego. Nadmienia zresztą także o zainteresowaniach ks. Hellera problematyką etyczną i estetyczną, związaną z postępem nauki. W odniesieniu do drugiej grupy prac zauważa ks. biskup Życiński, że znajomość praktyki badawczej nauki chroni metodologię Hellera przed uproszczonymi propozycjami metanaukowymi, które nazbyt często dominowały w filozofii nauki w obecnym stuleciu.

Warto tu może dodać, że tę, tak wszechstronną działalność twórczą rozwinął człowiek, który do 40. roku życia był objęty całkowitym zakazem wyjazdów zagranicznych.

Uroczyste posiedzenie Senatu Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, poświęcone nadaniu godności doktora honoris causa ks. prof. zw. dr hab. Michałowi Hellerowi odbyło się 26 kwietnia 1996 r. w Auli AGH.

Otwierające uroczystość piękne przemówienie JM Rektora AGH, prof. Mirosława Handkego prezentowało wywód logiczny wykazujący głębokie umotywowanie faktu, że to właśnie ta uczelnia techniczna honoruje duchownego, będącego jednocześnie fizykiem, kosmologiem i filozofem. Mówca, sięgając chwilami do słów ks. biskupa Życińskiego, zwrócił uwagę na istotne związki łączące naukę, filozofię, teologię i religię; w oparciu o owe związki scharakteryzował sylwetkę Doktoranta, zaangażowanego całą swoją osobowością w intensywne działania na obszarach tych wielkich dziedzin myśli ludzkiej.

W imieniu pięciu wydziałów AGH, które wystąpiły o nadanie najwyższej godności naukowej ks. Michałowi Hellerowi, przemówił Dziekan Wydziału Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH, prof. Wiesław Ptak, przedstawiając ów wielostronnie uzasadniony wniosek zespołowy.

Prof. Zygmunt Kolenda, który był promotorem przewodu, oparł laudację raczej nie na cytatach wspaniałych recenzji, lecz wykorzystał przede wszystkim bogaty materiał licznych rozmów na różne tematy, odbytych z Doktorantem w ciągu wielu lat znajomości.

W końcu zabrał głos sam bohater uroczystości, wygłaszając wykład pt. *Czy fizyka jest nauką humanistyczną ?*, w którym z całym przekonaniem udowodnił twierdzącą odpowiedź na tytułowe pytanie.

Po oficjalnej części programu odbyło się - już w innym budynku AGH - miłe i bardzo liczne spotkanie towarzyskie, przy którego okazji wygłoszone zostały kolejne przemówienia, zarówno ze strony przedstawicieli władz państwowych, jak i samorządów miejskich Krakowa i Tarnowa. Nie milczeli także przyjaciele Doktora h. c., wśród których wystąpień sięgnęła wyżyn - skrząca się zaskakującym dowcipem, ale także głębią - celna charakterystyka sylwetki ks. Michała Hellera jako człowieka, uczonego i filozofa, kreślona po mistrzowsku przez ks. biskupa Życińskiego.

Niezapomnianą chwilę wzruszenia przeżyli słuchacze, kiedy - dzięki serdecznej niedyskrecji mówcy dowiedzieli się o niezwykłym wydarzeniu, które wpłynęło na to, że kilkuletni Michałek, wywieziony na Syberię, postanowił zostać księdzem.

Jan Mietelski

Czy Einstein śpiewał barytonem,
czyli o mniejszościach w nauce

Wychodząc z założenia, że raz na pięćdziesiąt lat to można by posprzątać (z okazji 50-lecia WSP w Krakowie), zabrałam się do niejakiego uprzątnięcia biurka i szaf. Wtedy właśnie zwrócił moją uwagę duży rulon szarego kartonu, który co jakiś czas staczał się z regału, prosto ludziom na głowy: „The Baltimore Charter for Women in Astronomy", czyli Baltimorska Karta Kobiet - Astronomów (Astronomek?). Hmmm...Ktoś z kolegów - mężczyzn przywiózł ten papirus kilka lat temu z jakiejś „zwykłej" konferencji (a może ze zjazdu Międzynarodowej Unii Astronomicznej?), czy to ze względu na walory samego papieru, czy też jako opakowanie dla ciekawszych plakatów... Całość rozpoczyna się mottem, starym chińskim powiedzeniem: ***„Kobiety podtrzymują połowę nieba"****. Ładne, chociaż zdziwiło mnie, że powiedzenie jest chińskie, bo to właśnie z chińskich sierocińców przeciekają do nas informacje o skazanych na śmierć głodową żeńskich niemowlętach... Ale wracając do Karty; już pierwsze zdanie stawia sprawę zdecydowanie: „Kobiety i mężczyźni są w równym stopniu zdolni do osiągania doskonałości w nauce". Nikt tego jawnie nie poddaje w wątpliwość, bo to by było seksizmem (przez analogię do rasizmu), chociaż kwestia jest niewątpliwie złożona, uwarunkowana kulturowo, historycznie (wręcz ewolucyjnie!) i biochemicznie. Według dokumentu z Baltimore, 15% astronomów na świecie to kobiety.* ***Czy ktoś policzył ile jest ich w Polsce?*** *Nie dysponuję odpowiednimi danymi, ale jakimś przybliżeniem jest chociażby spis uczestników ostatniego zjazdu PTA w Poznaniu (wrzesień 1995):* ***naliczyłam 19 pań spośród wszystkich 84 zgłoszonych****, co stanowi poniżej 1/4 „astronomicznej populacji". W niektórych krajach udział kobiet w astronomii jest zerowy, a w innych przewyższa 50%, co samo w sobie jest dowodem wpływu czynników zewnętrznych na karierę naukową.* ***Naukę robią ludzie, a ludzie żyją w konkretnej kulturze****. W Europie Zachodniej istnieją istotne różnice między poszczególnymi krajami: najwięcej kobiet - naukowców w dziedzinach przyrodniczych spotyka się w krajach śródziemnomorskich. Ujmując rzecz historycznie, nie ma wątpliwości, że udział kobiet w nauce (i w ogóle aktywność zawodowa) rośnie. Jest konsekwencją między innymi takich zdobyczy cywilizacji jak urlop wychowawczy, instytucja przedszkola, model rodziny małodzietnej oraz nowoczesna antykoncepcja. Zaledwie 2-3 pokolenia wstecz, w roku 1926 w Warszawie obwieszczono, iż ilość „pracujących mężatek" przekroczyła 5000, z czego kilkanaście „niewiast" zajmowało stanowiska naukowe na uniwersytecie. Dzisiaj w samej astronomii znalazłoby się pewnie tyle, lecz nadal kobiety są zdecydowanie w mniejszości. Czy jest to ciągle obraz chwilowy, czy też osiągnięty został poziom nasycenia i tak już zostanie na wieki? Trochę przypomina mi to pytanie o to, kiedy po raz pierwszy prezydentem Stanów Zjednoczonych zostanie Murzyn (a może wcześniej Latynos albo Azjatka?), wszak nie ma ku temu prawnych przeszkód... Na konferencjach naukowych w USA (że nie wspomnę o takim Cape Town), czarną twarz uświadczyć trudniej niż kobiecą. Za to w sporcie Murzyni potrafią królować. Biologiczne predyspozycje czy mechanizmy społeczne? A może i to i to? Chociaż nauka amerykańska to w ogóle w dużej mierze dobro z importu (z Europy, z Chin). Inteligentni młodzi Amerykanie (w tym również pochodzenia afrykańskiego!) chętniej poświęcają się prawu, ekonomii czy medycynie, niż podstawowym naukom ścisłym, w których dochód umiarkowany, a kariera ryzykowna. Bowiem motorem do działania są wartości i wzorce osobowe wyznawane przez daną społeczność; w kulturze amerykańskiej będzie to sukces materialny, w innych tradycjach (np. żydowskiej) może to być wykształcenie dla samej wiedzy...*

Ale prócz uwarunkowania społecznego, jeśli idzie o płcie, to nie sposób zanegować różnic konstytucjonalnych. Podobnie jak bezsporne jest istnienie różnic we wzroście między statystyczną kobietą, a statystycznym mężczyzną (różnica tu sięga 7% i według niektórych antropologów wykazuje tendencję wzrostową), tak też wykazano statystycznie istotne różnice między płciami w szeregu uzdolnień i zainteresowań.I tak, wyobraźnia przestrzenna z jej różnymi pochodnymi (strategia szachowa, czytanie mapy, koordynacja ręka - oko, wyczucie perspektywy) jest częściej

postępki astronomów

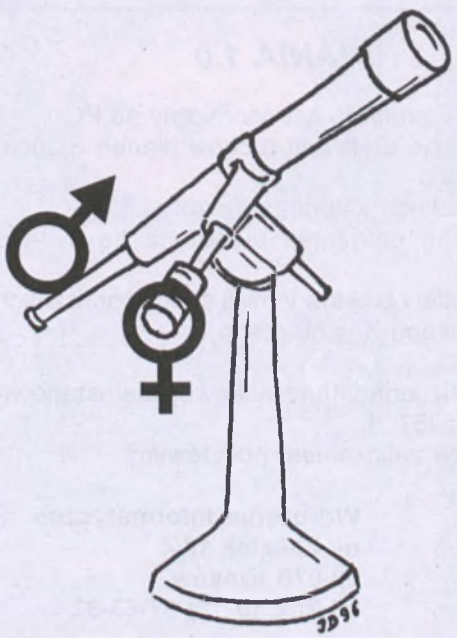
domeną mężczyzn, podczas gdy wrażliwość wszystkich zmysłów, pamięć wzrokowa i krótkotrwała, sprawność werbalna i wokalna, oraz umiejętności interpersonalne są lepsze u kobiet. W ciekawej książce - poradniku pt. „Płeć mózgu", autorzy A. Moir i D. Jessel wskazują na krytyczny okres w życiu płodowym dla rozwoju „stylu poznawczego" mózgu pod wpływem hormonów specyficznych dla danej płci. W dorosłym życiu, jak piszą, geniuszowi matematycznemu sprzyja średni poziom testosteronu. Ponieważ w badaniach prowadzonych na męskich chórach stwierdzono istnienie związku między wysokością głosu, a stężeniem testosteronu we krwi, można by zaryzykować powiedzenie, że ***„poznać geniusza po głosie jego"...***

Ale prócz uzdolnień, ważną rolę w karierze naukowej (jak i każdej innej) odgrywają też predyspozycje psychiczne; niezależność, pewność siebie, zdolność koncentracji, ambicja, agresja i determinacja, które to cechy są również hormonozależne, wg badań przedstawionych przez Moir i Jessela. ***„Jeżeli wybór na urząd publiczny wiąże się z całowaniem dzieci, mężczyźni będą całować dzieci skwapliwiej i z mniejszym skrępowaniem niż kobiety"*** *- twierdzą autorzy „Płci mózgu". Wygrywanie (i przegrywanie) jest dla kobiet mniej ważne (toteż trudno wyobrazić sobie kobietę maklera, która wyskoczyłaby z wieżowca na Wall Street z powodu krachu na giełdzie...). Co roku, przed finałem Olimpiady Astronomicznej w Chorzowie, zbiera się Komitet Olimpiady i na ogół, profesor Smak jest zawiedziony: „I znowu nie ma żadnej panienki...".*

Wysoki poziom współzawodnictwa (w myśl zasady „Publikuj albo giń!") nie koniecznie najlepiej służy rozwojowi nauki. Informacyjna eksplozja jest w znacznej mierze eksplozją dezinformacji. Zbyt małym prestiżem cieszy się praca recenzenta (który jest najczęściej anonimowy i nie opłacany), nauczyciela i popularyzatora. Brakuje artykułów przeglądowych i komentarzy.

*„**Zwiększenie udziału kobiet w astronomii poprawi klimat środowiska pracy**, a poprawa środowiska pracy przyciągnie dalsze kobiety" - twierdzi Akt z Baltimore, podkreślając, iż różnorodność wzbogaca.*

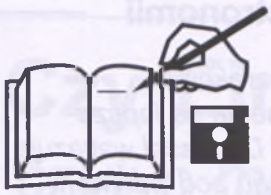
Kolejnym postulatem są zmiany w języku i ilustracjach - powinny one być pozbawione płciowych uprzedzeń stereotypizacji. Zajrzyjmy do polskich podręczników fizyki i astronomii; gdy rysuje się w nich obserwatora zjawisk astronomicznych, kosmonautę czy człowieka w windzie, z piłką lub z laserem, nieodmiennie człowiekiem tym jest mężczyzna. Czyżby panie prawom fizycznym nie podlegały? Niektóre z postulatów zawartych w Akcie z Baltimore być może wydają się zbyt daleko idące jak na polskie warunki, w szczególności tak zwana akcja afirmatywna, nieco ułatwiająca mniejszości zatrudnianie się, wygłaszanie proszonych referatów, uczestnictwo w komitetach, otrzymywanie nagród. Akt z Baltimore postuluje, by w procesie wyboru uczestniczyły również kobiety (w przypadku braku takowych w danej instytucji można zaprosić naukowców z zewnątrz). W historii PRL już raz „przerabialiśmy" tzw. punkty za pochodzenie, więc nie sądzę, by społeczeństwo chętnie do nich wróciło. Chociaż kto wie, ostatnio Parlamentarna Grupa Kobiet dyskutuje nad projektem ustawy o równym statusie płci. Proponuje się w niej m. in. zapis, zgodnie z którym 40% w ciałach mianowanych przez władze publiczne zajmowałyby kobiety, a nad przestrzeganiem zapisów ustawy czuwać miałby rzecznik ds. równego statusu...



W akcie z Baltimore, oczywiście nie zabrakło oddzielnego punktu, poświęconego zapobieganiu molestowaniu seksualnemu (tzw. sexual harrasment). ***Akt zaleca*** *mianowanie w każdej instytucji co najmniej jednej kobiety odpowiedzialnej za zbieranie skarg.*

Tak więc: ***Łapy precz od astronoma!***

Ewa Kuczawska



URANIA

- komputerowy program astronomiczny

Urania to program skierowany do miłośników astronomii i do wszystkich obserwatorów nocnego nieba. Jako program dydaktyczny może być szczególnie przydatny uczniom i nauczycielom szkół średnich. Prezentuje on różne zagadnienia astronomiczne związane z wybranymi ciałami Układu Słonecznego: Słońcem, Księżycem i planetami.

Urania zawiera poglądowe symulacje graficzne, które przybliżają tajniki astronomii o wiele szybciej i przyjemniej, niż tradycyjne, książkowe metody. Są w nich omówione różne pojęcia astronomiczne, od prostszych (fazy Księżyca, ruch dzienny i roczny Słońca, ekliptyka, prawa Keplera) po trudniejsze (libracje, okres synodyczny i syderyczny Księżyca, równanie czasu, analemma, pozorny ruch planet na niebie). W symulacjach jest dostępna zmiana niektórych parametrów. Można się np. przekonać, jak poruszałaby się hipotetyczna planeta w Układzie Słonecznym albo dla jakiej orbity Księżyca widoczna byłaby z Ziemi cała jego powierzchnia. Kilka kliknięć myszy przenosi nas z Polski do Australii albo na biegun południowy, skąd możemy śledzić dzienny i roczny ruch Słońca. Ilustrowane w programie zagadnienia opisane są w systemie pomocy i w obszernym, liczącym ponad 70 stron *Przewodniku Użytkownika.*

Dużym atutem programu jest możliwość wykonywania profesjonalnych obliczeń astronomicznych. Na dowolną chwilę w zakresie lat 1500-2500 program podaje: współrzędne równikowe oraz horyzontalne Słońca, Księżyca i planet; jasności planet; fazy Księżyca i wiele innych. Przy obliczeniach współrzędnych uwzględniana jest aberracja światła, precesja, nutacja i np. dla Księżyca brane są pod uwagę perturbacje pochodzące od Słońca i planet zapewniając dokładność obliczanych współrzędnych około sekundy łuku. Program podaje również momenty różnych zjawisk astronomicznych w dowolnym miejscu na Ziemi, a wśród nich: wschodów, zachodów, górowań Słońca, Księżyca i planet; świtów i zmierzchów astronomicznych; faz Księżyca; początków pór roku. W obliczeniach momentów wschodów i zachodów uwzględniana jest paralaksa horyzontalna i refrakcja atmosferyczna, a średnia dokładność wynosi około dwie minuty.

Pozycje Słońca, Księżyca i planet są przedstawiane graficznie na mapie nieba z gwiazdami do siódmej wielkości gwiazdowej z naniesionymi granicami gwiazdozbiorów.

Atrakcją programu są kolorowe fotografie obiektów Układu Słonecznego pochodzące z misji sond kosmicznych i Teleskopu Kosmicznego Hubble'a. Można tam znaleźć zdjęcia śladów uderzenia w Jowisza komety *Shoemaker-Levy 9* i trójwymiarową mapę fragmentu powierzchni Wenus, gigantyczne protuberancje na Słońcu i pojazd księżycowy na powierzchni naszego naturalnego satelity.

Urania to zatem program godny polecenia wszystkim, którzy interesują się astronomią. Są w nim omawiane wybrane zagadnienia dotyczące Słońca, Księżyca i planet i aż chciałoby się, aby tych zagadnień było jeszcze więcej.

Wymagania sprzętowe do zainstalowania *Uranii* są niewielkie: wystarczy komputer IBM PC XT z kartą graficzną Hercules. Jednak do oglądania kolorowych fotografii potrzebna jest karta SVGA (640x480, 256 kolorów). Program napisany jest pod DOS, ale można go zainstalować również w WINDOWS 3.x i WINDOWS 95. Cena programu zachęca do kupienia: program z licencją jednostanowiskową kosztuje 38 zł, a z licencją wielostanowiskową - 57 zł. W opakowaniu *Uranii* znajdują się 3 dyskietki instalacyjne 3.5" HD, *Przewodnik Użytkownika* oraz umowa licencyjna wraz z kartą rejestracyjną.

Program napisała Iwona Chyży - pedagog, z wykształcenia astronom i informatyk. Rozprowadzaniem programu (również sprzedażą wysyłkową) zajmuje się firma *TAURUS Wdrożenia Informatyczne*, ul. Zakątek 13/4, 30-076 Kraków, tel./fax (0-12) 37-63-32.

Adam Michalec

URANIA 1.0

Dydaktyczny program astronomiczny na PC

- ✓ symulacje graficzne ruchów planet, Słońca, Księżyca
- ✓ wielosetletni kalendarz astronomiczny
- ✓ aktualne położenia planet na tle gwiazd do 7^m
- ✓ fotografie obiektów z misji sond kosmicznych i Teleskopu Kosmicznego.

Cena wersji jednostanowiskowej/wielostanowiskowej 38 zł/57 zł.
Sprzedaż za zaliczeniem pocztowym.

TAURUS

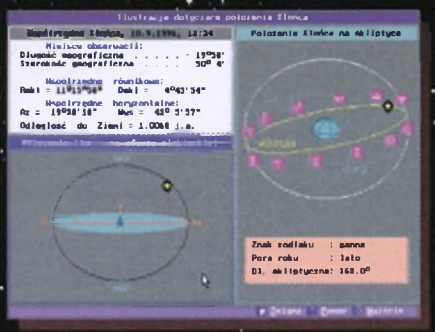
Wdrożenia Informatyczne
ul. Zakątek 13/4
30-076 Kraków
tel./fax. (0-12) 37-63-32

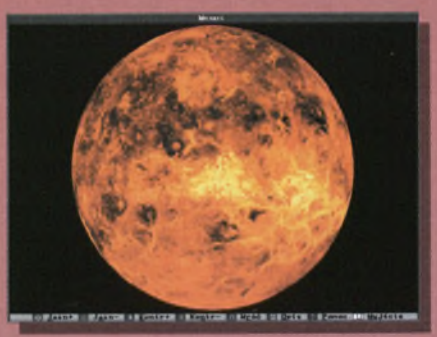
URANIA w. 1.0

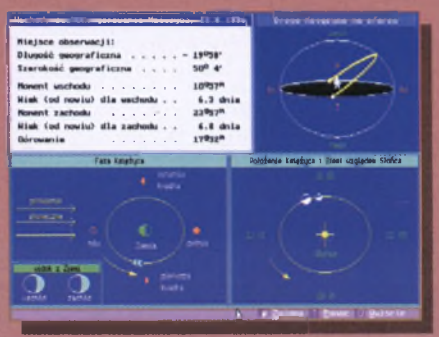
Numer Seryjny 5D8FB0DF
Autor: Iwona Chyży
Producent: TAURUS
30-076 Kraków
ul. Zakątek 13/4
tel. (0-12) 37-63-32

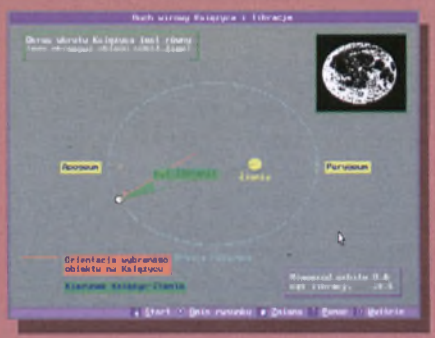
MENU

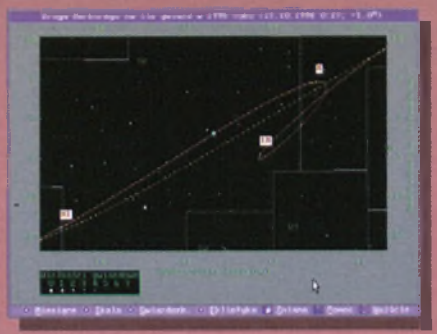
- Księżyc
- Słońce
- Planety
- Konfiguracja
- Pomoc
- Wyjście







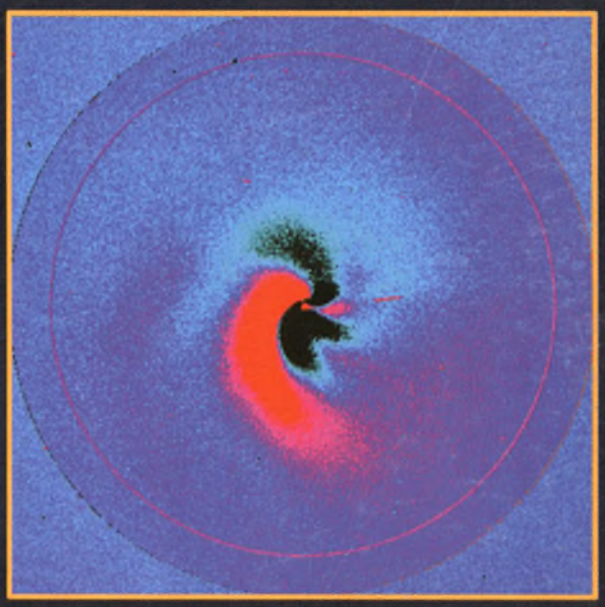


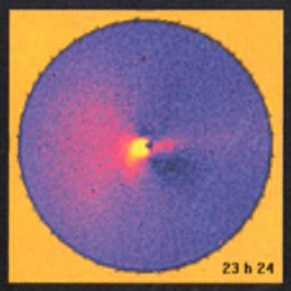


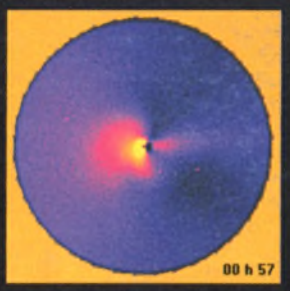
Rotacja komety

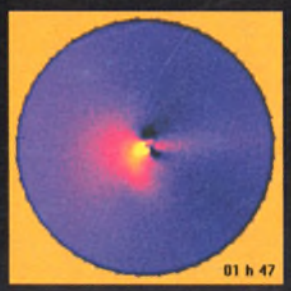
Prezentowane obok zdjęcie wykonane zostało rankiem 19 marca br. kamerą SUSI 3,5 metrowego teleskopu NTT obserwatorium ESO w La Silla, Chile. Dzięki nadzwyczaj sprzyjającym warunkom atmosferycznym (tzw. seeing nie większy niż 0,8 sek. łuku) i znakomitej jakości obrazów uzyskiwanych teleskopem nowej technologii (NTT) możliwe było zaobserwowanie szybkich zmian w obrębie najgłębszych obszarów głowy komety Hyakutake (kilkaset kilometrów od jądra). Z powodu szybkiego ruchu własnego komety, niemożliwe było zastosowanie automatycznego prowadzenia teleskopu. Wystarczające okazały się jednak dwusekundowe ekspozycje, w czasie których kometa przemieszczała się tylko o 0,5 sekundy łuku, aby ukazać nawet słabo widoczne szczegóły. Dobrze widoczne są silne strugi pyłu wyrzucanego z powierzchni kometarnego jądra. W serii 44. wykonanych zdjęć dało się zauważyć rzeczywiste zmiany morfologiczne tych strug (jednej sekundzie łuku odpowiada rozmiar 161 km). Sztuczne kolory wprowadzono w celu ukazania czasowych zmian jasności strug (najpierw pojaśniał obszar zaznaczony na czarno, następnie obszar zaznaczony na czerwono). Bardzo dobrze widoczna jest rotacja o około 20 stopni zgodnie z ruchem wskazówek zegara.

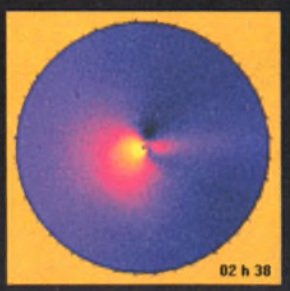
Czasowe zmiany głowy komety, ale w godzinowej skali czasu i z mniejszą rozdzielczością, ukazuje sekwencja sześciu obrazów uzyskanych w nocy z 18. na 19. marca jednometromym teleskopem obserwatorium na Pic Du Midi (Pireneje, Francja).

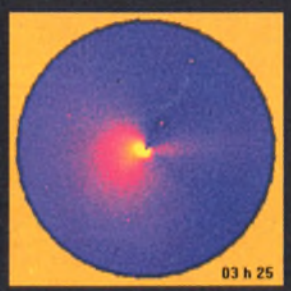


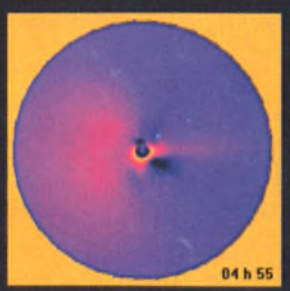




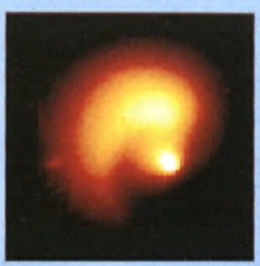








Zamieszczone obok zdjęcia pochodzą jeszcze z ubiegłego roku i przedstawiają uzyskane z pomocą Teleskopu Kosmicznego Hubble'a obrazy komety Hale-Bopp, która mknie aktualnie w pobliże Słońca. Tu również dobrze widoczne są efekty szybkiej rotacji jądra komety (jaśniejsza plama na obrazie lewym). Zadziwia wielka aktywność tej komety już w okolicach orbity Jowisza - większy, jasny, kroplopodobny obszar nad jądrem to spory fragment, który oderwał się od niego.



Na rozkładówce

Postępy Astronomii

3/96

tom 44

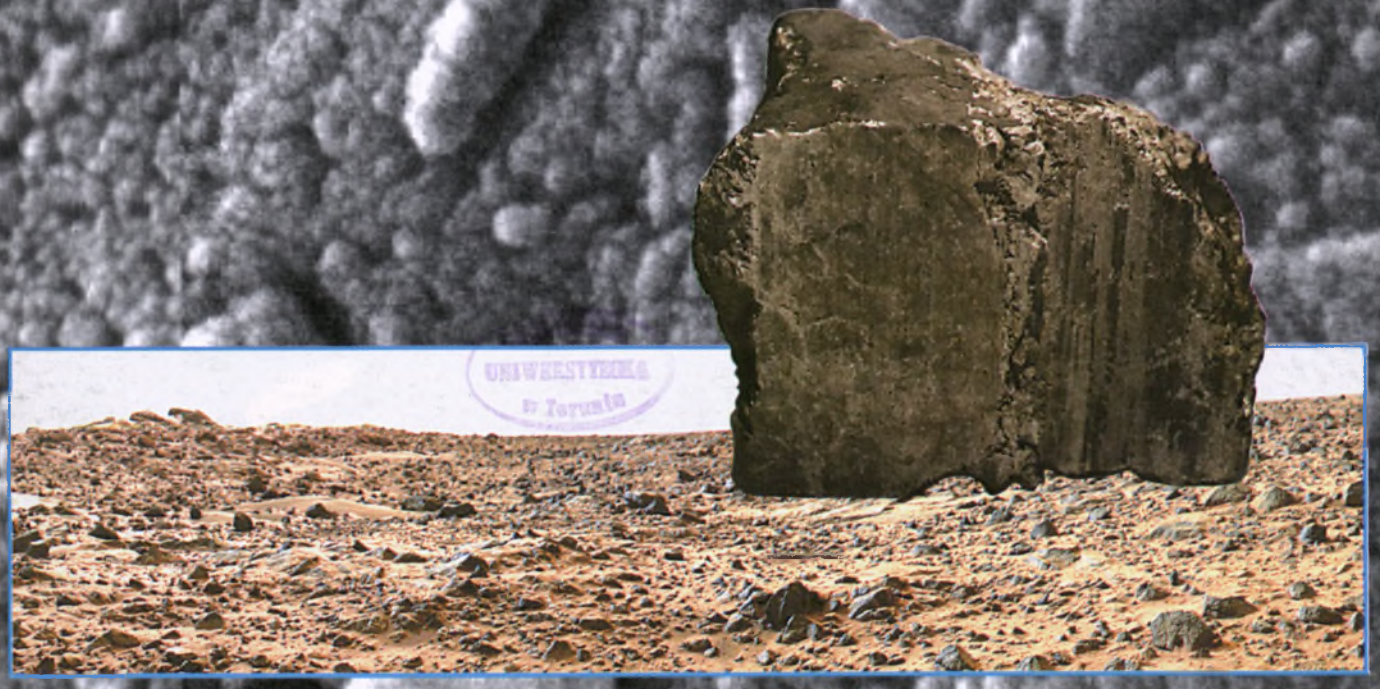
lipiec - wrzesień

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

W numerze:

- Polski teleskop w Chile!
- Galaktyczny kanibalizm
- Dlaczego Jowisz świeci?
- 100000. zdjęcie z Hubble'a

Życie na Marsie?



UNIWERSYTECKA w Toruniu

G 1

Gromada kulista w M 31

Na zdjęciu będącym mozaiką zdjęć uzyskanych przez HST w świetle widzialnym i bliskiej podczerwieni w lipcu 1994 roku, łatwo rozpoznać gromadę kulistą. Jest to wszakże kolejne świadectwo potęgi Teleskopu Kosmicznego, bowiem obiekt ten przynależy do galaktyki M 31 w Andromedzie, która jest przecież oddalona od nas o ponad 2 miliony lat świetlnych!

G1, zwana również Mayall II, jest odległa od jądra swej macierzystej galaktyki o 130 000 lat św., będąc jej najjaśniejszą gromadą. Co więcej, w całej Grupie Lokalnej nie ma ona sobie równych pod względem jasności. Astronomowie nie poprzestali rzecz jasna na zachwytach, lecz krytycznie i uważnie przeanalizowali te obserwacje. Co prawda na prezentowanym zdjęciu nie widać wszystkich członków gromady, jednak sama jasna plama w centrum G1 to przynajmniej 300 000 starych gwiazd. „Stan osobowy" Mayall II może wynosić nawet milion gwiazd. Temperatury i jasności słabszych gwiazd palących hel pozwoliły orzec o wieku tej gromady. Jest ona rówieśniczką najstarszych gromad Drogi Mlecznej – obiekty te powstały prawdopodobnie krótko po Wielkim Wybuchu, co daje nam możliwość wglądu we wczesną erę powstawania galaktyk (temat ten poruszamy również w artykule na stronie 125). Grupa uczonych kierowana przez Michael'a Rich'a pragnie w ciągu najbliższych dwóch lat zaobserwować za pomocą HST co najmniej 20 kolejnych gromad kulistych Wielkiej Mgławicy w Andromedzie. Powinno to dostarczyć danych, które przybliżą nas do opisania zarania historii M 31 i Galaktyki, dwóch kluczowych składników Grupy Lokalnej. Gdy tylko informacje te staną się dostępne, nie omieszkamy podzielić się nimi z Czytelnikami.

Drodzy Czytelnicy,

Minęło ostatnio 80 lat od ogłoszenia ***Teorii Grawitacji i 50 lat od śmierci jej Twórcy, Alberta Einsteina****. Ogólna Teoria Względności, była w historii nauki czymś wyjątkowym, dziełem zdecydowanie wyprzedzającym swoją epokę. Było to „najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury, zdumiewające połączenie filozoficznej koncepcji, fizycznej intuicji i zdolności matematycznych" - tak o ogólnej teorii względności wyraził się Max Born, laureat Nagrody Nobla w dziedzinie Fizyki w 1954 roku. „Postępy Astronomii" czczą obie te rocznice artykułem docenta Tadeusza Jarzębowskiego z Wrocławia, którego tytuł został zaczerpnięty właśnie z cytowanej powyżej wypowiedzi Maxa Borna o teorii Einsteina. Rozrósł się ten materiał ponad miarę jednego zeszytu i dlatego drugą jego część opublikujemy w zeszycie następnym.*

Jak można korzystać z praw grawitacji dla określenia nie tylko ruchów, ale i ***kształtów ciał Układu Słonecznego*** *(małych satelitów planet) pokazuje nam Krzysztof Goździewski z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu.*

Niewątpliwym „hitem" bieżącego numeru „Postępów" jest opowieść ***o największym polskim teleskopie optycznym****, którego budowa kończy się właśnie w Chile. Opowiada o nim i pokazuje go przy pomocy kolorowych zdjęć na środkowej wkładce doktor Andrzej Udalski, jeden z jego współtwórców i zapewne głównych w przyszłości użytkowników.*

Dlaczego świeci Jowisz? *- pyta w swym artykule dr hab. Roman Sioda, chemik z Przemysłowego Instytutu Chemii w Warszawie. I przypomina różne wysuwane na ten temat koncepcje, łącznie z koncepcją zimnej fuzji jądrowej. W opinii niektórych badaczy, taka właśnie fuzja jądrowa mogłaby być dobrym źródłem obserwowanej nadwyżki promieniowania Jowisza i Saturna.*

W „Rozmaitościach" omawiamy, już chyba spokojniej, bardziej rzeczowo i na zimno, gorący temat tegorocznego lata: ***odkrycie życia na Marsie****. Czytelnikom „Postępów Astronomii" nie musimy szczególnie wyjaśniać, że nie chodzi tu o odkrycie Marsjan czy zielonych ludzików na Marsie, a tylko pewnych faktów, które razem wzięte, mogłyby prawdopodobnie świadczyć o istnieniu przed 3.8 miliardami lat prostych, maleńkich bakterii, a więc prymitywnych form życia na Czerwonej Planecie. W tym dziale relacjonujemy też i pokazujemy obserwacje zjawisk geofizycznych w naszej ziemskiej atmosferze prowadzonych przez stację kosmiczną WIND. Nie od rzeczy będzie tu też zwrócić Państwa uwagę na* ***galaktyczny kanibalizm****, o czym pisze Marek Gołębiewski.*

Teleskop Kosmiczny Hubble'a przekroczył już magiczną liczbę wykonanych ***100 tysięcy zdjęć*** *obiektów niebieskich. Przypominamy ten fakt przytoczeniem właśnie stutysięcznego zdjęcia, ale też publikujemy inne wspaniałe obrazy Kosmosu tym teleskopem ostatnio uzyskane.*

W czerwcu 1996 r. polska społeczność astronomiczna żegnała na zawsze krakowskiego astronoma ***profesora Karola Kozieła****. Oddając Mu hołd, prezentujemy Jego sylwetkę naukową skreśloną piórem Prezesa naszego Towarzystwa Jerzego Kreinera.*

Ostatnio lawinowo powstają ***programy komputerowe do nauczania astronomii****. Długą ich listę i omówienie przygotowane przez panią Iwonę Chyży z Krakowa prezentujemy dla „Astronomii w Szkole" w dziale „W pudełku z dyskietkami".*

Zeszyt zamykamy przypomnieniem reguł kalendarza Majów i felietonem naszego Kolegi redakcyjnego Jacka Drążkowskiego na temat ***„Astronomia i Muzyka"*** *.*

Życzę Państwu przyjemnej lektury.

Toruń, w październiku 1996 roku.

Wyniki konkursu na błędne prezentacje reguły Titiusa-Bodego.

W numerze 2/95 *Postępów Astronomii*, po moim artykule „Niezwykła historia pewnej reguły", ogłoszony został konkurs na błędne prezentacje reguły Titiusa-Bodego. W swej klasycznej postaci, zapisywana jest ona w formie wzoru: $r = 0.4 + 0.3 \times 2^n$, gdzie r to średnia odległość planety od Słońca wyrażona w jednostkach astronomicznych. Przy $n = -\infty$ dla Merkurego oraz $n = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ i 7 dla następnych planet, wzór daje wartości: 0.4, 0.7, 1.0, 1.6, 2.8, 5.2, 10.0, 19.6 i 38.8, kolejno dla Merkurego, Wenus, Ziemi, Marsa, „średniej planetoidy", Jowisza, Saturna, Urana i Plutona. Wartości te doskonale zgadzają się z obserwowanymi. Pomijają jednak Neptuna i na wyjątkowej pozycji stawiają Merkurego, dla którego przyjąć trzeba $n = -\infty$, pomimo że logika by nakazywała $n = -1$.

Czynione *ad hoc* próby obejścia problemu z $n = -\infty$, prowadzą najczęściej do błędnych prezentacji reguły. „Piękny" tego przykład znalazłem w doskonałej skądinąd książce Willy Ley'a *W niebo wpatrzeni* (PIW, Warszawa, 1984). Oto, co tam napisano na str. 523: „wyraża się ona [czyli reguła Titiusa-Bodego] wzorem: $0.4 + 0.3 \times 2n$; gdzie za n podstawia się kolejno liczby: 0, 1, 2, 3, 4, 5 i tak dalej. Obecnie przedstawia się ją zazwyczaj w postaci tablicy: $4 + (0 \times 3) : 10 = 0{,}4$ Merkury, $4 + (1 \times 3) : 10 = 0{,}7$ Wenus, $4 + (2 \times 3) : 10 = 1{,}0$ Ziemia, $4 + (4 \times 3) : 10 = 1{,}6$ Mars, $4 + (8 \times 3) : 10 = 2{,}8$ Ceres, $4 + (16 \times 3) : 10 = 5{,}2$ Jowisz, (...)"

Jeżeli do podanego wzoru wstawimy podane wartości n, otrzymamy liczby: 0.4, 1.0, 1.6, 2.2, 2.8, 3.4, 4.0, 4.6, 5.2 itd. Wzór daje więc poprawną odległość i kolejność tylko dla Merkurego. Likwiduje natomiast Wenus ale stwarza planetę pomiędzy Marsem a planetoidami i aż trzy pomiędzy planetoidami a Jowiszem. Może w druku popełniono błąd ? Przyjmijmy, że zecer omyłkowo obniżył literę n, z wykładnika robiąc czynnik. Poprawiamy zatem wzór do postaci: $0.4 + 0.3 \times 2^n$. Wstawiamy podane wartości n i otrzymujemy ciąg liczb: 0.7, 1.0, 1.6, 2.8, 5.2, 10.0 itd, wśród których nie ma wartości 0.4 dla Merkurego. I tak źle i tak niedobrze, więc przyglądamy się tablicy. Podane tam wzorki, wcale nie dają wartości stojących po prawej stronie równań, ale ciąg liczb 4.0, 4.3, 4.6, 5.2, 6.4, 8.8 itd. A to dlatego, że w złym miejscu postawiono nawiasy. Aby wszystko grało, wzorki powinny mieć postać: $(4 + 0 \times 3) : 10$; $(4 + 1 \times 3) : 10$; $(4 + 2 \times 3) : 10$; $(4 + 4 \times 3) : 10$ itd.

Podejrzewając, że nie jest to jedyny przypadek błędnej prezentacji reguły, zaproponowałem Redakcji *Postępów* ogłoszenie konkursu. Książka *W niebo wpatrzeni* została z niego wyłączona, ponieważ przed oddaniem artykułu do druku, kilku osobom opowiadałem już o tym zaiste kuriozalnym przykładzie.

W konkursie wzięły udział trzy osoby: Ludwik Białkowski z Wrocławia, Mariusz Wojtkielewicz z Suchowoli i Paweł Sobotko z Olsztyna. Pierwszy uczestnik nie spełnił wymogów konkursu - nie szukając błędnych prezentacji, nadesłał mianowicie własną modyfikację reguły. Jej istota polega na zastosowaniu różnych wzorów dla planet ziemskich oraz jowiszowych. Zdaniem autora, potwierdzają one istnienie w przeszłości planety Facton, a w przyszłości pomogą polskim astronomom w odkryciu planet, krążących dalej niż Pluton.

Drugi uczestnik zajął się artykułem Janusza Synowca „Czy istnieje dziesiąta planeta Układu Słonecznego" (*Vademecum miłośnika astronomii*, nr 3/94 i 4/94). Reguła jest tam zapisana w postaci: $A = 0.4 + 0.3 \times N$, gdzie N przybiera wartości: 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256. Pana Wojtkielewicza muszę niestety rozczarować, bo taki zapis nie jest błędem. Jak łatwo bowiem sprawdzić, kolejne wartości N to przecież nic innego jak 2^n dla $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$. Podawanie konkretnych liczb, pozornie pozwala więc uniknąć problemu z nieskończoną wartością wykładnika dla Merkurego. Taki sprytny wybieg, znaleźć można na przykład w podręczniku *Astronomia ogólna* Eugeniusza Rybki.

Trzeci uczestnik, w książce Günthera Rotha *Kosmos Astronomiegeschichte. Astronomen - Instrumente - Entdeckungen* (Stuttgart 1987) znalazł formułę: $A = a + 2^n \times b$; gdzie $a = 0.4$, $b = 0.075$, zaś $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8$. Sam znalazca zaznacza, że w zasadzie nie jest to błędna prezentacja reguły Titiusa-Bodego, lecz jedna z modyfikacji, o jakich wspominałem w swoim artykule. W przypadku Merkurego, modyfikacja ta pozwala uniknąć nieskończonego wykładnika, ale daje za to gorszą zgodność z rzeczywistością. Bezsprzecznie błędną prezentację znalazł natomiast tenże uczestnik w książce *Encyklopedia astronómie* (Bratislava 1987). Na stronie 621 podano mianowicie wzór: $r = 0.4 + 0.3 \times b^2$, gdzie $b = 0, 1, ..., n$. Formuła ta daje prawidłowe wartości tylko dla Merkurego, Wenus i Jowisza.

Podsumowując, zwycięzcą konkursu został **Paweł Sobotko** z Olsztyna. Otrzymuje nagrodę książkową ufundowaną przez Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne.

Kazimierz Schilling

LISTY... LISTY... LISTY... LISTY...

Przekonywać astronoma, że siła grawitacji jest jedną z najbardziej podstawowych sił przyrody, byłoby trywialnym. Okazuje się jednak, że wśród specjalistów z dziedziny kosmonautyki stosunek do pojęcia grawitacji jest dość swoisty (choć także w kosmonautyce odgrywa przecież „dość istotną" rolę...).

Otóż upowszechnia się w kosmonautyce nazywanie braku **ciężaru**, występującego na lecącym ruchem bezwładnym (beznapędowym) aparatach i statkach kosmicznych, **„mikrograwitacją"** (!), gdyż rzekomo taka nazwa jest stosowana w literaturze zagranicznej.

Anglosaski termin *microgravity* ma jednak dwa znaczenia - adekwatne do istoty zjawiska **mikrociężar** i zupełnie niewłaściwe w tym przypadku - **mikrograwitacja**.

Również całkowicie niewłaściwe jest, nazywanie w kosmonautyce, siły odśrodkowej, mającej zastępować na bardzo dużych statkach kosmicznych, brak ciężaru **„sztuczną grawitacją"** (!). (Spotkałem się z tym terminem nawet w renomowanym miesięczniku *Świat Nauki* nr 4/96, str. 81 będącym tłumaczeniem amerykańskiego miesięcznika *Scientific American*. Mylenie siły odśrodkowej z grawitacją jest szczególnie rażące, gdyż siła odśrodkowa nie wytwarza, na zewnątrz obracającego się obiektu, pola sił rozciągającego się do nieskończoności, a we wzorach ją opisujących nie występuje stała grawitacji...

O nie **„wyczuwaniu"** istoty zjawiska grawitacji świadczy też powszechne w kosmonautyce mówienie o **„wydostawaniu się"**, lecących w głąb przestrzeni międzyplanetarnej, aparatów kosmicznych, ze **„sfery przyciągania Ziemi"**. Stanowi to bowiem dosłowne stwierdzenie, jakoby przyciąganie Ziemi (i analogicznie innych ciał kosmicznych) miało ograniczony zasięg. (Wystarczyłoby zaś dodanie jednego słowa - **„dominującego"** - aby sformułowanie uczynić możliwym do przyjęcia). W kosmonautyce nowego znaczenie nabiera też tak swojskie dla astronoma pojęcie **„orbita"**. Otóż coraz powszechniej się mówi, że sztuczne księżyce Ziemi znajdują się **„na orbicie Ziemi"** (!). (Analogicznie sztuczne Księżyce znajdują się **"na orbicie Księżyca"** itd.). W ogóle zresztą słowo **"orbita"** jest natrętnie używane.

No cóż, wypadnie nam astronomom chyba mówić, że komety znajdują się **„na orbicie Słońca"** (?!)...

W ogóle zresztą terminologia w dziedzinie kosmonautyki jest wysoce nieuporządkowana.

Nawet w tak pospolitej sprawie jak nazywanie samolotów kosmicznych (kosmoplanów) **„wahadłowcami"**, lub **„promami kosmicznymi"**, gdyż rzekomo tak je nazywają Amerykanie. Otóż słowo **„wahadłowiec"** w języku angielskim w ogóle nie istnieje, a „prom kosmiczny" nosiłby nazwę *„space ferry"*. Oba terminy są więc niezbyt udanym wymysłem polskim nigdzie indziej nie stosowanym. Najbardziej adekwatnym do istoty sprawy jest więc termin samolot kosmiczny (lub jednym słowem - kosmoplan).

Uwagi takie możnaby kontynuować, ale chodziło mnie tylko o zasygnalizowanie niepokojącego faktu, że dość dobrze skonkretyzowana terminologia astronomiczna (choć nie wolna od usterek, ale mających przynajmniej wieloletnią tradycję), zaczyna być w nieznośny (i niedorzeczny!) sposób przeinaczania przez specjalistów zajmujących się kosmonautyką...

dr A. Marks
Warszawa

Od Redakcji: Bardzo dziękujemy Panu Doktorowi Andrzejowi Marksowi za zwrócenie uwagi na problemy nazewnictwa astronomicznego i astronautycznego w polskich czasopismach popularnonaukowych I prosimy Czytelników *PA* o wypowiedzi w tej sprawie.

* * *

Tak się złożyło. że dopiero w końcu sierpnia 1996 r. kupiłem *PA* 2/95 i mogłem przeczytać zamieszczony tam artykuł p. Kazimierza Schillinga pt. *Niezwykła historia pewnej reguły*, omawiający przeszłość i teraźniejszość **reguły Titiusa-Bodego** (RT-B). Chciałbym się do niej i artykułu ustosunkować. (...) Dziwna to reguła i niezwykłe są jej losy. Jak pisze o niej K. Schilling, *ma już 229 lat, a jej fizyczny sens ciągle nie jest znany*, aczkolwiek zdaje się wierzyć w jej przyszłość. Ja natomiast w jej popularności widzę potwierdzenie reguły, *że na bezrybiu*... Bo przecież od czasów Kopernika, który uświadomił nam istnienie Układu Słonecznego - **o jego genezie nie wiemy niczego!** A minęło już - lepiej nie liczyć - ile lat. (...) Jak z tego wynika - z omawianiem RT-B, można jeszcze kilkaset lat poczekać, gdyby nie to, że odgrywa ona w kosmogonii planetarnej znaczącą rolę i to negatywną. Wiąże bowiem sporą chyba część potencjału intelektualnego kosmogonistów na przyglądanie się temu tworowi w poszukiwaniu ukrytego w nim *fizycznego sensu*. Nawet jeśli takowy nie istnieje, będzie niedostrzegalny do czasu ujawnienia satelitotwórczych mechanizmów na drodze normalnych badań naukowych. W tym ujęciu RT-B kojarzy mi się z *niezwykłą historią* kamienia filozoficznego. Obecnie już wiemy, że taki kamień nie istnieje (...) Był to więc jedynie mit, ale jakże twórczy (...)

Dzięki Bogu i władzy ludowej (chyba wymieniłem w dobrej kolejności) - nie jestem profesjonalistą ani w zakresie astronomii ani geologii i nie jestem nawet miłośnikiem tych dyscyplin naukowych. Daje mi to nadzieję, że stojąc niejako z boku, będę widział omawiane tu sprawy lepiej. (...) Nauki o Ziemi stały się azylem dla różnej proweniencji (za przeproszeniem) Łysenków ze Wschodu i Zachodu, przedstawiających swoje papierowe wizje z dużym tupetem przy całkowitym lekceważeniu faktów, a nawet zwykłego rozsądku. (...) Tak czy inaczej - **intelektualny bezwład kosmogonii planetarnej** trwa zbyt długo, ażeby mógł być dłużej tolerowany (...)

Jerzy Tyszka
Kalisz

Od Redakcji: Bardzo nas cieszy tak żywa i emocjonalna reakcja na zamieszczane w *PA* teksty. Nie możemy jednak podzielić opinii, że nic nie wiemy na temat genezy Układu Słonecznego i jego składników, a szczególnie naszej Ziemi. Proces formowania się Układu jest już w ogólnym zarysie poznany, chociaż wiedza ta na pewno jest zbyt mało spopularyzowana - można tutaj polecić takie książki jak: Paweł Artymowicz *Astrofizyka układów planetarnych* (Wyd. Naukowe PWN, seria „Astrofizyka", Warszawa 1995) oraz Harry Y. McSween, Jr. *Od gwiezdnego pyłu do planet* (Wydawnictwo Prószyński i S-ka, seria „Na ścieżkach nauki", Warszawa 1996). W kosmogonii bynajmniej nie ma zastoju, a w najbliższym czasie spodziewać się można znaczących osiągnięć, co związane zapewne będzie z odkryciem wreszcie planet wokół innych gwiazd - nasz Układ będzie nareszcie można porównywać z innymi.

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 (IA UMK Toruń)

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

Redakcja techniczna i opracowanie graficzne: Jacek Drążkowski

Korekta: Małgorzata Śróbka - Kubiak

Redakcja w Toruniu:
Instytut Astronomii UMK
ul.Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail address);
aw@astri.uni.torun.pl

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

Skład komputerowy: Mirosław Kubiak

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

Dystrybucja: Barbara Gertner, Instytut Astronomii UMK, Toruń

Numer zamknięto w październiku 1996 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 •

Pismo jest dofinansowywane przez Komitet Badań Naukowych, Fundację Astronomii Polskiej i Komitet Astronomii PAN.

© POSTĘPY ASTRONOMII 1996

W NUMERZE:

101 **„Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury, ..."**
Tadeusz Jarzębowski
O tym, że jabłka spadają z drzewa, czy też, że Księżyc krąży wokół Ziemi, wiedziano od dawna. Newton stworzył teorię wyjaśniającą te zjawiska.Z dziełem Einsteina było inaczej. Motywacją była tu głęboka, filozoficzna potrzeba poszukiwania prostoty i jedności w przyrodzie.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A
100 000 zdjęć wykonanych Teleskopem Kosmicznym (141).
G1 - gromada kulista w M31 - II strona okładki.
η Carinae - III strona okładki.
Matecznik gwiazdowy w sąsiedniej galaktyce - IV strona okładki.

108 **Dlaczego Jowisz świeci?**
Roman Edmund Sioda
Mimo, że współczesne badania Jowisza dopuszczają wiele nierozwiązanych jeszcze tajemnic, jedną z najbardziej fascynujących - jest pochodzenie dodatniego bilansu energetycznego.

111 **O małych księżycach wielkich planet**
Krzysztof Goździewski
System Słoneczny zapełniony jest ogromną ilością ciał, które traktujemy jako „małe": asteroidami, kometami, księżycami planet . (...) Wiedza o nich, o ich budowie wewnętrznej, dynamice ruchu orbitalnego i obrotowego jest istotna dla zrozumienia ewolucji Układu Słonecznego jako całości.

125 **Galaktyczny kanibalizm czy pierwotna zapaść?**
Marek Gołębiewski
(...) Jest to nader skrótowe i „sensacyjne" ujęcie dwóch modeli, stanowiących teorie powstawania galaktyk na bazie rozważań tyczących się właśnie halo. Najwięcej „emocji" wiąże się najpewniej z teorią zaproponowaną w 1978 roku przez Searle'a i Zinna, owym „galaktycznym kanibalizmem". Swój rozwój galaktyki miałyby zawdzięczać przyłączaniu i akreowaniu mniejszych galaktyk - satelitów.

129 **Warszawski teleskop fotometryczny w Chile**
Andrzej Udalski
Od lat marzeniem polskich astronomów obserwatorów było posiadanie dostępu do dobrej klasy teleskopu optycznego znajdującego się w miejscu o znakomitym klimacie astronomicznym. Marzenie to bliskie jest realizacji.

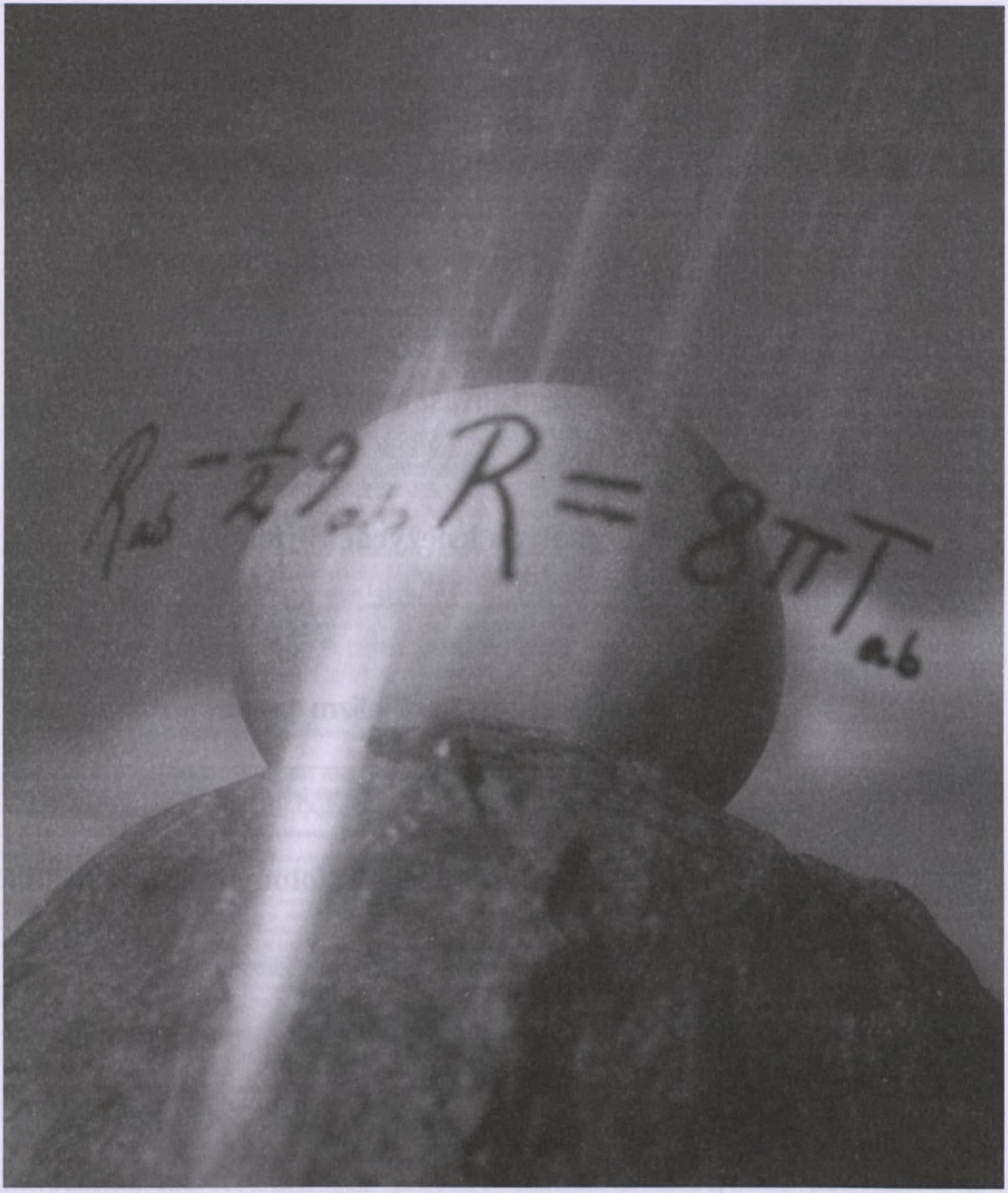
132 **Kalendarz Majów**
Leszek P. Błaszkiewicz
Kalendarz Majów, to być może najstarszy system odmierzania czasu, jaki stworzyła rasa ludzka. Ściślej rzecz ujmując, rachuba kalendarzowa stosowana przez Majów swe korzenie posiada najpewniej w starożytnej cywilizacji Olmeków - twórców tak zwanej „Kultury - Matki", a jak sądzą niektórzy badacze, sięga nawet Pre-Olmeków.

rozmaitości
WIND - 24 godziny z życia stacji w obrazkach (121).
Życie na Marsie (122).
Opowieść o Lalande 21185, czyli jak gwiazdka stała się gwiazdą (124).

98 ***Wyniki konkursu** na błędne prezentacje reguły Titiusa-Bodego.*
134 **Sylwetki *PA*:** Karol Kozieł (1910 - 1996).
137 **W pudełku z dyskietkami:** Programy astronomiczne *shareware.*
142 **Felieton:** *Astronomia i Muzyka.*
144 **Ogłoszenia ZG PTA:** *Nagroda Młodych* i *Nagroda im. Włodzimierza Zonna.*

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

NA OKŁADCE: *Marsjańska „bakteria", krajobraz Marsa i marsjański meteoryt Alan Hills.*



fot. J. Puszcz

...gdy opublikowano książkę
100 autorów przeciw Einsteinowi,
spokojnie odparował:
„gdybym nie miał racji, wystarczyłby jeden!"

(Stephen W. Hawking *Krótka historia czasu*)

„Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury,...”

(część I)

Tadeusz Jarzębowski

Wyjście w świat ogólnej teorii względności było w historii nauki wydarzeniem wielkim i niezwykłym. Prace teoretyczne mają najczęściej na celu interpretowanie znanych faktów. Przykładem prawo powszechnego ciążenia. O tym, że jabłka spadają z drzewa, czy też, że Księżyc krąży wokół Ziemi, wiedziano od dawna. Newton stworzył teorię wyjaśniającą te zjawiska. Z dziełem Einsteina było inaczej. Motywacją była tu głęboka, filozoficzna potrzeba poszukiwania prostoty i jedności w przyrodzie. Einstein nie miał na uwadze zjawisk, które jego teoria miałaby tłumaczyć. (Zresztą, poza problemem z orbitą Merkurego, innych nie dających się wyjaśnić fizyką newtonowską faktów wówczas nie znano). Z teorii Einsteina wynikały natomiast zjawiska nowe, dotąd nie znane. I tu jego wielki tryumf: przewidywane teorią zjawiska były sukcesywnie odkrywane. A gdy zaczęto poznawać takie egzotyczne obiekty jak kwazary, gwiazdy neutronowe czy czarne dziury, okazało się, że była już do dyspozycji gotowa teoria, właściwa do opisywania zjawisk w silnym polu grawitacyjnym. Dzieło Einsteina wyprzedziło epokę.

Tytuł tego artykułu zaczerpnięty został z wypowiedzi Maxa Borna o ogólnej teorii względności. Ów znakomity fizyk, współtwórca mechaniki kwantowej, laureat Nagrody Nobla 1954, o teorii Einsteina wyraził się, iż jest to „*Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury, zdumiewające połączenie filozoficznej koncepcji, fizycznej intuicji i zdolności matematycznych*”.

W miarę upływu lat wymowa tych słów jest coraz silniejsza.

1. Relatywistyczne zjawiska w otoczeniu ciał o dużej masie

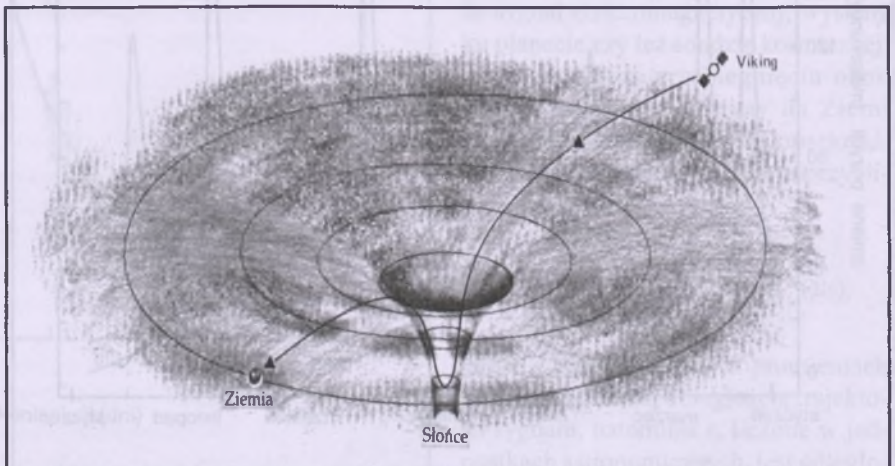
Ogólna teoria względności - nazywana też teorią grawitacji - wskazuje na występowanie nie znanych fizyce klasycznej zjawisk. Z uwagi na słabość oddziaływania grawitacyjnego zjawiska te winny manifestować się tylko w pobliżu masywnych ciał, a więc ciał niebieskich. Domeną badań i weryfikacji będzie tu więc astrofizyka, astronomia czy astronautyka (ale raczej nie laboratorium fizyczne).

Głównymi ze zjawisk, jakie winny wystąpić w polu grawitacyjnym, tj. w zakrzywionej czasoprzestrzeni masywnych ciał, są:

- ✓ zmiana kierunku biegu fotonów,
- ✓ opóźnienie sygnałów elektromagnetycznych (*efekt Shapiro*),
- ✓ obrót linii apsyd (*ruch peryastronu, perihelium*),
- ✓ precesja geodezyjna.

Do wykazu tego włączane bywa też zjawisko wpływu pola grawitacyjnego na jednostkę czasu, tj. na chód zegara; w astrofizyce znane jest ono pod nazwą poczerwienienia grawitacyjnego. Zjawisko to wynika jednak raczej z samej zasady równoważności (na której teoria grawitacji Einsteina bazuje) i stanowi test nie tyle dla ogólnej teorii względności, ile dla zasady równoważności.

Obserwacyjne potwierdzenie tych



Rys. 1. W sąsiedztwie masywnego ciała czasoprzestrzeń jest zakrzywiona. Następstwem tego jest odchylenie od prostoliniowości wiązki fali elektromagnetycznej oraz jej opóźnienie czy też obrót osi orbity obiektu obiegającego.

zjawisk jest jednocześnie argumentem przemawiającym za słusznością teorii. Pierwsze trzy z wymienionych (jak też poczerwienienie grawitacyjne) były już wszechstronnie badane; stwierdza się zgodność z teorią w granicach ułamków procenta. Co się zaś tyczy precesji geodezyjnej, to na bardziej konkretne dane trzeba będzie jeszcze poczekać.

Do faktów obserwacyjnych, potwierdzających ogólną teorię względności, dochodzi też tematyka fal grawitacyjnych. Będzie o tym mowa w drugiej części artykułu.

2. Fotony w polu grawitacyjnym. Zmiana kierunku

W myśl teorii foton, przebiegający w pobliżu ciała o masie M w odległości r od niego, zmienia kierunek o kąt

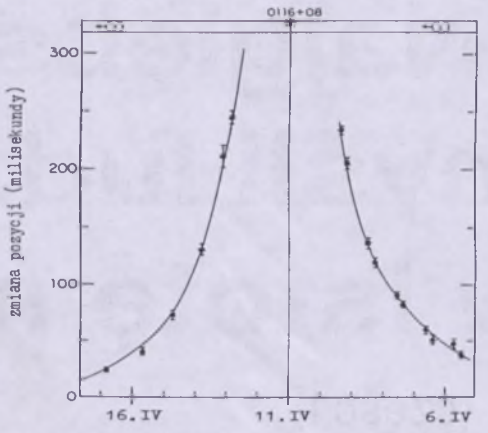
$$\Theta = \frac{1+\gamma}{2}\frac{4GM}{rc^2}\,(\text{radianów}),$$

gdzie $(1+\gamma)/2$ jest parametrem, który w równaniach ogólnej teorii względności jest równy jedności (ale różni się od jedności w innych teoriach).

Dla wiązki promieniowania elektromagnetycznego, przebiegającej tuż przy powierzchni Słońca

$$\Theta = \frac{1+\gamma}{2} \qquad 1''.749$$

Do pomiarów tego relatywistycznego zjawiska wykorzystywano dawniej jedyną możliwość, jaką stanowiły minuty zaćmienia Słońca. Po raz pierwszy wykonano takie obserwacje pod kierownictwem Eddingtona dnia 29 maja pamiętnego 1919 roku. Einstein miał się podobno wyrazić, iż „czułby żal do Wszechmogącego, gdyby obserwacje te nie potwierdziły jego teorii". Nie mógł on wówczas nawet przypuszczać, że pół wieku później będzie można wykonywać takie pomiary już bez pośrednictwa poczciwego satelity naszej planety.



Rys. 2. Radioźródło 0116+08 zakrywane jest przez Słońce około 11 kwietnia. Na rysunku obserwowane zmiany jego pozycji w miarę zbliżania się i oddalania Słońca. Pomiarów przy samej tarczy Słońca nie wykonywano z uwagi na wpływ refrakcji w koronie. Linia ciągła - przebieg zmian przewidziany przez teorię.

Wielkość kąta Θ, o jaką foton zmienia kierunek, nie zależy od długości fali. O taką samą wartość winna zatem zmienić się również pozycja usytuowanego w pobliżu ekliptyki radioźródła. A obserwacjom radiowym blask oświetlonej przez Słońce ziemskiej atmosfery nie przeszkadza! Co tu jeszcze ważniejsze to fakt, iż dokładność wyznaczanych pozycji radioźródeł znacznie przewyższa możliwości w dziedzinie widzialnej. Interferometria wielkobazowa - *Very long Baseline Interferometry* (VLBI) - umożliwia dziś pomiary z błędem do tysięcznych sekundy kątowej.

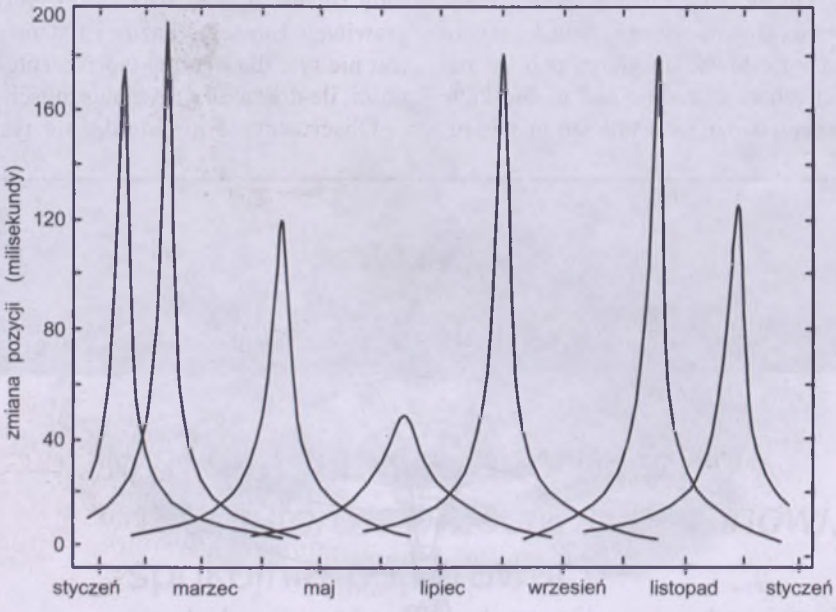
Ostatnie zaćmienie Słońca, jakie do tej relatywistycznej tematyki wykorzystano, miało miejsce w roku 1973. Konkurencja radioastronomii była już zbyt silna. Na **Rys. 2** przedstawiono pomiary zmian pozycji radioźródła, wykonywane w roku 1975. Błąd pomiarów był tu rzędu 1% (podczas gdy przy obserwacjach optycznych jest to przynajmniej kilkanaście procent).

Rys. 3 ukazuje nowsze pomiary, przebieg zmian pozycji siedmiu radioźródeł (Robertson 1991). Odległości radioteleskopów, którymi wykonywano obserwacje, wynosiły tu od 3 do 10 tysięcy kilometrów. Zgodność danych obserwacyjnych z przewidywaniami ogólnej teorii względności doskonała; uzyskano tu $\gamma = 1.0002$ przy szacowanym błędzie standardowym ± 0.002.

Wielokrotnie wykorzystywane były do tych badań znane, jasne kwazary 3C 273B i 3C 279; ten drugi zakrywany jest przez tarczę Słońca rokrocznie około 8 października. Najnowsze obserwacje tych obiektów (Lebach 1995) dały $\gamma = 0.9996 \pm 0.0017$. Odpowiada to odchyleniu wiązki promieniowania $\Theta = 1''.7486$, a zatem 0.9998 ± 0.0008 wartości przewidzianej przez teorię Einsteina.

Na **Rys. 4** przedstawiono zestawienie wyników ważniejszych pomiarów wpływu pola grawitacyjnego Słońca na kierunek biegu fotonów.

Mała dygresja. Ukazała się niedawno publikacja (Gould 1993), w której



Rys. 3. Wyznaczanie zmiany pozycji radioźródeł, usytuowanych w różnych miejscach nieba w pobliżu ekliptyki. Maksymalnym odchyłkom odpowiada największe zbliżenie Słońca do danego obiektu.

autor zwraca uwagę, że obserwacje z satelity Hipparcos pozwoliłyby na wykrycie zmian pozycji gwiazd, wywołanych przechodzeniem promieniowania przez pole grawitacyjne... naszej planety. Masa jest tu wprawdzie ponad pięć rzędów mniejsza i ta relatywistyczna dewiacja winna wynieść tylko 0".00004 - niemniej oszacowania wskazują, iż byłoby to realne.

Na koniec nie można nie wspomnieć, że wspaniałym *postscriptum* do omawianej tu tematyki są soczewki grawitacyjne. A zagadnienie to opracował matematycznie Einstein jeszcze w latach trzydziestych.

3. Fotony w polu grawitacyjnym. Efekt opóźnienia

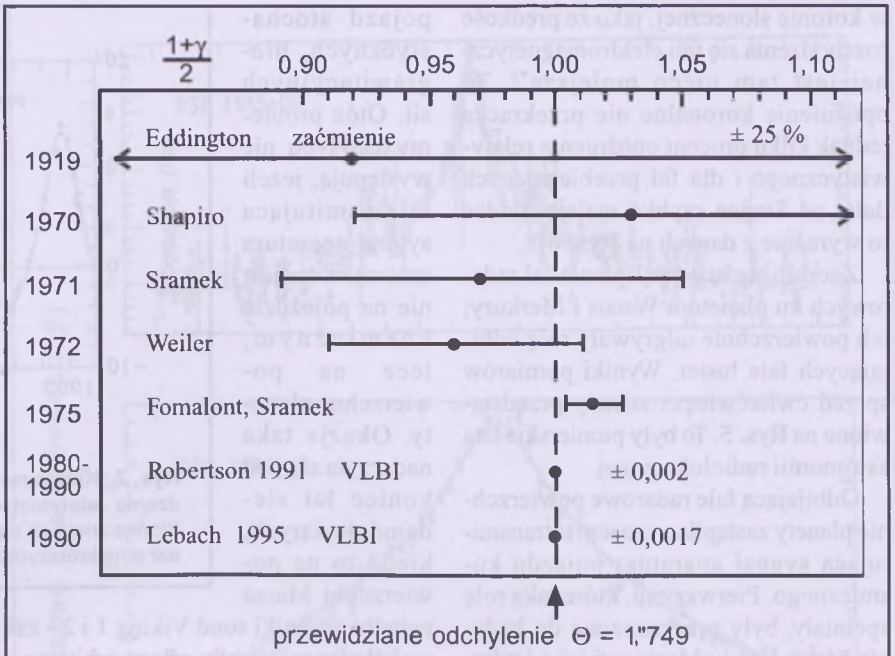
Przebiegająca w pobliżu masywnego ciała wiązka promieniowania elektromagnetycznego, niezależnie od zmiany kierunku, doznaje też pewnego opóźnienia. Wynika to z ogólnej teorii względności. Intuicyjnie mogłoby to być też zrozumiałe: mechanizm, który modyfikuje trajektorię fali elektromagnetycznej, winien pociągnąć też za sobą pewne opóźnienie w nadejściu tej fali.

Pozostanie jednak dla nas tajemnicą, dlaczego ani Einstein, ani jemu współcześni nie napisali nic na ten temat. Na zjawisko to zwrócił uwagę dopiero Irwin Shapiro blisko dziesięć lat po śmierci Einsteina. Stąd w literaturze spotyka się tu często określenie *Shapiro time-delay*. Fakt przeoczenia tego niewątpliwie istotnego zjawiska można by poniekąd tłumaczyć tym, iż w pierwszej połowie naszego stulecia nie do pomyślenia byłoby wykrycie tak subtelnych efektów czasowych.

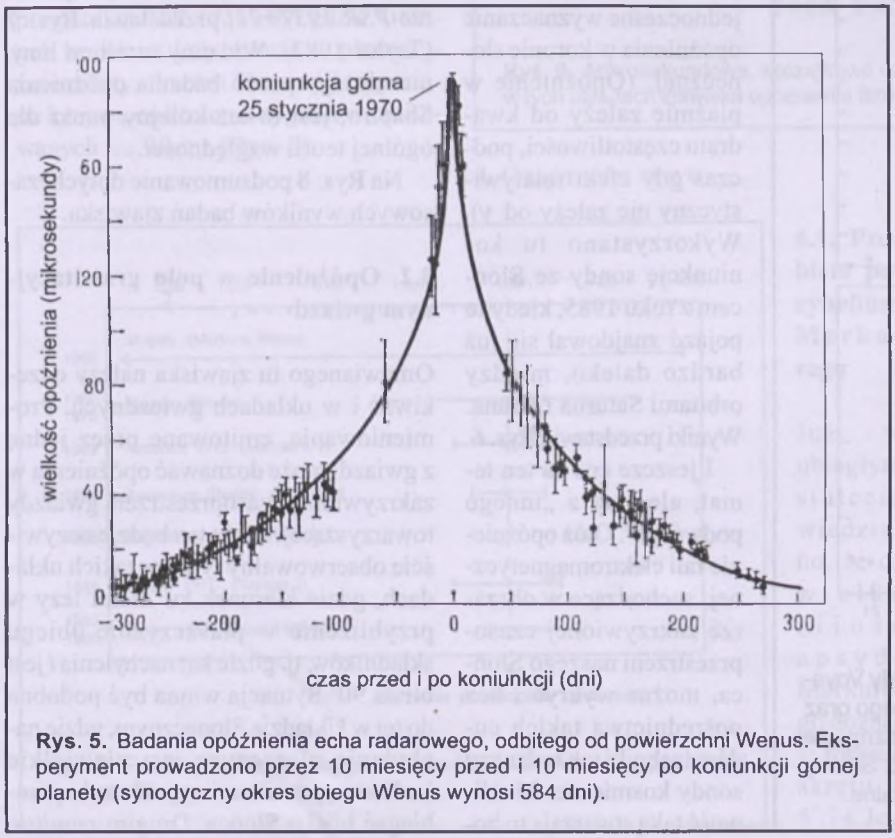
Badania stały się tu możliwe dopiero wraz z osiągnięciami współczesnej nauki i techniki, takimi jak radar, sondy kosmiczne, no i - przede wszystkim - zegary atomowe. Laboratorium badawczym jest Układ Słoneczny.

Zjawisko to ujawniło się jednak i w innych, bardzo od nas odległych „laboratoriach" - w układach podwójnych gwiazd. Owe mikrosekundowe opóźnienia, zachodzące w obszarze zakrzywionej czasoprzestrzeni towarzyszącej pulsarowi gwiazdy, już się wykrywa.

Omówimy kolejno obydwa przypadki.



Rys. 4. Pomiary zjawiska zmiany kierunku biegu fotonów. Za wyjątkiem wyników z roku 1919, pozostałe oparte są na obserwacjach radioźródeł.



Rys. 5. Badania opóźnienia echa radarowego, odbitego od powierzchni Wenus. Eksperyment prowadzono przez 10 miesięcy przed i 10 miesięcy po koniunkcji górnej planety (synodyczny okres obiegu Wenus wynosi 584 dni).

3.1. Opóźnienie w polu grawitacyjnym Słońca

Ogólna teoria względności przewiduje, że sygnał elektromagnetyczny, wysłany ku planecie czy też sondzie kosmicznej, po dwukrotnym przebiegnięciu obok Słońca zostanie odebrany na Ziemi z opóźnieniem około 250 mikrosekund. Wielkość opóźnienia wyraża tu przybliżona zależność

$$\frac{1+\gamma}{2}\,(250-20\ln\frac{d^2}{r})\quad(\mu s),$$

gdzie d jest wyrażoną w promieniach Słońca minimalną odległością trajektorii sygnału, natomiast r, liczone w jednostkach astronomicznych, jest odległością planety (sondy) od Słońca.

W eksperymentach tych trzeba brać pod uwagę opóźnienie zachodzące

w koronie słonecznej, jako że prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej jest tam nieco mniejsza*). To opóźnienie koronalne nie przekracza jednak kilku procent opóźnienia relatywistycznego i dla fal przebiegających dalej od Słońca szybko maleje (widać to wyraźnie z danych na **Rys. 6**).

Zaczęło się tu od wysyłania fal radarowych ku planetom Wenus i Merkury; ich powierzchnie odgrywały rolę odbijających fale luster. Wyniki pomiarów sprzed ćwierćwiecza zostały przedstawione na **Rys. 5**. To były pionierskie lata astronomii radiolokacyjnej.

Odbijającą fale radarowe powierzchnię planety zastąpiła z czasem retransmitująca sygnał aparatura pojazdu kosmicznego. Pierwszymi, które taką rolę spełniały, były przeznaczone do badania Marsa sondy Mariner 6 i 7 (Anderson 1975) oraz Mariner 9. W eksperymentach tych szacunkowy błąd pomiarów był rzędu 2 - 3 %.

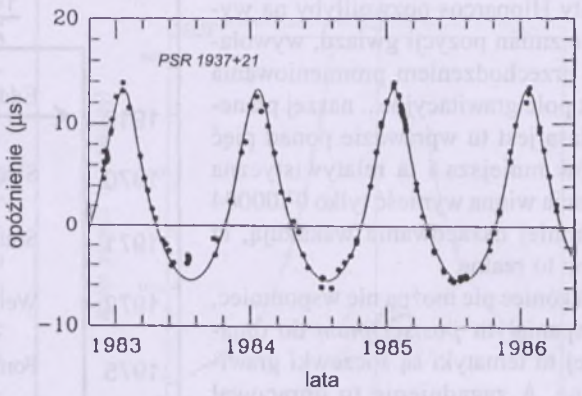
Głównym źródłem niepewności jest w tym wypadku mało dokładna znajomość pozycji pojazdu kosmicznego, czego przyczyną jest oddziaływanie na pojazd stochastycznych, niegrawitacyjnych sił. Otóż problemy tego typu nie występują, jeżeli retransmitująca sygnał aparatura umieszczona jest nie na pojeździe kosmicznym, lecz na powierzchni planety. Okazja taka nadarzyła się pod koniec lat siedemdziesiątych, kiedy to na powierzchni Marsa osiadły próbniki sond Viking 1 i 2 - zaś wokół planety krążyły człony orbitujące.

Dane, uzyskane za pośrednictwem sond Viking, dostarczyły najdokładniejszych, jak dotąd, pomiarów opóźnienia sygnałów (Reasenberg 1979). Otrzymano tu $\gamma = 1.000 \pm 0.002$, czemu odpowiada zgodność z przewidywaniami ogólnej teorii względności w granicach 0.1 %.

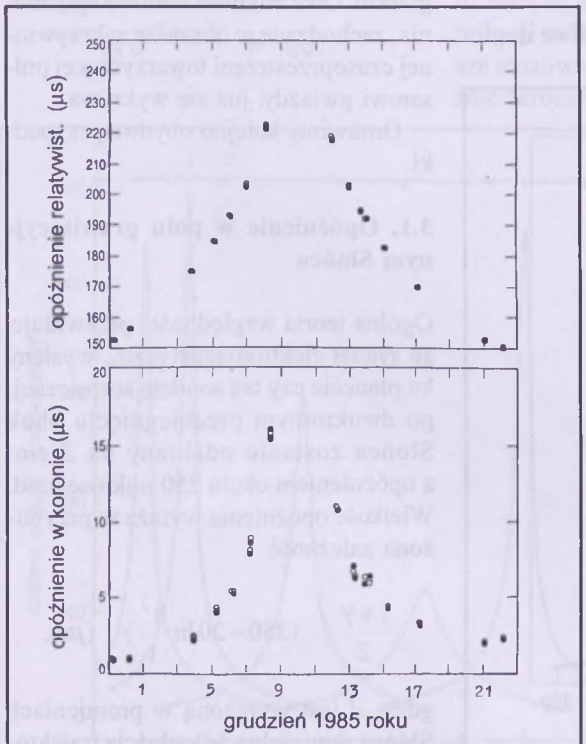
Ostatnia z opublikowanych na ten temat prac dotyczy sondy Voyager 2 (Krisher 1991). Tu istniała możliwość śledzenia echa radarowego na dwóch częstotliwościach, co umożliwiało jednoczesne wyznaczanie opóźnienia w koronie słonecznej. (Opóźnienie w plaźmie zależy od kwadratu częstotliwości, podczas gdy efekt relatywistyczny nie zależy od ν). Wykorzystano tu koniunkcję sondy ze Słońcem z roku 1985, kiedy to pojazd znajdował się już bardzo daleko, między orbitami Saturna i Urana. Wyniki przedstawia **Rys. 6**.

I jeszcze coś na ten temat, ale już z „innego podwórka". Otóż opóźnienie fali elektromagnetycznej, zachodzące w obszarze zakrzywionej czasoprzestrzeni naszego Słońca, można wykryć i bez pośrednictwa takich cudów techniki jak radar czy sondy kosmiczne. Możliwość taką stwarzają tu bowiem pulsary. Pulsar to precyzyjny zegar, którego „tykanie" rejestrują nasze radioteleskopy. Ale gdy impulsy te przebiegają w pobliżu Słońca, w owym „tykaniu" winniśmy wykryć opóźnienie; w miarę zaś oddalania się naszej gwiazdy od pozycji pulsara na niebie to opóźnienie będzie się zmniejszać. Dłuższe obserwacje danego pulsara pozwolą zatem wykryć zachodzące w okresie rocznym odchyłki. (W przeciwieństwie do eksperymentów radarowych, będą to opóźnienia wywołane jednorazowym tylko przejściem fali przez pole grawitacyjne Słońca). Przebieg zjawiska, obserwowany w milisekundowym pulsarze *PSR 1937+21*, przedstawia **Rys. 7** (Taylor 1987). Widzimy tu zatem inny, niezależny sposób badania opóźnienia Shapiro; jest to też kolejny punkt dla ogólnej teorii względności.

Na **Rys. 8** podsumowanie dotychczasowych wyników badań zjawiska.



Rys. 7. Kilkuletnie obserwacje pulsara, wskazujące na zachodzenie relatywistycznego opóźnienia. Najbliżej tego pulsara Słońce znajduje się na przełomie stycznia i lutego. (Jest to pulsar o najkrótszym znanym okresie rotacji - 1.56 ms).



Rys. 6. Uzyskane za pośrednictwem sondy Voyager 2 wartości opóźnienia relatywistycznego oraz opóźnienia w koronie słonecznej. Zauważmy, że dla sygnałów przebiegających dalej od Słońca opóźnienie koronalne jest już zaniedbywalne.

3.2. Opóźnienie w polu grawitacyjnym gwiazd

Omawianego tu zjawiska należy oczekiwać i w układach gwiezdnych. Promieniowanie, emitowane przez jedną z gwiazd, może doznawać opóźnienia w zakrzywionej czasoprzestrzeni gwiazdy towarzyszącej. Efekt ten będzie oczywiście obserwowalny tylko w takich układach, gdzie kierunek ku Ziemi leży w przybliżeniu w płaszczyźnie obiegu składników, tj. gdzie kąt nachylenia i jest bliski 90°. Sytuacja winna być podobna do tej w Układzie Słonecznym, gdzie nachylenie płaszczyzn jest niewielkie i odbierany na Ziemi sygnał może przebiegać blisko Słońca. Drugim *conditio*

*) Opóźnienie sygnału radarowego o częstotliwości ν, który przeszedł przez warstwę plazmy o długości L i koncentracji elektronowej N_e wynosi $N_e L e^2/2\pi mc\nu^2$ (e, m - ładunek i masa elektronu).

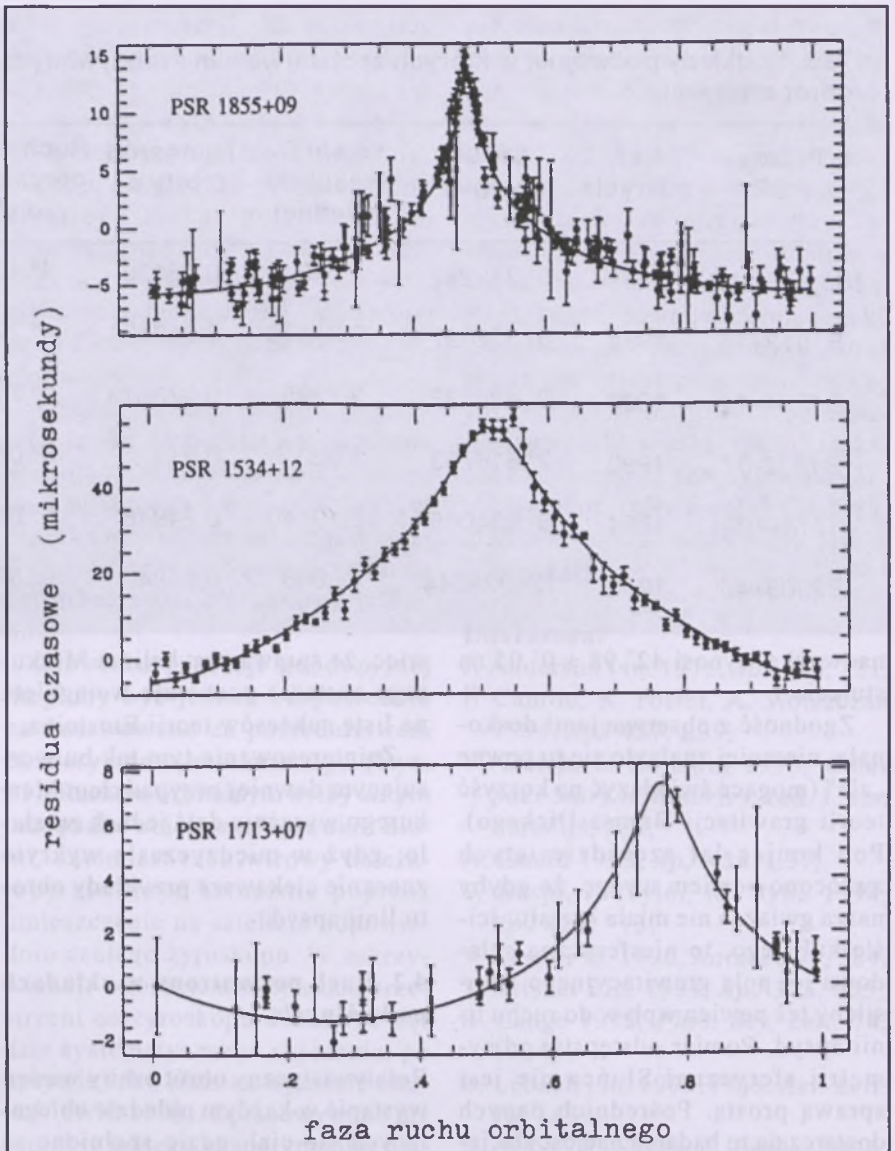
sine qua non jest, by emitowane promieniowanie charakteryzowała znana okresowość, z odstępstw od której można by wnioskować o zachodzącym opóźnieniu. Innymi słowy, jedna z gwiazd ma być pulsarem. Ogólnie biorąc, jest to jednak efekt bardzo subtelny, a jego wykrycie trudne. Te mikrosekundowe odchyłki zachodzą tu w okresie obiegu składników i trzeba je wyłuskać z innych, zachodzących w tym samym okresie zmian.

Pierwszym układem podwójnym, gdzie to relatywistyczne opóźnienie zostało wykryte, był układ *PSR B1855+09*, zawierający milisekundowego pulsara o wysokiej stabilności (Kaspi 1994). Orbita jest tu prawie kołowa o nachyleniu 89°, okres obiegu składników 12,3 dnia. Odpowiedzialny za opóźnienie towarzysz przedstawia się skromnie, jego masa wynosi około 1/4 masy Słońca.

Następnym był odkryty przez Wolszczana (1991) relatywistyczny układ *PSR B1534+12*. Efekt opóźniania jest tu większy, gdyż towarzyszem jest gwiazda neutronowa o masie 1,4 $M_\odot$; kąt nachylenia orbity około 78°.

Wreszcie trzecim i jak na razie ostatnim jest *PSR J1713+0747*, wokół którego obiega w ciągu 68 dni gwiazda o masie około 1/3 $M_\odot$ (Camilo 1994).

Na **Rys. 9** ilustracja zjawiska dla wymienionych trzech układów (Wolszczan 1994). Zauważmy, że - zwłaszcza w przypadku *PSR 1855+09*, gdzie kierunek ku Ziemi leży prawie w płaszczyźnie orbity - kształt krzywej przypomina krzywą opóźnienia sygnałów emitowanych ku Wenus (**Rys. 5**).



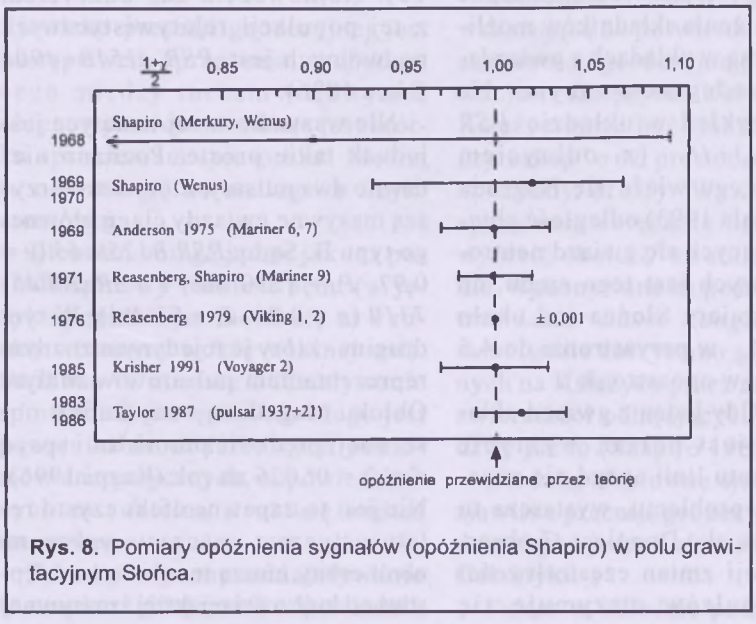
Rys. 9. Mikrosekundowe, szczątkowe odchyłki, będące konsekwencją występowania w tych układach zjawiska opóźnienia fali elektromagnetycznej.

4. Obrót linii apsyd

4.1. Problem peryhelium Merkurego

Już w ubiegłym stuleciu wiedziano, że oś wielka (linia apsyd) Merkurego doznaje rocznie skrętu o 5″.74. Jest to głównie spowodowane oddziaływaniem grawitacyjnym sąsiednich planet: Wenus odpowiedzialna jest tu za 2″.78; Jowisz - 1″.54; Ziemia - 0″.90. Jednakże, po uwzględnieniu wszystkich możliwych perturbacji, otrzymywało się liczbę o 0″.43 mniejszą niż to wynikało z danych obserwacyjnych. Dlaczego obrót orbity był szybszy? - na to pytanie na gruncie mechaniki newtonowskiej odpowiedzi uzyskać się nie dało.

Rozwiązanie tej dziewiętnastowiecznej zagadki przynosiła fizyka relatywistyczna. Istota problemu tkwi w okołosłonecznej krzywiźnie czasoprzestrzeni. Po wykonaniu obliczeń dla ruchu planety w rejonie o tej krzywiźnie okazuje się, że oś orbity Merkurego winna skręcać się o 43.03 sekundy kątowe na stulecie. Najnowsze pomiary, bazujące na danych radarowych, wskazują, że ta



Rys. 8. Pomiary opóźnienia sygnałów (opóźnienia Shapiro) w polu grawitacyjnym Słońca.

Tab. 1. Układy podwójne, w których zaobserwowano relatywistyczny obrót orbity

Pulsar *PSR*	Rok odkrycia	Okres obiegu *P*	*a sin i* (sekundy świetlne)	Mimośród orbity e	Ruch roczny peryastronu $d\omega/dt$
B2127+11C	1989	$0^d.335282$	2.519	0.68139	$4^0.4636$
B1913+16	1974	$0^d.322997$	2.34176	0.617131	$4^0.2266$
B1534+12	1990	$0^d.420737$	3.7295	0.273678	$1^0.756$
B1802-07	1990	$2^d.616763$	3.920	0.212	$0^0.06$
J1518+4904	1994	$8^d.634005$	20.0440	0.24948	$0^0.011$
B2303+46	1985	$12^d.339544$	32.688	0.6584	$0^0.01$

nadwyżka wynosi 42″.98 ± 0″.05 na stulecie.

Zgodność z obserwacjami doskonała, niemniej znalazło się tu pewne „ale" (mogące świadczyć na korzyść teorii grawitacji Bransa-Dickego). Pod koniec lat sześćdziesiątych zwrócono bowiem uwagę, że gdyby nasza gwiazda nie miała kształtu ściśle kulistego, to niesferyczna składowa jej pola grawitacyjnego wnosiłaby też pewien wpływ do ruchu linii apsyd. Pomiar odstępstw od symetrii sferycznej Słońca nie jest sprawą prostą. Pośrednich danych dostarczają tu badania nad oscylacjami, z których wnioskować można o wewnętrznej rotacji Słońca; dane te wskazywałyby raczej na bardzo nieznaczne spłaszczenie. Być może więc, że sprawa peryhelium Merkurego zostanie ponownie wciągnięta na listę sukcesów teorii Einsteina.

Zainteresowanie tym tak bulwersującym dawniej przypadkiem Merkurego wyraźnie dziś jednak zmalało, gdyż w międzyczasie wykryto znacznie ciekawsze przykłady obrotu linii apsyd.

4.2. Ruch peryastronu w układach podwójnych.

Relatywistyczny obrót orbity winien wystąpić w każdym układzie obiegających się ciał, gdzie spełnione są wymagane dla zjawiska warunki. Rzecz zrozumiała, że efekt będzie bardziej widoczny w układach o dużym mimośrodzie, no i tam, gdzie odległość obiegających się ciał jest niewielka. Znaczne zbliżenia składników możliwe są w układach z gwiazdami zdegenerowanymi. Na przykład w układzie *PSR 1913+16* (z odkryciem którego wiąże się Nagroda Nobla 1993) odległość obiegających się gwiazd neutronowych jest tego rzędu, co rozmiary Słońca (od około 1 $R_\odot$ w peryastronie do 4,5 $R_\odot$ w apoastronie).

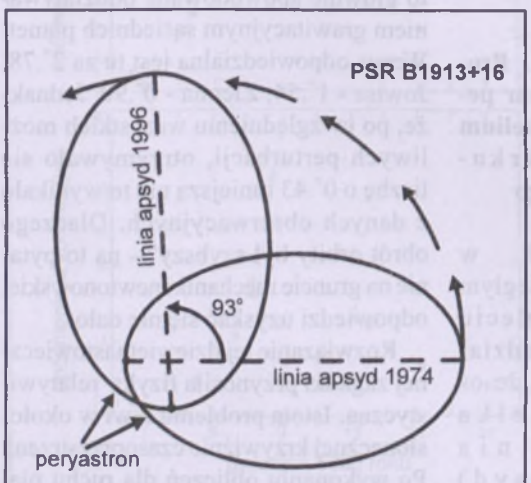
Gdy jedną z gwiazd układu jest pulsar, wykrycie obrotu linii apsyd nie stwarza problemu, wystarcza tu zjawisko Dopplera. Z obserwacji zmian częstotliwości impulsów otrzymuje się krzywą prędkości radialnych; jej kształt zależy oczywiście od orientacji osi orbity względem obserwatora. Gdy zatem orbita skręca się, zmienia się kształt tej krzywej. Przykładem służyć tu może znana, spektakularna wręcz metamorfoza krzywej prędkości radialnych *PSR 1913+16*, gdzie to obracanie się orbity „widać" wręcz bezpośrednio.

W ostatnim opublikowanym katalogu (Taylor 1993) na 558 pulsarów 24 wchodziły w skład układu podwójnego. Liczba znanych obecnie pulsarów przekroczyła 700, a liczba podwójnych - 45. Relatywistyczny obrót orbity wykryto we wszystkich prawie układach o większym mimośrodzie; jest ich jak dotąd sześć. Dane zawarto w **Tab. 1**.

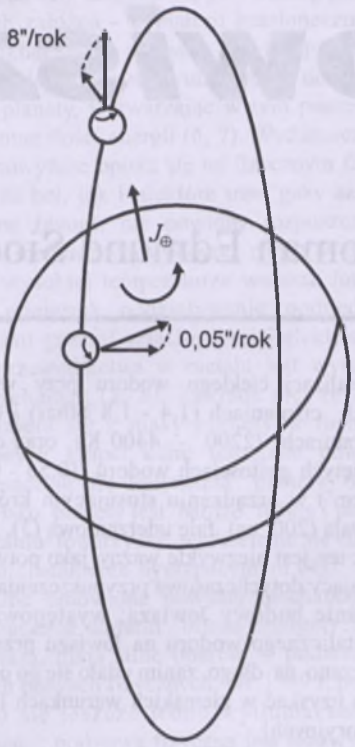
Pod względem prędkości obrotu linii apsyd pierwsze miejsce zajmuje *PSR B2127+11C* (Deich 1996). Obiekt ten znajduje się w bogatej w pulsary gromadzie kulistej M15 w gwiazdozbiorze Pegaza. Rokrocznie orbita skręca się tu o prawie cztery i pół stopnia. W ciągu swego życia człowiek miałby zatem szanse prześledzić pełny obrót tego układu, gdyż potrzeba na to tylko 80 lat.

Protoplasta podwójnych pulsarów, *PSR 1913+16*, obserwowany jest od 22 lat. Przez ten czas jego orbita zdążyła skręcić się już o ponad 90° (**Rys. 10**). Najnowszym zaś odkryciem z tej populacji relatywistycznych podwójnych jest *PSR J1518+4904* (Nice 1996).

Nie wszystko w tej tematyce jest jednak takie proste. Poznano niedawno dwa pulsary, którym towarzyszą masywne gwiazdy ciągu głównego typu B. Są to: *PSR B1259-63* (e = 0.97, P = 1250 dni) i *PSR J0045-7319* (e = 0.81, P = 51 dni). W tym drugim - który jest jedynym znanym reprezentantem pulsarów w Małym Obłoku Magellana - uzyskana z obserwacji prędkość obrotu linii apsyd $d\omega/dt = 0^o.026$ na rok (Kaspi 1996). Nie jest to zapewne efekt czysto relatywistyczny; znaczący wpływ na obrót orbity muszą tu mieć też odstępstwa od kulistości tej dużej i masywnej



Rys. 10. Relatywistyczny obrót orbity. Powrót do położenia z roku odkrycia - 1974 - nastąpi w roku 2059. (Nachylenie orbity tego układu do płaszczyzny stycznej do sfery niebieskiej winno wynosić około 47°.



Rys. 11. Precesja żyroskopu na okołoziemskiej, biegunowej orbicie. Gdy oś leży w płaszczyźnie orbity, doznaje w następstwie precesji geodezyjnej skręcenia o 8 sekund kątowych na rok; oś przebiegająca prostopadle ulegnie skręceniu o 0".05.

gwiazdy towarzyszącej. Występowałby tu zatem problem podobny do tego, jaki komplikował sprawę interpretacji ruchu peryhelium Merkurego.

5. Precesja geodezyjna

Zjawisko precesji geodezyjnej jest następstwem sprzężenia, zachodzącego między ruchem wirowym a obiegowym - co nazywane jest krótko sprzężeniem spin-orbita. Można tu odnieść się do analogii z fizyki atomowej.

Elektron obiega jądro, jak też posiada spinowy moment pędu (w języku popularnym mówi się tu o ruchu wirowym wokół własnej osi). Otóż ma tu miejsce oddziaływanie spin-orbita, następstwem czego jest powstawanie dodatkowych poziomów energetycznych, odpowiedzialnych za subtelną strukturę widma atomowego.

To magnetyczne oddziaływanie w atomie znajduje swój odpowiednik w teorii grawitacji. Ma tu miejsce coś podobnego, mianowicie sprzężenie między ruchem wirowym a ruchem obiegowym ciała. Nawiązując do naszej planety, związany z ruchem wokół jądra moment pędu elektronu można przyrównać do momentu pędu Ziemi na orbicie - podczas gdy spinowy moment pędu elektronu odpowiadałby momentowi pędu Ziemi, wynikającemu z jej ruchu wirowego.

Ogólna teoria względności przewiduje, że oś obrotu Ziemi winna w ciągu każdego roku gwiazdowego doznać skręcenia o 0".019. Wykrycie tak drobnych zmian nie jest możliwe; są one maskowane przez inne perturbacje osi obrotu staruszki Ziemi.

Zjawisko precesji geodezyjnej mogłoby być jednak bezpośrednio zaobserwowane za pośrednictwem eksperymentu satelitarnego (**Rys. 11**). Ruchem orbitalnym byłby w tym przypadku obieg satelity wokół Ziemi, natomiast ruch wirowy należałoby stworzyć sztucznie poprzez umieszczenie na satelicie odpowiednio czułego żyroskopu. W zakrzywionej, okołoziemskiej czasoprzestrzeni oś żyroskopu doznawać będzie systematycznego skręcania; po upływie roku różnica wyniesie około 8" (Will 1993). Opracowywano już projekty takiego eksperymentu; najnowszy (Lange 1995) przewiduje możliwość pomiaru zjawiska z tak wysoką precyzją, iż umożliwiałoby to wyznaczenie relatywistycznego parametru γ z dokładnością do 10^{-7}.

Tymczasem pierwszą jaskółką, wskazującą na potwierdzenie zjawiska precesji geodezyjnej, były obserwacje... Księżyca. Układ Ziemia-Księżyc może być traktowany jako „żyroskop" o osi prostopadłej do płaszczyzny orbity. Wynikające ze sprzężenia skręcanie osi winno tu wynieść około 2" na stulecie. Badania, wykonywane za pośrednictwem tzw. *Lunar Laser Ranging Experiment* (gdzie korzystano z umieszczonych na Księżycu przez astronautów zwierciadeł odbijających), potwierdziły już to (Shapiro 1988).

Bardziej efektowne ujawnienie się zjawiska precesji geodezyjnej nadejdzie chyba jednak z czasem z głębin Galaktyki.

Pulsar w układzie podwójnym to przecież wspaniały, naturalny żyroskop na orbicie. Owo sprzężenie ruchu wirowego i obiegowego winno zamanifestować się tu w całej okazałości. Z obliczeń wynika, że np. oś obrotu *PSR 1913+16* winna w ciągu roku doznać skręcenia o około jeden stopień. Wniosek stąd natychmiastowy, że musiałby zmieniać się i kąt między osią pulsara, a kierunkiem ku Ziemi - a to pociągałoby za sobą zmiany w rejestrowanej przez nas strukturze impulsów. Otóż obserwacje tego pulsara wskazują już na zachodzenie pewnych systematycznych zmian, które mogłyby być tłumaczone jako konsekwencja precesji geodezyjnej.

Literatura:

J. Anderson i in. 1975, *ApJ* **200**, 221,
F. Camilo, R. Foster, A. Wolszczan 1994, *ApJ* **437**, L39,
W. Deich, S. Kulkarni 1996, *Compact Stars in Binaries*, red. J. van Paradijs, 279,
A. Gould 1993, *ApJ* **414**, L37,
V. Kaspi, J. Taylor, M. Ryba 1994, *ApJ* **428**, 713,
V. Kaspi i in. 1996, *Nature* **381**, 584,
T. Krisher i in. 1991, *ApJ* **373**, 665,
B. Lange 1995, *Phys. Rev. Lett.* **74**, 1904,
D. Lebach i in. 1995, *Phys. Rev. Lett.* **75**, 1439,
D. Nice, R. Sayer, J. Taylor 1996, *ApJ* **466**, L87,
R. Reasenberg i in. 1979, *ApJ* **234**, L219,
D. Robertson i in. 1991, *Nature* **349**, 768,
I. Shapiro i in. 1988, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 2643,
J. Taylor 1987, *Relativistic Astrophysics*, red. M. Ulmer, 467,
J. Taylor i in. 1993, *ApJ* Suppl. **88**, 529,
C. Will 1993, *Theory and Experiment in Gravitational Physics*, 208,
A. Wolszczan 1991, *Nature* **350**, 688,
A. Wolszczan 1994, *Experimental Gravitation*, red. M. Karim, A227.

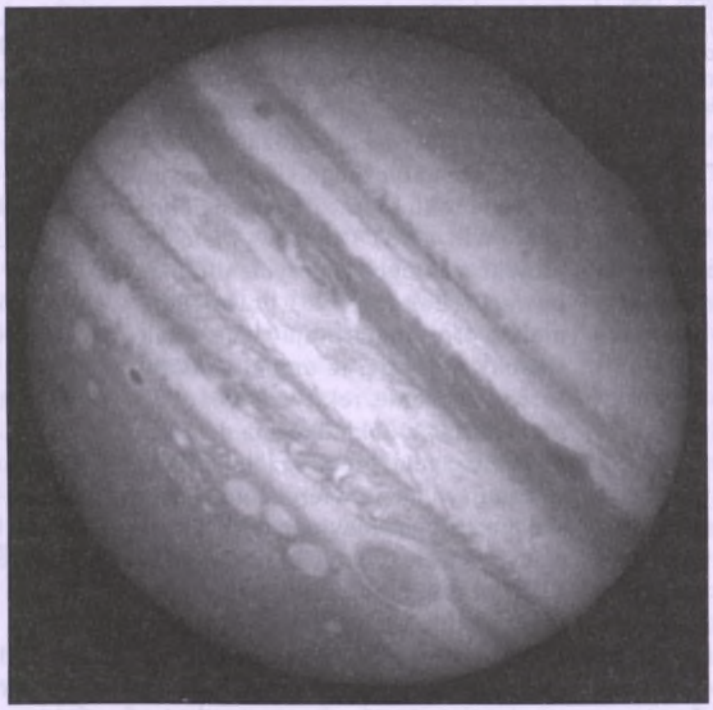
Doc. Tadeusz Jarzębowski jest astronomem, który zasłynął pierwszymi w Polsce obserwacjami fotoelektrycznymi gwiazd i rowerowymi wędrówkami turystyczno-astronomicznymi po całym świecie. O obserwacyjnych aspektach teorii grawitacji Einsteina pisał już w PA 3/91.

Dlaczego Jowisz świeci?

Roman Edmund Sioda

Jowisz wykazuje nadmiar promieniowania w stosunku do energii promienistej otrzymywanej od Słońca i nadmiar ten wynosi od 70 - 100%. Zgodnie z pracą R. Smoluchowskiego (1), Jowisz emituje około 10^{-3} W cm^{-2} więcej promieniowania, aniżeli otrzymuje od Słońca, co daje całkowitą moc nadmiarowego promieniowania około 10^{18} W Nie jest to wartość rewelacyjnie wielka w porównaniu z jasnością absolutną Słońca wynoszącą $3,83\times10^{26}$ W, ale jest porównywalna z ilością energii promienistej, która przychodzi do Jowisza ze Słońca ($3,23\times10^{18}$ W), oraz przekracza prawie o rząd energię promienistą Słońca, która osiąga Ziemię ($1,75\times10^{17}$ W). Jest to zatem energia znacząca. Jedną z konsekwencji produkcji energii przez Jowisza jest jego stosunkowo wysoka temperatura powierzchniowa wynosząca od 129 K do 425 K według danych próbnika Galileo, który wszedł w atmosferę Jowisza 7 grudnia 1995 r. i zarejestrował powyższy gradient temperatur w okresie 58-minutowego zanurzania się w atmosferę do głębokości 159 km od poziomu chmur amoniakalnych widocznych przez teleskopy z Ziemi; na powyższej głębokości ciśnienie wzrosło od 0,4 bar do 22 bar, kiedy to próbnik uległ zniszczeniu (2). Jowisz ma jasność gwiazdową (-2, 4^m), wyższą w przybliżeniu o jednostkę od jasności gwiazdowej Syriusza w gwiazdozbiorze *Wielkiego Psa* (-1,43^m); gdyby nie było wymienionego efektu dodatniego bilansu energetycznego, Jowisz świeciłby prawdopodobnie słabiej, może podobnie jak Syriusz. Zatem, wewnętrznej energetyce Jowisza możemy zawdzięczać, do pewnego stopnia, jego imponującą jasność.

Z Jowiszem związane jest wiele ciekawych zjawisk przyrody, takich jak gęste chmury i ich zawirowania (*Wielka Czerwona Plama*), brak twardej powierzchni, silne pole magnetyczne, bardzo silne wiatry w atmosferze osiągające 600-650 km/godz, odkryte przez próbnik Galileo, bardzo szybki obrót dookoła osi wynoszący 9,841 godz., oraz stosunkowo niewielka średnia gęstość wynosząca 1,33 g/cm^3. Gęstość Jowisza jest porównywalna z gęstością Słońca wynoszącą średnio 1.4 g/cm^3 i wskazuje, że Jowisz - podobnie jak Słońce - jest złożony głównie z wodoru. Tak jest w rzeczywistości, w dodatku do dużego nadmiaru wodoru i niewielkiej ilości innych pierwiastków, Jowisz zawiera jeszcze hel w ilości 13,7% masy całkowitej w atmosferze. Gęstość, ciśnienie i temperatura Jowisza wzrastają sukcesywnie w kierunku do jego centrum i przypuszcza się, że blisko centrum wynoszą one, kolejno, 4-5 g/cm^3, 50 Mbar i ~35000 K. Przypuszcza się także, ze Jowisz posiada bliżej nieokreślone jądro o gęstości około 25 g/cm^3. Wewnątrz Jowisza wodór występuje w stanie metalicznym, umożliwiającym przepływ ogromnych prądów elektrycznych, generujących silne pole magnetyczne. Ostatnio, w Lawrence Livermore National Laboratory w USA. udało się uzyskać doświadczalne potwierdzenie metalizacji ciekłego wodoru przy wysokich ciśnieniach (1,4 - 1,8 Mbar) i temperaturach (2200 - 4400 K) oraz osiągniętych gęstościach wodoru (0,56 - 0,72 g/cm^3) w urządzeniu stosującym krótkotrwałą (200 ns) falę uderzeniową (3). Wynik ten jest niezwykle ważny, jako potwierdzający dotychczasowe przypuszczenia odnośnie budowy Jowisza; występowanie metalicznego wodoru na Jowiszu przypuszczano na długo, zanim udało się go ostatnio uzyskać w ziemskich warunkach laboratoryjnych!



Mimo, że współczesne badania Jowisza dopuszczają wiele nierozwiązanych jeszcze tajemnic, jedną z najbardziej fascynujących - jest pochodzenie dodatniego bilansu energetycznego. Zgodnie z powszechnie przyjętym poglądem, dodatni bilans energetyczny jest związany z jedną z dwu lub oboma przyczynami jednocześnie. Oto one: grawitacyjna akrecja masy oraz fazowe oddzielenie helu (2, 4). Od dawna przypuszczano, że Jowisz ulega powolnej kontrakcji grawitacyjnej, uwalniając energię; aby wyjaśnić dodatni bilans energetyczny Jowisza, wystarczałoby założyć zmniejszenie promienia Jowisza o około 0,5 cm/rok. Mechanizm ten jednakże zakłada, że Jowisz jest ściśliwy, co niekoniecznie jest słuszne. Np., według ostatnich przypuszczeń badaczy francuskich, Jowisz od co najmniej 500 milionów lat znajduje się w stanie zestalonym, co utrudniłoby jego dalsze ściskanie i możliwość postępującej kontrakcji (zgodnie z hipotezą kontrakcji, w okresie 500 milionów lat promień Jowisza powinien zmniejszyć się o około 5000 km w stosunku do promienia planety, wynoszącego obecnie 71400 km, czyli o 7%) (4, 5). Druga hipoteza oparta jest na fakcie doświadczalnym, że atmosfera Jowisza, jak wynikało z danych pojazdów planetarnych Voyager i potwierdzonych ostatnio przez

Galileo, zawiera około dwukrotnie mniej helu, aniżeli znajduje się go - według przyjętych założeń - w materii prasłonecznej. Wyniknął stąd wniosek, że hel przypuszczalnie spływa w formie kropel do wnętrza planety, wytwarzając w tym procesie ogromne ilości energii (6, 7). Wytłumaczenie powyższe opiera się na fizycznym fakcie, że hel, jak i niektóre inne gazy szlachetne (neon), nie powinny rozpuszczać się w metalicznym wodorze, nawet w bardzo wysokiej temperaturze wnętrza Jowisza, ponieważ oddziaływanie pomiędzy lekkimi gazami szlachetnymi i elektronami przewodnictwa w metalu jest wysoce odpychające (2, 8). Zakłada się, że hel wydziela się z masy planety w formie drobnych kropel, które następnie powoli przesączają się do wnętrza planety. Środowisko planety jest bardzo lepkie i przesączaniu towarzyszy wydzielenie się energii o charakterze dyssypacyjnym (4).

Oba omówione powyżej mechanizmy, tłumaczące dodatni bilans energetyczny Jowisza, mają silne oparcie w podstawowych prawach fizycznych. W 1989 r. pojawiło się jeszcze jedno wytłumaczenie, którego podstawa fizyczna jest niezwykle kontrowersyjna. Chodzi o przypuszczenie podane przez Jones'a i współpracowników (9), że we wnętrzu Jowisza, jak i innych ciałach niebieskich, może zachodzić „zimna fuzja" pomiędzy deuterem, a wodorem lekkim, której towarzyszyłoby wydzielanie energii:

$$d + p \rightarrow {}^3He + \gamma\,(5{,}4\ MeV) \qquad (1)$$

Zakłada się, że reakcja termojądrowa (1) występuje w gwiazdach i we wnętrzu Słońca, będąc częścią cyklu protonowego wytwarzania energii:

$$p + p \rightarrow d + e^+ + \nu \qquad (2)$$

$$d + p \rightarrow {}^3He + \gamma \qquad (1a)$$

oraz

$$^3He + {}^3He \rightarrow \alpha + p + p\,, \qquad (3)$$

dzięki któremu wytwarza się 25,7 MeV energii, głównie w formie energii kinetycznej produktów. Dla wystąpienia cyklu protonowego konieczne są ogromne energie wzbudzenia, ciśnienia i gęstości takie, jakie panują we wnętrzu Słońca (temperatury rzędu 35 milionów K, ciśnienia rzędu 10^4 - 10^5 Mbar, oraz gęstości rzędu 10 - 100 g/cm^3). Według hipotezy przyjętej przez Jones'a i współpracowników, powolna tzw. „zimna fuzja" mogłaby już zachodzić w warunkach wnętrza Jowisza pod warunkiem, że Jowisz zawiera metaliczne jądro złożone głównie z wodoru i krzemianów żelaza, gdzie następowałaby niskotemperaturowa „kataliza" procesu fuzji. Wystąpienie reakcji (1) jest bardziej prawdopodobne aniżeli reakcji (2), gdyż energia wzbudzenia (wymagane temperatury) dla reakcji (1) jest znacznie niższa, aniżeli dla reakcji (2). Zatem „spalaniu" do helu-3 ulegałby deuter zawarty w Jowiszu. Przypuszcza się, że Jowisz zawiera - proporcjonalnie do lekkiego wodoru, 10^{-4} - 10^{-5} deuteru (9,10), czyli - w stosunku do pełnej masy Jowisza ($1{,}9\times10^{27}$ kg), 0,01 - 0,001% ($2\times(10^{23}$ - $10^{22})$ kg). Jest to ogromna ilość i „spalenie" tego deuteru według reakcji (1) dostarczyłoby energii rzędu $5\times(10^{36}$ - $10^{37})$ J, czyli biorąc pod uwagę nadmiarową moc energetyczną Jowisza, około 10^{18} W, starczyłoby tej energii z reakcji (1) na 10^{18} do 10^{19} s, tzn. na ogrzewanie Jowisza przez 10^{11} do 10^{12} lat na obecnym poziomie energetycznym. Hipoteza Jones'a i współpracowników została poddana weryfikacji teoretycznej przez Horowitz'a (11), Crowley'a (12), oraz Sivaram'a i de Sabbata (13). Nie wchodząc w szczegóły przeprowadzonych ocen i obliczeń, uzyskane rezultaty wskazują na możliwość powolnego zachodzenia tzw. „zimnej fuzji" przy termicznych energiach wzbudzenia i gęstościach w przybliżeniu o jeden rząd wyższych niż przypuszcza się jako występujące w centrum Jowisza. Zatem, energetyczne przypuszczenia Jones'a i współpracowników mogą mieć większe znaczenie (tak przypuszcza D. J. Stevenson w korespondencji prywatnej z autorem tego tekstu) dla białych i brunatnych karłów, niż dla Jowisza i planet jemu podobnych.

Literatura

1. R. Smoluchowski, w monografii pt. *Jupiter* (ed. T. Gehrels), University of Arizona Press, Tucson, 1976, str. 3; także F. J. Low, *Lowell Observ. Bull.*, 129, 184 (1965).
2. D. J. Stevenson, *Nature*, 379, 495 (1996).
3. S.T. Weir, A. C. Mitchell and W. J. Nellis, *Phys. Rev. Lett.*, 76, 1860 (1996).
4. M. Huré, *La Recherche*, 286, 40 (Avril 1996).
5. T. Guillot i współpr., *Astrophys. J.*, 450, 463 (1995).
6. R. Smoluchowski, Nature, 215, 691 (1967).
7. E. E. Salpeter, *Astrophys. J Lett.*, 181, L183 (1973).
8. D. J. Stevenson, *J. Phys. F (Metal Physics)*, 9, 791 (1979).
9. S. E. Jones i współpr., *Nature*, 338, 737 (1989).
10. V. G. Kunde i współpr., *Astrophys. J.* 263, 433 (1982).
11. C. J. Horowitz, *Astrophys. J.*, 367, 288 (1991).
12. B. J. B. Crowley, *Nuclear Fusion*, 29, 2199 (1989).
13. C. Sivarami i V. de Sabbata, *Nature*, 341, 28 (1989).

Dr hab. Roman E. Sioda jest elektrochemikiem, realizującym swą karierę naukowo-badawczą m. in. w USA, Japonii, Nigerii, Wielkiej Brytanii. Pasjonuje się zimną fuzją jądrową. Obecnie pracuje w Instytucie Przemysłu Organicznego w Warszawie.

Na następnej stronie przedstawione są:

Planetoida 243 Ida i jej księżyc Daktyl. Zdjęcie zostało uzyskane przez zmierzającą do Jowisza stację kosmiczną Galileo w dniu 28 sierpnia 1993 r., ale poznano je dopiero w lutym 1994 r., gdy stacja przekazała na Ziemię zebrane w czasie przelotu w pobliżu planetki dane obserwacyjne. Odkryto wtedy pierwszego naturalnego satelitę asteroidu. Planetka Ida ma rozmiary 56 x 24 x 21 km, a krążący w odległości ok. 100 km wokół niej satelita Daktyl mierzy zaledwie 1,2 x 1,4 x 1,6 km.

Daktyl - półtorakilometrowy satelita Idy. Na jego powierzchni widać 12 kraterów o średnicach większych niż 80 metrów. Największy, widoczny w pobliżu terminatora, krater ma średnicę około 300 metrów.

Janus - 95 kilometrowy satelita Saturna, odkryty przez Voyagery w 1980 roku.

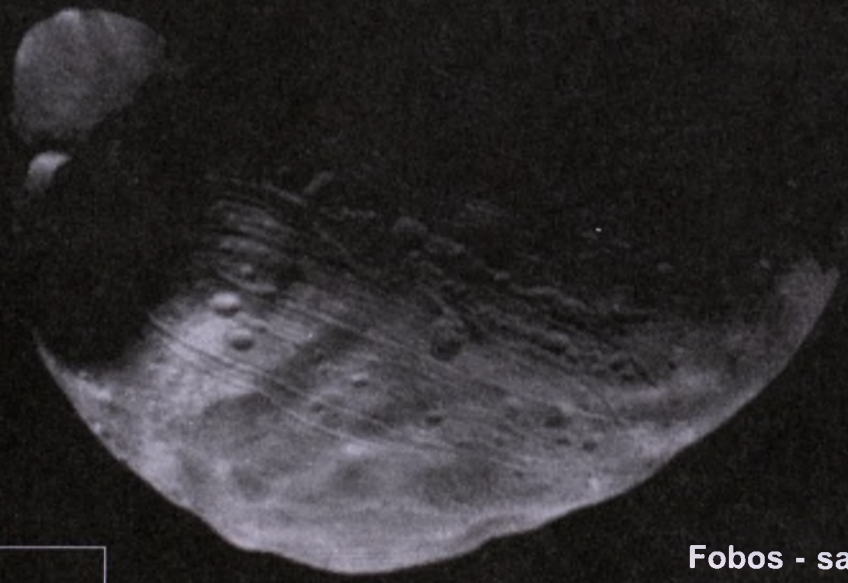
Fobos - satelita Marsa. Obraz uzyskany ze stacji Viking w 1977 roku. Jego rozmiary są: 28 x 20 km. Wyraźnie widoczny jest wielki krater Stickney'a i „podrapania". Największe rysy mają 700 metrów szerokości i 90 metrów głębokości, choć na ogół parametry te zawierają się odpowiednio w granicach 100 - 200 i 10 - 20 metrów.

Planetoida 4179 Toutatis - obraz radarowy uzyskany 8 grudnia 1992 roku przez Steve'a Ostro z *Laboratorium Napędów Odrzutowych* (JPL) w Kalifornii przy pomocy radioteleskopów w Goldstone. Planetoida ta jest prawdopodobnie „zlepkiem" dwóch ciał o rozmiarach odpowiednio 4 i 2,5 km.

Daktyl

Planetoida 243 Ida
i jej księżyc Daktyl

Janus - satelita
Saturna



Fobos - satelita
Marsa

Planetoida 4179 Toutatis
- obraz radarowy

O małych księżycach wielkich planet

Krzysztof Goździewski

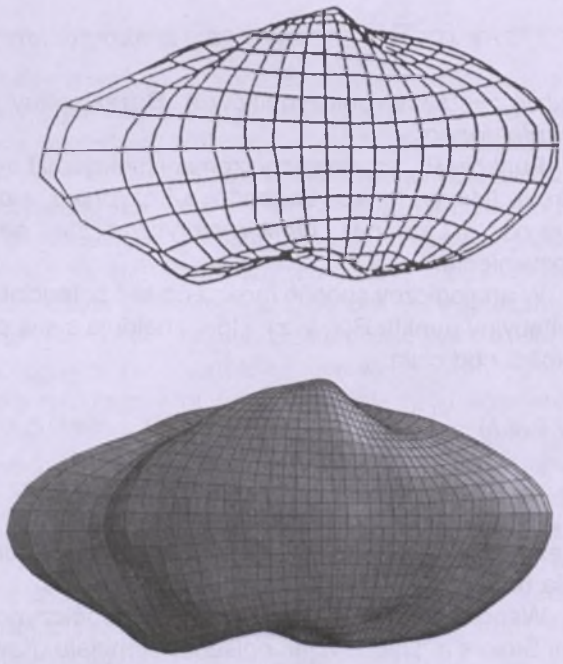
Tytułem wstępu

System Słoneczny zapełniony jest ogromną ilością ciał, które traktujemy jako „małe'': asteroidami, kometami, księżycami planet. Z wyjątkiem komet, które objawiają się w spektakularny sposób, na pozór są one mało atrakcyjne. Cóż ciekawego można powiedzieć o martwych zlepkach skał, którym siła grawitacji każe obiegać wielkie i wspaniałe planety ? W rzeczywistości jednak wiedza o nich, o ich budowie wewnętrznej, dynamice ruchu orbitalnego i obrotowego jest istotna dla zrozumienia ewolucji Układu Słonecznego jako całości.

Rzecz będzie zatem o małych księżycach planet. Uprzedzając rozczarowanie Czytelnika - nie o wszystkich, które znamy. Artykuł w zamyśle autora jest swego rodzaju zbiorem rozważań na temat kilku wybranych obiektów. Tematem przewodnim będzie ich grawitacja i jej związek z ruchem.

Z praktycznego i teoretycznego punktu widzenia ruch ciał w Układzie Słonecznym traktujemy za pomocą uproszczonych modeli. Najprostszy z nich to znane doskonale zagadnienie Keplera: bierzemy Słońce i planetę lub księżyc i planetę; mówimy, że ich rozmiary są pomijalne w stosunku do dzielących je odległości; zapominamy, że istnieją inne obiekty - mamy model dwóch punktów materialnych, których ruchem rządzi prawo grawitacji Newtona. Teraz trochę matematyki i oto znając początkowe prędkości i położenia tych punktów jesteśmy w stanie analitycznie (to znaczy za pomocą zamkniętych formuł matematycznych) opisać ich ruch, podać te wielkości dla dowolnej chwili czasu. Niestety, okazuje się, że nawet z czysto praktycznego punktu widzenia, prawa Keplera nie wystarczają nam. Dotyczy to choćby sztucznych satelitów Ziemi. Orbitują one na wysokościach rzędu setek kilometrów nad jej powierzchnią. Ich rozmiary są co prawda nadal pomijalne w stosunku do odległości dzielącej je od centrum Ziemi, ale Ziemia zdecydowanie nie może być traktowana w takiej skali jako punkt. Nie jest też kulą. Ma nieregularny kształt i niejednorodną gęstość. Pole grawitacyjne, w którym porusza się satelita nie jest ani polem punktu ani polem kuli. Ruch satelity różni się diametralnie od ruchu przewidywanego przez rozwiązanie problemu Keplera. Jeśli satelita jest dostatecznie duży (Księżyc !) lub zależy nam na tym, żeby opisać jego orientację w przestrzeni, jego rozmiarów nie można już pominąć. Teoria mówi, że ruch obrotowy bryły w polu grawitacyjnym jest zależny od jej ruchu postępowego i odwrotnie.W ogólności musimy zatem znać informację o polu wytwarzanym przez obydwa oddziaływujące grawitacyjnie obiekty, żeby w pełni opisać ich ruch. Problem ten jest bardzo trudny i udaje się rozwiązać go analitycznie jedynie w nielicznych przypadkach. W praktyce jesteśmy zdani na przybliżenia i rachunki wykonywane za pomocą komputerów.

Wielkości, które charakteryzują pole grawitacyjne Ziemi (planet i księżyców) opisujemy najczęściej za pomocą bezwymiarowych współczynników Stokes'a. Potencjał grawitacyjny i składowe siły grawitacji przedstawić można za pomocą nieskończonych (w ogólności) szeregów funkcji sferycznych (**Ramka 1**). Modelem pola grawitacyjnego nazywa się wówczas zestaw bezwymiarowych współczynników Stokes'a, amplitud



Rys. 1. U góry oryginalny, dyskretny model topografii księżyca Amalthea (rzut odpowiadający długości planetocentrycznej 270⁰). Pochodzi on z pracy P. J. Stooke, *Earth, Moon and Planets*, vol. 56, 1992. U dołu efekt rozwinięcia harmonicznego topografii stopnia i rzędu 18 x 18 (patrz **Ramka 1**), uzyskany przez autora metodą najmniejszych kwadratów, na bazie modelu dyskretnego Stooke'a.

funkcji sferycznych, które zawierają informację zarówno o kształcie jak i o rozkładzie gęstości materii we wnętrzu ciała. Rzecz jasna w praktyce ich ilość jest ograniczona. Najbardziej dokładne modele pola grawitacyjnego dla Ziemi są stopnia i rzędu 360 x 360. Pozwalają one (przy uwzględnieniu innych niż grawitacyjne zaburzeń) na przewidywanie trajektorii sztucznych satelitów z dokładnością centymetrową. Znane są także modele Księżyca (50 x 50), Wenus, Marsa, Jowisza i Saturna. Źródłem informacji, na bazie których skonstruowano te modele były precyzyjne obserwacje ruchu sztucznych satelitów i sond kosmicznych. Skoro niejednorodności pola grawitacyjnego planety zaburzają trajektorię sondy, to znając ją, możemy „dopasować'' model pola grawitacyjnego tak, aby wyliczony z jego uwzględnieniem ruch sondy zgadzał się jak najlepiej z ruchem obserwowanym. W przypadku Ziemi dodatkowych danych dostarczają, między innymi, pomiary grawimetryczne na jej powierzchni oraz orbitalne obserwacje altimetryczne (poziomu morza).

Detaliczna znajomość pola grawitacyjnego jest też bardzo istotna dla niewielkich obiektów Układu Słonecznego.

Ramka 1. Związki topografii z grawitacją

Dla celu opisu topografii (kształtu) nieregularnego księżyca przyjmijmy układ kartezjańskich współrzędnych geometrycznych, sztywno związany z ciałem (**Rys. R1**). Wektor wodzący **r** punktu powierzchni księżyca możemy przedstawić we współrzędnych sferycznych (r, ϕ, λ), związanych z wyjściowym układem współrzędnych kartezjańskich.

Kąty (ϕ, λ) mają znaczenie planetocentrycznych długości i szerokości. Kartografowie stosują konwencję układu lewoskrętnego (kąt długości rośnie zgodnie z ruchem wskazówek zegara, jeśli patrzymy od bieguna północnego). Efekty związane z dynamiką przyjęło się badać w układzie prawoskrętnym; taki też dalej używamy.

Promień powierzchni r w punkcie P(x, y, z) = P(r, ϕ, λ) można zapisać w postaci rozwinięcia harmonicznego

$$r(\phi,\lambda)=\sum_{n=0}^{\infty}\sum_{m=0}^{n}(A_{nm}\cos m\lambda+B_{nm}\sin m\lambda)P_{nm}(\sin\phi)$$

gdzie zestaw współczynników A, B traktujemy jako *model topografii.*

Funkcje P_{nm} są stowarzyszonymi funkcjami Legendre'a. Iloczyn funkcji Legendre'a i czynnika sin $m\lambda$ lub cos $m\lambda$ stanowi *funkcję sferyczną*, stąd nazwa rozwinięcia.

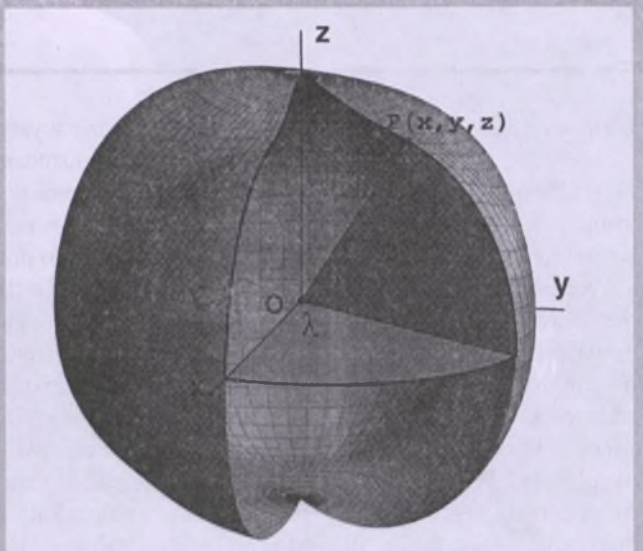
W analogiczny sposób można opisać potencjał grawitacyjny punktu P(x, y, z), który znajduje się w odległości r od ciała

$$V(r,\phi,\lambda)=-\frac{GM}{r}\sum_{n=0}^{\infty}\left(\frac{r_0}{r}\right)^n\sum_{m=0}^{n}(C_{nm}\cos m\lambda+S_{nm}\sin m\lambda)P_{nm}(\sin\phi)$$

gdzie (r, ϕ, λ) są współrzędnymi planetocentrycznymi punktu, G oznacza stałą grawitacji, M masę obiektu, natomiast r_0 to najczęściej średnia wartość promienia bryły.

Współczynniki C i S nazywane są współczynnikami Stokes'a. Dysponując opisem potencjału grawitacyjnego, czyli ich zestawem dla danego obiektu, możemy uzyskać wartości siły grawitacji w badanym przez nas punkcie.

Przy założeniu jednorodnego rozkładu masy we wnętrzu bryły istnieje ścisły związek pomiędzy współczynnikami rozwinięcia harmonicznego topografii oraz współczynnikami Stokes'a. W ogólności jest on dość skomplikowany i raczej dla celów poglądowych podajmy pierwsze przybliżenie tego związku:



Rys. R1. Planetocentryczny układ odniesienia. Punkt o współrzędnych kartezjańskich P(x,y,z) można opisać za pomocą współrzędnych sferycznych: długości promienia wodzącego oraz dwóch kątów, mających sens „długości" i „szerokości" planetocentrycznej.

$$C_{00}=\frac{A_{00}}{r_0}$$

$$C_{nm}=\frac{3}{2n+1}\frac{A_{nm}}{r_0}$$

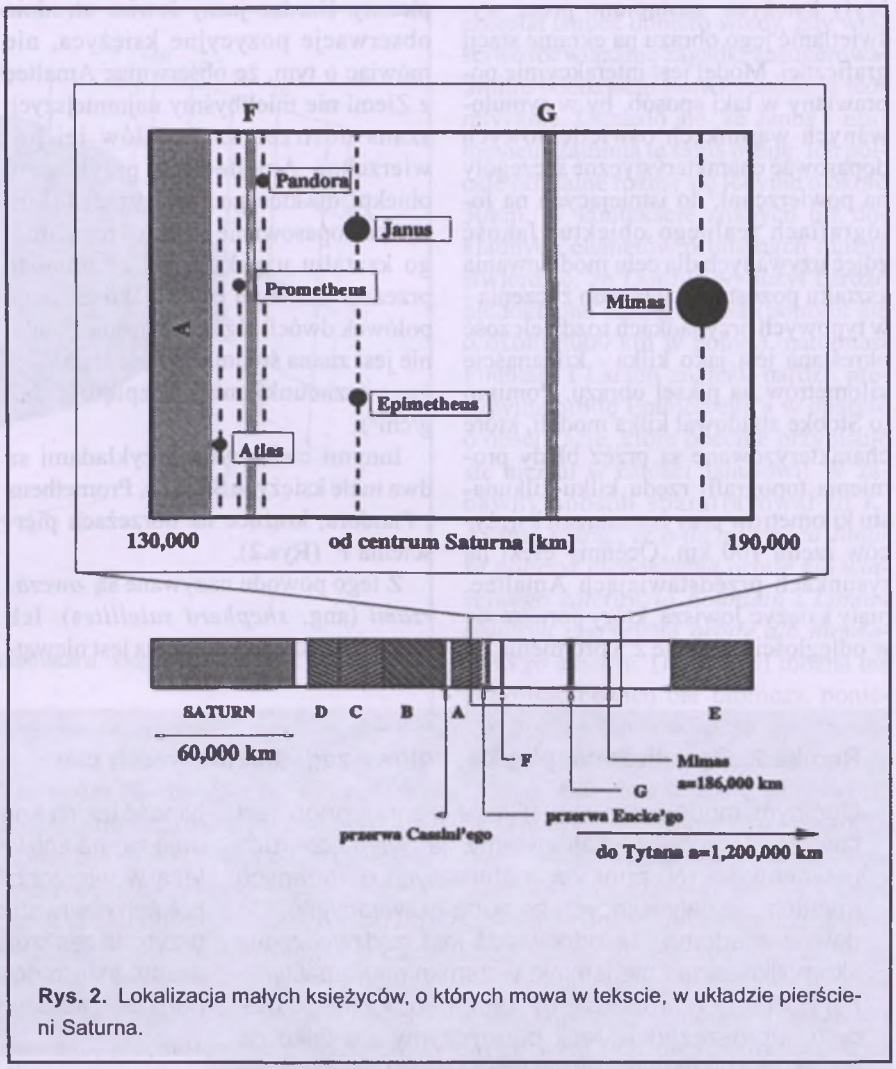
$$S_{nm}=\frac{3}{2n+1}\frac{B_{nm}}{r_0}$$

Podobne relacje istnieją dla innych wielkości charakteryzujących ciało: zarówno dla geometrycznych (objętość, promień średni), jak bezwładnościowych (główne momenty bezwładności).

Oczywiście, zarówno potencjał grawitacyjny jak i inne wielkości pochodne możemy wyliczyć metodą bezpośredniego całkowania numerycznego po objętości bryły. Jest to wręcz konieczne, jeśli chcemy uzyskać te wielkości na powierzchni księżyca lub w jej otoczeniu, ponieważ rozwinięcie harmoniczne potencjału grawitacyjnego można stosować jedynie poza sferą obejmującą całą bryłę księżyca.

W przypadku małych obiektów (niewielkich księżyców lub asteroidów) jedynym źrodłem danych dla celów wyznaczania pola grawitacyjnego, charakterystyk inercyjnych i badań geofizycznych były do niedawna zdjęcia tych obiektów wykonywane przez sondy kosmiczne.

Podstawową informacją, którą można odczytać z fotografii i natychmiast zrobić z niej użytek jest kształt ciała. Znając topografię możemy wyznaczyć objętość ciała, której wartość nakłada więzy na średnią gęstość materii. Oczywiście topografia sama w sobie pozwala na snucie wniosków natury geologicznej oraz przybliża historię obiektu. Przy założeniu jednorodnego rozkładu gęstości[1)] możemy ocenić charakterystyki bezwładnościowe bryły księżyca (momenty bezwładności) i współczynniki pola grawitacyjnego (**Ramka 1**). Wielkości te z kolei są użyteczne dla badania dynamiki ruchu obrotowego. Znając pole grawitacyjne można studiować ewolucję i stabilność orbit cząstek poruszających się w pobliżu księżyca. Można sobie wyobrazić, że w skrajnym przypadku informacje takie będą potrzebne dla planowania zbliżeń lub lądowań sond kosmicznych (przypomnijmy radziecki eksperyment lądowania próbników na powierzchni Fobosa, jednego z księżyców Marsa). Dokładny opis pola grawitacyjnego umożliwia też badanie ruchu i rozkładów cząstek wybijanych z powierzchni przez uderzenia meteorytów. Cząstki, które uciekają ze sfery oddziaływania grawitacyjnego księżyca mogą zasilać pierścienie planetarne. Mogą one też powracać na jego powierzchnię i wtórnie ją kształtować. Znajomość lokalnych, powierzchniowych wartości przyśpieszenia grawitacyjnego, sił stycznych, potencjału grawitacyjnego pozwala na określenie obszarów dynamicznie „wysokich'' i „niskich'', w których regolit (pokruszony materiał skalny) może się gromadzić lub być usuwanym. Nie jest to bowiem oczywiste „na oko'' - nieregularność kształtu w połączeniu z silnymi polami



Rys. 2. Lokalizacja małych księżyców, o których mowa w tekscie, w układzie pierścieni Saturna.

grawitacyjnymi planet, w których większość małych księżyców się porusza sprawia, że intuicje w tym względzie zawodzą.

Małe ciała są najczęściej bardzo nieregularne. Nie sposób opisywać ich kształtu za pomocą brył typu kula, sferoida, elipsoida, co jest normalną praktyką w badaniach jakościowych dotyczących planet i dużych księżyców. Takie przybliżenia prowadziłyby do niedopuszczalnie dużych błędów.

Pierwszym obiektem dla którego na bazie fotografii udało się odtworzyć kształt (topografię) był Fobos. Przypomnijmy, że jego rozmiary są rzędu 10 km. Korzystając z zestawu 25 fotografii wykonanych przez kamery telewizyjne Marinera 9, R. J. Turner zbudował model Fobosa w skali 1:60 000. W czasach dzisiejszych komputerów i technik przetwarzania obrazu metoda zastosowana przez Turnera wydaje się niebywale skomplikowana i pracochłonna. Makietę Fobosa oświetlano w taki sposób, by symulować warunki w jakich powstały rzeczywiste zdjęcia. Dla tego celu potrzebna była dokładna znajomość orbity sondy (konfiguracji względnej Fobosa, Słońca i Marinera). Makietę następnie fotografowano. Uzyskane zdjęcia porównywano z oryginalnymi fotografiami. Model Fobosa był *de facto* poprawiany (rzeźbiony) w celu uzyskania zgodności obu zestawów fotografii. Po zakończeniu procesu, który w terminologii komputerowej nazwalibyśmy iteracyjnym, model został wymierzony z dokładnością 1mm, dla około 3500 punktów powierzchni. W ten sposób uzyskano przestrzenny, dyskretny model bryły Fobosa. Stał się on pierwszym małym, nieregularnym księżycem, który był następnie intensywnie badany, w kontekście tematyki, o której wcześniej wspominaliśmy.

Podobną w idei technikę odtwarzania topografii ze zdjęć, wykonanych na początku lat osiemdziesiątych przez sondy Voyager zastosował Philip Stooke dla kilku małych księżyców Jowisza i Saturna. Tym razem z pomocą przyszły możliwości numerycznego przetwarzania obrazów. Żmudny proces „lepienia''

[1)] Założenie to jest w pewnym sensie aktem rozpaczy, ponieważ na ogół nic konkretnego na temat prawdziwego rozkładu gęstości we wnętrzu księżyca nie jesteśmy w stanie powiedzieć. Wydaje się ono jednak rozsądne, ponieważ w wypadku małych ciał grawitacja jest zbyt słaba by silnie ten rozkład modyfikować.

bryły księżyca zastąpiono przez wyświetlanie jego obrazu na ekranie stacji graficznej. Model jest interakcyjnie poprawiany w taki sposób, by w symulowanych warunkach oświetleniowych dopasować charakterystyczne szczegóły na powierzchni, do istniejących na fotografiach realnego obiektu. Jakość zdjęć używanych dla celu modelowania kształtu pozostawia wiele do życzenia - w typowych przypadkach rozdzielczość określana jest jako kilka - kilkanaście kilometrów na piksel obrazu. Pomimo to Stooke zbudował kilka modeli, które charakteryzowane są przez błędy promienia topografii rzędu kilku-kilkunastu kilometrów przy rozmiarach księżyców rzędu 100 km. Oceńmy efekt na rysunkach przedstawiających Amalteę, piąty księżyc Jowisza, który porusza się w odległości zaledwie 2.5 promienia od planety. Bardzo jasny Jowisz utrudnia obserwacje pozycyjne księżyca, nie mówiąc o tym, że obserwując Amalteę z Ziemi nie mielibyśmy najmniejszych szans dostrzec szczegółów jej powierzchni. Amaltea jest przykładem obiektu, dla którego z natury jedyne sensowne dopasowanie jakiegoś regularnego kształtu uzyskuje się za pomocą przedstawienia jej bryły jako złożenia połówek dwóch różnych elipsoid. Nadal nie jest znana średnia gęstość tego księżyca (szacunki mają rozpiętość 1-3 g/cm^3).

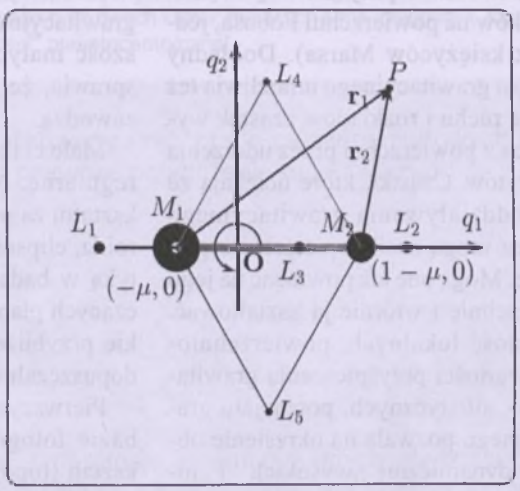
Innymi ciekawymi przykładami są dwa małe księżyce Saturna, Prometheus i Pandora, krążące na obrzeżach pierścienia F (**Rys.2**).

Z tego powodu nazywane są *owczarzami* (ang. *shepherd satellites*). Ich wpływ na kształt pierścienia jest niewątpliwy.O ile Pandora ma dość regularny kształt, to Prometheus jest nadzwyczajnie wydłużonym obiektem i kształtem przypomina bardzo grube cygaro lub kartofel (**Rys. 3**). Stosunek najdłuższej osi do najkrótszej osi wynosi dla niego ponad 2.

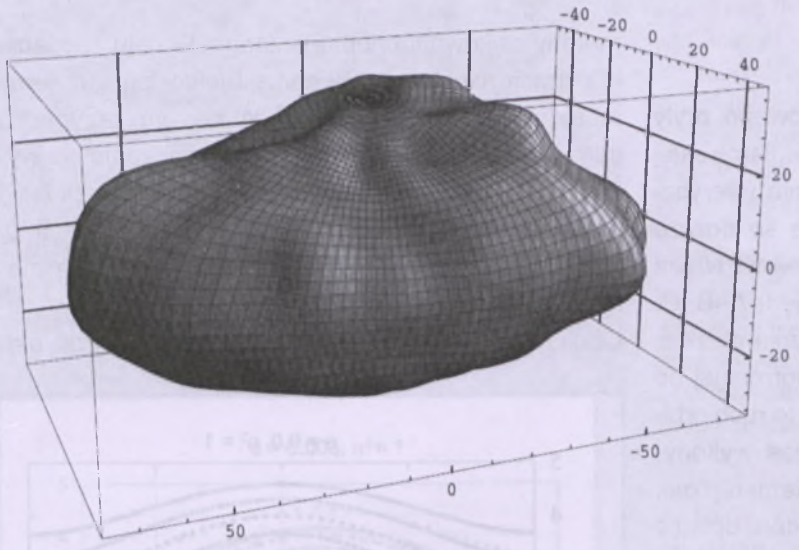
Na koniec wspomnijmy o nowej metodzie obserwacyjnej, która pozwala uzyskać nie tylko bardzo dokładne pozycje małych ciał, ale także szczegółowe, trójwymiarowe modele ich brył, stan dynamiczny ruchu obrotowego, a nawet informacje na temat budowy wewnętrznej i gęstości. Mowa o rozwijanej przez grupę S. Ostro z JPL technice obserwacji radarowych. Pomiary dokonywane są za pomocą radioteleskopów w Arecibo (Puerto Rico) i w obserwatorium Goldstone (Kalifornia) i polegają na konstruowaniu dwuwymiarowych obrazów

Ramka 2. Ograniczone, płaskie, kołowe zagadnienie trzech ciał

Ogólnym modelem ruchu układu planetarnego jest tzw. zagadnienie N-ciał: pytamy, jak wygląda ruch pewnej ilości (N) punktów materialnych o zadanych masach, oddziaływujących ze sobą grawitacyjnie. Od dawna wiadomo, że odpowiedź jest nadzwyczajnie skomplikowana i nie istnieje w zamkniętej, analitycznej postaci. Wprowadzamy zatem do ogólnego modelu uproszczenia. Jeśli ograniczymy się tylko do dwóch ciał otrzymamy niezły model ruchu układu Słońce-planeta, znany doskonale jako zagadnienie Keplera. Ma on rozwiązanie analityczne: położenia i prędkości obu ciał można podać na dowolną chwilę czasu za pomocą zamkniętych formuł. Zagadnienie Keplera nie wystarcza jednak do opisu ruchu takiego układu, jak na przykład Słońce-Jowisz-kometa. Pojawia się trzecie ciało, a z nim nowa jakość - nie można uzyskać w pełni analitycznego rozwiązania problemu. W najprostszej wersji zagadnienia trzech ciał mamy dwa „duże" ciała obiegające swój środek masy po orbitach kołowych, ze stałą prędkością kątową, w jednej płaszczyźnie, natomiast trzecie ciało traktujemy na tyle „małe", że jego oddziaływanie grawitacyjne na „duże" masy można pominąć. Stąd nazwa zagadnienia, która pojawiła się w tytule ramki. Prostota modelu jest myląca - od czasów Newtona mechanicy nieba mają przy nim zajęcie. Mottem do ich pracy mogłoby być stwierdzenie E. Borela: *„w mechanice nieba, jak w rachunkach dzikusów, trzy równa się dużo"*. Znane są od dawna pewne rozwiązania szczególne problemu trzech ciał. W rotującym układzie odniesienia, w którym masy główne spoczywają (**Rys. R2**), istnieje pięć tzw. punktów libracyjnych Lagrange'a. Umieszczona w nich dokładnie trzecia masa również znajdowałaby się w spoczynku (osobną kwestią jest stabilność takich konfiguracji). Trzy punkty libracyjne znajdują się na linii łączącej masy główne, dwa pozostałe leżą w wierzchołkach trójkątów równoramiennych o bokach równych odległości tych mas. Okazuje się, że przyroda realizuje te szczególne przypadki: znane są grupy asteroidów, które znajdujemy w trójkątnych punktach libracyjnych układu Słońce - Jowisz.



Rys. R2. Płaskie, kołowe, ograniczone zagadnienie trzech ciał. Masa próbna w punkcie P przyciągana jest przez dwa ciała (M_1 i M_2), obiegające swój środek masy po orbitach kołowych, ze stałą prędkością kątową. W układzie rotującym istnieje pięć punktów libracyjnych Lagrange'a (położeń równowagi), L_1, L_2, L_3 oraz L_4 i L_5.



Rys. 3. Harmoniczny model topografii Prometheus'a, stopni i rzędu 26 x 26. Skala w kilometrach, kierunek do Saturna z lewej.

tworzonych na podstawie opóźnień sygnału radarowego oraz przesunięcia Dopplera. Uzyskiwana rozdzielczość przestrzenna jest rewelacyjnie wysoka, sięga 10m! Technikę tę zastosowano z powodzeniem do opracowania szczegółowego modelu topografii wielu asteroidów, np. Gaspry, Idy, Toutatis. Zainteresowanych szczegółami Czytelników odsyłam do artykułów S. Ostro w Science oraz do obejrzenia Internet'owej strony WWW pod adresem **http://echo.jpl.nasa.gov**. Znaleźć tam można m. in. animacje ruchu cząstek w otoczeniu asteroidu Toutatis oraz film obrazujący jego nadzwyczajnie skomplikowany ruch obrotowy. Istnienie nowej, silnej techniki obserwacyjnej jest niewątpliwie bardzo budujące, ponieważ nie jesteśmy skazani wyłącznie na obserwacje sond. Jest ona o wiele dokładniejsza niż obserwacje optyczne. Jest też o tyle wyjątkowym narzędziem w ręku astronoma, że obserwator może *decydować* w jaki sposób *oświetla* badany obiekt. Astronom-obserwator przestał być pasywny, może aktywnie kontrolować prowadzoną przez siebie obserwację.

O dwóch takich ...

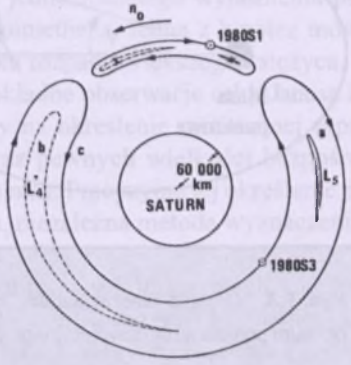
Na zdjęciach wykonanych przez sondy Voyager znaleziono także dwa księżyce Saturna, którym nadano techniczne nazwy 1980S1 i 1980S3. Historia ich odkrycia sięga jednak października 1966 roku. Na wykonanych wówczas 1-m teleskopem Pic-du-Midi zdjęciach, kiedy pierścienie Saturna były praktycznie niewidoczne, V. A. Dollfus odkrył księżyc, któremu nadał nazwę Janus. W 1977 roku S.M.Fountain and J.W. Larson przeanalizowali zdjęcia Dollfusa i kilka dodatkowych z 1966 roku. Potwierdzili odkrycie Janusa, a przy okazji znaleźli nowego, jedenastego satelitę Saturna, któremu nadali nazwę Epimetheus. Jednym z ewidentnych dowodów istnienia dwu nowych księżyców było zdjęcie, na którym widoczne były one jednocześnie.

Orbita Janusa, obliczona przez jego odkrywcę, okazała się niemal identyczna z orbitą jednego z satelitów sfotografowanych w 1980 roku przez Voyager'a 1 i w 1981 roku przez Voyager'a 2. W tym okresie wykonano też wiele obserwacji naziemnych obu satelitów. Wykorzystano je dla udokładnienia wyliczeń ich elementów orbitalnych. Jednak interpretacja uzyskiwanych wyników napotykała na wciąż nowe trudności. Obliczenia wykonane przez Larsona pokazały, że na zdjęciach z 1966 r. wykorzystywanych przez Dollfusa i pięciu innych z 1981 roku, dodanych przez Dollfusa i Bruniera, jedynie 16 z 22 pozycji przypisywanych Janusowi pasowało do obliczonej dla niego orbity. Tylko trzy obserwacje, wykonane w czasie 12 minut, mogły odpowiadać orbicie drugiego satelity, w dodatku takiej samej! Ponadto pozostawały niewyjaśnione trzy obserwacje.

Problem interpretacji obserwacji przestał istnieć dopiero wtedy, gdy właściwe rozwiązanie zagadki zasugerował Smith. Niebawem potwierdzono je teoretycznie. Okazało się, że Janus i Epimetheus zajmują tę samą orbitę. Ich półosie orbitalne różnią się jedynie o około 50km. W kontekście znanych już dokładnych elemetów orbitalnych można stwierdzić, że Dollfus wyliczył bardzo niedokładną orbitę Janusa (pomylił się o około 8000 km w półosi), natomiast Fountain i Larson znaleźli bardzo precyzyjną orbitę Epimetheus'a w oparciu o obserwacje, które obecnie przypisuje się niemal w całości Janusowi! W zabawny sposób sparafrazował to K. Aksnes pisząc, że *o ile odkrywca Janusa policzył niedokładną orbitę dla właściwego satelity, to Fountain i Larson obliczyli precyzyjną orbitę dla niewłaściwego satelity*. Dollfusowi można też przypisać pewien dar proroczy, ponieważ nazwa Janus oznacza imię rzymskiego boga o dwóch twarzach, którego jednym z atrybutów jest dwulicowość. W tym samym duchu można potraktować wybór Fountaina i Larsona - Epimetheus to imię greckiego boga, które w wolnym tlumaczeniu brzmi „przemyślany'' (ang. *afterthought*).

Pozostało jednak pytanie, które zada każdy, kto obejrzy modele księżyców i skojarzy kilka faktów. Oba mają średnice

[2)] Przypomnijmy, że ekscentryczność orbity kołowej jest zerowa; definicję elementów orbitalnych przybliża **Rys. 9**.



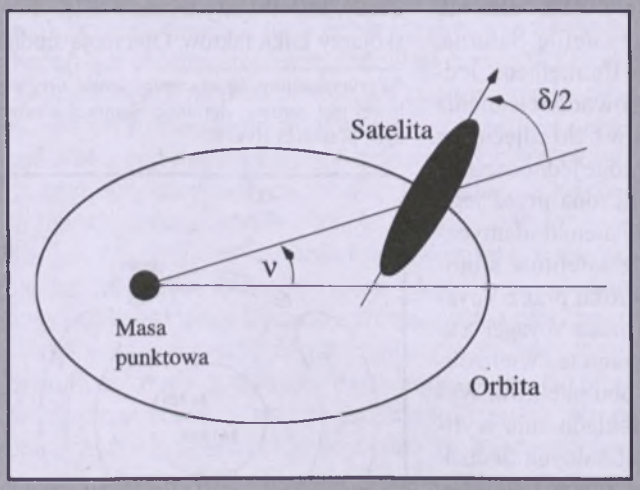
Rys. 4. Orbity względne satelitów Saturna 1980S1 i 1980S3 w układzie odniesienia rotującym ze stałą, uśrednioną prędkością katową ruchu orbitalnego obu satelitów. Przedstawiono możliwe przypadki ruchu, zależne od mas satelitów. Orbita c jest najbardziej prawdopodobna. Pokazano położenia względne księżyców w październiku 1980 roku. Rysunek pochodzi z pracy Yoder et al., *ICARUS* 53, 1983.

Ramka 3. Równanie Bieleckiego

Rozpatrzymy zagadnienie ruchu obrotowego bryły (księżyca), która się porusza na orbicie keplerowskiej w polu punktowego centrum przyciągania (sferycznie symetrycznej planety). Założenia te są dobrze reprezentowane przez rzeczywiste obiekty. Niech główne momenty bezwładności satelity będą A<B<C. Założymy dalej, że rozważamy zagadnienie płaskie, t.j. jedna z osi głównych ma kierunek normalnej do orbity (ponieważ orbita jest keplerowska, to ruch orbitalny jest płaski). Księżyc może wówczas wykonywać płaskie drgania (libracje) względem tej osi. Rosjanin, V.V. Bielecki, podał równanie, które opisuje w pierwszym przybliżeniu takie drgania:

$$(1+e\cos\nu)\frac{d^2\delta}{dt^2} - 2e\sin\nu\frac{d\delta}{dt} + n^2\sin\delta = 4e\sin\nu$$

gdzie anomalia prawdziwa ν pełni rolę czasu, e jest ekscentrycznością orbity, natomiast δ oznacza kąt między osią główną ciała x lub y, a kierunkiem na ciało centralne (**Rys. R3**). Występuje też parametr: $n = (3(B-A)/C)^{1/2}$, który charakteryzuje w pewien sposób budowę bryły .

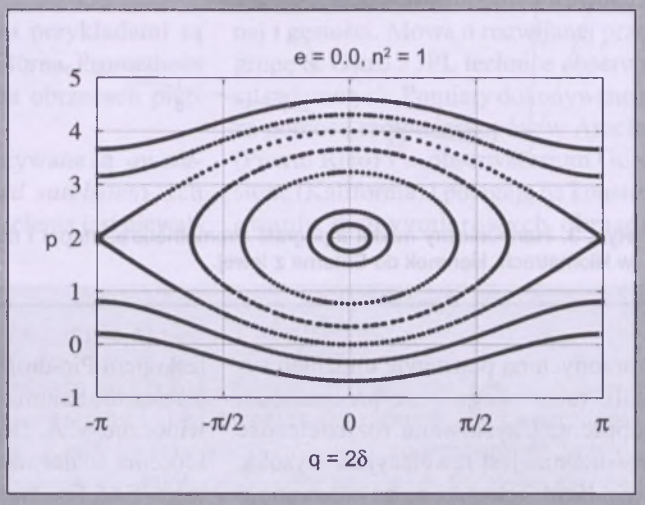


Rys. R3. Drgania płaskie satelity, obiegającego punktowe centrum przyciągania grawitacyjnego po orbicie keplerowskiej.

Łatwo zauważyć, że dla e=0 (orbita kołowa) równanie Bieleckiego wygląda tak samo jak równanie drgań wahadła matematycznego. Przypadek e>0 odpowiada „włączeniu" okresowej siły zaburzającej ruch wahadła (o okresie zgodnym z okresem orbitalnym, u nas T=2π).

Równanie Bieleckiego nie daje się rozwiązać analitycznie, trzeba do tego celu użyć komputera i jakiejś metody całkowania numerycznego. W celu zbadania i ilustracji rozwiązań równania Bieleckiego użyjemy metody tzw. *cięcia Poincare'*. W naszym przypadku sprowadzać się ona będzie do zaznaczania na wykresie x->δ(t), y-> dδ/dt wartości kąta orientacji δ(t) i prędkości jego zmian, obliczonych dla „czasu" υ=0, T, 2T, ..., czyli zanotowaniu tych wielkości dla momentów np. przejścia przez perycentrum orbity.

Obejrzyjmy teraz obrazek, jaki uzyskalibyśmy dla e=0

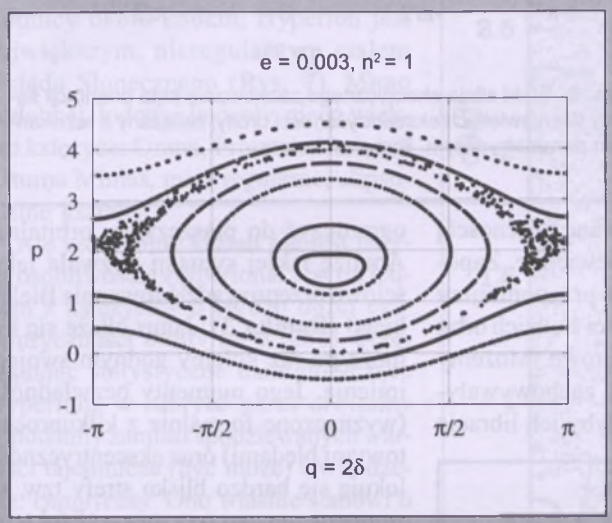


(zmienna p na rysunku ma sens przeskalowanej prędkości kątowej). Zmieniając warunki początkowe uzyskujemy najpierw zamykające się krzywe wokół punktu (0,2). Co on oznacza? Księżyc „patrzy" jedną z osi na centrum przyciągania – mówiąc fachowo, jego ruch orbitalny jest w *rezonansie 1:1* z ruchem obrotowym. Jest to położenie równowagi stabilnej odpowiadające odpowiedniemu przypadkowi zwykłego wahadła. Księżyc lekko wytrącony z tego położenia zaczyna drgać wokół niego – co można odczytać z zamykających się krzywych. Zauważmy dalej, że jeśli „potrącenie" będzie dostatecznie silne, księżyc będzie rotować, na co wskazują otwarte krzywe u dołu i u góry obrazka. W zależności od warunku początkowego mamy do czynienia z dwoma klasami ruchu: drganiami (libracjami) i z rotacjami. Zauważmy też, że przemiana jednej klasy w drugą zachodzi wzdłuż dwóch krzywych (*separatrys*), które łączą stabilne i niestabilne położenie równowagi (dolne i górne położenie równowagi wahadła).

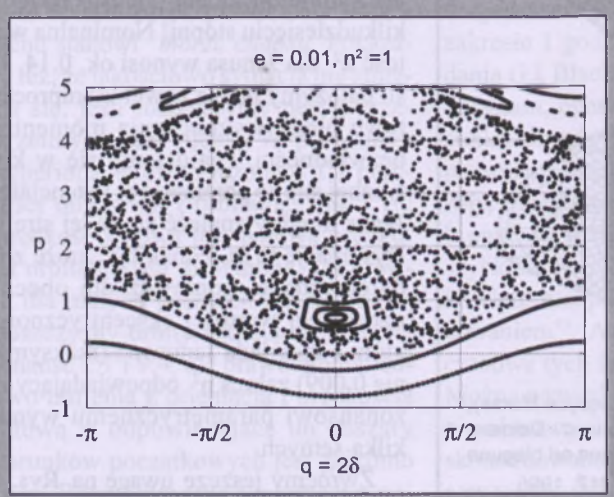
Posługując się analogią wahadła nie dostrzegamy w przedstawionym obrazku nic specjalnie rewelacyjnego. Ciekawie zaczyna się dziać w momencie, gdy pozwolimy, aby orbita stała się eliptyczna. Zacznijmy od bardzo małej ekscentryczności, powiedzmy e=0.003. W okolicy separatrys pojawia się nagle jakaś „kasza"

– punkty nie układają się już na regularnej krzywej, mimo, że nadal należą do *jednej* kontynuacji cięcia, odpowiadającej *jednemu* warunkowi początkowemu. Czyżby jakieś błędy numeryczne? To może zwiększyć dokładność całkowania? Nic to nie pomoże, po trochę dłuższym czasie całkowania, niepokojący efekt znowu się ujawni.

Efekt „kaszy" to objaw zjawiska *chaosu deterministycznego*: ruch opisywany deterministycznym (na dodatek bardzo prostym) równaniem różniczkowym



jest w praktyce nieprzewidywalny na długi okres czasu. Następny obrazek pokazuje, że obszar ruchu chaotycznego powiększa się bardzo szybko ze wzrostem ekscentryczności. Warto sobie przy tym uświadomić, że groźnie brzmiące stwierdzenie „ruch chaotyczny" w praktyce oznacza tylko tyle, że z natury rzeczy nie jesteśmy w stanie przewidzieć stanu układu na dostatecznie długim odcinku czasu.



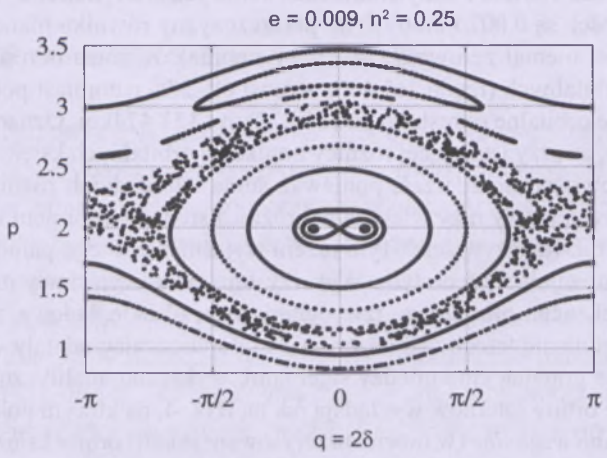
rzędu 100 km. Nachylenie niemal kołowych orbit (ekscentryczności są 0.007 i 0.009)[2)] do płaszczczyzny równika planety jest niemal zerowe (0.14 i 0.34 stopnia). Różnica okresów orbitalnych (rzędu $16^h\ 40^m$) wynosi ok. 28s, natomiast półosie orbitalne określono na 151 422km i 151 474km. Oznacza to, że przy istniejącej różnicy prędkości orbitalnych księżyce powinny się zderzać, ponieważ suma ich średnich rozmiarów jest trzy razy większa niż różnica średnich promieni ich orbit. Rzeczywiście? Tym razem wyjaśnieniem tego paradoksu zajęli się teoretycy. Wykorzystując jako wyjściowy model ruchu orbitalnego tzw. ograniczone, płaskie, kołowe, zagadnienie trzech ciał (**Ramka 2**) i dopuszczając oddziaływanie grawitacyjne między satelitami, wykazano analitycznie, że orbity satelitów wyglądają jak na **Rys. 4**, na którym pokazano *względne* (w mocno przerysowanej skali) orbity księżyców w układzie odniesienia związanym ze środkiem Saturna, rotującym z uśrednioną prędkością kątową. W takim układzie Janus i Epimetheus wykonują libracje, których amplituda silnie zależy od stosunku mas satelitów; to samo dotyczy minimalnej odległości kątowej zbliżeń. W skrajnym przypadku może ona dosięgać zaledwie kilku stopni, lecz księżyce unikają zderzenia.

R. Harrington i P. Seidelman wykonali także rachunki numeryczne, uwzględniając w realistycznym modelu ruchu satelitów zaburzenia pola grawitacyjnego Saturna powodowane jego spłaszczeniem i oddziaływanie perturbacyjne ośmiu największych satelitów Saturna. Całkowanie numeryczne objęło okres około 100 lat, od lutego 1980 do kwietnia 2062 oraz wstecz do listopada 1867. Rachunki te pokazały, że przy prawdopodobnych masach 2×10^{-8} oraz 8×10^{-8} masy Saturna, księżyce zbliżają sie na około 15 stopni z okresem około 2570 dni. Wprowadzenie do modelu różnych zaburzeń polegających na zmianie mas księżyców, „wyłączeniu'' z niego innych satelitów, nie zmieniło jakościowego obrazu ruchu. Konkludując, wspomniani autorzy stwierdzili niezwykłą stabilność układu. Postawili tezę, że podobny mechanizm ruchu, oparty o oddziaływanie grawitacyjne pomiędzy cząstkami, umożliwia istnienie pierścieni planetarnych.

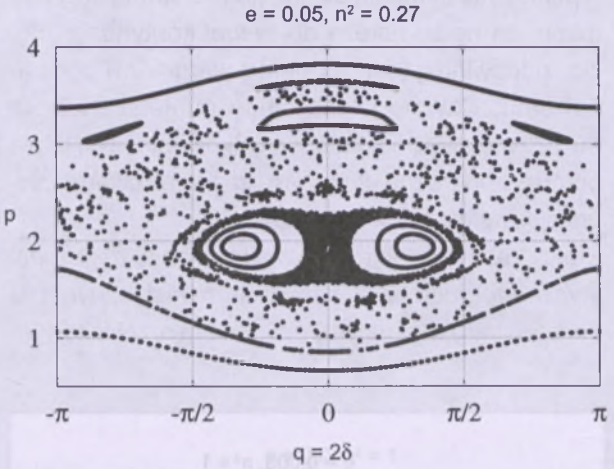
Do tej pory nie ma jednoznacznego wyjaśnienia pochodzenia układu Janus-Epimetheus. Jedna z hipotez mówi, że pojawił się on w wyniku rozpadu większego księżyca.

Warto dodać, że dokładne obserwacje orbit Janusa i Epimetheus'a pozwoliłyby na określenie minimalnej separacji kątowej księżyców oraz pewnych wielkości bezpośrednio związanych z sumą ich mas. Precyzyjne jej określenie posłuży zapewne jako nowa, niezależna metoda wyznaczenia stałej grawitacji (patrz *PA* 2/95).

Jak wygląda ruch obrotowy koorbitalnych księżyców? Opracowując modele topografii Janusa i Epimetheusa, Philip Stooke zakładał, że rotują one synchronicznie z Saturnem, „patrząc'' zawsze jedną stroną w kierunku macierzystej planety (dokładnie tak, jak nasz Księżyc). Istniejące zdjęcia potwierdzają taką hipotezę. Wydają się natomiast prawdopodobne ich libracje (drgania), które mogą się nasilać przy zbliżeniach, podobne do drgań wytrąconego z równowagi wahadła fizycznego. Są to drgania wokół położenia równowagi, którym jest linia „patrzenia'' na planetę. Być może amplituda tych libracji jest duża. Wiemy niewiele, bo nie ma dostatecznie dużo dokładnych obserwacji, z których dałoby się określić orientację księżyców. Skromne wysiłki autora wykazały, że w przypadku, gdy ograniczymy się do modelu



Rys. 5. Cięcie Poincare dla równania Bieleckiego (patrz **Ramka 3**), obrazujące efekt rezonansu parametrycznego dla wartości parametru $n^2 = 1/4$. Współrzędna p ma sens przeskalowanej prędkości zmian kąta orientacji δ. Rysunek autora.

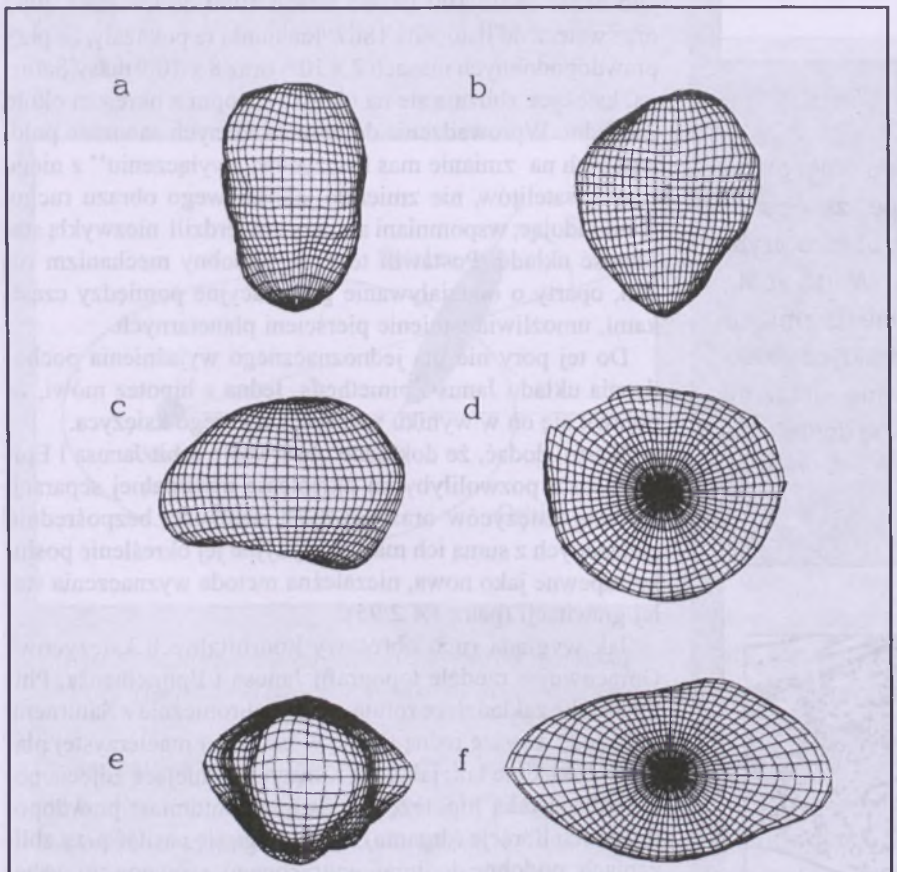


Rys. 6. Efekt silnie chaotycznego zachowania kąta orientacji satelity dla niewielkich ekscentryczności orbity, związany z rezonansem parametrycznym. Rysunek autora.

Bieleckiego drgań płaskich (**Ramka 3**), w którym wprowadzimy zaburzenie od koorbitalnego księżyca, momenty sił w trakcie zbliżeń księżyców są zbyt małe, by w istotny sposób modyfikować ich rotację synchroniczną.

Moglibyśmy zatem argumentować, że zaburzenia powodowane obecnością drugiego księżyca są niewielkie. Zapomnijmy zatem o nim, a przypomnijmy sobie, że ekscentryczności średnich orbit są niewielkie, ale niezerowe. Możemy wówczas popatrzeć jak zachowywałyby się oba księżyce, gdyby ich libracje ograniczyć do płaszczyzny orbitalnej. Analizę takiej sytuacji pozwala jakościowo przeprowadzić równanie Bieleckiego (**Ramka 3**). Janus okaże się być może po raz kolejny godnym swojego imienia. Jego momenty bezwładności (wyznaczone formalnie z kilkuprocentowymi błędami) oraz ekscentryczność, lokują się bardzo blisko strefy tzw. *rezonansu parametrycznego*. Efekt ten znany jest użytkownikom huśtawek i polega z grubsza na tym, że przy pewnych warunkach (wartościach parametrów układu, które regulują jego własności dynamiczne) niewielka, okresowa siła powoduje bardzo dużą amplitudę drgań. W „uczony'' sposób możemy to przedstawić na **Rys. 5**. Okazuje się, że jeśli parametr n^2 w równaniu Bieleckiego jest bliski wartości 1/4, stabilne do tej pory położenie równowagi (rotacji synchronicznej) staje się *niestabilne*. Minimalne wychylenie księżyca z tego położenia równowagi powoduje bardzo dużą amplitudę drgań - sięgać ona może kilkudziesięciu stopni! Nominalna wartość n^2 dla Janusa wynosi ok. 0.14. Jeśli nałożymy na nią nawet kilkuprocentowe błędy wyznaczenia momentów bezwładności, znajdziemy się w krytycznej strefie parametrów. Potencjalnie Janus mógłby znaleźć się w tej strefie. Dywagacje te są jednak być może zbyt daleko idące, ponieważ dla obecnie uznawanej wartości ekscentryczności, która odpowiada Janusowi (maksymalnie 0.009) zakres n^2 odpowiadający rezonansowi parametrycznemu wynosi kilka setnych.

Zwróćmy jeszcze uwagę na **Rys. 6**, który pokazuje, że w przypadku nieco



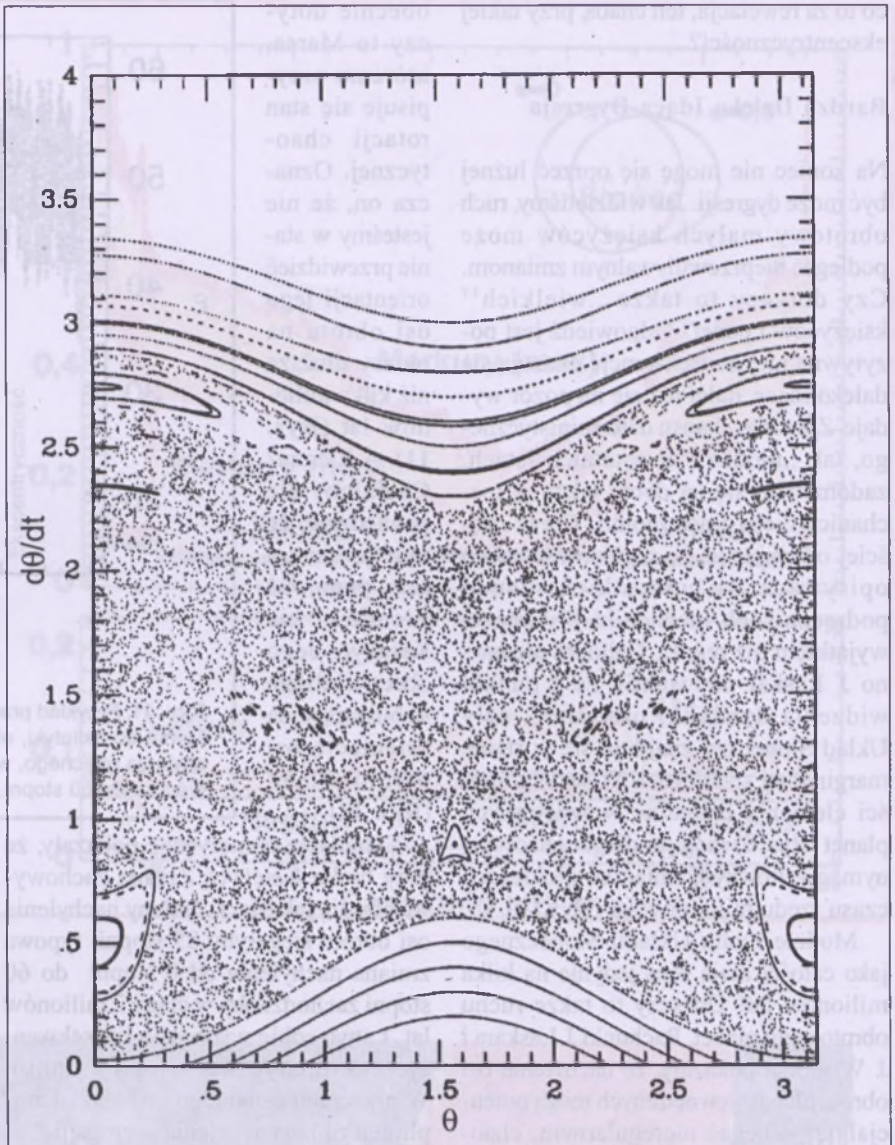
Rys. 7. Porównanie kształtu Hyperiona z kształtem Fobosa, Deimosa (księżyce Marsa), Amaltei (satelita Jowisza) oraz asteroidu Gaspra. Panele a,b dla Hyperiona, c - Deimos, d - Fobos widziany od bieguna północnego, e - Gaspra, f - Amaltea widziana od bieguna północnego. Skala względna. Rysunek z pracy Thomas et. al, *ICARUS* 117, 1995.

większych ekscentryczności płaskie drgania byłyby niemal kompletnie chaotyczne przy mininalnym wytrąceniu satelity z położenia równowagi.

Tajemnica Hyperiona

Przegląd nieregularnych księżyców wielkich planet moglibyśmy zakończyć na szesnastym księżycu Saturna, Hyperionie, odkrytym w 1848 roku przez Bonda i Lassela. Jego odległość od Saturna wynosi około 1 481 000 km. Przy średnicy około 286km, Hyperion jest największym, nieregularnym ciałem Układu Słonecznego (**Rys. 7**). Mimo podobnej, lodowej budowy, nieco większe księżyce: Urana, Proteus, i księżyc Saturna Mimas, mają regularne, elipsoidalne kształty.

Ale szczególny kształt nie jest jedyną osobliwością Hyperiona. Jest on jednym z księżyców o bardzo dużej ekscentryczności orbity (e=0.1236). Przeglądając statystyczne dane dotyczące Hyperiona w rubryce *okres orbitalny* napotkamy zamiast spodziewanych wartości tajemnicze (być może) stwierdzenie: *chaotyczny*. Ono właśnie stanowi o wyjątkowości tego księżyca. Jak dotąd jest on jedynym, potwierdzonym obserwacyjnie przypadkiem naturalnego obiektu w Układzie Słonecznym, którego ruch obrotowy wykazuje gwałtowne i praktycznie nieprzewidywalne zmiany. Wskazania tego niezwykłego stanu rzeczy dostarczyła analiza zdjęć Voyager'a 2, potwierdzona następnie przez wyniki teoretyczne J. Wisdoma, S.J. Peale'a i F. Mignard'a. Badali oni najprostszy model ruchu obrotowego Hyperiona - drgań płaskich (wykorzystując teorię analogiczną do przedstawionej w **Ramce 3**). Wynik przedstawia **Rys. 8**. Jak widać, prawie cały obszar ruchu stanowi *morze chaosu*. Pokazano też, że jakościowo sytuacja nie zmienia się, jeśli rozpatrzymy pełny, przestrzenny model ruchu. W przypadku Hyperiona zarówno rezonans 1:1 prędkości obrotowej i orbitalnej, jak i 1:2 (prędkość kątowa jest połową prędkości orbitalnej) są niestabilne. Co prawda dla małych nachyleń osi obrotu do płaszczyzny orbity istnieją stabilne rezonanse 2:1 i 9:4, ale prawdopodobieństwo trafienia z orientacją i prędkością kątową w odpowiadające im obszary warunków początkowych jest znikomo małe. Przewidywania teoretyczne potwierdził obserwacyjnie w 1989 J. Klavetter. W ciągu 10 tygodni prowadził on naziemne obserwacje krzywych blasku Hyperiona. Nie udało mu się stwierdzić w tym czasie żadnych okresowości w zakresie 1 godz.-50 dni. Niedawne badania G.J. Blacka, P.D. Nicholsona i P.C. Thomasa, oparte o poprawione (w stosunku do użytych przez Klavetter'a) parametry opisujące Hyperiona, pokazały, że jego ruch obrotowy może przebiegać w fazach quasi-regularnych, szybkich rotacji przemieszanych z całkowicie nieuporządkowanym „koziołkowaniem''. Autorzy przewidują skale czasowe tych faz ruchu rzędu setek lat. Można nazwać sukcesem ich wyjaśnienie obserwacji Voyager'a 2 za pomocą skonstruowanego przez nich quasi-okresowego modelu ruchu obrotowego Hyperiona, jednak z powodu chaotycznej natury tego ruchu ów model ma zasięg przewidywalności jedynie około roku.



Rys. 8. Cięcie Poincare dla Hyperiona: przypadek drgań płaskich (obrót wokół osi bezwładności odpowiadającej maksymalnemu momentowi bezwładności), parametry równania Bieleckiego n=0.89, e=0.1236. Na osi poziomej kąt orientacji, oś rzędnych przedstawia tempo jego zmian. Dla większości warunków początkowych ruch jest chaotyczny. Rysunek pochodzi z pracy G. J. Black et al., *ICARUS* 117, 1995.

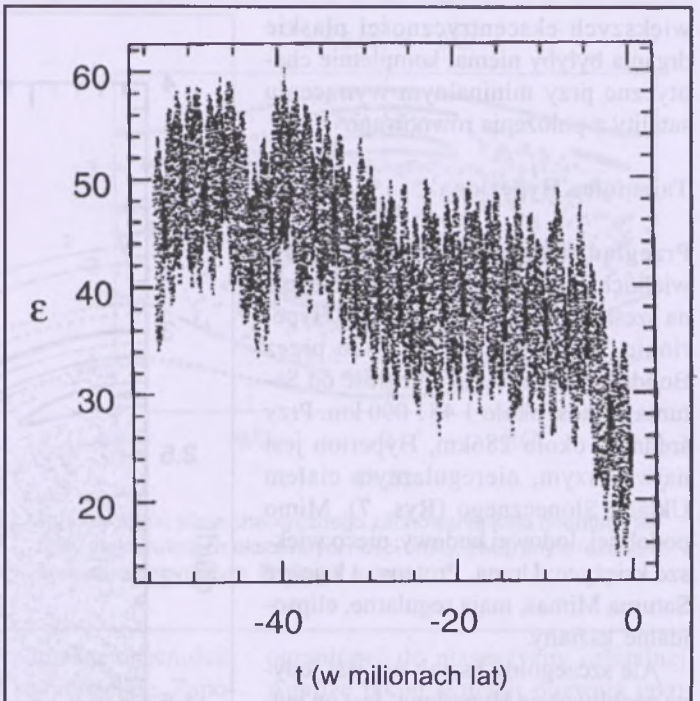
Nadal bez odpowiedzi pozostają pytania: dlaczego Hyperion nie osiągnął kształtu zbliżonego do równowagowej elipsoidy, mimo, że ma podobną budowę wewnętrzną do jedynie nieco większych obiektów? Dlaczego nie jest wyhamowany do rotacji synchronicznej, w jakiej znajdują się inne księżyce Saturna? Czy inne księżyce o dużych ekscentrycznościach orbitalnych również podlegają stanowi nieregularnej rotacji? A. Dobrovolskis badał pod tym względem Nereidę, która także podejrzana jest o zachowanie chaotyczne. Ekscentryczność orbity Nereidy jest fantastycznie duża, wynosi około 0.75. W tym kontekście jakiś malkontent, po obejrzeniu **Ramki 3** i rysunków, mógłby stwierdzić:

co to za rewelacja, ten chaos, przy takiej ekscentryczności?...

Bardzo Daleko Idąca Dygresja

Na koniec nie mogę się oprzeć luźnej być może dygresji. Jak widzieliśmy, ruch obrotowy małych księżyców może podlegać nieprzewidywalnym zmianom. Czy dotyczy to także ,,wielkich'' księżyców i panet? Odpowiedź jest pozytywna i jej konsekwencje okazują się daleko idące, dalej niż się na pozór wydaje. Zjawisko chaosu deterministycznego, tak ,,modne'' w ostatnich latach, zadomowiło się na dobre także w mechanice nieba i astronomii. Coraz częściej okazuje się, że regularność ruchu opisywana we wszystkich niemal podręcznikach mechaniki jest raczej wyjątkiem niż regułą. Całkiem niedawno J. Laskar udowodnił, że z punktu widzenia dynamiki orbitalnej, cały Układ Słoneczny znajduje się w stanie marginalnej stabilności. W szczególności elementy orbitalne wewnętrznych planet (**Rys. 9**) mogą podlegać chaotycznym, gwałtownym zmianom w okresach czasu rzędu miliardów lat (**Rys.10**).

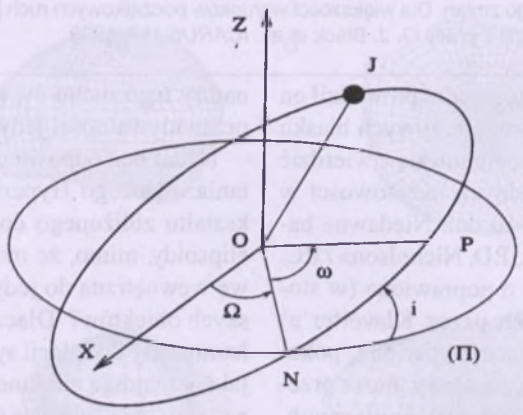
Modele ruchu Układu Słonecznego jako całości mają sens jedynie na kilka milionów lat! Dotyczy to także ruchu obrotowego planet. Rachunki J. Laskara i J. Wisdoma pokazały, że nachylenia osi obrotu planet wewnętrznych mogą potencjalnie podlegać nieregularnym, chaotycznym zmianom. Przyjmuje się, że obecnie dotyczy to Marsa, któremu przypisuje się stan rotacji chaotycznej. Oznacza on, że nie jesteśmy w stanie przewidzieć orientacji jego osi obrotu na okresy dłuższe niż kilka milionów lat (**Rys. 11**). A Ziemia? Chciałoby się powiedzieć, że mamy szczęście, ponieważ Ziemia ma Księżyc. Jego obecność działa stabilizująco na orientację osi obrotu Ziemi (**Rys. 12**).



Rys. 11. Przykład prawdopodobnej ewolucji nachylenia osi obrotu Marsa do ekliptyki, obliczony z wartością początkową bliską nachylenia obecnego, w okresie 50 mln lat. Może ono osiągać wartości rzędu 60 stopni. Źródło jak dla **Rys. 10**.

Symulacje numeryczne pokazały, że przy braku Księżyca Ziemia zachowywałaby się jak Mars. Zmiany nachylenia osi obrotu sięgałyby 85 stopni, typowa zmiana nachylenia od 0 stopni do 60 stopni zachodziłaby w ciągu 2 milionów lat. Łatwo sobie wyobrazić konsekwencje klimatyczne tego faktu. W przeciągu ostatniego miliona lat amplituda zmian nachylenia osi rotacji Ziemi sięgała 1.3 stopnia, co powodowało niemal 20% zmianę nasłonecznienia na szerokości geograficznej 65 stopni. Symulacje numeryczne (wykonane także przez J. Laskara) pokazały, że „uwolnienie'' Księżyca byłoby równoznaczne ze zmianą nachylenia Ziemi od wartości obecnej do 15 stopni i następnie jego wzrostem do ok. 35 stopni w ciągu zaledwie 0.3 mln lat (cały czwartorzęd trwa ok. 2 mln lat). Nasłonecznienie na szerokości geograficznej 65N zmieniałoby się przy tym pomiędzy 300W/m^2 i 600W/m^2.

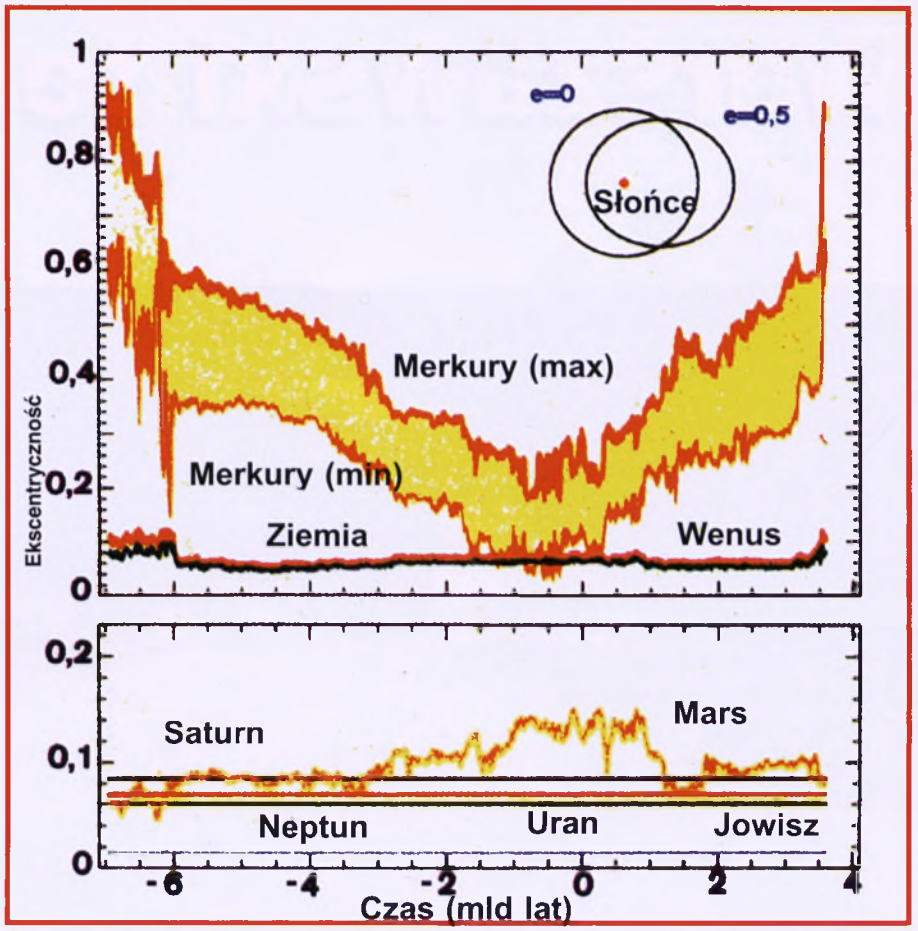
W tym kontekście trudno się oprzeć wrażeniu, że nasze poglądy na temat genezy życia, podobnego w formie do ziemskiego, w innych układach planetarnych powinny być zrewidowane. Oprócz odpowiedniej gwiazdy i planety obiegającej ją w odpowiedniej odległości, musiałaby ona jeszcze posiadać odpowiednio duży księżyc, którego obecność stabilizowałaby warunki termiczne na jej powierzchni. Na ostateczne rozstrzygnięcie tej kwestii przyjdzie nam zapewne jeszcze poczekać.



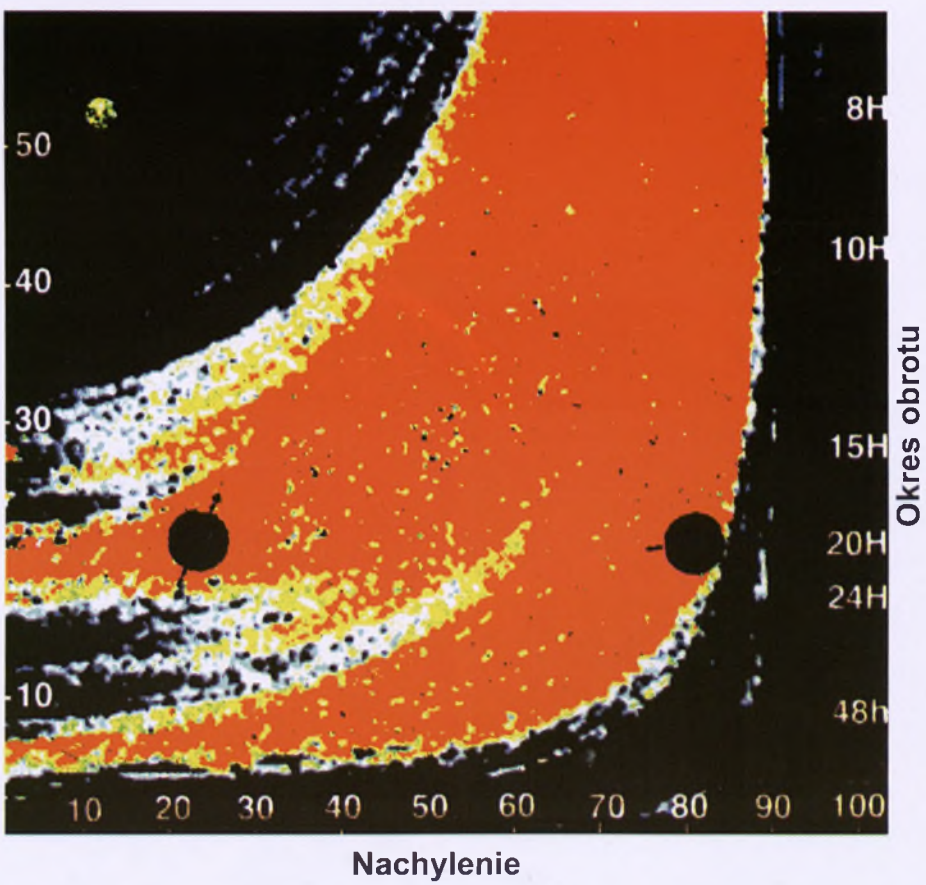
Rys. 9. Schemat obrazujący elementy eliptyczne orbity keplerowskiej planety J, obiegającej centrum przyciągania grawitacyjnego O (Słońce). Ze względu na oddziaływanie perturbacyjne innych ciał Układu Słonecznego (planet) zmieniają się one w czasie; chwilowy zestaw elemetów orbitalnych planety mechanicy nieba nazywają orbitą oskulacyjną. Elementy orbitalne opisują kształt orbity (a - półoś orbitalna, e - ekscentryczność), jej położenie w przestrzeni (i - nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki Π, Ω - długość węzła wstępującego, ω - długość pericentrum P) oraz czasowe umiejscowienie planety na orbicie (parametr τ - moment przejścia przez pericentrum).

Krzysztof Goździewski jest astronomem w Instytucie Astronomii Uniwersytetu M. Kopernika w Toruniu. Aktualnie przygotowuje rozprawę doktorską na temat metod numerycznych i półanalitycznych dla badania układów dynamicznych w mechanice nieba.

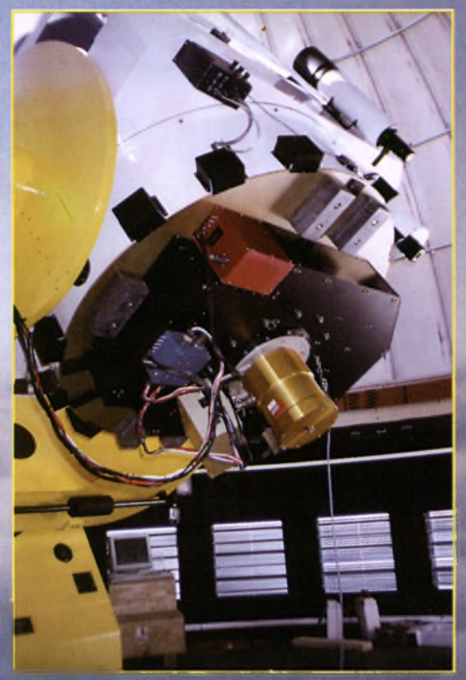
Rys. 10. Całkowanie numeryczne uśrednionych równań ruchu Układu Słonecznego w przedziale -10 mld lat do 15 mld lat. Wykres przedstawia maksymalne wartości nachyleń płaszczyzn orbitalnych planet w odniesieniu do ustalonej ekliptyki epoki J2000 oraz ekscentryczności orbit, uzyskane w przedziałach 10 mln lat. Planety wewnętrzne (z Ziemią) potraktowano na oddzielnym rysunku. Orbity wielkich planet charakteryzują się bardzo regularnym zachowaniem, natomiast planety wewnętrzne zmieniają swoje elementy orbitalne w gwałtowny i nieregularny sposób. Zakres zmian ekscentryczności Merkurego jest tak duży, że prawdopodobnie zostanie on wyrzucony z Układu Słonecznego. Rysunek pochodzi z artykułu J. Laskara, „Large Scale Chaos an Marginal Stability in the Solar System", przedstawionego na XI Kolokwium ICMP, Paryż 1994.



Rys. 12. Analiza stabilności nachylenia osi obrotu Ziemi, w zależności od warunków początkowych stałej precesji (w sekundach łuku na rok), zaznaczonej na osi rzędnych po lewej oraz nachylenia osi obrotu (oś pozioma, w stopniach). Prawa oś rzędnych pokazuje ocenę okresu obrotu (w godzinach), odpowiadającą danej wartości stałej precesji. Całkowanie numeryczne, w którym uwzględniono perturbacje planetarne, zostało wykonane w okresie 36 mln lat, dla 250000 warunków początkowych. Ciemniejszy obszar odpowiada regularnemu zachowaniu nachylenia osi ziemskiej, natomiast obszary jasniejsze (czerwone) odpowiadają warunkom początkowym, które prowadzą do gwałtownych zmian nachylenia, rzędu kilkudziesięciu stopni. Jak widać, przy uwzględnieniu obecności Księżyca i wartościach początkowych stałej precesji 55 sekund łuku na rok oraz nachyleniu 23 stopni, Ziemia znajduje się niemal w środku dużego obszaru ruchu regularnego. (Źródło jak dla rysunków 10 i 11)



Warszawski teleskop fotometryczny w Chile (Las Campanas)



2.5 m teleskop duPont
(Carnegie Inst. of Washington)

1.3 m teleskop
Warszawski

1 m teleskop Swope'a
(Carnegie Inst. of Washington)

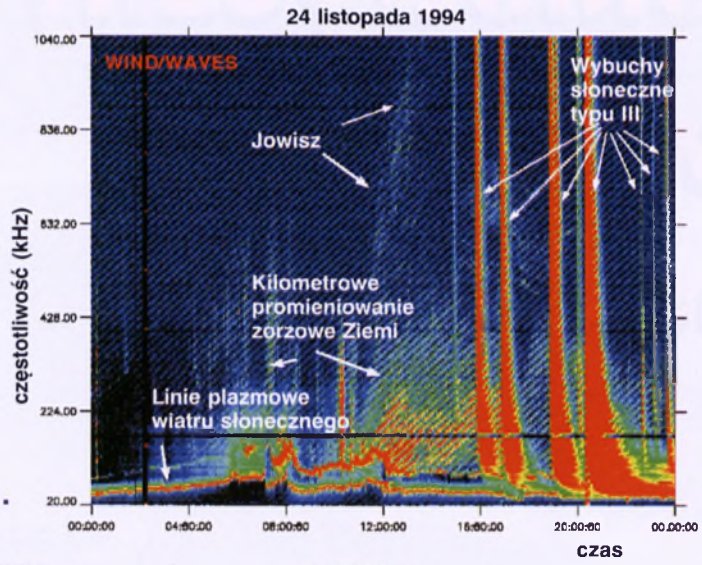
60 cm teleskop
Uniwersytetu Toronto

10 calowy refraktor
którym odkryto SN 1987A

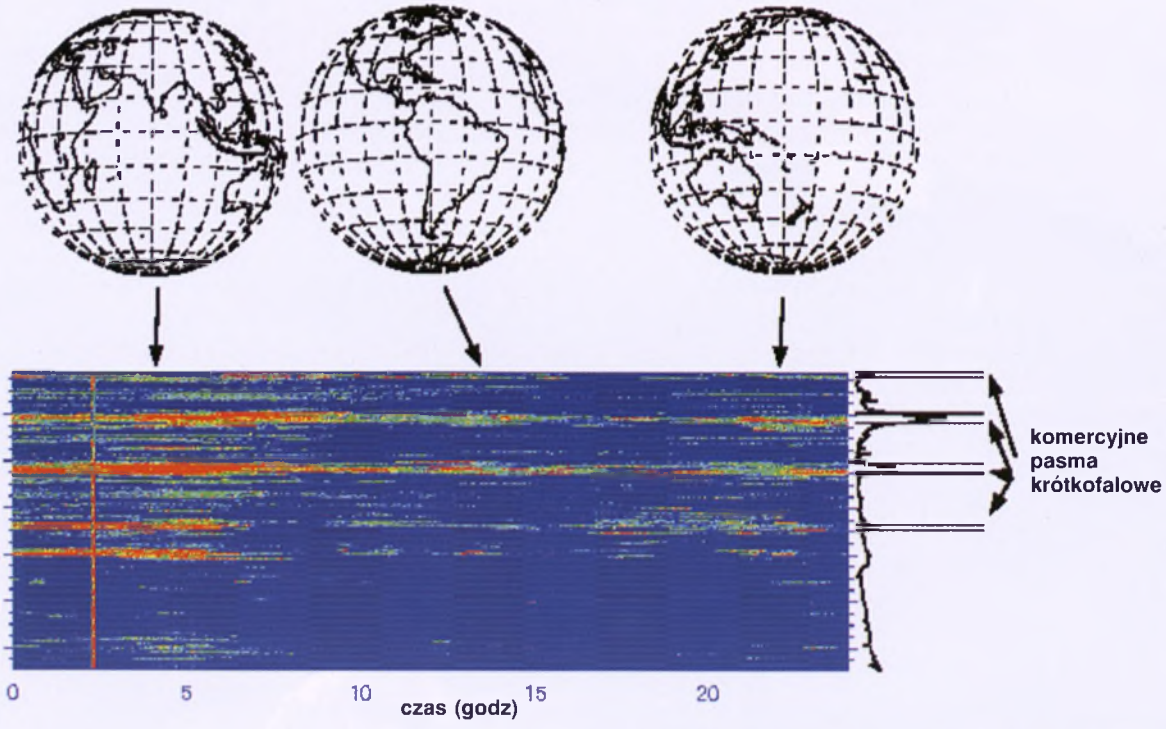
PA

WIND

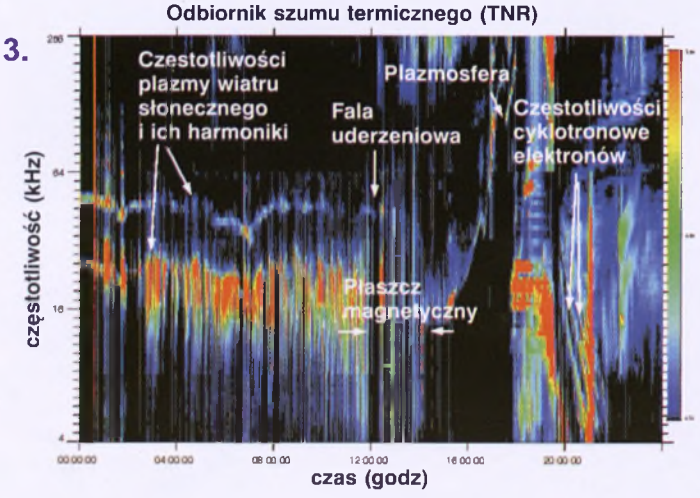
- 24 GODZINY Z ŻYCIA STACJI W OBRAZKACH



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

Rys. 1. Dobowy zapis naturalnych szumów radiowych odbieranych na pokładzie stacji *WIND*.

Rys. 2. Widmo dynamiczne promieniowania radiowego odbieranego przez *WIND*'a z *Ziemi*.

Rys. 3. Zapis szumów radiowych powstających w plaźmie bezpośrednio otaczającej stację *WIND*.

(patrz - tekst obok)

WIND - 24 GODZINY ŻYCIA STACJI W OBRAZKACH

PIERWSZY OBRAZ przedstawia dobowy zapis szumów radiowych pochodzenia naturalnego odbieranych przy pomocy eksperymentu WAVES umieszczonego na pokładzie stacji WIND w czasie, gdy znajdowała się ona w wietrze słonecznym. Pasmo odbieranych częstotliwości zawiera się pomiędzy 20 kHz i około 1 MHz. Obraz przedstawia tzw. widmo dynamiczne zarejestrowane 26 listopada 1994 roku, tzn. zapis natężenia odbieranego promieniowania elektromagnetycznego w funkcji czasu i częstotliwości. To co jest interesujące, to fakt obecności na widmie wszystkich ważniejszych emisji pochodzenia naturalnego, które można obserwować spoza Ziemi.

Niskie częstotliwości zdominowane są przez szumy plazmy wiatru słonecznego - widoczne są drgania plazmy zarówno na częstotliwości podstawowej odpowiadającej tzw. częstotliwości plazmowej proporcjonalnej do pierwiastka kwadratowego z gęstości elektronowej plazmy, jak i na jej harmonice. Nieco później pojawiają się szumy na wyższych częstotliwościach. Są one generowane w obszarach magnetosfery ziemskiej związanych z powstawaniem zórz polarnych - stąd jego nazwa (*Auroral Kilometric Radiation* albo Kilometrowe Promieniowanie Zorzowe Ziemi). Kilometrowe, bo odpowiadające mu długości fal elektromagnetycznych są rzędu kilometrów. To promieniowanie, jak i poprzednio wspominane emisje plazmy wiatru słonecznego dla obserwatora znajdującego na powierzchni Ziemi jest niewidoczne. Jonosfera ziemska go nie przepuszcza. Następne dwie klasy promieniowania widać również z powierzchni Ziemi, ale dla wyższych częstotliwości. Są to emisje radiowe Jowisza i tzw. słoneczne wybuchy radiowe III typu, o których już wspominaliśmy na łamach *PA*. Obydwa rodzaje promieniowania obserwowane są z powierzchni Ziemi na falach dekametrowych (a typ III nawet na krótszych). WIND widzi ich przedłużenie na niskich częstotliwościach niedostępnych z powierzchni Ziemi. Pomimo długoletnich obserwacji nadal istnieją niewyjaśnione problemy związane ze wspomnianymi szumami radiowymi. O ile promieniowanie związane z wybuchami słonecznymi (wzbudzane przez wiązki elektronów o energiach rzędu keV poruszające się w wietrze słonecznym w otwartych strukturach magnetycznych) ma charakter ciągły, to emisje jowiszowe składają się z wielu krótkotrwałych błysków. Radiowe wybuchy słoneczne III typu widoczne na przedstawionym widmie dynamicznym były obserwowane jednocześnie z pokładu ULYSSES-a znajdującego się ponad płaszczyzną ekliptyki w odległości ok. 2 jednostek astronomicznych od WIND-a.

DRUGI OBRAZ przedstawia również widmo dynamiczne promieniowania radiowego odbieranego na pokładzie WIND-a, ale dla znacznie wyższych częstotliwości: od 1 do 14 MHz odebranych 17 listopada 1994 roku. Widmo zdominowane jest nie przez emisje pochodzenia naturalnego, lecz przez sygnały ziemskich stacji radiowych (są to fale krótkie) przesączające się przez ziemską jonosferę. Ponad widmem pokazana jest orientacja Ziemi względem stacji kosmicznej. Na tej podstawie można zorientować się, skąd pochodzą emisje widoczne na odpowiednich fragmentach widma dynamicznego. Pomiary częstotliwości linii pozwalają na identyfikacje poszczególnych stacji radiowych. Jonosfera dobrze ekranuje częstotliwości poniżej kilku MHz, natomiast wyższe częstotliwości przesączają się, jak widać, bez większych problemów. Podobne obserwacje przeprowadzano już wcześniej, jednak WIND ze względu na długotrwałe przebywanie w wietrze słonecznym pozwala na monitorowanie aktywności radiowej Ziemi w długich odcinkach czasu.

TRZECI OBRAZ koncentruje się na szumach radiowych powstających w bezpośrednim sąsiedztwie stacji WIND i związanych ze zmianą warunków fizycznych w otaczającej ją plazmie. W odróżnieniu od emisji widocznych na pierwszym obrazie (w większości będących falami elektromagnetycznymi wytworzonymi daleko od odbiornika) ten obraz przedstawia szumy generowane lokalnie, w bezpośrednim sąsiedztwie stacji. Są to tzw. szumy elektrostatyczne, które rozchodzą się jedynie w niewielkich odległościach od źródeł. Widzimy zatem wspomniane już poprzednio szumy plazmy wiatru słonecznego, następnie pojawia się sygnatura przejścia przez czoło fali uderzeniowej magnetosfery ziemskiej oraz szumy towarzyszące przejściu przez płaszcz magnetyczny (*magnetosheath*). Obserwowany około godziny 16:00 wzrost częstotliwości szumów świadczy o zanurzeniu się stacji w znacznie gęstszy obszar plazmosfery. Zaczynają też być widoczne harmoniki częstotliwości cyklotronowej elektronów (ściślej mówiąc ich częstotliwości znajdują się między kolejnymi harmonikami). Na obrazie widoczne są również inne emisje, ale nie będziemy się nimi w tej chwili zajmować. Szumy elektrostatyczne są zjawiskiem powszechnym w Układzie Słonecznym, to właśnie dzięki ich lokalnej naturze możemy używać je jako jedno z narzędzi diagnostyki plazmy (pomiar gęstości, temperatury, niekiedy natężenia pola magnetycznego). Podobne obrazy obserwuje się przy wejściu do wnętrza innych magnetosfer planetarnych.

WIND został wystrzelony 1 listopada 1994 roku. Specyficzne dla tej misji jest długotrwałe przebywanie stacji w wietrze słonecznym. Eksperyment WAVES, o którym była mowa wyżej, pozwala na rejestrację zjawisk falowych w zakresie od 0 do 14 MHz w trzech podzakresach: 0 - 10 kHz, 4 - 256 kHz i 20 kHz - 14 MHz.Odbiorniki połączone są z układem anten elektrycznych i magnetycznych. Anteny elektryczne to dwa dipole (50 m i 7.5 m) umieszczone w płaszczyźnie rotacji stacji oraz dipol o długości 5.28 m ustawiony wzdłuż osi rotacji. Antena magnetyczna również jest trójosiowa - cewki są zamontowane na wysięgniku w odległości 12 m od korpusu stacji.

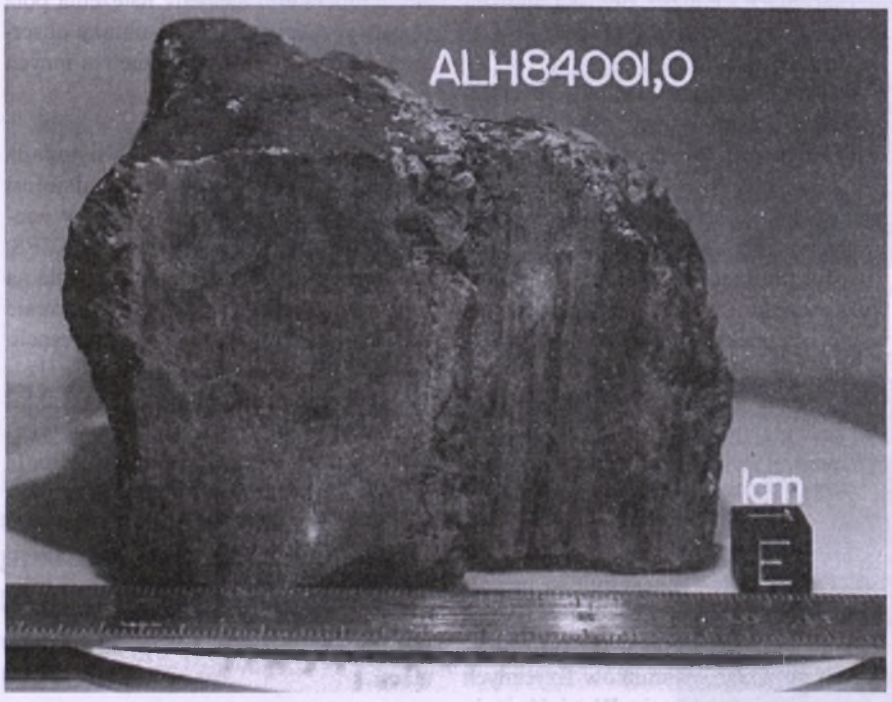
Do analogicznych dziennych raportów dla innych dni można dotrzeć poprzez Internet pod adresem: **http://lep694.gsfc.nasa.gov/waves/waves.html**.

(rs)

Życie na Marsie?

W lecie 1996 roku cały świat obiegła sensacyjna wiadomość, że na Marsie istniało, lub nawet istnieje, życie. Przyczyną całej lawiny doniesień mediów na ten temat było odkrycie dokonane przez zespół naukowców z Centrum Lotów Kosmicznych Johnsona w Houston w Teksasie i z Uniwersytetu w Stanford w Kalifornii. Liderzy obu grup Dawid McKay i Everett Gibson w dniu 7 sierpnia 1996 ogłosili o odkryciu kopalnych śladów prymitywnego życia bakteryjnego w pochodzącym z Marsa meteorycie Alan Hills. Wydaje się, że odkryte pod mikroskopem elektronowym drobne struktury mogą być skamieniałymi strukturami, prymitywnych, podobnych do bakterii organizmów, które żyły na Marsie 3.6 miliarda lat temu. Największe ze znalezionych organicznych skamielin mają rozmiary mniejsze niż 1/100 średnicy ludzkiego włosa, ale większość z nich ma rozmiary jeszcze 10 razy mniejsze.

Meteoryt Alan Hills został znaleziony w roku 1984 na polu lodowym Alan Hills na Antarktyce przez specjalną ekspedycję meteorytową Narodowej Fundacji Naukowej USA. Jest skałą wielkości melona i waży 1.9 kg. Analiza geochemiczna tego znaleziska ujawniła prawie doskonałą zgodność wszystkich jego parametrów z analizą gruntu marsjańskiego przeprowadzoną przez stację Viking w roku 1976 na powierzchni Marsa. Ta skała powoli wykrystalizowała się z pierwotnej magmy ok. 4.5 miliarda lat temu. Wtedy też formowała się powierzchnia Marsa i prawdopodobnie jest ona częścią pierwotnej skorupy Czerwonej Planety. Wszystkie inne znane meteoryty marsjańskie są znacznie młodsze - ich wiek nie przekracza 1.2 miliarda lat. Ale jak ten „kamień" mógł oderwać się od macierzystej struktury i przywędrować na Ziemię? To nie jest zupełnie jasne. Wydaje się, że około 16 milionów lat temu nastąpiła kolizja Marsa z jakimś dość masywnym ciałem - kometą lub asteroidem - w wyniku czego nastąpiło „wybicie" z powierzchni Czerwonej Planety pewnego jej fragmentu. Siła eksplozji mogła być tak duża, że część wybitej materii mogła osiągnąć prędkości większe od prędkości ucieczki z Marsa. I po długich wędrówkach w przestrzeni między Marsem a Ziemią, 13 tysięcy lat temu spadł na Ziemię meteoryt, który stał się źródłem tu omawianych rewelacyjnych odkryć. Ocena czasu przebywania marsjańskiej skały w przestrzeni międzyplanetarnej wynika z oceny ilości zaabsorbowanych promieni kosmicznych i zmian w obfitości izotopów i strukturze mineralogicznej jakie one spowodowały. Obecnie 11 znalezionych na Ziemi meteorytów uznaje się za odłamki skalne pochodzące z Księżyca, a 12 innych za pochodzące z Marsa.



Fot. 1. Przedstawiony powyżej kawałek skały oznaczony ALH84001 ma 4.5 miliarda lat i jest częścią meteorytu znalezionego 27 grudnia 1984 roku w Antarktyce na polu lodowym Alan Hills. Meteoryt ten, (przechowywany obecnie w Centrum Lotów Kosmicznych w Houston) jest skałą, która około 16 milionów lat temu oderwała się od skorupy Marsa w czasie upadku innego dużego meteorytu (komety?, asteroidu?) na Czerwoną Planetę, a następnie około 13 tys. lat temu spadła na Ziemię. To właśnie w tym meteorycie naukowcy z Houston i Stanford odkryli prawdopodobne kopalne świadectwa istnienia prymitywnego życia bakteryjnego na Marsie 3.8 miliarda lat temu.

Znalezione wewnątrz marsjańskiej skały molekuły organiczne i struktury mineralne mogą być charakterystyczne dla aktywności biologicznej, jaka być może istniała kiedyś na Marsie. Jakimi argumentami dysponują badacze, aby twierdzić, że życie na Marsie kiedyś istniało?

Po pierwsze: obrazy uzyskane przy pomocy skaningowego mikroskopu elektronowego, jakim badano próbki meteorytu, pokazują (**Fot. 2**) gromady mikroskopijnych wydłużonych tworów (o długości nie większej niż 100 nanometrów) występujących zawsze w lub w pobliżu skał węglanowych. Podobne, choć większe, twory znajdowano na Ziemi i uznano za kopalne szczątki prymitywnych form życia sprzed około 3.45 miliarda lat.

Po drugie: w szczelinach podstawowej skały znaleziono znacznie młodsze od niej (co najmniej o miliard lat) pomarańczowobrązowe globule węglanowe, a wokół tych globul ciemne i jasne otoczki z kryształów magnetytu Fe_3O_4 i siarczku żelaza (FeS). Kryształy te są nadzwyczaj foremne, pozbawione strukturalnych defektów i zanieczyszczeń oraz niesłychanie małych rozmiarów. Zazwyczaj te związki żelaza nie występują razem, nie koegzystują. Ale niektóre bakterie na Ziemi syntetyzują je z relatywną łatwością. W sumie swą formą, składem chemicznym i lokalizacją, minerały te wskazują na swe raczej biologiczne, niż fizyczne pochodzenie.

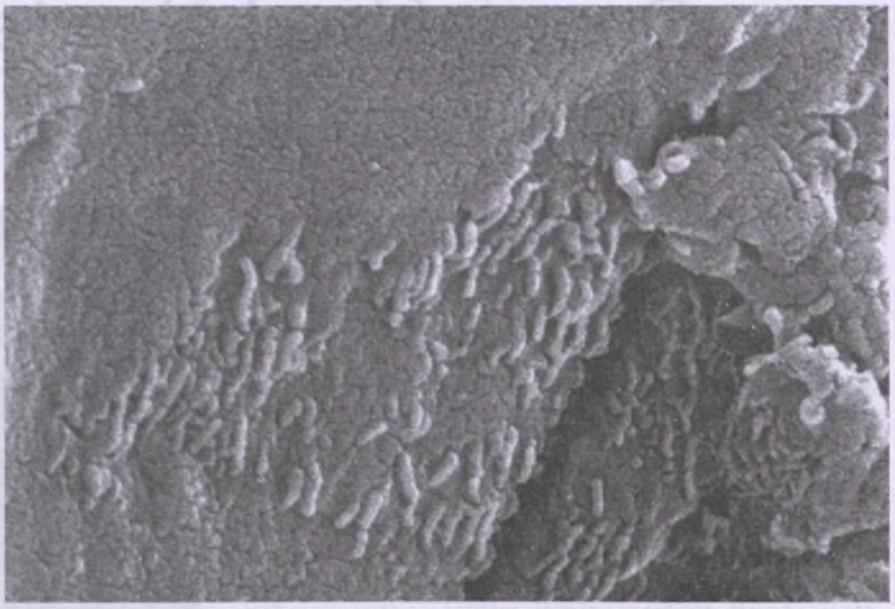
Po trzecie: stwierdzono, że węglany są niejako nasycone molekułami organicznymi znanymi jako węglowodory aromatyczne albo PAH. Otóż prowadzące badania zespoły specjalistów uznały, że zarówno jakość jak i stężenie tych cząsteczek w badanych próbkach, bardzo przypomina to, czego możnaby się spodziewać w czasie rozpadu prostej materii organicznej (mikroorganizmów).

Choć każdy z tych argumentów z osobna nie świadczy o istnieniu życia na Marsie, to znalezienie całego ich zespołu na przestrzeni stutysięcznej części centymetra w wielu miejscach badanej próbki jest dla

dr. Davida S. McKay'a i jego grupy badawczej bardzo silnym argumentem za organicznym pochodzeniem tych śladów. Profesor Norman Horowitz z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego, główny inwestygator w programie poszukiwania życia na Marsie przy pomocy stacji Viking sądzi, że do definitywnej konkluzji potrzebne są dalsze analizy, głównie chemiczne. Chciałby, aby poszukiwano śladów aminokwasów i związków opartych na kwasie nukleinowym. A profesor William Schopf, znany paleobiolog z Uniwersytetu Kalifornijskiego, chciałby widzieć w badanym materiale np. świadectwa istnienia ścianek komórkowych.

W roku 1976 wylądowały na powierzchni Marsa dwie stacje kosmiczne Viking, których zadaniem m.in. było poszukiwanie życia na Czerwonej Planecie. Wyniki przeprowadzonych przez nie analiz przyniosły rozczarowanie dla tych, którzy spodziewali się istnienia tam zielonych ludzików, ale pozwoliły stwierdzić z całą stanowczością, że **wszystkie elementy potrzebne do powstania życia tam są obecne**. Jest tam węgiel, azot, wodór, tlen, fosfor, a nawet woda pod postacią pary i lodu. Mars utracił swą wodę około 3.8 miliarda lat temu. Aby ją zachować, Czerwona Planeta musiałaby posiadać pewną określoną temperaturę i wystarczające ciśnienie atmosferyczne. 3.8 miliarda lat temu zarówno Mars jak i Ziemia posiadały prawdopodobnie takie same potencjalne warunki konieczne do powstania życia. Temperatura marsjańska była wyższa niż 0° Celsjusza, ciśnienie atmosferyczne 5 razy wyższe niż na Ziemi, a woda w postaci płynnej występowała obficie. To na skutek intensywnego bombardowania meteorytowego atmosfera została rozproszona, w następstwie czego temperatura znacznie się obniżyła, a woda zamarzła. Dzisiejszy Mars jest jak gdyby zatrzymanym w kadrze filmu ewolucji obrazem naszej Ziemi sprzed 3.8 miliardów lat.

Takie są najczęściej przytaczane scenariusze możliwych dziejów Marsa. Oczywiście chcielibyśmy wiedzieć więcej i mieć bardziej pewne fundamenty naszej wiedzy zarówno o Czerwonej Planecie, jak i o naszej Ziemi i całym Systemie Słonecznym. Rosjanie wysyłali szereg stacji kosmicznych do Wenus i Marsa począwszy od lat sześćdziesiątych i planowali wysłać na Marsa robota penetrującego skorupę tej planety już w 2002 roku. Amerykanie badali najintensywniej Czerwoną



Fot. 2. Fragment powierzchni meteorytu Alan Hills 84001 w powiększeniu przeszło 100 tysięcy razy. Widoczne tu wydłużone formy są bardzo podobne do znajdowanych na Ziemi, choć wielokroć (co najmniej stokroć) większych form skamieniałych prostych organizmów żyjących 3.5 miliarda lat temu. Czyżby więc, jak twierdzą naukowcy z NASA i Stanford, były to skalne świadectwa istnienia przed 3.8 miliardami lat prymitywnego życia na Marsie?

Planetę swymi Marinerami i Vikingami w latach siedemdziesiątych i myślą wysłać tam człowieka w latach 2015 - 2018. Odkrycie kopalnych świadectw życia na tej planecie wspomaga niewątpliwie te zamiary i zapewne pomoże pokonać bariery finansowe. Jeśli różne formy prymitywnego życia mogły powstać, to czy miały szanse przetrwać i jak długo mogły istnieć? Czy miały szansę rozwijać się? Niektórzy badacze spodziewają się odnaleźć ślady życia na Marsie na głębokości od 4 do 10 metrów pod jego powierzchnią. Jest więc wiele powodów aby intensywniej niż dotychczas zająć się badaniem Marsa. Oprócz znanych dotychczas aspektów kosmogonicznych i poznania historii istnienia planet i całego Systemu Planetarnego otwiera się tu nowa perspektywa badań nad samym zjawiskiem życia. Badań nad niezwykle interesującą fazą przemiany materii od materii nieorganicznej do materii ożywionej, do świata życia.

Jeszcze w bieżącym roku mają wystartować w drogę do Marsa przygotowane przez NASA dwie stacje kosmiczne: *Mars Pathfinder* i *Mars Global Surveyor 1* oraz rosyjska *Mars 96*. Na marsjańskim lądowniku Surveyor 1998 r. (planowany start przesunięto na styczeń 1999 i osiągnięcie celu po 11 miesiącach podróży) NASA planuje umieszczenie dwóch mikropróbników (waga ok. 2 kg), które otworzyłyby nową erę badań Marsa u progu nowego Milenium. Próbniki te odrywałyby się od „aparatu transportowego" tuż przed jego wejściem do atmosfery, a następnie z dość dużą prędkością (przeszło 700 km/godz.) spadały na powierzchnię Czerwonej Planety. W ten sposób jedna z części mikropróbnika wbijałaby się w skorupę marsjańską na głębokość do 1.5 m, a inna (powiązana z poprzednią kablem elekrycznym) część pozostawała na powierzchni. Byłby to niejako tandem badawczy: do analizy gruntu marsjańskiego na różnych głębokościach i do pomiarów temperatury, ciśnienia i innych parametrów na powierzchni. Takich mikrostacji badawczych możnaby ulokować na Marsie bardzo wiele, tak jak wiele jest stacji meteorologicznych i sejsmicznych na Ziemi, niezbędnych do poznawania atmosfery i skorupy naszej planety. Istnieje uzasadniona nadzieja, że analiza podpowierzchniowych lodów i minerałów oraz termicznych własności marsjańskiego gruntu pozwoli rozpoznać istniejące tam warunki dla istnienia życia i ewentualnie odkryć nowe lub potwierdzić wskazane tu ślady jego istnienia.

Możemy tym statkom i planom badawczym tylko życzyć szczęśliwej drogi i pomyślności w zdobywaniu nowych faktów i rozszerzaniu naszej wiedzy o siostrzanej planecie. A sami pozostaniemy na Ziemi w nadziei, że tegoroczne doniesienia o życiu na Marsie nie były fałszywym alarmem.

(aw)

Opowieść o Lalande 21185, czyli jak gwiazdka stała się gwiazdą

Czerwone karły ciągu głównego rzadko pojawiają się na arenie astronomicznych rozważań. To bardzo słabe i niepozorne obiekty. Zwykle są kilka razy mniejsze i kilkanaście razy mniej masywne od Słońca, które też przecież nie bryluje w świecie gwiazd. Ich jasność absolutna na ogół nie przekracza nawet jednego procenta słonecznej wartości.

Tymczasem wśród z górą trzystu gwiazd zawartych w obszarze o promieniu 10 parseków od Słońca co najmniej dwie trzecie stanowią właśnie czerwone karły - tyle odkryto ich już do tej pory. Jak się szacuje, w tym samym obszarze ponad sto innych może wciąż jeszcze ukrywać się przed naszym wzrokiem.

Najbliższym czerwonym karłem jest Proxima Centauri, kosmiczna sąsiadka Słońca. W bezliku gwiazd Drogi Mlecznej jest obiektem zaledwie jedenastej wielkości. Gwiazda Barnarda - najbliższa z gwiazd północnej półkuli nieba - świeci w Wężowniku z jasnością 9.5 magnitudo. Wędrując nieco dalej trafilibyśmy na słabiutką gwiazdkę trzynastej wielkości, oznaczaną jako Wolf 359.

Dopiero czwartego (pod względem odległości) z czerwonych karłów bylibyśmy w stanie dostrzec za pomocą lornetki. Gwiazdę Lalande 21185, o jasności 7.5 magnitudo, możemy odnaleźć u stóp Wielkiej Niedźwiedzicy (zdjęcie obok). Leży w odległości 8 lat świetlnych - nieco bliżej niż Syriusz, jest jednak od niego 4000 razy słabsza.

Historia obserwacji tej nie rzucającej się w oczy gwiazdki liczy sobie już prawie 200 lat. Swą nazwę zawdzięcza francuskiemu astronomowi Joseph Jerome Lefrancais de Lalande, który umieścił ją w wydanym w roku 1801 katalogu gwiazd. Lalande to postać niezwykle barwna. Zabiegał o rozgłos nie tylko w dziedzinie nauki. Potrafił połykać pająki, by przekonać ludzi, że strach przed tymi stworzeniami jest bezpodstawny, a w wieku 67 lat zdecydował się na lot balonem. Jako miłośnik kotów zaproponował utworzenie stosownej konstelacji na południowym niebie, co jednak nie spotkało się z większym odzewem. Do historii astronomii przeszedł też jako niefortunny (bo nieświadomy) obserwator Neptuna. W roku 1795, w czasie prac nad katalogiem gwiazd, dwukrotnie odnotował obecność planety. Uznał ją za gwiazdę, choć jej pozycja w ciągu nocy zmieniła się wyraźnie. Wydaje się to tym dziwniejsze, że zaledwie 14 lat wcześniej William Herschel ogłosił odkrycie Urana. Neptun musiał poczekać na swego odkrywcę kolejne pół wieku.

Opracowany przez Lalande'a zestaw gwiazd zawierał 50 tysięcy obiektów. Nic szczególnego nie wiązało się z numerem 21185 - ot, po prostu jeszcze jedna słaba gwiazdka w zapełnionym nimi katalogu.

Z odmętów nieba „wyłowił" ją dyrektor obserwatorium w Bonn, Friedrich Wilhelm August Argelander, który jako pierwszy odkrył niezwykłą jej cechę w roku 1857. Argelander wraz ze swoimi współpracownikami przygotowywał w tym czasie ogromne dzieło: Bonner Durchmusterung - przegląd nieba, zawierający pozycje i jasności ponad trzystu tysięcy gwiazd. Okazało się, że w stosunku do wydanego pół wieku wcześniej katalogu pozycja Lalande 21185 zmieniła się prawie o 5'. Gwiazda musiała więc dość szybko przemieszczać się po niebie. W owym czasie był to trzeci z największych znanych ruchów własnych. Pod tym względem naszą bohaterkę przewyższały tylko Groombridge 1830 (zupełnie przypadkiem położona również u stóp Wielkiej Niedźwiedzicy), której przesunięcie odkrył również Argelander w roku 1841 oraz 61 Cygni - jej ruch własny wykrył w roku 1804 Giuseppe Piazzi.

Duże tempo przemieszczania się po niebie w naturalny sposób pociąga za sobą wniosek, że mamy do czynienia z bliskim obiektem. Skłoniło to Augusta Winnecke do pomiaru paralaksy Lalande 21185. W roku 1858 przeprowadzono niezbędne obserwacje, z których wynikało, że badana gwiazda jest rzeczywiście blisko - na liście sąsiadek Słońca wyprzedzała ją wówczas tylko α Centauri. Pół wieku później czołówkę listy poważnie zrewidowano, odkrywając najsłabszy składnik układu α Cen - Proximę Centauri (1915), Gwiazdę Barnarda (1916) oraz Wolf 359 (1918). Na liście gwiazd najbliższych Słońcu Lalande 21185 jest jednak do dziś na pozycji czwartej (czy też szóstej, biorąc pod uwagę potrójność α Cen).

W bieżącym stuleciu Lalande 21185 pozostaje w centrum zainteresowania. Podobnie jak inne bliskie gwiazdy, jest pod stałym nadzorem poszukiwaczy planet. Począwszy od lat 40-tych pojawiać się zaczęły doniesienia o występowaniu regularnych zakłóceń w jej ruchu własnym, które przypisywano obecności towarzysza o masie sugerującej jego planetarny charakter.

Ostatnio do takiego wniosku doszedł George D. Gatewood, analizując 50-letnią serię klisz fotograficznych wykonanych za pomocą 76-centymetrowego refraktora. Po uwzględnieniu paralaksy i ruchu własnego pozycje Lalande 21185 ułożyły się na orbicie o promieniu zaledwie 0".013 z 30-letnim okresem obiegu. Oznaczałoby to, że planeta o masie 1.1 masy Jowisza obiega swą macierzystą gwiazdę w odległości 11 jednostek astronomicznych (czyli nieco większej niż Saturn dookoła Słońca).

Gatewood przyznaje, że cykliczne zmiany pozycji na kliszach fotograficznych odegrały tylko pomocniczą rolę w określeniu orbity planety. Jego wniosek oparty jest zasadniczo na bardziej wiarygodnych i dokładniejszych pomiarach wykonanych w ciągu ostatnich 8 lat za pomocą astrometrycznego fotometru wielokanałowego. Dane te ujawniają ponadto bardziej subtelne ruchy o amplitudzie 0".0022 i okresie 6 lat. Wskazywałoby to na obecność drugiego ciała o masie 0.9 masy Jowisza w odległości 2.2 jednostek astronomicznych.

(dokończenie na str. 144)

Galaktyczny kanibalizm czy pierwotna zapaść?

Marek Gołębiewski

Pomimo bezsprzecznie wiodącej roli Kosmicznego Teleskopu Hubble'a w dostarczaniu danych stających się podstawą wysuwanych przełomowych nierzadko teorii, teleskopy naziemne wciąż zdolne są wykonywać obrazy Wszechświata na tyle dokładne, by „zatrząść" od czasu do czasu fundamentami teorii o długim stażu. Wszystko zdaje się bowiem wskazywać na to, że właśnie tego typu obserwacje przybliżą nas znacząco do rozwiązania zagadki powstawania galaktyk. Cała ta historia ma swoich trzech najnowszych bohaterów. Są nimi astronomowie Dante Minniti i Albert Zijlstra, którzy wykorzystali 3.5-metrowy teleskop NTT (*New Technology Telescope*) zlokalizowany w ESO - La Silla (Chile), by zaobserwować nieregularną galaktykę karłowatą WLM. Pomimo tajemniczej nazwy, jest to także bardzo „ludzki" obiekt. W 1909 roku, na kliszach fotograficznych, na których zarejestrowany został obraz gwiazdozbioru Wieloryba w Obserwatorium Heidelberg, Max Wolf po raz pierwszy zwrócił uwagę na ten obiekt. Musiało jednak minąć jeszcze siedemnaście lat, by Knut Lundmark i P. J. Melotte mogli odkryć go ponownie i ujawnić jego prawdziwą naturę. Taki początek historii tej galaktyki znalazł swe odzwierciedlenie w jej nazwie, która jest po prostu skrótem, czyli **WLM = Wolf - Lundmark - Melotte**. Jak większość skatalogowanych obiektów astronomicznych, tak i WLM jest znana również pod innymi nazwami. Przykładowo, w katalogu David Dunlop Observatory ma ona numer 221 (czyli - DDO 221); w klasyfikacji morfologicznej zaproponowanej przez van der Bergha, należy ona do klasy Im IV-V (ogółem jest ich osiem, w zakresie jasności od –20.0 do –16.1 mag). Kończąc tę wstępną prezentację WLM należy dodać, iż jest ona jednym z najbardziej izolowanych członków Grupy Lokalnej, skupiającej kilkadziesiąt galaktyk wokół dwóch największych składników, Drogi Mlecznej i M31. Od obu tych galaktyk spiralnych dzieli ją około 1 Mpc, a do najbliższej sąsiadki, IC 1613 (DDO 8), jest ~ 0.37 Mpc.

Nim jasne stanie się dlaczego i w jaki sposób owe obserwacje dostarczają argumentów na poparcie jednej z teorii powstawania galaktyk, musimy przypomnieć sobie kilka istotnych faktów i przyjrzeć się kilku innym członkom Grupy Lokalnej. Na początek zobaczmy, jaką rolę odgrywają

GALAKTYKI KARŁOWATE

w kosmicznej hierarchii. Tak naprawdę są one (łącznie z galaktykami nieregularnymi) typowymi galaktykami, z racji ich powszechnego występowania, podczas gdy „normalne" galaktyki są w pewnym sensie specjalnymi przypadkami. Z perspektywy kosmologicznej, galaktyki karłowate wyglądają na najmniej zaawansowany ewolucyjnie typ galaktyk. Uważa się, że powstały one z małych perturbacji we wczesnym Wszechświecie, stanowiąc początek drabiny rozwojowej jego struktury wielkoskalowej. Można je podzielić na dwie grupy:

- **dSph, czyli sferoidalne galaktyki karłowate**. Są to ubogie w gaz obiekty, znajdowane głównie w jądrach gęstych gromad galaktyk, co przy okazji wskazuje na ich znaczące zaawansowanie ewolucyjne na drodze oddziaływań z pobliskimi galaktykami danej gromady. Obiekty tego typu są zarazem wsród najmniejszych i najsłabszych znanych galaktyk. Ich jasność powierzchniowa jest tak niska, że były one odkrywane na podstawie zwiększonej koncentracji gwiazd na tle pierwszoplanowego składnika naszej Galaktyki. Ich średnice przypadają w zakresie 1-5 kpc, a jasności absolutne zmieniają się od –12 do –8 wielkości gwiazdowej.

- **dIrr, czyli galaktyki karłowate**. Te z kolei ubogie w gaz obiekty nie doznały raczej istotnej ewolucji, co sugeruje ich liczność w obszarach o niskiej gęstości. Bardzo możliwe, iż są to w rzeczy samej główni przedstawiciele pierwotnych „cegiełek", które przetrwały do naszych czasów. Jedną z najbardziej znanych galaktyk z tej klasy jest Wielki Obłok Magellana (LMC, z ang. *Large Magellanic Cloud*).

W dalszym ciągu będą nas interesować konkretne części galaktyk, określone tradycyjnym mianem

HALO

Nasza Galaktyka posiada w przybliżeniu sferyczne halo, o średnicy około 100 tysięcy lat świetlnych. Składają się na nie stare i ubogie w metale gwiazdy populacji II, czyli legitymujące się ukończonymi minimum 10 miliardami lat i metalicznością $[Fe/H] \leq -1.0$. Wiele z tych gwiazd składa się niemal wyłącznie z wodoru i helu, będąc więc swoistą „fotografią" składu materii młodego Wszechświata. Jest to bez wątpienia najstarszy składnik Drogi Mlecznej, co ma ważkie konsekwencje w rozumieniu jej historii: gwiazdy tworzące halo musiały powstać, nim Galaktyka zdołała przybrać swe ostateczne kształty, czy też - uciekając się do języka „bardzo" astronomicznego - nim w pełni skolapsowała.

Również M31 i M33, dwie wielkie galaktyki spiralne Grupy Lokalnej, mają stare gwiazdowe halo. Nie ma go jednak wspominany już LMC. Pomimo, że posiada stare gwiazdy II populacji,

wchodzące na przykład w skład 16 znanych gromad kulistych, to ich kinematyka upewnia nas, iż halo naprawdę tam brak. W tym miejscu ponownie wkraczamy na tereny stosunkowo słabo poznane, czyli wczesną ewolucję galaktyk. Pytanie jest bowiem następujące: czy brak halo gwiazdowego to cecha wspólna klasy dIrr, czy może po prostu LMC został z niego „odarty", na skutek oddziaływania Drogi Mlecznej ? Bo jeśli tak, to może nie jest on typowym przedstawicielem galaktyk karłowatych ?

Czas już najwyższy, by wyjaśnić ten trochę mało astronomiczny przecież tytuł artykułu. Jak się już pewno domyśliłeś Szanowny Czytelniku, jest to nader skrótowe i „sensacyjne" ujęcie dwóch modeli, stanowiących

TEORIE POWSTAWANIA GALAKTYK

na bazie rozważań tyczących się właśnie halo. Najwięcej „emocji" wiąże się najpewniej z teorią zaproponowaną w 1978 roku przez Searle'a i Zinna, owym „galaktycznym kanibalizmem". Swój rozwój galaktyki miałyby zawdzięczać przyłączaniu i akreowaniu mniejszych galaktyk - satelitów. Wówczas halo reprezentowałoby rozerwany składnik tychże pierwotnych małych galaktyk, a ich materia gazowa dostarczyłaby surowca do budowy dysku. Są obserwacje wskazujące na prawdopodobną poprawność takiego scenariusza rozwoju wypadków; nadto, jest on zgodny z wnioskami wypływającymi z teorii badającej losy chłodnej, ciemnej materii. Przyjrzyjmy się dokładniej obu tym zagadnieniom.

Chłodna, ciemna materia.

„Chłodna", dlatego że jej elementy poruszają się dużo wolniej niż światło. „Ciemna", ponieważ nie świeci, zatem o jej istnieniu musimy dowiadywać się przy pomocy pośrednich obserwacji. Tak też o jej obecności świadczą głównie płaskie krzywe rotacji galaktyk spiralnych - wraz ze wzrostem odległości od jądra galaktyki, prędkość rotacji nie maleje, jak by to miało miejsce w sytuacji, gdyby większość masy była skupiona w centralnych częściach galaktyki. Co więcej, rozważania dynamiczne oraz analizy materiału fotometrycznego dają rażąco odmienne oszacowania masy tych obiektów - im dalej od centrum, tym wyższy jest stosunek M/L, masy do jasności. Dodatkowe przesłanki to obserwowana rozproszona emisja rentgenowska w galaktykach eliptycznych, jak również dynamika gromad galaktyk.

Sprawa jest naprawdę niebagatelna, gdyż mówiąc o ciemnej materii dotykamy problemu być może nawet i 90% całkowitej masy Wszechświata, owej brakującej materii. Zagadnieniem tym zajmują się astronomowie nie od dziś, dzięki czemu wiadomo z grubsza czego się spodziewać ze strony tejże zagadkowej materii. Pamiętając o zakazie Pauliego, obowiązującym w mikroświecie, można pokazać, że tak egzotyczne z punktu widzenia naszych codziennych doświadczeń cząstki jak neutrina, nie mogą być głównym składnikiem ciemnej materii halo. Wiążące się z szeroko zakrojonymi i intensywnymi obserwacjami dwa projekty badawcze interesujące się zjawiskami mikrosoczewkowania grawitacyjnego - francuski EROS i amerykańsko - australijski MACHO - dostarczyły już pewnych wskazówek odnośnie składu tejże materii. Przy założeniu standardowego, sferycznego modelu halo, jakieś 45 - 50% powinny stanowić twory, którym w literaturze przydano bardzo „męskie" miano - MACHO (od ang. *Massive Astrophysical Compact Halo Objects*, czyli masywne i zwarte astrofizyczne obiekty halo). Bardzo możliwe, że są to brązowe karły i chłodne obłoki molekularne, złożone głównie z H_2. W roli tej być może występują też karły typu M, palące wodór na ciągu głównym lub białe karły. Aczkolwiek obserwacje dokonane za pomocą instrumentów znajdujących się na pokładzie HST pokazują, że taką postać może mieć nie więcej jak ~ 6% halo.

Żeby pozostawić ciemnej materii posmak tajemniczości dodajmy, że innymi kandydatkami są cząstki takie jak aksjony czy neutralina. Także bardziej już zadomowione w nauce obiekty, lecz wciąż rozpalające wyobraźnię - gwiazdy neutronowe i czarne dziury (o masach większych niż ~ 1 $M_\odot$) - nie mogą odpowiadać za znaczącą część halo, gdyż wiązałoby się to z produkcją ciężkich pierwiastków większą niż ich faktycznie obserwowane obfitości. Wreszcie, nie może to być gorący, zjonizowany gaz wodorowy, gdyż nie obserwujemy odpowiednio wysokiego strumienia promieniowania rentgenowskiego, jak również wodór neutralny, którego jest zbyt mało, o czym zapewniają obserwacje radiowe na 21 cm. Niestety najnowsze badania zdają się wskazywać, iż jest rozbieżność pomiędzy obliczoną na podstawie symulacji komputerowych krzywą rotacji galaktyk karłowatych (przy założeniu, że halo zawiera chłodną, ciemną materię), a tą pomierzoną. Jeśli fakt ten uzyska potwiedzenie, dla chłodnej, ciemnej materii nastaną ciężkie dni - nie będzie już mogła rościć pretensji do miana głównego składnika halo galaktyk karłowatych i być może także spiralnych.

To czy ciemna materia jest „chłodna", czy „gorąca" ma swe konsekwencje dla dziejów wczesnego Wszechświata. W pierwszym bowiem przypadku działają modele określane po angielsku *bottom-up*, w których najpierw powstały najmniejsze zbiorowiska gwiazd (gromady i małe galaktyki), które później łącząc się ze sobą tworzyły większe galaktyki, takie jak Droga Mleczna. Te zaś z czasem połączyły się w gromady i supergromady galaktyk. Druga możliwość powoduje, że jedynie największe struktury mogą się pojawić w pradziejach Wszechświata, a dopiero później z ich fragmentów mniejsze obiekty. I tutaj wszak HST rozjątrzył sprawę, gdyż najnowsze obserwacje pokazały, że te subgalaktyczne twory istniały już bardzo dawno temu - musiały powstać krótko po Wielkim Wybuchu. Ale również pewne struktury w skali supergromad mogły pojawić się już jakiś milion lat później, stanowiąc zarodki struktury wielkoskalowej Wszechświata. Czyli żaden z tych dwóch scenariuszy nie może być całkowicie poprawny?

Galaktyka karłowata Sagittarius.

W kwietniu 1994 roku Ibatha, Gilmore i Irwin ogłosili odkrycie poruszającej się grupy gwiazd w kierunku Strzelca, w odległości około 16 kpc od centrum Galaktyki. Gwiazdy te poruszają się z prędkościami radialnymi 176 km/s (we współrzędnych galaktocentrycznych), a dyspersja ich prędkości wynosi jedynie 10 km/s. Kontury gęstości powierzchniowej tego obiektu są wydłużone prostopadle do dysku Drogi Mlecznej, ze stosunkiem osi ~ 3:1. Typowy wiek tych gwiazd to około 10^{10} lat, a metaliczność

[*Fe/H*] rzędu 1.0 ± 0.3. Wszystko to, łącznie z brakiem wodoru neutralnego w tym obszarze wskazuje na to, iż mamy do czynienia z galaktyką karłowatą dSph. Jej obserwowana rozciągłość wskazuje dalej na to, że jest ona właśnie rozrywana. Skala czasowa tego bliskiego i jakże brzemiennego w skutki spotkania jest mniejsza niż 10^8 lat, a to implikuje, że akrecja galaktyk karłowatych przez Drogę Mleczną musi być powszechna - punkt dla teorii Searle'a i Zinna - lub też obserwujemy ją w trakcie jakiejś specjalnej fazy jej ewolucji. W tym pierwszym przypadku oznaczałoby to również, iż współczesne galaktyki karłowate są niedobitkami przeszłego galaktycznego „obżarstwa".

Inna podobna galaktyka typu dSph - Fornax, ma około 65 gwiazd węglowych i 5 gromad kulistych. Rozerwanie takiego systemu mogłoby pozostawić jakiś ślad w postaci podstruktur w populacjach gwiazd węglowych i gromad kulistych w halo. I faktycznie, w sąsiedztwie odkrytej grupy znajdują się 4 gromady kuliste. Nie wszyscy jednakowoż godzą się z hipotezą znaczącej i niedawnej akrecji satelitów przez Galaktykę, wskazując na cienkość jej dysku. Przeprowadzone symulacje numeryczne pokazały wszakże, że towarzyszący takim wypadkom wzrost dyspersji składowej prędkości z (prostopadłej do dysku) jest jednak niewielki. Co więcej, Galaktyka mogłaby „wchłonąć" 10^9 - 10^{10} $M_\odot$ w małych aktach akrecji, wciąż zachowując „szczupły" dysk - czyli kolejne punkty dla teorii Searle'a i Zinna. Przy czym trzeba zauważyć, że bogate w gaz galaktyki spiralne takie jak Droga Mleczna nie mogły powstać przez przyłączanie tylko galaktyk typu dSph, skoro te są ubogie w gaz.

Konkurencyjna teoria powstania halo, zaproponowana w 1962 roku przez Eggena, Lynden-Bella i Sandage'a głosi, że gwiazdy halo powstały już wówczas, gdy pierwotny obłok protogalaktyczny wciąż kolapsował. Dlatego też ewentualna obecność halo wokół galaktyk karłowatych - jak pamiętamy, w najmniejszym stopniu „dotkniętych" ewolucją, byłoby potężnym dowodem na poparcie tej teorii.

Wiedząc już to wszystko, możemy w pełnym blasku powitać na scenie galaktykę

WLM

będącą kluczowym obiektem nie tylko z racji łatwości zaobserwowania w niej gwiazd i to nawet niekoniecznie wielkim teleskopem. Atutem tej nieregularnej galaktyki karłowatej jest to, że prawdopodobnie zachowywała ona swą izolowaną pozycję w Grupie Lokalnej w ciągu swego całego życia.

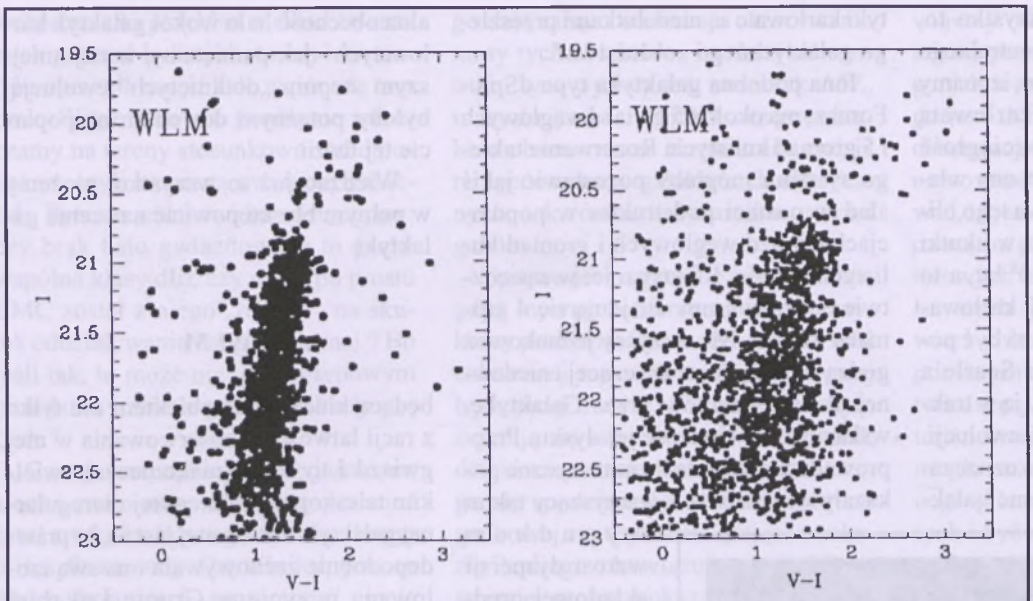
Również pod paroma innymi względami ta galaktyka, o masie całkowitej 1.6×10^9 $M_\odot$, jest nietypowa. Posiada tylko jedną, starą gromadę kulistą, w przeciwieństwie do choćby Obłoków Magellana, z bezlikiem jasnych, młodych gromad. Brak w niej nadto cefeid o okresach dłuższych niż 10 dni, a gwiazdy takie występują licznie w innych galaktykach karłowatych, których zintegrowane jasności absolutne są prawie tak samo słabe (IC 1613, Sextans A, Sextans B). Jedna z prób wyjaśnienia tego fenomenu postuluje przypadkowe zmiany w tempie powstawania gwiazd, które spowodowały brak odpowiednich protogwiazd w zakresie masy 7 - 11 $M_\odot$, o jasnościach $M_V \approx -3$ do -5 mag. Jednakże wykres barwa - jasność dla WLM jest podobny do wykresów dla galaktyk Sextans A i B, które mają takie cefeidy długookresowe. Bardziej prawdopodobne wyjaśnienienie jest takie, że obfitość metali w młodych protogwiazdach, które w innych galaktykach przekształciłyby się w cefeidy o okresach $P > 10$ dni, jest niższa niż w podobnych gwiazdach w Małym Obłoku Magellana. A to uniemożliwia w trakcie późniejszej ewolucji po odejściu od ciągu głównego, znalezienie się w pasie niestabilności, niezbędne do przekształcenia się w cefeidę.

Większość gwiazd WLM jest skoncentrowana w jej dysku, jednakże widać także prawdopowdobnie słabe halo, ciągnące się aż do około 2 kpc, którego spłaszczenie $b/a = 0.6$, czyli jest ono znacząco bardziej okrągłe niż centralna populacja. Spoglądając na wykresy barwa - jasność (**Rys. 1**) widać wyraźną

Powyższe zdjęcie jest kombinacją dwóch obrazów CCD uzyskanych w Europejskim Obserwatorium Południowym w Chile teleskopem NTT (3.6 m) i jego wielofunkcyjnym instrumentem EMMI. Pole ma wymiar 7.8 x 11.5 minut łuku. W dolnej części widoczna jest galaktyka karłowata WLM. W jej obrazie łatwo widać indywidualne gwiazdy. Z tych obserwacji odkryto, że galaktyka ta ma rozległe halo, a należące do niego gwiazdy widać w górnej części prezentowanego tu zdjęcia. Widać tam ponadto, niejako w tle, inne galaktyki, które nie są oczywiście powiązane z WLM.

WLM leży w odległości około 3 mln. lat światła od nas. W tej odległości, prezentowane na zdjęciu pole odpowiada rozmiarom 10 tys. x 6 tys. lat światła. Zdjęcie zostało uzyskane w podczerwieni (pasmo I) podczas dwóch 45 minutowych ekspozycji. Najsłabsze widoczne tu gwiazdy mają w „I" 24. wielkość gwiazdową.

Kierunek północny jest po lewej stronie obrazu, a kierunek wschodni, na dole.



Rys.1. Wykres barwa – jasność dla zewnętrznej (z lewej) i wewnętrznej (z prawej) części nieregularnej galaktyki karłowatej WLM (Zaczerpnięte z pracy: D. Minniti i A.A. Zijlstra, 1996, *Astrophys. J.*, **467**, L13).

różnicę pomiędzy zewnętrznymi i wewnętrznymi częściami galaktyki. Można to wyjaśnić jako nałożenie się rozciągłej starej i ubogiej w metale populacji oraz młodszego, bardziej skoncentrowanego składnika plus pewien rozrzut spowodowany przez możliwe poczerwienienie różnicowe. Taki rozkład wskazuje na halo-podobny składnik WLM o mniejszej metaliczności i większym wieku niźli populacja centralnej części dysku.

Zawartość pierwiastków cięższych od helu, Z, dla obszarów HII leżących w obrębie dysku WLM wynosi Z = 0.001. Ponieważ gaz odzwierciedla kumulacyjny proces wzbogacania chemicznego materii w ciągu życia galaktyki, można przyjąć, iż gwiazdy nie powinny zawierać więcej metali niż tenże gaz. Ponadto wysoki stosunek ilości gwiazd węglowych C do gwiazd typu M potwierdza, że tamtejsze gwiazdy o pośrednim wieku charakteryzują się również bardzo słabą zasobnością w metale. Stąd wynika, że także i halo jest ubogie w metale.

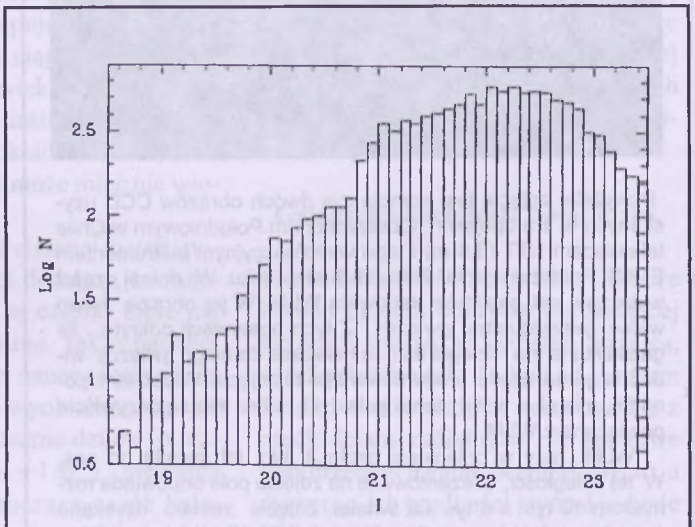
Przy tym założeniu, analizując wykresy barwa-jasność można określić odległość do tej galaktyki - wynosi ona 0.91 Mpc. Teraz można dodatkowo oszacować metaliczność halo WLM: $[Fe/H] = -1.4 \pm 0.2$. Mając na uwadze otrzymane poprzednio przez innych autorów wyniki okazuje się zatem, że obfitości metali w dysku i halo są do siebie zbliżone, a więc różnice w ich wyglądzie (**Rys. 1**) muszą wynikać z odmiennej struktury wiekowej. Wiek gwiazd halo może być pomierzony bezpośrednio, choć przy nie zawsze dobrze znanych założeniach, z jasności absolutnych najjaśniejszych gwiazd na asymptotycznej gałęzi olbrzymów - w ten sposób otrzymuje się wiek około 10^{10} lat. Niezależnie od tych niepewnych założeń, zliczenie ilości gwiazd w funkcji ich jasności (**Rys. 2**) ujawnia ponad 4-krotny skok ich ilości, począwszy od jasności I = 20.8 mag, co wskazuje na starą populację. Ostateczna konkluzja, zgodna ponadto z faktem obecności gromady kulistej jest taka, że halo WLM jest naprawdę stare.

Logicznym kolejnym pytaniem jest to, czy i inne galaktyki karłowate mają również halo, czy też casus WLM jest li tylko wyjątkiem. Jak pokazał w 1994 roku Da Costa, wszystkie galaktyki Grupy Lokalnej, bez względu na typ i jasność, mają gwiazdy II populacji. Wniosek taki wypływa z faktu obecności w nich gromad kulistych i gwiazd *RR Lyrae*; jedyny możliwy wyjątek stanowi galaktyka Leo II. Bezpośrednie dowody istnienia starego halo są obecnie dostępne dla czterech galaktyk, łącznie z WLM i prawdopodobnie dodatkowo NGC 3109, w której z dala od dysku również widać stare i ubogie w metale gwiazdy.

* * *

Obecnie powinna być już jasna doniosłość opisanego odkrycia. Mało zaawansowany ewolucyjnie obiekt - nieregularna galaktyka karłowata WLM, izolowana od istotnych wpływów dwóch osiowych galaktyk spiralnych Grupy Lokalnej, posiada stare halo gwiazdowe. Czyli jednak halo powstaje przede wszystkim podczas pierwotnego kolapsu (tytułowej „zapaści") protogalaktycznego obłoku gazowego ? Bo WLM jest z pewnością zbyt mała, by w przeszłości wchłonęła jeszcze mniejsze galaktyki.

Co więcej, powstawanie halo nie byłoby związane z obecnością wybrzuszenia centralnego lub jądra, gdyż w WLM brak jest obu tych składników. To z kolei popierałoby wysuniętą ostatnio sugestię, że wybrzuszenie centralne i halo Drogi Mlecznej to dwa różne składniki.



Rys.2. Zliczenia ilości gwiazd w zewnętrznych częściach halo WLM w funkcji ich jasności. Zaznaczony został ponad 4-krotny skok ilości gwiazd, począwszy od jasności I = 20.8, ujawniający populację starych obiektów (źródło jak przy **Rys.1**).

Warszawski teleskop fotometryczny w Chile

Andrzej Udalski

Od lat marzeniem polskich astronomów obserwatorów było posiadanie dostępu do dobrej klasy teleskopu optycznego znajdującego się w miejscu o znakomitym klimacie astronomicznym. Marzenie to bliskie jest realizacji. Od lutego 1996 roku największy polski teleskop znajduje się w obserwatorium astronomicznym **Las Campanas w Chile** należącym do amerykańskiej instytucji *Carnegie Institution of Washington*.

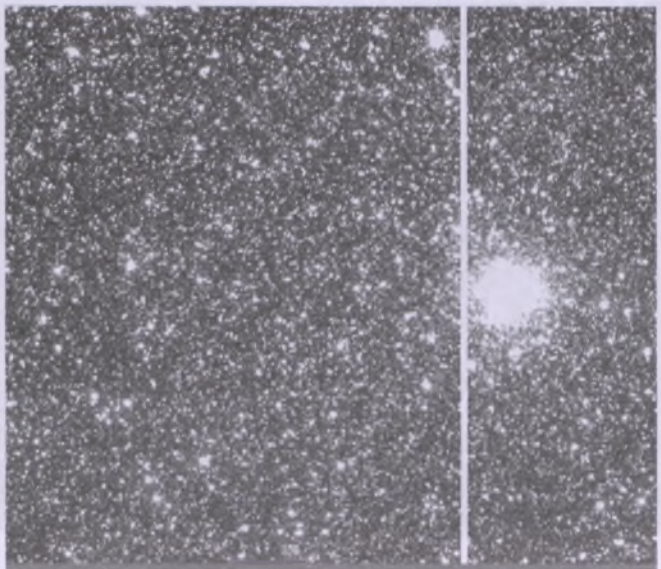
O początkach projektu pisaliśmy już kilka lat temu w *Postępach (4/91)*. Obecnie kilka szczegółów z jego realizacji. Idea umieszczenia średniej wielkości teleskopu optycznego zrodziła się w trakcie przygotowań do realizacji długoterminowego projektu obserwacji fotometrycznych OGLE (*Optical Gravitational Lensing Experiment*). Od początku było oczywiste, że do przeprowadzenia tego programu, w którym w długich skalach czasowych monitorowane są jasności milionów gwiazd, konieczny jest nowoczesny, dedykowany teleskop optyczny z detektorami światła najwyższej jakości. Powstanie teleskopu było więc nieodłącznym składnikiem rozwoju projektu OGLE. Środki finansowe na jego budowę przyznane zostały przez Komitet Badań Naukowych, jednak na skutek szalejącej inflacji i niedostatecznej rewaloryzacji przyznanych sum konieczne okazało się znalezienie dodatkowych źródeł finansowania. Z pomocą pospieszyły Fundacja Nauki Polskiej i Fundacja Astronomii Polskiej. Łączny koszt inwestycji wyniósł około 1.3 mln USD.

Do wykonania teleskopu wybrana została amerykańska firma *DFM Engineering Inc.* mająca duże doświadczenie oraz długi - kilkunastoletni staż na rynku średniej wielkości teleskopów. Firma ta zaoferowała nowoczesny produkt za rozsądną cenę. Kontrakt na budowę teleskopu został podpisany w siedzibie firmy w Longmont, Colorado, 24 listopada 1992 roku.

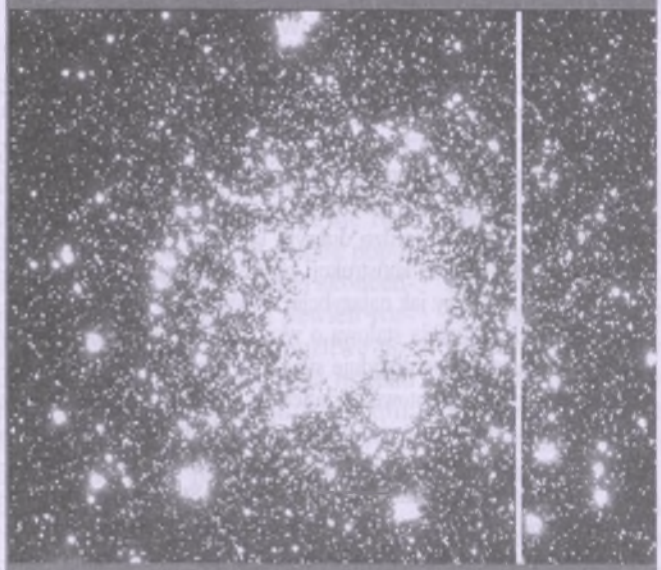
Równie istotną sprawą była lokalizacja teleskopu w miejscu o dogodnym klimacie astronomicznym. Dla projektu OGLE, gdzie obserwowane są pola gwiazdowe o ogromnym zagęszczeniu gwiazd, niezbędne są znakomite warunki pogodowe ze świetnym *seeingiem* i dużą liczbą pogodnych nocy w ciągu roku. Dzięki współpracy z astronomami z *Carnegie Institution of Washington* - właściciela obserwatorium Las Campanas w Chile - i wieloletniej obecności astronomów warszawskich w tym obserwatorium udało się uzyskać zgodę dyrekcji tej instytucji na postawienie teleskopu na terenie tego obserwatorium. W połowie 1995 roku podpisane zostało *„Memorandum of Understanding"* regulujące obecność teleskopu warszawskiego w Las Campanas. Niewątpliwie ogromną rolę w wynegocjowaniu bardzo korzystnych warunków naszej tam obecności odegrały sukcesy naukowe programu OGLE (m.in. odkrycie mikrosoczewkowania grawitacyjnego w kierunku Centrum Galaktyki), wykonywanego do 1995 roku przy użyciu istniejącego 1-m teleskopu Swope'a w Obserwatorium Las Campanas.

Mając zapewnioną lokalizację teleskopu w obserwatorium o jednym z najlepszych astronomicznych klimatów na Ziemi, gdzie *seeing* bardzo często spada poniżej 1 sekundy łuku, a liczba pogodnych nocy przekracza 300 w ciągu roku, szczególną troskę przy projektowaniu systemu zwrócono na zachowanie tych świetnych warunków obserwacyjnych. Znanych jest wiele przypadków, gdzie teleskopy umieszczone nawet w bardzo dobrym klimacie „cierpią" na słaby *seeing* na skutek np. złej konstrukcji kopuły. Budynek teleskopu projektowano więc tak, by jak najszybciej wyrównywał ciepło z otoczeniem. Jest to konstrukcja stalowa o wysokości około 11 metrów, w której poziom teleskopu znajduje się na wysokości 6 m, a więc powyżej warstwy przygruntowej turbulencji. Szybką wymianę ciepła z otoczeniem zapewnia również system wentylacji na poziomie teleskopu, wyposażony w żaluzje w przyszłości sterowanymi komputerowo z uwzględnieniem kierunku i siły wiatru. Starano się zminimalizować wszelkie źródła ciepła przy teleskopie i w samym budynku. M. in. „usunięte" zostało główne źródło ciepła - obserwator. Teleskop i kopuła sterowane są zdalnie z oddzielnego budynku tzw. *„control room"* znajdującego się około 15 metrów od budynku teleskopu. Dzięki temu obserwator ma zapewnione komfortowe warunki obserwacji nie będąc jednocześnie czynnikiem psującym *seeing*. Budynek teleskopu na podstawie naszych założeń i projektów przeniosła na deski kreślarskie polska firma *Tamex*, a wykonała firma *Mostostal-Projekt*. Po wstępnym montażu w Warszawie został on wysłany statkiem do Chile. Kopułę wykonała amerykańska firma *Ash-Dome* od lat specjalizującą się w budowie kopuł astronomicznych. Fundamenty budynku teleskopu oraz słup, na którym stoi teleskop, zaprojektowane zostały przez amerykańską firmę M3, ze szczególnym uwzględnieniem aktywności sejsmicznej charakterystycznej dla Chile.

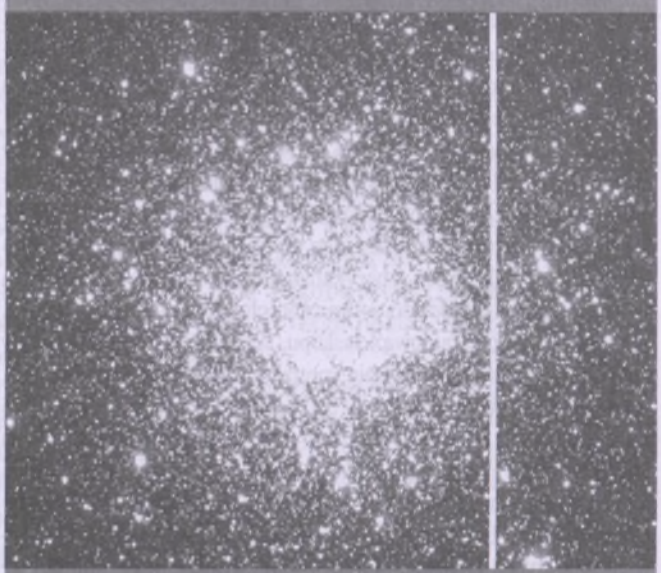
Choć prace nad budową teleskopu, aparatury oraz kopuły trwały niemal od momentu podpisania kontraktu z DFM Engineering Inc., pierwsze efekty budowy zaczęły być widoczne dopiero w lipcu 1995 roku, gdy rozpoczęto pierwsze prace ziemne. Fundamenty wykonała chilijska firma Puga Mujica. W początku października 1995 roku rozpoczął się montaż budynku teleskopu i w początkach listopada w Obserwatorium Las Campanas widać już było „nowy teleskop". Jednocześnie trwała budowa *„control room"*. Dalsze prace montażowe nastąpiły w 1996 roku. Na początku stycznia na szczycie budynku teleskopu zamontowana została 7-metrowa kopuła. W końcu miesiąca rozpoczął się długo oczekiwany montaż teleskopu. Po około dwóch



Rejon centralny Okna Baadego w Centrum Galaktyki



Gromada kulista M 4 w Skorpionie



Gromada kulista M 55 w Strzelcu

tygodniach teleskop był gotów do pierwszych obserwacji. „Pierwsze wizualne światło" zostało uzyskane 9 lutego 1996 roku, była to planeta Wenus, jasno świecąca na niezbyt jeszcze ciemnym niebie. Prace montażowe i testy trwały do połowy lutego. Dalsza, blisko czteromiesięczna przerwa związana była z koniecznością zakończenia prac nad instrumentami. W czerwcu lustra teleskopu zostały poddane aluminizacji, wtedy również rozpoczęły się prace związane z montażem instrumentów, komputerów itp. Pierwsze światło elektroniczne zostało zarejestrowane 18 lipca 1996 roku. Obecnie teleskop jest w fazie intensywnych testów i przygotowań do obserwacji. Jeśli nie zajdzie nic nieprzewidzianego od początku 1997 roku rozpocznie regularną służbę obserwacyjną.

Lustro główne teleskopu ma średnicę 1.3 metra. System optyczny zbliżony jest do systemu *Ritchey-Crétiena i* daje z 3-elementowym korektorem pole widzenia 1.5 stopnia z jakością obrazów ograniczoną przez dyfrakcję (80% energii w krążku o średnicy poniżej 0.5 arcsec). światłosiła lustra głównego wynosi 1:2.8, całego systemu 1:9.2. Teleskop jest więc „krótki" i zwarty, co jest dużą zaletą z punktu widzenia mechanicznego konstrukcji. Skala w ognisku Cassegraine'a wynosi 17.4 sekundy łuku na mm. Lustra wykonane są z nowej generacji materiału ULE (*„Ultra Low Expansion"*) charakteryzującego się praktycznie zerową rozszerzalnością termiczną. Ma to ogromne znaczenie dla stabilnych parametrów optycznych systemu. Optyka wszystkich wielkich amerykańskich teleskopów najnowszej generacji wykonywana jest z tego właśnie materiału.

Montaż teleskopu jest widłowym montażem paralaktycznym. Napędy w obu osiach skonstruowane są jako napędy tarciowe, charakteryzujące się zerowym luzem, możliwością szybkiego przyspieszania teleskopu przy zmianie pozycji, jak również możliwością napędu teleskopu z dowolnymi szybkościami w obu osiach. Silniki napędu sterowane są komputerowo, pozycja teleskopu rejestrowana jest przez *enkodery optyczne*, dzięki czemu zmiana pozycji teleskopu i jego ruch są całkowicie kontrolowane przez sterujący komputer. Podobnie zautomatyzowana jest zmiana położenia ogniska. Typowa dokładność nastawienia teleskopu na dany obiekt wynosi kilka sekund łuku. Również pozycje kopuły i szczeliny są rejestrowane przez odpowiednie enkodery i sterowane komputerowo. Umożliwia to w pełni zdalne sterowanie teleskopem, obecnie tylko z *„control room"*, ale wkrótce i z dowolnego punktu na Ziemi przez sieć komputerową Internet.

Dobry teleskop to tylko część sukcesu. Równie ważne, jeśli nie ważniejsze, są dobre instrumenty z nim współpracujące. Instrumenty zostały zaprojektowane przez autora artykułu pod kątem przeznaczenia teleskopu - długoterminowych obserwacji fotometrycznych i wykonane w znacznej części w Obserwatorium Astronomicznym UW. Głównym instrumentem jest szerokokątna kamera CCD. Pierwszej generacji kamera zawiera pojedynczy, znakomity detektor CCD firmy SITe - SI424AB. Jest to cienki detektor o rozmiarach 2048 na 2048 pikseli i wydajności kwantowej około 90% w szerokim zakresie widmowym - od światła niebieskiego do podczerwieni. Tego typu detektory uważane obecnie za szczyt osiągnięc w tej dziedzinie są bardzo kosztowne. Rozmiar piksela wynosi 24 mikrony co daje rozdzielczość około 0.4 sekundy łuku na pixel, a kamera w standardowym modzie pokrywa obszar nieba 14 na 14 minut łuku. Detektor chłodzony jest ciekłym azotem do temperatury około -98 ^{o}C. Typowy szum odczytu wynosi około 5.5 elektronu.

Elektronika i system akwizycji danych zaprojektowane zostały przy wykorzystaniu najnowszych osiągnięć techniki pod kątem przyszłych wielodetektorowych kamer. Detektor CCD sterowany jest przez mikrokontrolery zbudowane w oparciu o tzw. *Digital Signal*

Processors. Dane przesyłane są szybkimi (125 MHz) łączami do *„komputera bufora"* i dalej siecią *FastEthernet* (100 Mb/s) do głównego komputera sterującego akwizycją danych. Możliwe są obserwacje w modzie standardowym oraz tzw. *„drift scan"*, w którym kolumny detektora ustawione są dokładnie wzdłuż deklinacji i teleskop poruszany jest w deklinacji z prędkością zsynchronizowaną z czasem odczytu detektora. W rezultacie można otrzymywać obrazy pasków o szerokości równej szerokości detektora i długości równej czasowi trwania *„drift scanu"* z efektywnym czasem ekspozycji równym czasowi przejścia gwiazdy przez detektor.

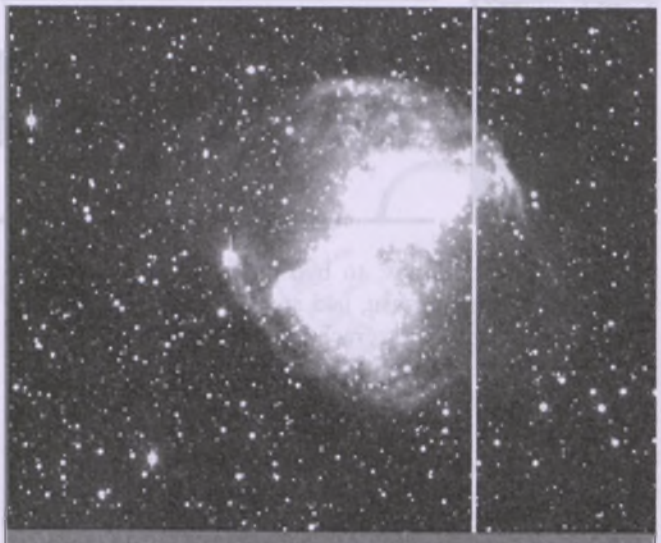
W niedalekiej przyszłości kamera pierwszej generacji zostanie zastąpiona instrumentem nowej generacji — mozaiką ośmiu detektorów o rozmiarach 2048 na 4096 pikseli (o rozmiarach piksela 15 mikronów). Jeden obraz z tej kamery będzie pokrywał obszar około 35 na 35 minut łuku. Aby uświadomić wymagania sprzętowe dotyczące rejestracji i redukcji danych warto nadmienić, że jeden obraz z takiej kamery zawierać będzie **128 MB danych**. W dalszych planach przewiduje się budowę kamer o jeszcze większym polu widzenia.

Niejako stałym wyposażeniem teleskopu jest *autoguider* - urządzenie do korekcji ruchu teleskopu oraz koło filtrów z filtrami pozwalającymi wycinać z wiązki światła padającej na detektor żądany zakres fal. Ze względu na duże pole widzenia filtry są odpowiednio duże - o średnicy 16 cm. Oba urządzenia są całkowicie zautomatyzowane i sterowane komputerowo i są obecnie w końcowej fazie testów.

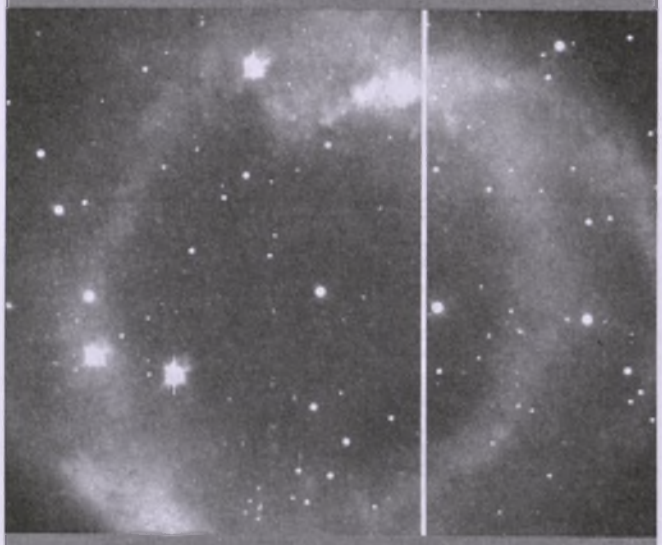
Przeznaczenie teleskopu do masowej fotometrii gęstych pól gwiazdowych wymaga znacznych mocy obliczeniowych, tak by spływające dane mogły być redukowane na bieżąco w cyklu 24 godzinnym. System redukcji danych jest rozwinięciem systemu stworzonego na potrzeby projektu OGLE i sprawadzonego w trakcie kolejnych lat obserwacji. Obecnie działa on w oparciu o stacje robocze firmy **Sun: Ultra 2200 i 10/512, z kilkudziesięcioma GB pamięci dyskowej, pamięciami taśmowymi DLT i Exabyte**. W miarę zwiększania przepływu danych (obecnie około 700 TB/rok w przyszłości, o rząd wielkości więcej) system będzie rozszerzany i unowocześniany.

Sterowanie teleskopem i instrumentami przez obserwatora jest bardzo łatwe i przyjemne dzięki wygodnemu graficznemu programowi sterowania. Program pracuje pod systemem *X-windows* na komputerze akwizycji danych *Sun 10/512*. Możliwe są dwa mody sterowania: interaktywny i programowany. W modzie pierwszym, klasycznym, obserwator na bieżąco kieruje położeniem teleskopu, sposobem robienia obserwacji itp. W modzie drugim wszystkie operacje mogą byc z góry zaprogramowane - teleskop z instrumentami krok po kroku wykonuje je w trakcie nocy. Mod ten będzie preferowany podczas regularnych obserwacji, jako że wykorzystuje najbardziej efektywnie czas obserwacyjny i minimalizuje błędy obserwatora.

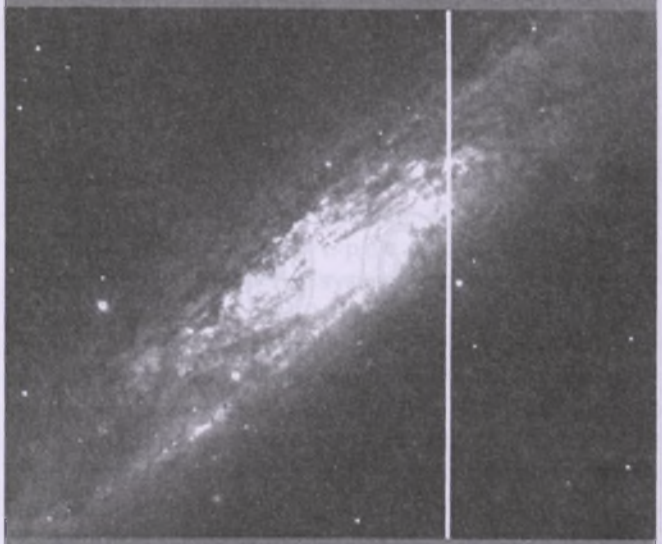
Pierwsze obserwacje wskazują, że system działa zupełnie dobrze i zgodnie z założeniami. Już w trakcie testowych obserwacji osiągnięto *seeing* około 0.8 sekund łuku - lepszy niż w innych teleskopach obserwujących w tym samym czasie w Las Campanas. Choć sporo pozostało jeszcze do zrobienia, już wkrótce pierwsze dane naukowe zaczną regularnie być rejestrowane. Przytaczamy tu obrazy kilku obiektów, świeżo uzyskanych nowym teleskopem. Biała linia widoczna na zdjęciach, to kilka kolumn pikseli z mozaiki CCD nieczułych na światło (tzw. *bad columns* - typowy defekt dużych detektorów CCD). Nie wątpię, że już niedługo ekscytujące wyniki naukowe z tego nowoczesnego instrumentu pojawią sie na łamach Postępów Astronomii.



Mgławica planetarna M27 Dumbbell w Lisie



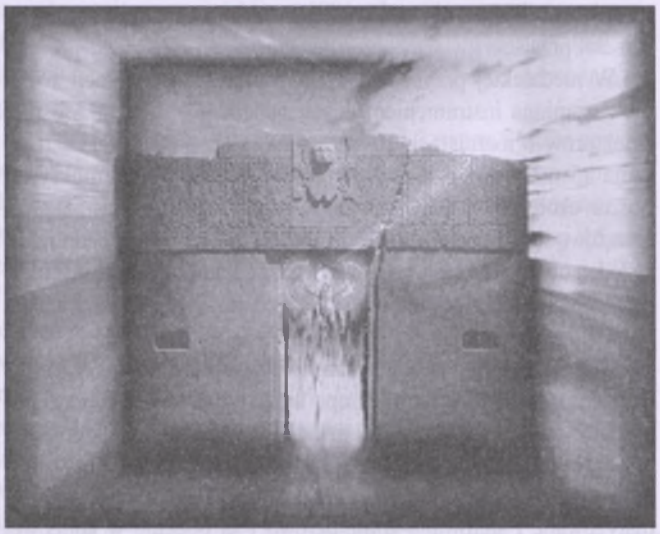
Mgławica planetarna NGC 7293 Helix w Wodniku



Galaktyka spiralna NGC 253 w Rzeźbiarzu

Kalendarz Majów

Kalendarz Majów, to być może najstarszy system odmierzania czasu, jaki stworzyła rasa ludzka. Ściślej rzecz ujmując, rachuba kalendarzowa stosowana przez Majów swe korzenie posiada najpewniej w starożytnej cywilizacji Olmeków - twórców tak zwanej „Kultury - Matki'', a jak sądzą niektórzy badacze, sięga nawet Pre-Olmeków. „Kultura - Matka'' rozwijała się bowiem w I tysiącleciu p.n.e. i dała początek wielu amerykańskim cywilizacjom: Totonakom, Toltekom, Mixtekom, Majom i Aztekom. Datowanie natomiast bogato ozdobionych znakami pisma monumentów, piramid i budowli daje wyniki osadzające czas ich powstania w przedziale od kilkuset lat temu (wiadomo powszechnie, że na początku XVI wieku Hiszpanie praktycznie zniszczyli cywilizację Majów) do kilku tysięcy lat p.n.e. Najstarszym zaś zabytkiem związanym z kalendarzem Majów jest **Brama Słońca** znajdująca się w ruinach miasta Tiahuanaco położonego nad jeziorem Titicaca na terenie obecnej



Plastyczna rekonstrukcja Bramy Słońca z Tiahuanaco

Boliwii. Według ostatnich ustaleń jej wiek szacuje się na około 10 tys. lat.

System kalendarzowy Majów opierał się na 52-letnim cyklu, będącym złożeniem dwóch zazębiających się kalendarzy:

- liczącego 260 dni kalendarza używanego w obrzędach religijnych, zwanego **tzolkin**
- złożonego z 360 dni kalendarza świeckiego, zwanego **haab.**

Kalendarz religijny, liczył sobie 20 trzynastodniowych okresów zwanych:

Imix	**Chuen**
Ik	**Eb**
Akbal	**Ben**
Kan	**Ix**
Chicchan	**Men**
Cimi	**Cib**
Manik	**Caban**
Lamat	**Eznab**
Muluc	**Cauac**
Oc	**Ahau**

Tzolkin zaczynał swój bieg z dniem 1 Imix i poprzez 2 Ik, 3 Akbal, 4 Kan dochodził do 13 Ben, po czym następował dzień czternasty, czyli 1 Ix. Po 260 dniach cykl zataczał koło i wracał do punktu wyjścia, czyli do 1 Imix.

Kalendarz świecki (*haab*), liczył 360 dni podzielonych na 18 dwudziestodniowych miesięcy, oraz dodatkowo *xma kaba*

Rys. 1 Symbole trzynastodniowych miesięcy kalendarza *tzolkin* spotykane na monumentach. (za J. Evis, S. Thompsen *„Civilization of The Mayas"*, Chicago Natural History Museum, 1954).

kin, czyli pięć dni bez nazwy, które tworzyły dodatkowy miesiąc *Uayeb*. Powstały w ten sposób 365-dniowy rok zwany był „niejasnym rokiem'', ze względu na brakujące ćwierć doby do roku słonecznego.

Miesiące „niejasnego roku'' nosiły nazwy:

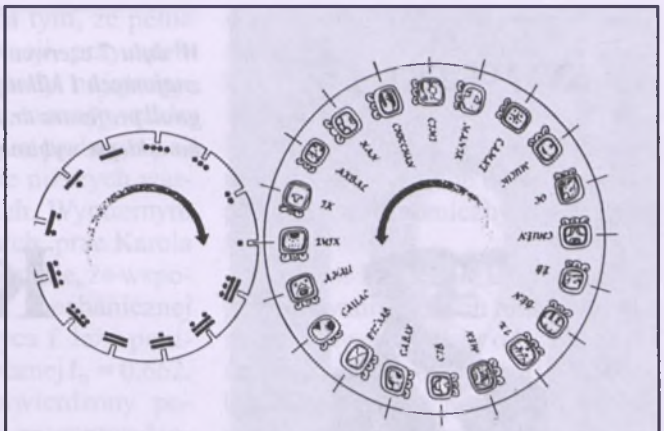
Pop	*Xul*	*Zac*	*Pax*
Uo	*Yaxin*	*Ceh*	*Kayab*
Zip	*Mol*	*Mac*	*Cumhu*
Zotz	*Chen*	*Kankin*	*Uayeb*
Tzec	*Yax*	*Muan*	

Nowy rok rozpoczynał swój bieg z dniem 1 Pop, cały zaś cykl 52 „niejasnych lat'' (18 980 dni) zaczynał się dniem 1 Kan 1 Pop, który nie powtarzał się przez cały okres, zawierający w sobie 73 lata 260-dniowego cyklu tzolkin.Widzimy przeto z powyższych rozważań, że każda data u Majów składała się z czterech elementów: 2 z tzolkin i 2 z haab.

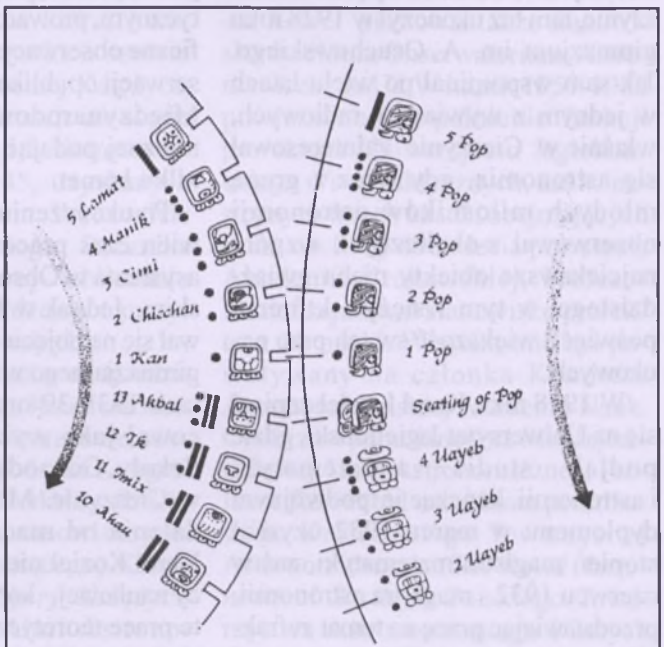
Oprócz wymienionych systemów Majowie stosowali też „Długie liczenie'', stosowane do odmierzania „Wielkich cykli'', które składały się z jednostek:

20 kin - 1 uinal lub 20 dni,
18 uinal - 1 tun lub 360 dni,
20 tun - 1 katun lub 7 200 dni,
20 katun - 1 baktun lub 144 000 dni
(dokładnie 400, 360 - dniowych lat).

Rys. 2 Symbole miesięcy w kalendarzu świeckim *haab* znajdowane na monumentach i budowlach. (Za J. Evis, S. Thompsen *„Civilization of The Mayas"*, Chicago Natural History Museum, 1954).



Rys. 3 Schematyczne przedstawienie struktury 260-dniowego kalendarza. Lewe koło przedstawia symbole liczb stosowane przez Majów: • = 1, ▮ = 5. (Za Michael D. Coe *„The Maya"*, Thames and Hudson, 1980).



Rys. 4 Fragment schematycznego przedstawienia struktury zazębiających się kalendarzy: 260- i 360-dniowego, które tworzy cykl 52-letni. (Za Michael D. Coe *„The Maya"*, Thames and Hudson, 1980).

„Wielki cykl'' trwał 13 baktun, a początek ostatniego zaczął się 11 sierpnia 3114 r. p.n.e. według kalendarza gregoriańskiego. Zapis w tym systemie trochę różni się od naszego i na przykład: 9, 10, 19, 5, 11, to data 10 Chuen 4 Cumku, a więc 9 baktun, 10 katun, 19 tun, 5 uinal i 11 kin (1 374 951 dni) **do zakończenia** obecnego „Wielkiego cyklu''.

Zupełnie podobny system kalendarzowy posiadali także Aztekowie, którzy przejęli go prawdopodobnie ze źródła, czyli od Olmeków. Miał on także cykl 52-letni złożony z 260-dniowego kalendarza religijnego i 360-dniowego świeckiego. Jedyną różnicą było tylko stosowane nazewnictwo dni i miesięcy.

Leszek P. Błaszkiewicz

SYLWETKI PA

W dniu 7 czerwca 1996 roku, na ewangelickim cmentarzu w Wiśle, rodzina, grono znajomych i kilku przedstawicieli krakowskiego środowiska astronomicznego pożegnali profesora dr. hab. Karola Kozieła, wieloletniego dyrektora Obserwatorium Krakowskiego, wybitnego specjalistę w dziedzinie mechaniki nieba.

Karol Kozieł

(1910 - 1996)

Karol Kozieł urodził się 28 kwietnia 1910 roku na Zaolziu, w miejscowości Trzyniec. Młodość spędził w Cieszynie, tam też ukończył w 1928 roku gimnazjum im. A. Osuchowskiego. Jak sam wspominał po wielu latach w jednym z wywiadów radiowych, właśnie w Cieszynie zainteresował się astronomią, gdy wraz z grupą młodych miłośników astronomii obserwował z okolicznych wzgórz najciekawsze obiekty nieba gwiaździstego, w tym Księżyc, któremu poświęcił większość swych prac naukowych.

W 1928 roku Karol Kozieł zapisał się na Uniwersytet Jagielloński, gdzie podjął studia z matematyki i astronomii, kończąc je podwójnym dyplomem: w marcu 1932 uzyskał stopień magistra matematyki, zaś w czerwcu 1932 - magistra astronomii, przedstawiając pracę na temat refrakcji astronomicznej. Główne tezy tej pracy zostały opublikowane w roku 1932 w Biuletynie Polskiej Akademii Umiejętności.

Obserwatorium Krakowskie, w którym Karol Kozieł zdobył pierwsze szlify naukowe, od kilkunastu lat przeżywało swój rozwój. Profesor Tadeusz Banachiewicz, piastujący stanowisko dyrektora placówki od 1919 roku, wprowadził nową tematykę badawczą i to zarówno teoretyczną jak i obserwacyjną. W dziedzinie teorii Banachiewicz zajmował się mechaniką nieba i teorią krakowianów wraz z ich zastosowaniami, równocześnie jednak rozwijał obserwacje astronomiczne i to zarówno w Krakowie przy ulicy Kopernika jak i w Stacji Obserwacyjnej na Lubomirze, często trawestując słynne powiedzenie Kartezjusza: *observo ergo sum*. Karol Kozieł, mimo iż głównie poświęcił się zagadnieniom teoretycznym, prowadził również fotograficzne obserwacje nieba. Wyniki obserwacji opublikował w cyrkularzach Międzynarodowej Unii Astronomicznej podając pozycje i jasności kilku komet.

Po ukończeniu studiów przez pewien czas pracował na stanowisku asystenta w Obserwatorium Krakowskim, jednak w 1933 roku zdecydował się na objęcie posady nauczyciela gimnazjalnego w Cieszynie, zaś w latach 1938-39 oraz 1946-1950 pracował jako wykładowca Wyższej Szkoły Gospodarstwa Wiejskiego w Cieszynie. Mimo znacznego oddalenia od macierzystej Uczelni, Karol Kozieł nie zrezygnował z pracy naukowej, kontynuując rozpoczęte prace teoretyczne. Na ten cel uzyskał nawet stypendium z Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego, co umożliwiło istotne zintensyfikowanie prac nad rozprawą doktorską, wykonywaną pod kierunkiem Tadeusza Banachiewicza. Jej tematyka dotyczyła wyznaczania orbit ciał niebieskich, w szczególności, Doktorantowi udało się uzyskać nowe wzory na **f** i **g**, pozwalające w istotny sposób uprościć stosowaną powszechnie metodę Laplace'a - Leuschnera. Stopień naukowy doktora filozofii z zakresu astronomii Karol Kozieł uzyskał 29 sierpnia 1939 roku, ale wskutek wybuchu II wojny światowej nie zdołano uzupełnić już wszystkich formalności, (w tym również uroczystej promocji) i młody doktor na odebranie dyplomu musiał czekać ponad sześć lat.

Okres okupacji hitlerowskiej Karol Kozieł spędza w Krakowie, doświadczając niezwykle trudnych warunków życia codziennego. Mimo trwającej wojny, w Obserwatorium Krakowskim (zarządzanym przez niemieckiego astronoma, członka NSDAP, dr K. Waltera) prowadzono w ograniczonym zakresie badania naukowe, opracowywano także efemerydy minimów gwiazd zaćmieniowych (lata 1942 - 1944). Odbywały się (co prawda nieregularnie) zebrania naukowe, na których pracownicy referowali wyniki swych prac. Karol Kozieł nie tylko intensywnie pracował nad zagadnieniami teoretycznymi, ale również prowadził obserwacje m. in. zakryć gwiazd przez Księżyc (w okresie od 15 lipca 1940 do 27 XII 1944 odnotował momenty 66 zjawisk), obserwacje wizualne gwiazd zaćmieniowych (w latach 1941 - 1943 dokonał ponad 300 ocen dla 4 gwiazd), a także pozycyjne obserwacje fotograficzne wybranych gwiazd zmiennych oraz kilkunastu jasnych planetoid. Te ostatnie obserwacje K. Kozieł wykonywał wspólnie z Prof. J. Witkowskim za pomocą podwójnego astrografu o średnicy obiektywów 12 cm.

Zaledwie w kilka miesięcy po zakończeniu wojny Karol Kozieł przedstawił na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Jagiellońskiego pracę habilitacyjną dotyczącą libracji Księżyca. Uchwała Rady Wydziału z dnia 17 XII 1945 roku została zatwierdzona w kwietniu 1946 r. przez Ministra Oświaty i tym samym, zgodnie z ówczesnymi przepisami, Dr K. Kozieł

uzyskał stopień naukowy docenta. W swojej pracy habilitacyjnej Karol Kozieł poddał szczegółowej analizie tzw. dorpacki szereg obserwacji heliometrycznych Księżyca, wykonany przez Hartwiga w latach 1884-85. Jak pisze T. Banachiewicz (*PA t.II, str. 197), Autor miał przed sobą wyjątkowo skomplikowane zadanie z uwagi na konieczność licznych redukcji obserwacji każdej serii wieczorowej do jednego momentu.* W pracy tej Karol Kozieł odkrył, że obserwacje heliometryczne dają (w sensie matematycznym) dwie różne wartości mechanicznej eliptyczności **f** naszego naturalnego satelity, co wkrótce zostało potwierdzone przez innych badaczy. Ponadto, idąc za wskazówkami Tadeusza Banachiewicza, Karol Kozieł zastosował odmienny, bardziej precyzyjny sposób wyrównywania obserwacji, dający znacznie dokładniejsze wyniki, niż stosowana od stu lat metoda Bessela. Warto nadmienić, że wszystkie obliczenia były wykonywane metodami krakowianowymi przy użyciu tablic logarytmicznych i arytmometrów.

W dniu 1 grudnia 1950 roku Karol Kozieł obejmuje stanowisko docenta w Obserwatorium Astronomicznym UJ, w roku 1954 uzyskuje tytuł profesora nadzwyczajnego, zaś w 1961 roku tytuł profesora zwyczajnego. W okresie powojennym dwukrotnie przebywał dłuższy czas za granicą: w roku 1946/47 na stażu naukowym w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Yale (New Haven, USA) zaś w roku akademickim 1961/62 na zaproszenie Prof. Zdenka Kopala prowadził badania naukowe jako *visiting professor* w Uniwersytecie w Manchester (Anglia).

Badania libracji Księżyca były kontynuowane przez Karola Kozieła aż do lat osiemdziesiątych. Po zakończeniu i opublikowaniu swojej pracy habilitacyjnej (*Acta Astr. ser.a, vol.4, 1949)* K. Kozieł dokonał łącznego i jednorodnego opracowania 4 szeregów obserwacji heliometrycznych z lat 1877 - 1915 (*Icarus, vol.7*,1967) wyznaczając stałe libracji dowolnej w długości, łącznie ze stałymi libracji wymuszonej. Opracowanie to nastąpiło przy zastosowaniu własnej oryginalnej metody. Jej istota polegała na tym, że pełne wyrównanie obserwacji, przy spełnieniu założeń metody najmniejszych kwadratów, następowało w jednym etapie, co w praktyce pozwoliło na uzyskanie niższych wartości błędów średnich. Wymiernym wynikiem wieloletnich prac Karola Kozieła było stwierdzenie, że wspomniana już wartość mechanicznej eliptyczności Księżyca **f** leży poniżej jej wartości krytycznej $\mathbf{f_0} = 0.662$. Wynik ten został potwierdzony pomiarami laserowymi przeprowadzonymi z początkiem lat siedemdziesiątych w ramach programu *Apollo*. Niejako podsumowaniem cyklu publikacji K. Kozieła na temat libracji Księżyca była praca opublikowana w roku 1989 w czasopiśmie *Earth, Moon and Planets*, w której Autor podał wartości wszystkich sześciu stałych libracji dowolnej Księżyca, wyznaczone na podstawie aż ośmiu szeregów obserwacji heliometrycznych z lat 1841-1945, uzyskanych w Królewcu i Kazaniu. Przez wiele lat autorzy rosyjskiego Rocznika Astronomicznego przy obliczaniu efemerydy krateru *Mösting A* korzystali z danych krakowskich.

Znaczące osiągnięcia w dziedzinie badań nad libracją Księżyca znalazły międzynarodowe uznanie, czego dowodem był wybór na Kongresach w Moskwie i Berkeley (USA) profesora Kozieła na stanowisko prezydenta (przewodniczącego) Komisji 17 *Ruchu i Figury Księżyca* Międzynarodowej Unii Astronomicznej na dwie kadencje od roku 1958 do 1964, a następnie wybór na stanowisko wiceprezydenta nowoutworzonej Komisji *Księżyca* w kadencji 1964-1967. W porozumieniu z tą Komisją K. Kozieł uczestniczył w pracach Komitetu Nomenklatury Księżycowej Międzynarodowej Unii Astronomicznej m. in. istotnie przyczyniając się do nazwania jednego z księżycowych kraterów nazwiskiem *Skłodowska.* Profesor Kozieł był również przez wiele lat członkiem Komitetów Redakcyjnych międzynarodowych naukowych czasopism astronomicznych: *Icarus, The Moon and the Planets* oraz *Physics of the Earth and Planetary Interiors.* Należy też wspomnieć, że w latach 1969-1977 był redaktorem naczelnym *Rocznika Astronomicznego Obserwatorium Krakowskiego - Dodatek Międzynarodowy* z dobrym skutkiem zabiegając o wsparcie finansowe tego wydawnictwa, którego około 500 egzemplarzy w drodze wymiany było wysyłane do większości placówek astronomicznych na całym świecie.

Profesor Kozieł nie uchylał się od przyjmowania różnych funkcji administracyjnych, a także od działalności politycznej. W latach 1955-1958 był kierownikiem Katedry Astronomii UJ, a po reorganizacji związanej z formalnym utworzeniem Obserwatorium Astronomicznego, kierownikiem Katedry Astronomii Teoretycznej i Geofizyki Astronomicznej. Funkcję tę pełnił w latach 1958-1974, a od roku 1970 do 1974 Profesor Kozieł piastował także stanowisko dyrektora Obserwatorium Astronomicznego UJ. W latach 1959-1962 powierzono Mu pełnienie funkcji prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego d/s dydaktycznych, zaś w następnych trzech latach, obejmujących m.in. obchody 600 - lecia powstania Akademii Krakowskiej, Profesor Kozieł zajmował stanowisko prorektora d/s nauki. Wielokrotnie był powoływany na członka Komitetu Astronomii Polskiej Akademii Nauk. Oprócz wspomnianej już Międzynarodowej Unii Astronomicznej, Profesor Kozieł był członkiem prestiżowego Królewskiego Towarzystwa Astronomicznego (*The Royal Astronomical Society),* Polskiego Towarzystwa Astronomicznego i innych towarzystw naukowych.

Tematyka badań prowadzonych w kierowanej przez Niego Katedrze nie zamykała się w wąskiej tematyce libracji Księżyca, ale obejmowała tak odległe dziedziny jak radioastronomia i klimatologia. Jakkolwiek pierwsze obserwacje radioastronomiczne były dokonane w Obserwatorium na Forcie Skała już w 1954 roku, to jednak prof. Kozieł istotnie się przyczynił do tego, że systematycznie zaczęto obserwować Słońce na fali 37 cm od października 1957roku. Prof. Kozieł nadzorował również budowę 15 metrowego teleskopu (zakończoną w 1970 roku) pozyskując niemałe środki finansowe na ten cel. Niemal anegdotyczne stały się coniedzielne wizytacje Profesora Kozieła w Obserwatorium

„Fort Skała", gdzie przeglądał dzienniki obserwacyjne w kabinie radioteleskopu, każdorazowo dokonując w nich stosownego wpisu.

Nie mniej ważną sprawą w opinii Profesora było zachowanie ciągłości cyklu obserwacji meteorologicznych, prowadzonych niemal nieprzerwanie od roku 1791 tj. od chwili założenia Obserwatorium Astronomicznego. Obserwacje te były prowadzone na drugim piętrze oraz na dachu budynku przy ulicy Kopernika 27, a więc w sposób uniemożliwiający porównanie z wynikami innych stacji meteorologicznych. Staraniem K. Kozieła w 1958 roku założono na terenie Ogrodu Botanicznego UJ, w sąsiedztwie gmachu Obserwatorium drugą stację meteorologiczną, gdzie w trakcie kilkunastu lat prowadzono równoległe obserwacje, dzięki czemu udało się „nawiązać" dane z tzw. stacji historycznej do warunków normalnych.

Staraniem Profesora Kozieła, z dniem 1 października 1956 roku ponownie uruchomiono w Uniwersytecie Jagiellońskim magisterskie studia astronomii kontynuowane do chwili obecnej. Prof. Kozieł niezwykle sumiennie przygotowywał swoje wykłady, jakże często ilustrując je wieloma anegdotami i nawiązując do własnych wspomnień z młodości. Na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych wykładał m. in. astronomię ogólną, matematyczne metody opracowania obserwacji (wraz z podstawami rachunku krakowianowego), mechanikę nieba i dydaktykę astronomii. Prowadził również seminarium z mechaniki nieba na IV i V roku astronomii, wymagając od swoich studentów gruntownego zrozumienia referowanych problemów. Pod Jego kierunkiem blisko 30 osób uzyskało w Krakowie magisterium z astronomii, był promotorem w ośmiu przewodach doktorskich, recenzentem kilku prac habilitacyjnych, a także opiniował dorobek naukowy kilku osób starających się o tytuł profesora. Oprócz zajęć na Uniwersytecie Jagiellońskim prowadził wykłady z astronomii dla studentów matematyki krakowskiej Wyższej Szkoły Pedagogicznej.

Nawet najbliżsi uczniowie i współpracownicy niewiele mogą powiedzieć o życiu prywatnym Profesora. Ożenił się w roku 1947 z Eunice Lilią Unicką, miał dwie córki Zofię i Krystynę. Podobno, nieliczne wolne chwile lubił spędzać grając na skrzypcach. W opinii wielu pracowników uważany był za formalistę, ale należy docenić wysiłek włożony przez Niego w trakcie pełnienia funkcji prorektora a także kierownika Katedry i dyrektora Obserwatorium dla utrzymania studiów astronomii oraz pozyskiwania nowych etatów i środków na bieżącą działalność. Kryzys personalny, jaki miał miejsce w Obserwatorium Astronomicznym UJ w latach 1974-1976 był jedną z przyczyn, dla których w wieku 65 lat podjął decyzję o wcześniejszym przejściu na emeryturę i przeniesieniu się na stałe w rodzinne strony, do Wisły, gdzie nadal kontynuował badania naukowe nad libracją Księżyca. Po ciężkiej i długiej chorobie zmarł 3 czerwca 1996 roku, nie doczekawszy zaplanowanego wcześniej spotkania z kilkoma swoimi uczniami. Podsumowując nad grobem pracowite życie Zmarłego, obecny Dyrektor Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego Prof. dr hab. Józef Masłowski powiedział:

(...) Byłeś Profesorze jednostką wybitną na firmamencie nauki nie tylko polskiej, ale i światowej. Całe swe życie bez reszty poświęciłeś astronomii, a w szczególności badaniom nad libracją fizyczną i figurą Księżyca, a wyniki tych badań zostały między innymi wykorzystane w Stanach Zjednoczonych i przyczyniły się do bezpiecznego lądowania astronautów amerykańskich na Księżycu w roku 1969.(...) Po przejściu na w pełni zasłużony wypoczynek nie zaprzestałeś kontaktów ze swoim miejscem pracy - ze swoimi uczniami i żywo interesowałeś się zachodzącymi zmianami. Ciężko przeżywałeś okres upadku Obserwatorium po Twoim odejściu i jakże bardzo cieszyłeś się z jego późniejszego rozwoju.(...) Byłeś zawsze gorącym orędownikiem każdej sprawy, której celem było dobro nauki, dobro Uniwersytetu Jagiellońskiego, a zwłaszcza dobro Obserwatorium Astronomicznego, którym przez wiele lat kierowałeś i takim na zawsze pozostaniesz w naszej pamięci.

Jerzy M. Kreiner

Prenumerata *Postępów Astronomii*

Wszystkie sprawy związane z prenumeratą i kolportażem *Postępów Astronomii* prosimy kierować na adres:

Barbara Gertner
Instytut Astronomii UMK
ul. Chopina 12/18
tel.: (0-56) 260 18 w. 33
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl

konto bankowe:

Polskie Towarzystwo Astronomiczne
Bank Gdański S. A. o/Toruń

Nr 308601-6347-132

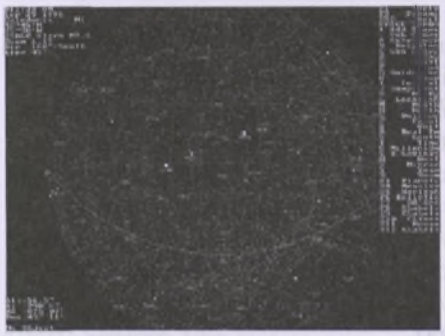
Cena prenumeraty na rok **1996** wynosi **15 zł** (dla członków PTA - **10 zł**), na **1997 - 24 zł** (dla członków PTA - **20 zł**). Prenumeratę przyjmujemy przez cały rok i realizujemy począwszy od wskazanego zeszytu.

Posiadamy jeszcze pewną ilość egzemplarzy archiwalnych.

Programy astronomiczne *shareware*

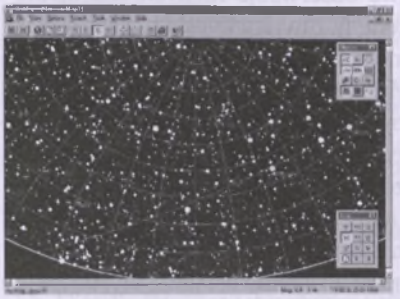
Dla osób nie wtajemniczonych określenia: *shareware*, *freeware* i *public domain* wydają się nieco zagadkowe. Co kryje się za wymienionymi terminami? Otóż *shareware* to metoda rozpowszechniania programów komputerowych, która daje możliwość ich wypróbowania przed zakupem. Zazwyczaj polega to na tym, że programu wolno używać przez określony czas (zwykle kilkadziesiąt dni) i w ten sposób poznać jego możliwości. Później, jeśli chce się go dalej używać, należy uiścić odpowiednią opłatę rejestracyjną autorowi lub skasować program z dysku. Opłata rejestracyjna jest zazwyczaj niska w porównaniu z cenami programów komercyjnych i wynosi kilkanaście-kilkadziesiąt dolarów. Programy komercyjne natomiast kosztują zwykle powyżej 150 dolarów.

Programy *shareware* nie muszą być wcale gorsze od tych komercyjnych, choć często uważa się, że im produkt droższy, tym jest lepszy. Tak pośród drogich, jak i tanich programów, są i dobre, i złe. Czasami programy rozprowadzane jako *shareware* są nieco uproszczone w stosunku do ich pełnej wersji, np. korzystają z mniejszych baz danych. Wnosząc opłatę rejestracyjną uzyskuje się wersję kompletną. W ten sposób nabywa się prawo legalnego używania programu. Programy *shareware* chronione są bowiem prawami autorskimi, a nieprzestrzeganie tych praw może powodować przykre konsekwencje dla używających ich nielegalnie. W odróżnieniu od programów *shareware* programy *public domain* i *freeware* nie wymagają żadnych opłat i są przeznaczone do publicznego użytku zupełnie za darmo.

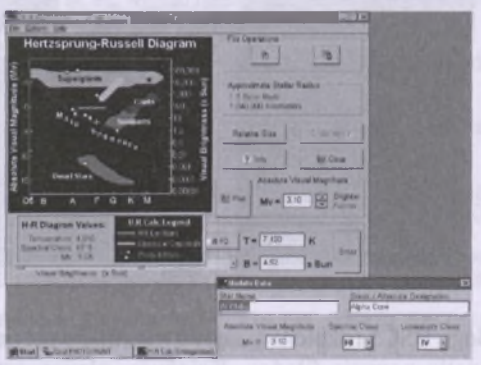


Wśród omawianych typów można spotkać programy astronomiczne o bardzo zróżnicowanej tematyce. Największą chyba grupę stanowią programy typu planetarium nazwane tak dlatego, że przenoszą cechy tradycyjnego planetarium na ekran komputera. Przedstawiają one wygląd nieba obserwowany z dowolnego miejsca na Ziemi w wybranym czasie. Często zawierają wiele ciekawych opcji, m. in. łatwą identyfikację gwiazd i innych obiektów niebieskich oraz uzyskiwanie informacji o nich przez proste wskazanie ich myszką na ekranie. Dodatkowo można w nich zobaczyć animację dziennego ruchu nieba i zmiany wywołane rocznym obiegiem Ziemi dookoła Słońca.

Jednym z najlepszych programów *shareware* typu planetarium jest *Sky Globe*. Program oferuje oglądanie 29 tysięcy gwiazd (po rejestracji 250 tysięcy) z katalogu SAO, gwiazdozbiorów, planet, komet, asteroid, obiektów Messiera. Chyba nie ma programu dorównującego mu szybkością. Nic dziwnego - napisany jest w asemblerze. Duża szybkość programu ma istotne znaczenie przy nanoszeniu na komputerowe niebo dużej ilości ciał niebieskich i przy symulowaniu ich ruchu dziennego. *Sky Globe* daje możliwość wyszukiwania dowolnych obiektów astronomicznych na mapie nieba i przy tej okazji oglądania ich zdjęć (naturalnie jeśli są dołączone odpowiednie pliki graficzne). Niezwykle użyteczna jest opcja zmiany ilości gwiazd do wyświetlania na ekranie (ograniczenie wyświetlania gwiazd do wybranej wielkości) oraz możliwość powiększania wybranego fragmentu nieba. W *Sky Globie* można zaobserwować również zjawisko precesji osi ziemskiej, jeśli zorientuje się mapę nieba w ten sposób, aby było widać obszary bieguna północnego oraz śledzi ruch sfery niebieskiej z długim krokiem czasowym np. 1000 lat. Ostatnia wersja *Sky Globe* (3.6) pochodzi z 1993 roku, mimo zapowiedzi autora o przygotowywaniu następnej. Można przypuszczać, że trudno jest ulepszyć tak dopracowany produkt.

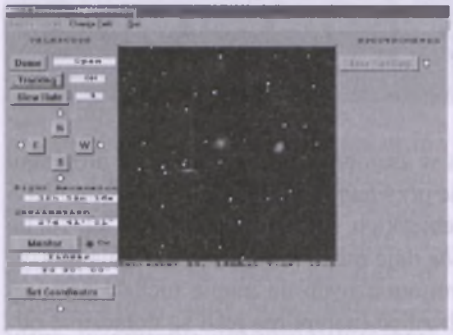


W niektórych programach wyraźnie widać dydaktyczne podejście do zagadnień astronomicznych. Z reguły są one adresowane do uczniów szkół średnich bądź wyższych. Na przykład program *Planet Tracker* zapoznaje uczniów z prawami ruchu planet, zawiera poglądowe animacje przedstawiające ruch planet w układzie heliocentrycznym i geocentrycznym, wzajemne konfiguracje, fazy planet, prawa Keplera. Autorzy programu, D. Chandler i M. Zeilik to nauczyciele astronomii doskonale rozumiejący problemy dydaktyki tego przedmiotu. Do programu dołączone są propozycje ćwiczeń do wykonania z uczniami oraz sugestie dotyczące realizacji odpowiedniego materiału szkolnego z zakresu astronomii. Z kolei *TS-24* to program, który uczy, jak astronomowie używają różnych instrumentów obserwacyjnych do poznawania Wszechświata m. in. teleskopu, fotometru, kamery CCD.

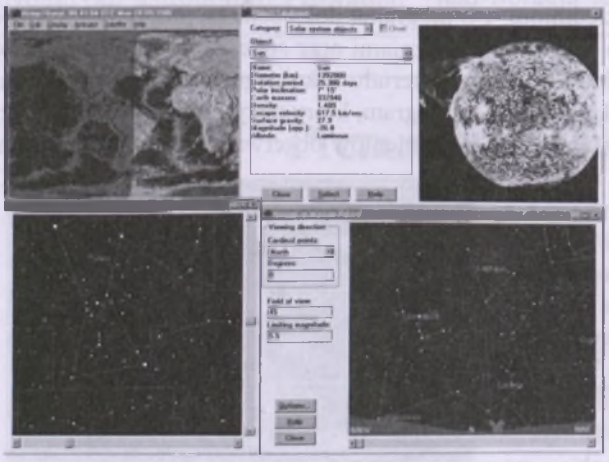


Wśród programów dydaktycznych na szczególną uwagę zasługują programy zgrupowane pod wspólną nazwą *CLEA* (*Contemporary Laboratory Exercises in Astronomy*), a opra-

cowane w Department of Physics w Gettysburg College (USA). Są to programy (w formie ćwiczeń do wykonania) ilustrujące nowoczesne techniki zbierania danych w astronomii i sposoby ich opracowywania. Ćwiczenia zaznajamiają m. in. z wykorzystaniem techniki spektralnej, fotometrycznej, radarowej, fotograficznej. W większości tych programów posługujący się nim wykonuje czynności odwzorowujące prawdziwe obserwacje różnych ciał niebieskich na ekranie komputera, tj. otwiera teleskop, naprowadza go na odpowiedni fragment nieba i wybiera urządzenia do obserwacji. Następnie zebrane podczas obserwacji dane musi opracować według podanych wskazówek. Na przykład w programie *Spectral Classification* wykonuje się obserwacje widmowe wybranych gwiazd mając do dyspozycji spektrograf. Szczelinę spektrografu naprowadza się na obraz wybranej gwiazdy i uruchamia licznik fotonów. „Obserwacje" przerywa się, gdy stosunek sygnału do szumu osiągnie wystarczającą wartość i zapisuje się uzyskane widmo. Następnie klasyfikuje się uzyskane widmo przez porównanie go z widmami wzorcowymi zamieszczonymi w programie. W ćwiczeniu można również mierzyć długość fali i intensywność linii spektralnych. Programy *CLEA* mogą być przydatne studentom pierwszych lat studiów astronomicznych lub zaawansowanym miłośnikom astronomii z ostatnich klas szkoły średniej.

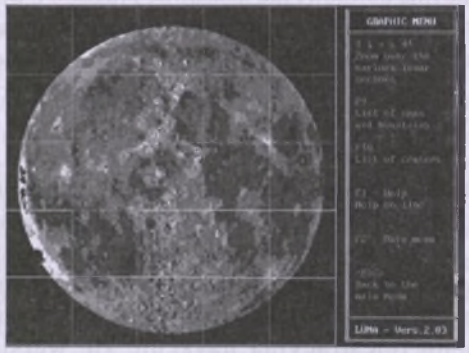


Wśród programów *shareware*, *freeware* i *public domain* zdarzają się i prawdziwe perełki. Jedną z nich jest program *Home Planet* dla WINDOWS. Bardzo rozbudowany (wymaga ponad 12 MB miejsca na dysku) i ładnie opracowany graficznie, a do tego zupełnie bezpłatny. Program zawiera m. in. mapę nieba dla dowolnego czasu i miejsca na Ziemi. Naniesione na mapę gwiazdy pochodzą z dwóch katalogów, które można wybierać: SAO (około 250 tysięcy gwiazd) i z katalogu BSC5 (około 9 tysięcy gwiazd). Poza tym program wyświetla pozycje Słońca, Księżyca, planet, asteroid, komet, obiektów z katalogu Messiera. Jedna z opcji oferuje uzyskanie mapy nieba w widoku horyzontalnym, tj. takim, jaki widziałby obserwator stojący w danym miejscu na Ziemi. Można więc mieć wrażenie obserwowania nieba za oknem swojego domu, tym wyraźniejsze, że istnieje w programie możliwość „rozglądania się" po niebie we wszystkich kierunkach.



Home Planet zawiera również mapę świata z zaznaczoną, dla wybranej daty, częścią Ziemi oświetloną przez Słońce. Na tle mapy świata można zaznaczyć Księżyc z aktualną fazą w miejscu, gdzie znajduje się w danym czasie w zenicie oraz satelity ziemskie wybrane z dostępnej w programie bogatej bazy danych. *Home Planet* oferuje animacje przedstawiające ruch nieba, ruch ziemskich satelitów, przemieszczanie się strefy dnia i nocy oraz zdjęcia różnych obiektów astronomicznych.

Warto wspomnieć, że autor programu, John Walker, to założyciel jednej z największych firm softwarowych - Auto Desk Inc. oraz współautor światowego standardu programu do projektowania AutoCAD. Choć według *Scientific American* jest to również autor pierwszego (i niegroźnego) komputerowego wirusa (1975 rok), to jednak bądźmy spokojni - *Home Planet* przetestowano najnowszymi wersjami programów antywirusowych.



Dołączona do niniejszego tekstu tabela zawiera wybrane i godne polecenia programy astronomiczne typu *shareware*, *freeware* i *public domain*. Każdy program jest opisany jego nazwą, wersją, rokiem ukazania się, nazwiskiem autora bądź producenta. Dodatkowo podano koszt rejestracji, rozmiar spakowanego pliku w kilobajtach i subiektywną ocenę. Jeżeli w rubryce „Koszt rejestr." widnieje 0, oznacza to, że program jest typu *freeware* lub *public domain*. Ocena wyrażona jest gwiazdkami (im więcej gwiazdek, tym jest lepsza).

Iwona Chyży

Wymienione programy można skopiować z zasobów Internetu lub zamówić w firmie: TAURUS Wdrożenia Informatyczne, 30-076 Kraków, ul. Zakątek 13/4; tel./fax (0-12) 37-63-32. Cena jednej dyskietki z programami - 6 zł, przy zamówieniach 5 dyskietek i więcej - 5 zł. Podane ceny wyrażają jedynie wysokość kosztów dystrybucji i nie obejmują opłat rejestracyjnych należnych autorom programów.

Programy dla DOS

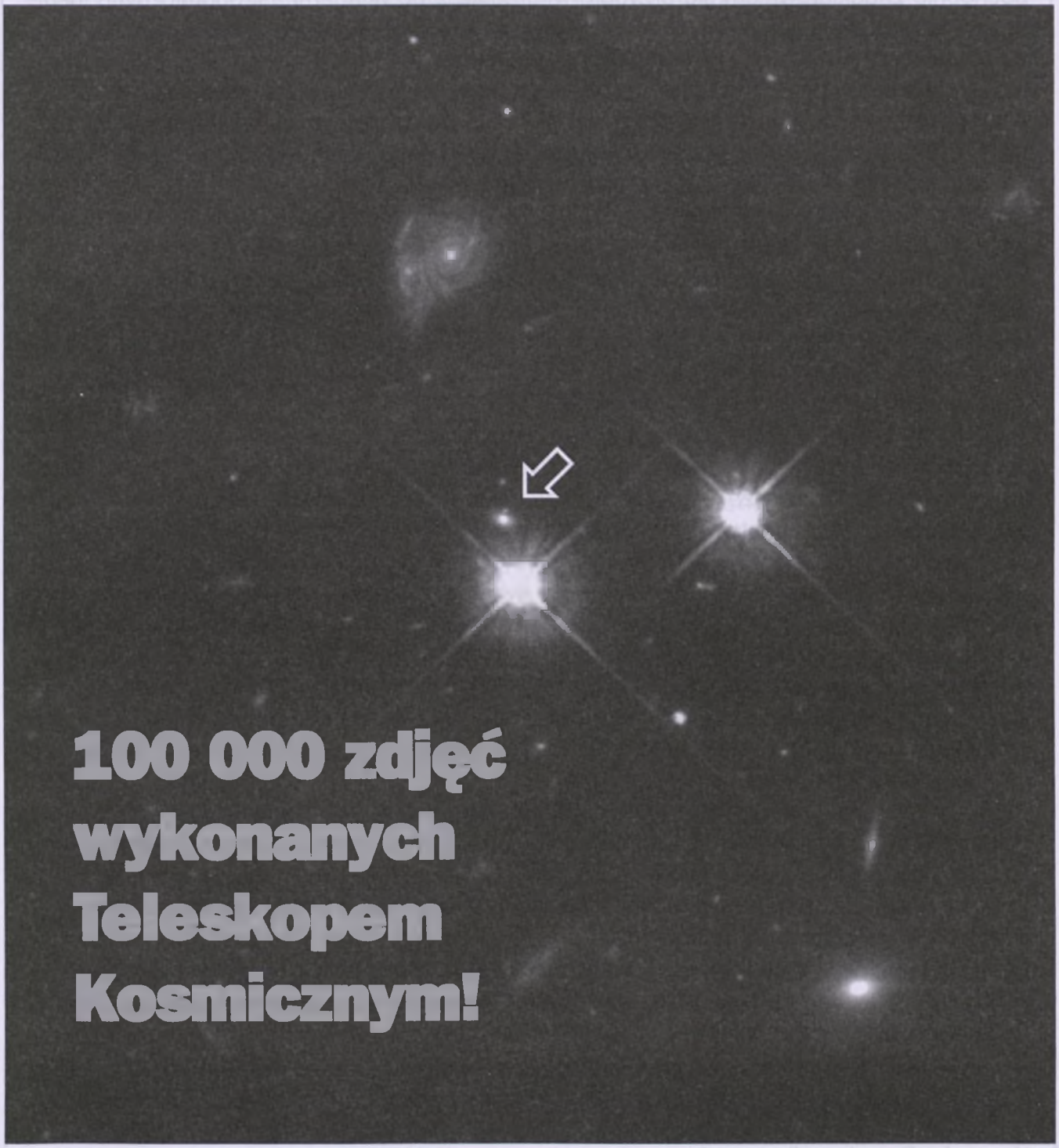
Nazwa, wersja, rok, autor	Koszt rejestr.	Rozm. (kB)	Ocena	Opis
Earth Watch 2.0 1991, Larry Nagy, USA	25 USD	173	**	Graficzne przedstawienie obszaru dnia i nocy na tle mapy świata. Możliwość wykonania obliczeń, np. wschodów, zachodów Słońca, Księżyca.
TrakSat 2.80 1991, P. Traufler USA	25 USD	335	**	Symulacja widoczności ruchu sztucznych satelitów z powierzchni Ziemi. Dane około 700 sztucznych satelitów.
La Luna 2.03 1992, Rosso Włochy	30 USD	1283	**	Graficzna prezentacja powierzchni Księżyca. Możliwość powiększenia, identyfikacji elementów powierzchni, obliczenia np. momentów zaćmień.
Moon Manager M. R. Power	0	76	**	Graficzne przedstawienie powierzchni Księżyca. Możliwość identyfikacji obiektów na powierzchni Księżyca.
Lunar Mountain 7.9 1993, USA	0	2012	*	Program w formie ćwiczenia. Pomiar wysokości gór księżycowych z wykorzystaniem zdjęć CCD. Dość skomplikowany w obsłudze.
JupSat 4.0 1994, Gary Nugent, Irlandia	10 USD	64	*	Prezentacja graficzna i animacja ruchu czterech galileuszowych księżyców Jowisza. Wymagana karta: EGA lub VGA.
GalSat 5.3 1994, Dan Bruton, USA	0	68	*	Graficzne przedstawienie wzajemnego położenia księżyców galileuszowych Jowisza w wybranym momencie.
Tracker 5.0 1994, Dan Bruton, USA	0	71	*	Oblicza i wyświetla położenie wybranych elementów atmosfery Jowisza (czerwonej plamy, śladów po uderzeniach komety Shoemaker-Levy).
SatSat 2.0 1994, Dan Bruton, USA	0	91	**	Graficzne przedstawienie położeń księżyców Saturna i wyglądu pierścieni.
KomSoft 3.10 1996, Stefan Beck, Niemcy	20 USD	105	*	Program dedykowany poszukiwaczom komet, zawiera bazę danych 21 komet. Możliwość wprowadzenia nowych komet i obliczenia położeń.
Dance of the Planets 2.3 1991 A. R. C. Softw., USA	429 DM	206	***	Komputerowy model Układu Słonecznego. Wersja demonstracyjna: ograniczona ilość gwiazd do około 3 tys., asteroid i komet do 20, brak możliwości zmiany dat.
Planet Tracker 4.1 1993 D. Chandler, M Zelik, USA	49 USD	115	***	Wersja demonstracyjna: limit w obliczeniach 1990-1991. Dydaktyczne spojrzenie na ruch planet w różnych układach odniesienia, fazy, konfiguracje planet, prawa Keplera (animacje).
Star Clock 2.0 1996 Leos Ondra, Czechy	0	133	*	Animacje ewolucji gwiazd na diagramie Hertzsprunga-Russella.
Gravity 2.0 1990 Steve Safarik, USA	15 USD	110	**	Symulacja ruchu ciał niebieskich w przestrzeni. Można zadać parametry, maksymalnie 16 ciał - będą rysowane i będą się poruszać według prawa grawitacji.
Gravity 1.2 1994 J. Nielsen, Dania	0	73	*	Symulacja ruchu w przestrzeni ciał niebieskich oddziałujących między sobą siłami grawitacji.
Space Flight Simulator 1.01, 1991, Bywater Softw., USA	0	261	*	Symulacja lotów kosmicznych w czasie rzeczywistym, przykładowe animacje.
Sky Globe 3.6 1993 KlassM Software, USA	20 USD	369	***	Typu planetarium. 29 tys. gwiazd, planety. Wiele użytecznych opcji; bardzo szybki.
Astro 2.02 1992 Atabaska University, Kanada	0	105	*	Typu planetarium. 526 gwiazd. Wymagana karta graficzna: CGA, ATT, EGA, VGA.
Star View 2.0.08 1988 Digi-Tech Consultants, USA	0	188	**	Typu planetarium. 9096 gwiazd. Możliwość wyboru epoki do określania współrzędnych ciał niebieskich.
Star Works 2.1 1993 Sci-Vision, USA	20 USD	204	**	Typu planetarium. M. in.: wygląd nieba; obliczanie współrzędnych, wschodów i zachodów Słońca, Księżyca i planet.
Deep Space 5.52 1996 Dawid Chandler, USA	129 USD	1414	***	Typu planetarium. Wersja *shareware* zawężona w stosunku do wersji pełnej, m. in. do 3600 gwiazd.
Sky View 1.15d 1994 Dig. Tech. Art., Włochy	10 USD	931	**	Typu planetarium. 9 tys. gwiazd. Wymagana karta graficzna: VGA lub EGA; mysz.
Star atlas 2000 1993 P. Paakkonen, Finlandia	0	1494	**	Atlas gwiazdowy z bazą 254678 gwiazd, 8177 obiektów pozagalaktycznych. Współrzędne ciał niebieskich na epokę 2000.
The Night Sky 2.08b 1992 A. C. Stevely, Wielka Brytania	31 GBP	693	**	Typu planetarium. 24 tys. gwiazd. Położenia gwiazd na epokę 2000. M. in. możliwość obliczenia zaćmień, ich prezentacja graficzna.
Deep Sky 2000 1.2 1996 Rick Burke, Kanada	60 USD	6700	***	Typu planetarium. Zawiera m. in. 279 tys. gwiazd SAO, 16 tys. obiektów mgławicowych. Wymagana VGA.
Coeli 3.76 1996 SES Finlandia	12 USD	507	*	Typu planetarium. 4590 gwiazd. Wymagania: kolorowy monitor, SVGA (512 kB, zgodne z VESA).

Programy dla WINDOWS 3.x

Nazwa, wersja, rok, autor	Koszt rejestr.	Rozm. (kB)	Ocena	Opis
Astronomy Clock 1.12 1992 Pocket-Sized Softw., USA	5 USD	47	*	Przeliczanie czasów dla wybranego miejsca na Ziemi, m. in. czas miejscowy, uniwersalny, gwiazdowy.
SATRA 1.0 J. Salminen, Finlandia	0	144	*	Graficzne przedstawienie dróg sztucznych satelitów na tle mapy świata. Baza danych 20 satelitów.
Sky Times 1.1.1 1994 C. A. Marriott, Wielka Brytania	19 USD	326	*	Lista zdarzeń astronomicznych na dany dzień, m. in. wschody, zachody Słońca, Księżyca i planet, świty i zmierzchy.
Solar Energy Transfer 0.50 1994 Gettysbourg College, USA	0	300	**	Program w formie ćwiczenia. Ilustracja transportu energii w Słońcu; animacje.
Merkury Rotation 0.81 1994 Gettysbourg College, USA	0	432	**	Program w formie ćwiczenia. Ilustracja pomiaru prędkości rotacji planety z wykonaniem przesunięcia Dopplera odbitego radarowego impulsu. Wymagany kolorowy monitor.
Moons of Jupiter 0.75 1994 Gettysbourg College, USA	0	268	**	Program w formie ćwiczenia. Ilustracja pomiaru masy planety z wykorzystaniem III prawa Keplera.
Galileo 1.0 1994 J. M. Madiego, Hiszpania	40 USD	301	*	Księżyce Jowisza i Saturna: ich rozmieszczenie w wybranym czasie. Dodatkowo dostępna przeglądarka graficznych plików astronomicznych z 12 zdjęciami.
Planet Watch 2.0 1994 Raben Softw. Graphics, USA	20 USD	527	**	Animacja ruchu planet na tle gwiazd, ruchu orbitalnego, zdjęcia planet, efemerydy. Monitor VGA, min. 2 MB RAM.
Astronomy Lab 1.13 1992 MicroCosmos, USA	15 USD	358	*	Animacje komputerowe, m. in. ruch planet w płaszczyźnie ekliptyki, układ podwójny gwiazd; graficzne ilustracje równania czasu, odległości i jasności planet.
Cyber Sky 1.0d 1995 S. M. Schimpf, USA	21 USD	832	**	Typu planetarium. Animacja ruchu nieba. 5080 gwiazd. Wymagania: komputer min. 386, 4 MB RAM.
ECU 2.0 1995 Nova Astronomics, Kanada	50 USD	430	***	Typu planetarium. Zarazem program kontrolujący teleskop dla astronomów amatorów. W wersji *shareware* m. in. 9100 gwiazd (YALE). Symulacje.
My Stars 2.3 1996 Relative Data Products, Kanada	12 USD	504	***	Typu planetarium. Ładnie opracowany graficznie. Wymagany procesor 386SX, 2 MB RAM.
Sky Map 2.2 1995 C. A. Marriott, Wielka Brytania	49 USD	1720	***	Typu planetarium. 15 tys. gwiazd w wersji *shareware*. Możliwość wydruku, obrazy planet (GIF).
SkyImg1		1028		Obrazy różnych obiektów astronomicznych typu GIF do programu **Sky Map**.
Home Planet 2.1 1995 John Walker, USA	0	8300	***	Zawiera m. in. mapę nieba dla wybranego czasu (250 tys. gwiazd SAO, planety, satelity, asteroidy, komety) z opcją widoku horyzontalnego i animacją ruchu nieba.
TS-24 3.2 1995 Crystal Lake Obserwatory	0	316	***	Program edukacyjny, który uczy jak astronomowie używają teleskopu do poznawania Wszechświata. Wersja demonstracyjna: wybrane obserwatorium, czas, gwiazda, typ teleskopu.
Spectral Classification 0.87 1994 Gettysburg College, USA	0	759	***	Program w formie ćwiczeń. Zaznajomienie z widmami gwiazdowymi i procesem klasyfikacji różnych widm na podstawie widocznych w nich linii.
Hubble Redshift 0.81 1994 Gettysburg College, USA	0	343	***	Program w formie ćwiczeń. Wyznaczanie przesunięcia ku czerwieni w widmach galaktyk; następnie ich odległości i wartości stałej Hubble'a. Wymagany kolorowy monitor.
Large Scale Structure 0.603 1995 Gettysburg College, USA	0	949	***	Program w formie ćwiczeń. Ilustracja użycia relacji: przesunięcie ku czerwieni-odległość do uzyskania przestrzennego rozmieszczenia galaktyk.
H-RCalc 2.0 1996 D. C. Irizarry, USA	15 USD	338	**	Diagram Hertzsprunga-Russella: zależność między jasnością, jej temperaturą efektywną i promieniem. Wyznaczanie teoretycznego promienia gwiazdy.

Programy dla WINDOWS 95

Nazwa, wersja, rok, autor	Koszt rejestr.	Rozm. (kB)	Ocena	Opis
Astronomy Lab. 2.03 1995 Personal MicroCosmos USA	15 USD	484	**	Animacje komputerowe, m. in. ruch planet w płaszczyźnie ekliptyki, układ podwójny gwiazd; graficzne ilustracje równania czasu, odległości i jasności planet; raporty dotyczące różnych wydarzeń astronomicznych, np. pory roku, zaćmienia, roje meteorów.
Sky Map 3.0 1995 C. A. Mariot, Wielka Brytania	49 USD	1720	***	Typu planetarium. 15 tys. gwiazd w wersji *shareware*. Możliwość wydruku, obrazy planet (GIF).



100 000 zdjęć wykonanych Teleskopem Kosmicznym!

W pierwszym prawie dniu lata 1996 roku (22 czerwca) Teleskop Kosmiczny Hubble'a wykonał swe jubileuszowe, stutysięczne zdjęcie ciała niebieskiego. Było to zdjęcie słabej galaktyki (wielkość gwiazdowa 22^m), leżącej w odległości kilku miliardów lat światła od nas. Zdjęcie zrobił w świetle czerwonym Karol Steidel z Kalifornijskiego Instytutu Technologicznego w Pasadenie przy pomocy Szerokokątnej Kamery Planetarnej WFPC2. Zainteresowanie autora tym obiektem pochodzi stąd, że galaktyka ta (wskazana na zdjęciu strzałką) jest podejrzana o to, że jej gazy absorbują światło dużo jaśniejszego, aczkolwiek znacznie dalej leżącego kwazara (w centrum obrazu).

Teleskop Kosmiczny Hubble'a w ciągu swej sześcioletniej służby na okołoziemskiej orbicie wykonuje średnio 1389 zdjęć (ekspozycji CCD) miesięcznie. Najpierw były to obrazy uzyskiwane przy pomocy pierwotnej kamery WFPC, trochę nieostre z powodu znanego defektu lustra głównego. Nowa kamera WFPC2, zainstalowana w styczniu 1994 roku poprawiła błąd lustra głównego i daje obrazy o znakomitej jakości (zdolność rozdzielcza bliska 0".1) pozwalającej dojrzeć subtelne struktury różnych obiektów niebieskich.

ASTRONOMIA I MUZYKA

Opracowując do druku w *Postępach* artykuł pana Davousta pt. „Pożytki z astronomii" pochopnie zadeklarowałem się przygotować ramkę z przykładami astronomicznych inspiracji w sztuce. Przecież jest tyle wspaniałych przykładów... Kiedy już czas naglił, Naczelny poganiał, a termin zamknięcia numeru był tuż, tuż – nie było innego wyjścia, jak tylko wziąć się za konkrety. Sterta lekko przykurzonych albumów i książek, wyciąganych z półek i kątów, rosła nieubłaganie, a ja wciąż nie byłem ukontentowany. *Powstanie Mlecznej Drogi* Tintoretto? Nie, to przecież mitologia, a nie astronomia – i tak raz po raz weryfikowałem domniemane inspiracje Wielkich Mistrzów Pędzla.

No, w końcu COŚ jest! Kochany *Vincuś*! On to potrafił dostrzec piękno efemerycznych zjawisk na nieboskłonie i przelać owe *impresje* na płótna, miast gapić się na krągłości niewieścich ciał i świata bożego poza nimi nie widzieć, jak co niektórzy kolesie po fachu (i niech się mitologią nie zasłaniają, bo i tak wiadomo o co im chodziło). Zaraz, zaraz, a Dürer – spec od ekspresyjnego straszenia apokaliptycznymi wizjami nieba walącego (meteorytami?) się na głowę? A Giotto ze swoją kometą zamiast gwiazdki betlejemskiej? A Friedrich, a Miedwiediew, a...

Niestety, zjawiska przyrodnicze z gwiazdkami, planetami, Księżycem, kometą itd., w roli głównej, to jeszcze nie ASTRONOMIA. *Ástron* z greckiego to gwiazda, ale *nómos* to prawo! *Niech więc krążą księżyce w biegu nie zmienione*... i niech inspiracja Astronomią będzie inspiracją dostojnymi prawami. I tu konsternacja – żaden sensowny przykład nie przychodzi mi do głowy – misternie wypracowane ryciny ilustrujące dawne wyobrażenia Świata Stworzonego, czyli Kosmosu, to świetne „schematy techniczne", ale nie o taką sztukę mi chodzi. Wciąż pozostaję nieusatysfakcjonowany i nucąc Stonsów *Satisfaction* sięgam ręką na półkę ze zbiorami fonograficznymi, by puścić sobie coś na odprężenie. Ponieważ pora już późna, a rodzinka dawno w objęciach Morfeusza, wzrok kieruję na te ze spokojniejszą odmianą muzyki. Błysk olśnienia i mam To, czego szukałem! Gwoli ścisłości nie zupełnie to, gdyż zamiast obrazów znalazłem dźwięki, ale *sedno sprawy* zostało uchwycone.

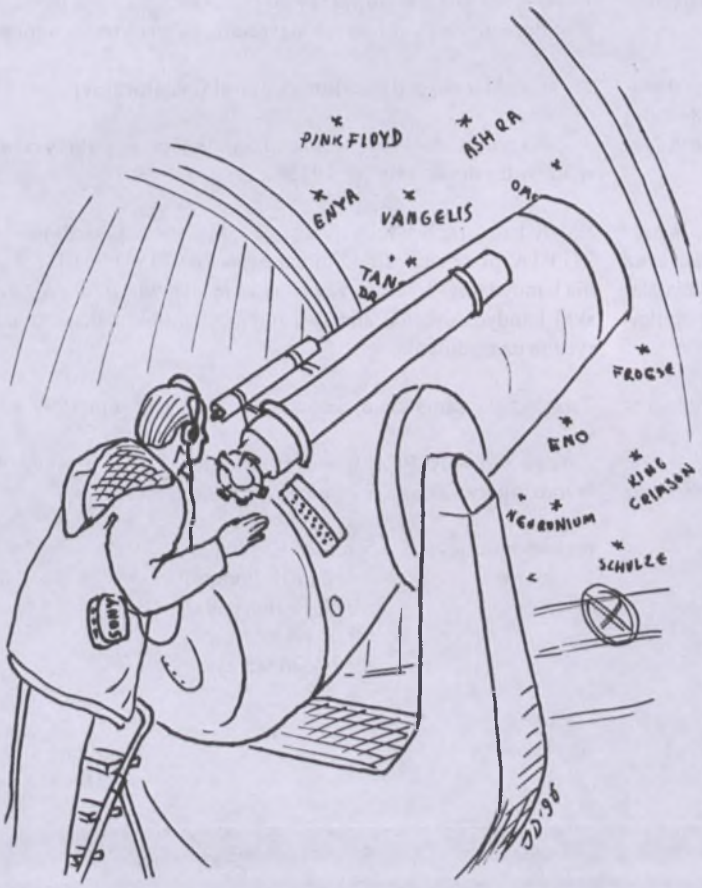
Co prawda już dr Davoust w swoim artykule wspomina pewnego kompozytora z Tuluzy, który czerpał kompozytorskie natchnienie z wyjściowych sygnałów radioteleskopu, wycelowanego w pulsary. Mnie zaraz przypomina się eksperyment amerykańskich naukowców, którzy przetransponowali częstości obiegu planet wokół Słońca na częstotliwości syntezatorowych dźwięków (pisał o tym kiedyś red. Jarek Włodarczyk na łamach *WiŻ*), co było jedynie współczesną realizacją pitagorejskiej koncepcji muzyki sfer niebieskich. Jednak sedno sprawy już w genialnych kompozycjach organowych mistrza Jana Sebastiana i jemu wcześniejszych organmistrzów. Nota bene, czyż specyfika ciągłych tonów organowych nie kojarzy się Państwu z możliwościami współczesnych syntezatorów?

Tak, to jest To. Jednak zamiast któregoś z koncertów organowych, sięgam po *Die Kunst der Fuge* i z miłym zaskoczeniem odkrywam, iż okładka tej płyty, będąca w rzeczy samej abstrakcyjną kompozycją barwnych kropek i plam, nachalnie kojarzy mi się z obrazami uzyskiwanymi ostatnio przez KosmicznyTeleskop Hubble'a.

A MUZYKA? Czyż nie wzbudza podobnych emocji co widok rozgwieżdżonego nieba? Emocji, których nie opiszą żadne słowa, gdzie skończone krzyżuje się z nieskończonym,

a chaos z porządkiem. Gdzie chłód i bezmiar Wszechświata styka się z ciepłem i skończonością ludzkiej istoty. Taka muzyka wypełniająca sobą potężne wnętrza monumentalnych katedr, musiała stawiać człowieka-słuchacza, w dokładnie takim samym położeniu, w jakim znajduje się astronom-obserwator, stojący przysłowiowe *oko w oko* z dostojeństwem niezmiennych praw i najgłębszymi tajemnicami Kosmosu.

Idźmy dalej. Czyż jest przypadkiem, że największy rozkwit tzw. *muzyki kosmicznej,* którą zapoczątkowali wykonawcy tej miary co zespoły Pink Floyd, Tangerine Dream, Ash Ra Tempel – przypada na koniec lat sześćdziesiątych i pierwszą połowę lat siedemdziesiątych, czyli czasy największego otwarcia się ludzkości na to, co poza Ziemią? Tytuły: *Interstellar Overdrive, Astronomy Domine, Star Dust, NGC 891* mówią same za siebie (u nas przykładowo: *Mleczna Droga* i *Odkrycie Nowej Galaktyki* Niemena). Tak przy okazji, prekursorów kosmicznego rocka, grupę Pink Floyd, BBC poprosiła o skomponowanie muzyki, którą TV wykorzystała do ilustracji pierwszego lądowania ludzi na Księżycu!



Nie mogę się powstrzymać od wzmianki o *Kosmogonii* Pendereckiego – dziele opiewającym strukturę Wszechświata (*Arché*) i geniusz poznającego Go człowieka (*Apeiron*). Chciałbym jeszcze o dziełach Vangelisa, Briana Eno i wielu, wielu innych, których najlepiej słucha się... pod kopułą planetarium. Nie dziwi więc fakt urządzania koncertów takiej muzyki w takich miejscach. Słynny twórca syntezatorowych brzmień, Klaus Schulze, ma na swoim koncie wiele koncertów zrealizowanych w największych planetariach i (*sic!*) największych katedrach Europy! Może dane mi jeszcze będzie usłyszeć Jego koncert
w planetarium w Toruniu? Paru krajowych wykonawców już tam występowało!

ASTRONOMIA I MUZYKA. Dwie dziedziny, które pokazują, każda na swój sposób, *jak małe jest ciało człowieka, a jak wielki jest jego umysł.* Chyba takie hasło, w odniesieniu do astronomii, spotkałem kiedyś w Łódzkim Planetarium, ale kto jest jego autorem? – może ktoś z Czytelników podpowie?

Astronomia i muzyka i tego trzymać się trzeba... jak pisał kiedyś Stachura. Trzymam się, Edek. A Ty, dlaczego puściłeś?
A przecież jest jeszcze Coś więcej...

Jacek Drążkowski

Ogłoszenia ZG PTA

Nagroda Młodych Polskiego Towarzystwa Astronomicznego

Zarząd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego ogłasza konkurs na najlepsze prace młodych astronomów. Prace kwalifikujące się do nagrody muszą spełniać następujące warunki:

1 - nagroda jest przyznawana astronomowi posiadającemu obywatelstwo polskie, który do końca roku, w którym następuje przyznanie nagrody nie ukończył 35 lat,

2 - nagroda przyznawana jest za wybitny, indywidualny dorobek naukowy w dziedzinie astronomii, uzyskany podczas całej pracy naukowej, lub w przypadku wcześniejszego laureata Nagrody, od roku następnego po dacie otrzymania jej.

Kandydatów do nagrody może zgłosić każdy członek PTA. Wniosek powinien zawierać podstawowe dane osobowe kandydata oraz wykaz prac naukowych, które stanowią podstawę oceny kandydata, wraz z krótkim uzasadnieniem i odbitkami ważniejszych publikacji. Wniosek należy złożyć w dwóch egzemplarzach.

Zgłoszenia należy nadsyłać do końca **31 marca 1997 r.** na adres ZG PTA.

Zarząd Główny PTA powołał Jury Konkursu o Nagrodę Młodych PTA w następującym składzie:

przewodniczący: prof. dr G. Sitarski
członkowie: prof. dr M. Jerzykiewicz
prof. dr E. Wnuk
prof. dr A. Woszczyk
doc. dr M. Ostrowski

Warszawa 09.10.1996 r.

Sekretarz PTA
Mirosław Giersz

Nagroda im. Włodzimierza Zonna za popularyzację wiedzy o Wszechświecie

Zarząd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego ogłasza konkurs o Nagrodę im. Włodzimierza Zonna. Nagroda jest wyrazem szczególnego uznania za działalność popularyzującą wiedzę o Wszechświecie. Kryteria przyznawania Nagrody są następujące:

1 - wysoki poziom popularyzacji, mający na celu przybliżenie współczesnych problemów astronomii szerokiemu ogółowi

2 - szeroki zasięg działalności popularyzatorskiej

3 - Nagroda dotyczyć może działalności popularyzatorskiej w dowolnym okresie po 1975r.

Kandydatury do Nagrody mogą być zgłaszane przez członków PTA, ZG PTA, placówki astronomiczne (naukowe i planetaria). Zgłoszenia kandydatów powinny zawierać imię i nazwisko (imiona i nazwiska) kandydatów, ich adresy i miejsce zatrudnienia oraz merytoryczne uzasadnienie.

Termin zgłaszania kandydatów upływa **15 stycznia 1997 r.**

Zarząd Główny PTA powołał Jury Konkursu o Nagrodę im. Włodzimierza Zonna w następującym składzie:

przewodniczący: prof. dr E. Wnuk
członkowie: prof. dr B. Rompolt
dr H. Brancewicz
dr T. Kwast
dr J. Włodarczyk

Warszawa 09.10.1996 r.

Sekretarz PTA
Mirosław Giersz

rozmaitości

dokończenie ze str. 124

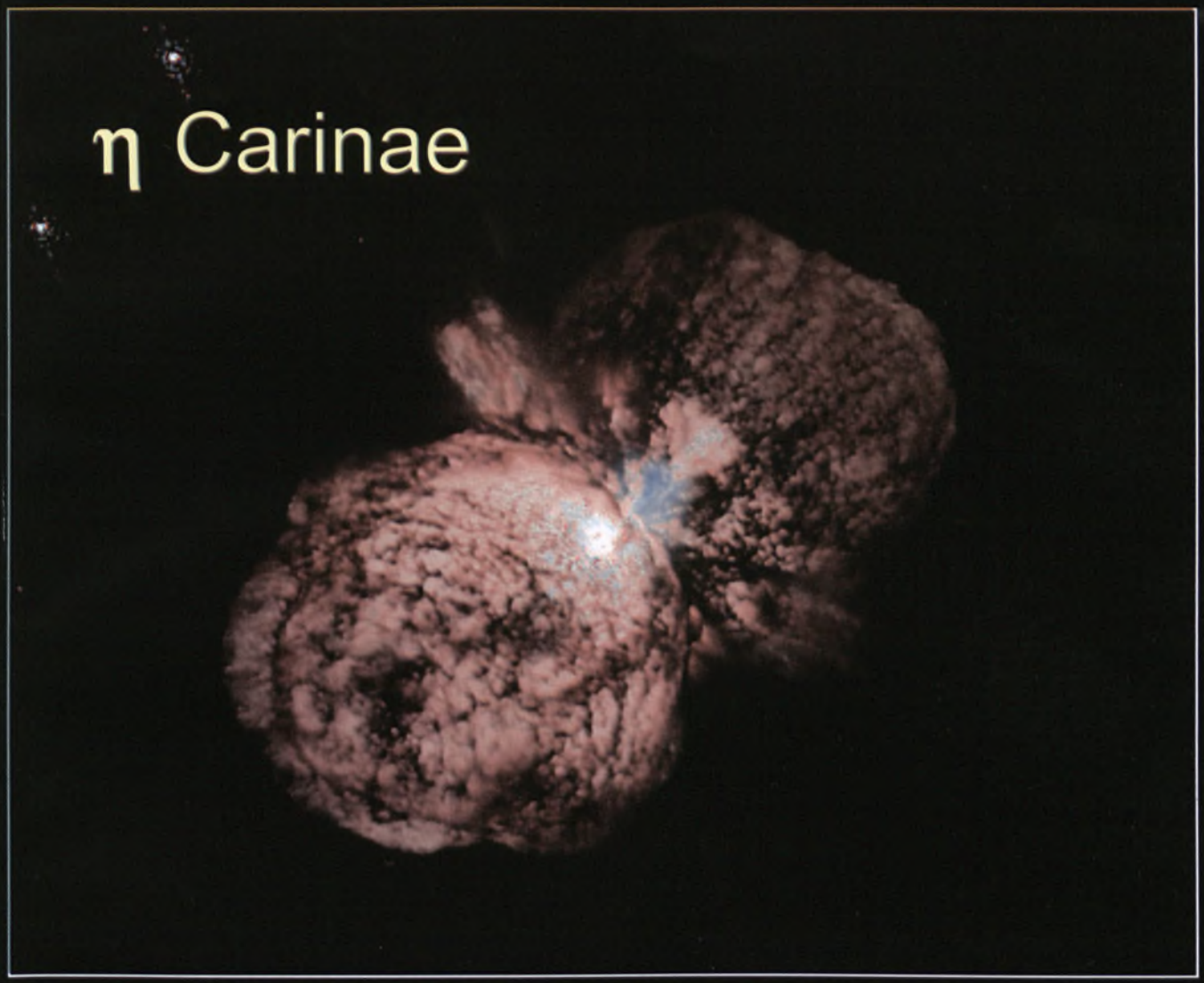
Jest to pierwsze tak poważne świadectwo istnienia planet wokół innych gwiazd uzyskane metodą astrometryczną. Po sukcesach metod chronometrażu pulsarów (Wolszczan: PSR B 1257+12) oraz spektroskopowej (Mayor i Queloz: 51 Peg; Marcy i Butler: 70 Vir, 47 UMa itd.) byłby to kolejny udany krok na drodze poszukiwań obiektów planetarnych poza Układem Słonecznym. Tym razem mielibyśmy do czynienia z systemem o wiele bardziej przypominającym nasz własny, niż w przypadku wcześniej odkrytych planet. Na potwierdzenie doniesień Gatewooda przyjdzie nam jednak jeszcze poczekać. Obserwacje spektroskopowe Lalande 21185, które w ciągu 9 lat prowadzili Marcy i Butler, nie przyniosły do tej pory ostatecznego rozstrzygnięcia, gdyż spodziewane zmiany prędkości radialnej pozostają w granicach błędu dokonywanych pomiarów.

Chociaż Słońce i Lalande 21185 to gwiezdne sąsiadki, wchodzą w skład odmiennych struktur naszej Galaktyki. Słońce należy do cienkiego dysku, poruszając się po orbicie zbliżonej do okręgu niemal dokładnie w płaszczyźnie Drogi Mlecznej. Prostopadła do tej płaszczyzny składowa prędkości przestrzennej Słońca to zaledwie 7 km/s. W ciągu najbliższych 15 milionów lat Słońce odchyli się na około 200-250 lat świetlnych od płaszczyzny dysku, by ponownie zacząć zbliżać się do niej. Natomiast Lalande 21185, ze składową prędkości prostopadłą do płaszczyzny Drogi Mlecznej wynoszącą 67 km/s, oddali się od niej na ponad 4000 lat świetlnych - jest ona częścią grubego dysku Galaktyki. Obie gwiazdy poruszają się w przeciwnych kierunkach z prędkością 85 km/s względem siebie.

Z każdym stuleciem Lalande 21185 zbliża się do nas o 0.028 roku świetlnego, co powoduje jej pojaśnianie o 0.007 magnitudo. Około roku 22000 znajdzie się w odległości niespełna 5 lat świetlnych, będzie wówczas obiektem o jasności 6.2 magnitudo. W dalszej przyszłości będzie kontynuować swą podróż na wskroś płaszczyzny Drogi Mlecznej. Nim do niej znów powróci, Słońce przewędruje w zupełnie inne okolice dysku i Lalande 21185 najprawdopodobniej nie spotka się z nami już nigdy. Zagubi się wśród miliardów bliźniaczo do niej podobnych karłowatych gwiazd, odchodząc w mrok, z którego do nas przybywa.

Krzysztof Rochowicz

η Carinae



Z niespotykanymi dotychczas szczegółami Telskop Kosmiczny Hubble'a uzyskał zdjęcie mgławicy otaczającej kończącą swe krótkie życie gorącą gwiazdę η Carinae. Gwiazda ta znajduje się w odległości ok. 8 tys. lat świetlnych od Ziemi i ma masę około 100 razy większą od Słońca. Jest więc jedną z najbardziej masywnych gwiazd naszej Galaktyki. Jej promieniowanie przewyższa 5 milionów razy promieniowanie naszego Słońca. Co jakiś czas gwiazda ta rozbłyska (wybucha) z różną mocą w różnych przedziałach widmowych, wyrzucając bipolarne gazowo-pyłowe chmury materii i tworząc równikowy dysk pyłowy. Obecne zdjęcia zostały uzyskane w ramach badań otaczającej gwiazdę mgławicy przez K. Davidsona z Minnesoty i J. Morsa z Kolorado i uchodzą za jedne z najlepszych zdjęć uzyskanych Teleskopem Kosmicznym. Otrzymane obrazy mają faktycznie zdolność rozdzielczą porównywalną z rozmiarami Systemu Słonecznego (100 jedn. astron.), a więc pozwalają bardzo dokładnie poznać strukturę mgławicy. Obraz pokazuje światło gwiazdy odbite przez dwa symetryczne, wewnątrz puste sferyczne bąble gazowo-pyłowe i leżący między nimi pyłowy dysk. Porównując to zdjęcie z innymi zdjęciami, a w szczególności z obrazem wykonanym 17 miesięcy wcześniej Autorzy stwierdzili rozprężanie się mgławicy z szybkością ok. 700 km/sek (2.5 mln km/godz), co prowadzi do wniosku, że rozpoczęła ona swe istnienie około 150 lat temu. To bardzo ciekawy i intrygujący wynik. Otóż największy znany rozbłysk η Carinae miał miejsce w roku 1840. Wtedy gwiazda ta stała się najjaśniejszą gwiazdą południowego nieba i jasność jej przez krótki czas znacznie przewyższała blask znanej z lotów kosmicznych gwiazdy α Car zwanej Canopus. Ale pyłowy dysk obserwowany wokół η Carinae wydaje się być znacznie młodszy – jego wiek (ekspansji) jest oceniany na 100 lat, co może znaczyć, że powstał w czasie innego, mniejszego wybuchu obserwowanego w roku 1890.

Prezentowane tu zdjęcie obejmuje obszar o szerokości 20 sekund łuku, a kierunek północny jest u góry. Powstało z kombinacji zdjęć uzyskanych przez filtr czerwony i prawie-ultrafioletowy we wrześniu 1995 roku. Ponieważ zewnętrzne części mgławicy są aż 100 tysięcy razy słabsze od blasku centralnej gwiazdy, trzeba było wykonać 8 ekspozycji z różnym czasem naświetlania, aby uzyskać dobre obrazy w tym całym wielkim zakresie jasności obserwowanego obiektu.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Matecznik gwiazdowy w sąsiedniej galaktyce

Palomar

HST

W ramach badań obszarów gorącego gazu we Wszechświecie Hui Yang z Chicago i Jeff J. Hester z Arizony uzyskali w styczniu 1995 roku przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a i jego kamery WFPC2 prezentowane tu zdjęcie mgławicy NGC 604 leżącej w galaktyce spiralnej M 33.

M 33 leży w gwiazdozbiorze Trójkąta w odległości 2.7 mln. lat światła od Słońca. NGC 604 jest miejscem w spiralnych ramionach stosunkowo bliskiej nam galaktyki gdzie rodzą się gwiazdy. Chociaż takie mgławice są dość powszechne w galaktykach, ta jest szczególnie wielka - rozciąga się na przestrzeni 1.5 tysiąca lat światła i jest doskonale widoczna przy pomocy teleskopów naziemnych.

W „sercu" NGC 604 znajduje się ponad 200 gorących i bardzo masywnych (15 do 60 mas Słońca) gwiazd. Ogrzewają one ściany mgławicy (temperatyra mgławicy sięga 10 tysięcy Kelwinów) i powodują fluorescencję jej gazów. Ich światło, jak lampa w jaskini, oświetla również mgławicę od środka i ukazuje trójwymiarowo jej strukturę. Badając strukturę fizyczną takich mgławic astronomowie mogą lepiej zrozumieć wzajemne oddziaływanie gromad masywnych gwiazd i galaktycznej materii międzygwiazdowej oraz procesów prowadzących do „masowego" powstawania gwiazd w ramionach galaktyk spiralnych.

Na rozkładówce

Postępy Astronomii

4/96

tom 44

październik - grudzień

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

Konkurs o kometach

str. 165

W numerze:

- o istocie praw fizyki
- gwiazda tolerancji
- narodziny galaktyk
- datowanie narodzin Jezusa

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Pradawna galaktyka

Prezentowane tu zdjęcie uzyskane teleskopem Hubble'a przedstawia wielokrotne, niebieskawe i w kształcie małych łuków, obrazy tej samej bardzo odległej spiralnej galaktyki. Powstały one na skutek działania pola grawitacyjnego (soczewki grawitacyjnej) leżącej w środku zdjęcia gromady żółtych, eliptycznych i spiralnych galaktyk, gromady 0024+1654. Ogromne pole grawitacyjne tej gromady załamuje światło dalej leżącego obiektu i powoduje jego powiększenie, pojaśnienie i dystorsję. Jak będzie wyglądał obiekt i jak wiele jego obrazów powstanie pod działaniem takiej soczewki zależy od wzajemnego położenia względem obserwatora obu obiektów.

Na powyższej fotografii światło odległej galaktyki przechodząc przez bliżej leżącą gromadę galaktyk tworzy 5 oddzielnych obrazów: jeden blisko środka zdjęcia, a cztery inne w kierunkach „godziny" 6, 7, 8 i 2 od środka. Obrazy galaktyki zostały zdeformowane (uległy dystorsji) - zamiast regularnego kształtu spiralnego widzimy tu małe łuki.

Soczewka grawitacyjna (gromada galaktyk) leży w konstelacji Ryb w odległości ok. 5 miliardów lat świetlnych od nas, a utworzone przez nią niebieskie obrazy pochodzą od galaktyki położonej 2 razy dalej. Prezentowane tu kolorowe zdjęcie zostało utworzone z obrazów niebieskiego i czerwonego uzyskanych przez HST 14 października 1994 r. kamerą WFPC2. Wysoka jakość zdjęć (duża zdolność rozdzielcza) pozwoliła astronomom dojrzeć w niebieskich obrazach „kłaczkowate", jasne i ciemne struktury o rozmiarach dochodzących do 300 lat świetlnych (a więc bardzo małych, biorąc pod uwagę odległość do tej galaktyki). Autorzy tych obserwacji, W.N.Colley i F.Turner z Princeton i J.A.Tyson z Laboratoriów Bella uważają, że ogniskowana galaktyka jest galaktyką młodą, w której dopiero rodzą się gwiazdy.

O działaniu soczewki grawitacyjnej pisaliśmy w „Postępach Astronomii" kilkakrotnie. Polecamy np. lekturę artykułu p. Andrzeja Krasińskiego w zeszycie PA 3/95 na str. 124.

Drodzy Czytelnicy,

Oddajemy w Wasze ręce zaiste „gwiazdkowy" zeszyt. Nie dość, że samą okładką (malowidłem Giotto) przypominamy wydarzenie, którego pamiątkę co roku uroczyście obchodzimy, to wewnątrz zeszytu bardzo naukowo rozważamy, piórem dr Pawła Presia z Wrocławia, problem daty narodzin Chrystusa, a w końcowym felietonie Profesor Derek McNally z Londynu, omawiamy „gwiazdę tolerancji", która miała stanowić hołd dla UNESCO.

„Gwiazda tolerancji" to doskonały przykład tego, jak na badania astronomiczne może niszcząco wpływać pozornie nie związana z nimi działalność człowieka. W przeciwieństwie do innych nauk, astronomia nie może ograniczyć nikomu dostępu do swego laboratorium. Badamy bowiem Niebo, które jest nad nami, wszystkimi mieszkańcami Ziemi, obserwujemy je przez ziemską atmosferę, której użytkownikami jesteśmy wspólnie z całą ludzkością, zaś nasze obserwatoria kosmiczne dzielą przestrzeń pospołu z innymi satelitami oraz ze wzrastającą ilością odpadów kosmicznych. Również inne formy działalności, zwłaszcza w dziedzinie lokalnej produkcji silnego promieniowania elektromagnetycznego (np. światła, transmisje telefoniczne i radiowe, itp.) mogą w znacznym stopniu utrudniać lub nawet uniemożliwiać nasze obserwacje. „Gwiazdę tolerancji" miały stanowić związane ze sobą 2 balony (jeden o średnicy 30 km !) na wysokiej orbicie, które świeciłyby jak najjaśniejsza gwiazda nieba. Za nią wprowadzane byłyby zapewne inne obiekty zaśmiecające Kosmos i niweczące wysiłki jego badaczy. Pomysł „gwiazdy tolerancji" to wielkie wyzwanie edukacyjne dla astronomów i alarmujące wezwanie do bacznej obrony i ochrony nocnego nieba!

Niejako „na gwiazdkę" Astronomia Polska w osobie naszego Kolegi i Mistrza profesora Bohdana PACZYŃSKIEGO została uhonorowana nagrodą Fundacji Nauki Polskiej. Laureatowi gratulujemy serdecznie. Więcej piszemy o tym wyróżnieniu na str. 183.

Natura praw Fizyki, to treść pięknego artykułu Profesora Andrzeja Hrynkiewicza z Krakowa otwierającego niniejszy zeszyt. Jesteśmy bardzo wdzięczni Panu Profesorowi, że zechciał się podzielić z czytelnikami „Postępów Astronomii" swą wiedzą i swymi przemyśleniami na ten temat.

Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury... cz. II to dalszy ciąg rozważań Docenta Tadeusza Jarzębowskiego z Wrocławia na temat teorii względności. Razem z cz. I publikowaną w zeszycie 3/96 „Postępów" mamy obraz ogromnego znaczenia teorii Einsteina dla rozumienia natury otaczającego nas świata i zjawisk jakie w nim obserwujemy... Oczywiście to nie 50 (jak napisaliśmy w poprzednim zeszycie - przepraszamy!), ale dopiero minęła 40 rocznica śmierci Alberta Einsteina - Wielki Fizyk zmarł w 1955 roku.

Pan Docent Jan Hanasz przedstawia pracę na orbicie swego eksperymentu kosmicznego POLRAD. Aparatura ta, zaprojektowana i wykonana w Polsce, pracuje na pokładzie rosyjskiego satelity „Sonda Zorzowa" wprowadzonego do magnetosfery ziemskiej w dniu 29 sierpnia 1996 (patrz PA 2/96 str. 73 -75). Koledze Hanaszowi i Jego współpracownikom serdecznie gratulujemy udanego eksperymentu!

Radioastronomia coraz bardziej zdecydowanie wyróżnia nową klasę radioźrodeł, które mają znaczenie kosmologiczne. Pisze o tym mgr Jacek Niezgoda z Torunia.

Stan „świadomości astronomicznej" uczniów kończących polską szkołę podstawową (i przy okazji studentów Filologii Polskiej na Uniwersytecie Gdańskim) został poddany testom przez kończącego swe studia wyższe Krzysztofa Cilulko z Gdańska. Zachęcamy, zwłaszcza zawodowych astronomów i nauczycieli fizyki, do zapoznania się z wynikami tych badań publikowanych tu na str 184.

Jak zwykle donosimy o najnowszych odkryciach dokonanych Teleskopem Kosmicznym Hubble'a, o odkryciach dokonanych innymi instrumentami i o wydarzeniach w krajowym życiu astronomicznym. Oddajemy też więcej niż zwykle miejsca naszym Kolegom Miłośnikom Astronomii, publikując ich piękne obserwacje tegorocznego zaćmienia Słońca oraz inne ich zdjęcia ciał niebieskich.

Możemy się podzielić z Czytelnikami dobrą wiadomością: „Postępy Astronomii" mają już swoją stronę w INTERNECIE. Nasz adres do strony WWW „Postępów" jest podany w „stopce" tego zeszytu. Czytelników tej strony prosimy o komentarze i uwagi. Oczywiście zawsze oczekujemy reakcji PT Czytelników zarówno na treści merytoryczne, jak i na szatę naszego Pisma.

Mam nadzieję, że zmiana ceny „Postępów", nie zmieni Państwa tak bardzo ciepłego i życzliwego stosunku do naszego Pisma i w następnym roku też pozostaniecie naszymi wiernymi czytelnikami.

Życzę Państwu przyjemnej lektury, udanej „Gwiazdki" i wszelkiej pomyślności w Nowym Roku

Toruń, w listopadzie 1996 roku

Redakcja
„Postępów Astronomii"

Rok 1996 był atrakcyjnym dla obserwatorów zjawisk astronomicznych, także dla amatorów. W marcu i kwietniu doskonale była widoczna nawet gołym okiem kometa Hyakutake. W Centrum Astronomicznym (ul. Bartycka 18, Warszawa), gdzie ma siedzibę Oddział Warszawski Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii, członkowie Zarzadu Oddziału PTMA (Roman Fangor, Janusz Wiland i Lucjan Newelski) przeprowadzili ponad 15 pokazów tej komety, wykonano też w PTMA kilkadziesiat zdjęć i kilka obserwacji astrometrycznych.

Był to także rok wyjątkowy, jeśli chodzi o zjawiska zakryciowe.

W nocy z 3/4 kwietnia br. można było obejrzeć *całkowite zaćmienie Księżyca*. Na pokaz, mimo późnej pory, przybyło do Centrum Astronomicznego oprócz obserwatorów PTMA także kilkunastu uczniów z jednego z Liceów Ogólnokształcących w Warszawie, a nawet ekipa telewizyjna z „PORIONU". Niestety, pogoda uniemożliwiła obserwację tego zaćmienia.

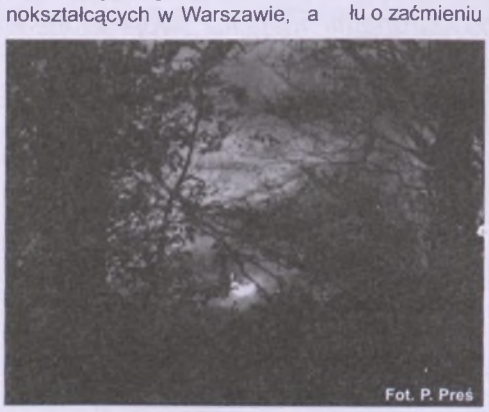
12 lipca w godzinach przedpołudniowych w Centrum Astronomicznym prowadzono obserwację *zakrycia Wenus przez Księżyc* (tym razem indywidualnych uczestników pokazu nie było). Dość dobra pogoda umożliwiła zrealizowanie części programu obserwacyjnego, wykonano także kilka zdjęć.

Po północy 27 września nastąpiło drugie w tym roku *całkowite zaćmienie Księżyca*. I tym razem pogoda uniemożliwiła wykonanie jakiejkolwiek obserwacji, mimo że Księżyc był jeszcze widoczny na godzinę przed początkiem zaćmienia częściowego. Tak jak poprzednio, na pokaz przyjechało ok.10 uczniów.

1 października prowadzono udaną obserwację *zakrycia Aldebarana przez Księżyc*. Zakrycie było pierwszym widocznym w Polsce z kolejnej, trwającej kilka lat, serii zakryć Hiad i Aldebarana przez Księżyc.

Największym zainteresowaniem cieszyło się jednak *częściowe zaćmienie Słońca* w dniu 12 października 1996r.

Oddział Warszawski PTMA zorganizował (przy pomocy pracowników naukowych Centrum Astronomicznego) pokaz tego zaćmienia dla członków Towarzystwa i dla wszystkich zainteresowanych. Dobra pogoda, informacje w mediach i komunikat Oddziału o zaćmieniu sprawiły, że w tym pokazie wzięła udział rekordowa (od ponad 25 lat) ilość osób – 120 (jako pewną „ciekawostkę" mogę dodać, że podczas pokazu częściowego zaćmienia Słońca w maju 1993 r. niżej podpisany oraz mgr Janusz Wiland – jako prowadzący pokaz – byli jego jedynymi uczestnikami).



Obserwatorzy Oddziału wykonywali zdjęcia sprzętem Towarzystwa; goście mogli oglądać zaćmienie na ekranie, na który rzucano obraz Słońca z teleskopu Newtona 150/1000 [mm]. Wiele osób korzystało ponadto z ciemnych filtrów a nawet maski spawalniczej. Warto dodać, że w Warszawie do tej pory nie ma publicznego obserwatorium, nawet takiego, jakie jest np. w Niepołomicach koło Krakowa, ale od kilku lat trwają w CAMK-u prace przy budowie własnego obserwatorium PTMA.

Załączone zdjęcia zaćmienia Słońca (ogółem ponad 30) wykonałem w Centrum Astronomicznym, refraktorem Zeissa 80/1200 z ciemnymi filtrami. Pozostałe ilustrują przebieg pokazu, w którym wzięło udział m.in. wielu uczniów, także ze szkół podstawowych.

Roman Fangor

Red. *Gratulujemy udanego roku, a szczególnie licznej rzeszy zainteresowanych pokazami. Ostatnio, dzięki interesującym zjawiskom na niebie i efektywnej działalności masmediów istotnie daje się zauważyć wzrost zainteresowania tą wspaniałą dziedziną wiedzy, jaką jest niewątpliwie astronomia.*

Część zdjęć zaćmienia Słońca w dniu 12 października br. nadesłanych przez Pana prezentujemy obok oraz na kolorowej wkładce, której środek w całości poświęciliśmy temu zjawisku. Znalazły się tam również zdjęcia nadesłane przez panów Zbigniewa Bereszyńskiego z Opola (zdjęcia wykonane nad zamkiem w Prószkowie) i Andrzeja Binkiewicza z miejscowości Kępie k. Kozłowa. Serdecznie dziękujemy.

Podobnie jak to miało miejsce w Warszawie, również w Grudziądzu, na tarasie tamtejszego obserwatorium odbyły się publiczne pokazy przebiegu zjawiska, w czym uczestniczyła znaczna część redakcji PA, ponieważ właśnie tego dnia miało miejsce w Grudziądzu zebranie redakcyjne zamykające trzeci tegoroczny numer Postępów. Dodatkową atrakcję pokazów stanowiły tzw. słońca poboczne – nie mogłyby ich zakryć nawet słynne przed laty księżyce Kordylewskiego!

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 (IA UMK Toruń)

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

Redakcja techniczna i opracowanie graficzne: Jacek Drążkowski

Korekta: Małgorzata Śróbka - Kubiak

Redakcja w Toruniu:
Instytut Astronomii UMK
ul.Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. 260-18 w. 51

Poczta elektroniczna (e-mail address);
aw@astri.uni.torun.pl

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

http://postepy.camk.edu.pl

Druk: Zakład Poligraficzno-Wydawniczy *POZKAL*, Inowrocław,

Dystrybucja: Barbara Gertner, Instytut Astronomii UMK, Toruń

Numer zamknięto w grudniu 1996 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 •

Pismo jest dofinansowywane przez Komitet Badań Naukowych, Fundację Astronomii Polskiej i Komitet Astronomii PAN.

© POSTĘPY ASTRONOMII 1996

W NUMERZE:

148 **O istocie praw fizyki i granicach poznania**

Andrzej Z. Hrynkiewicz

Rozwój nauki, a w szczególności fizyki ogranicza obszar irracjonalizmu. Wyjaśnianie struktury i dynamiki otaczającego nas świata zmniejsza zakres zjawisk, które są przypisywane działaniu bóstw, duchów i innych sił nadprzyrodzonych. Powstaje jednak pytanie, czy istnieją granice poznania...

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

Obrazy zórz polarnych na Jowiszu (176).
Narodziny galaktyk (178).

155 **„Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury, ..." cz. II**

Tadeusz Jarzębowski

O tym, że jabłka spadają z drzewa, czy też, że Księżyc krąży wokół Ziemi, wiedziano od dawna. Newton stworzył teorię wyjaśniającą te zjawiska.Z dziełem Einsteina było inaczej. Motywacją była tu głęboka, filozoficzna potrzeba poszukiwania prostoty i jedności w przyrodzie.

161 **Datowanie narodzin Jezusa Chrystusa**

Paweł Preś

Datowanie narodzin Jezusa z Nazaretu jest problemem bardzo trudnym. Bez mała należy to zagadnienie nazwać procesem poszlakowym, gdyż brak jest informacji mogących jednoznacznie określić ten moment.

171 **Tajemnice źródeł radiowych klasy GPS**

Jacek Niezgoda

Pierwsze przeglądy radiowe nieba dały początek prostemu podziałowi klasyfikacyjnemu obiektów radiowych... Klasa radioźródeł GPS jest jednym z ważnych problemów dzisiejszej astronomii radiowej.

189 **Kalendarz perski**

Kazimierz M. Borkowski

Jednym z mniej znanych w Polsce kalendarzy jest kalendarz perski nazywany też jalaali (czyt.: dżalali) używany w Iranie i okolicznych obszarach takich jak Afganistan, republiki środkowej Azji i Kurdyjska Mezopotamia.

rozmaitości

Ganimedes w obiektywie sondy Galileo (166).
Ozon w ziemskiej atmosferze (168).
Sonda Zorzowa bada ziemską atmosferę (169).

165 **Konkurs o kometach.**
180 **W kraju:** *Pierwsze bieszczadzkie spotkanie dyskusyjne.*
181 *Technika CCD w astronomii: Szkoła PTA.*
182 *Polsko-francuska współpraca w dziedzinie astronomii.*
183 *Astrofizyk prof. Bohdan Paczyński laureatem nagrody FNP na rok 1996.*
184 **Astronomia w szkole:** *Stan wiedzy astronomicznej absolwentów szkół podstawowych.*
190 **Felieton:** *Gwiazda tolerancji.*
192 **Indeks artykułów i autorów *PA* 1996 r.**

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

NA OKŁADCE: *Pokłon trzech króli- słynny fresk Giotta z kaplicy Areny w Padwie. W roli „gwiazdy betlejemskiej" kometa Halley'a, którą Giotto widział w 1301 r. (fresk powstał w latach 1303 - 1305).*

O ISTOCIE PRAW FIZYKI I GRANICACH POZNANIA[1)]

Andrzej Z. Hrynkiewicz

Rozwój nauki, a w szczególności fizyki, której poświęcę ten artykuł, ogranicza obszar irracjonalizmu. Wyjaśnianie struktury i dynamiki otaczającego nas świata zmniejsza zakres zjawisk, które są przypisywane działaniu bóstw, duchów i innych sił nadprzyrodzonych. Powstaje jednak pytanie, czy istnieją granice poznania. Innymi słowy czy, mimo rozwoju nauk, nie pozostanie na zawsze pewien obszar zjawisk nie poddających się naukowej analizie.

Zastanówmy się, z czego mogą wynikać granice poznania. Oczywiście takie granice mogą być narzucone przez niedoskonałość ludzkiego umysłu. Załóżmy jednak, że intelektualne możliwości człowieka są nieograniczone, a przynajmniej, że dalszy rozwój gatunku homo sapiens może do takiej nieograniczoności, a więc doskonałości prowadzić. Wielu fizyków uważa, że mimo tego istnieją bariery poznania głęboko zakotwiczone u podstaw funkcjonowania postrzeganego przez nas świata. Są nimi charakter praw fizyki, niedoskonałość języka fizyki, jakim jest matematyka i wreszcie złożoność struktur i procesów, z którymi mamy do czynienia.

Chciałbym przedstawić bardzo uproszczony obraz fizycznej wiedzy o Wszechświecie i wskazać na te jej aspekty, które powodują, że XIX -wieczne przekonanie o zakończonej budowie gmachu fizyki było bardzo dalekie od prawdy.

Max Planck opowiadał, że w czasie gdy był młodym adeptem fizyki starszy kolega współczuł mu, że wybrał tak nieciekawą dziedzinę pracy. W fizyce, mówił, wszystko co ważne i ciekawe zostało już odkryte, a twoja rola sprowadzi się do odkurzania przyrządów zbudowanych poprzednio przez innych. Jak wiadomo Planck stał się na przełomie XIX i XX stulecia twórcą nowego rozdziału fizyki, a w XX wieku fizyka przeżyła wspaniały, nieprzewidywany poprzednio rozkwit. Fizycy końca XX wieku są dalecy od przekonania, że wszystko już potrafimy wyjaśnić i wcale nie są pewni, czy wszystko da się wyjaśnić w przyszłości. Gdy po powstaniu mechaniki kwantowej rozgorzała dyskusja na temat determinizmu i indeterminizmu w przyrodzie, Erwin Schrödinger napisał w jednej ze swych książek, że nad wejściem do gmachu fizyki należy wywiesić napis: „remont - filozofom wstęp wzbroniony". Jak długo jednak można prowadzić remont i nie wpuszczać filozofów?

Rola filozofii w rozwoju nauk przyrodniczych uległa jednak zmianie. Nowe teorie fizyczne są tworzone przez wysoko wyspecjalizowanych uczonych, operujących bardzo złożonym aparatem matematycznym i właściwie tylko oni mogą nadać filozoficzną interpretację uzyskiwanym wynikom. Tworzenie systemów filozoficznych przez myślicieli, którzy opierają swoje koncepcje na głębokim zrozumieniu całokształtu współczesnej wiedzy przyrodniczej stało się niemożliwe. Posługiwanie się popularnonaukowymi, uproszczonymi opisami nowych teorii fizycznych może łatwo prowadzić do fałszywego rozumienia ich filozoficznych konsekwencji. Klasyczna definicja filozofa powinna ulec zmianie, nie czuję się jednak na siłach, by zaproponować nowe jej ujęcie, tym bardziej, że nie jestem pewien, czy jednoznaczna definicja filozofa nadal istnieje.

Powstanie i ewolucja Wszechświata

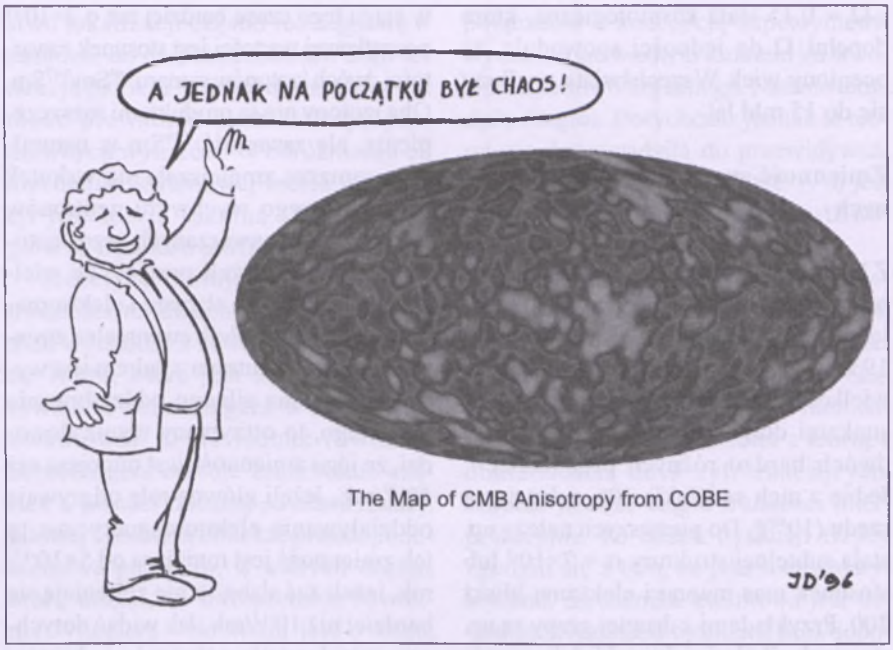
Zajmijmy się przez chwilę stanem naszej wiedzy o powstaniu i ewolucji Wszechświata. Pogląd, że Wszechświat powstał w Wielkim Wybuchu (*Big Bang*) ok. 15 mld lat temu jest nadal powszechnie akceptowany, chociaż jego pierwotna wersja uległa zmianom, a kilka spornych kwestii wymaga jeszcze rozstrzygnięcia. Model Wielkiego Wybuchu jest poparty trzema niepodważalnymi obserwacjami. Pierwszą z nich jest przesunięcie do czerwieni promieniowania odległych obiektów astronomicznych. Przesunięcie to, jak stwierdził Hubble, jest proporcjonalne do odległości i tłumaczy się rozszerzaniem się Wszechświata. Druga obserwacja to uniwersalny stosunek ilości wodoru do helu, wynoszący 3:1. Jest on zgodny z naszą wiedzą o nukleosyntezie w warunkach jakie panowały w ciągu kilkunastu minut po Wielkim Wybuchu. Pierwotna nukleosynteza mogła doprowadzić tylko do powstania helu i śladowych ilości deuteru, ^{3}He i ^{7}Li. Cięższe pierwiatki powstały znacznie później we wnętrzach gwiazd. Trzecim z najważniejszych argumentów przemawiających za hipotezą Wielkiego Wybuchu, jest zaobserwowane w 1965 r. przez Penziasa i Wilsona promieniowanie reliktowe, o długości fali odpowiadającej temperaturze ok. 3 K, pochodzące sprzed kilkunastu miliardów lat. Dopóki pierwotny Wszechświat składał się z niezależnych cząstek o ładunkach dodatnich i ujemnych oraz z promieniowania, panowała między nimi równowaga termodynamiczna, która odpowiadała malejącej temperaturze rozszerzającego się Wszechświata. Promieniowanie, rozpraszając się przede wszystkim na swobodnych elektronach pozostawało w równowadze termodynamicznej z materią w postaci cząstek. Kiedy jednak ok. 300 000 lat po Wielkim Wybuchu temperatura spadła do ok. 3000 K, elektrony, protony i cząstki α zaczęły tworzyć neutralne atomy wodoru i helu i oddziaływanie

[1)] Niniejszy artykuł jest zmienioną wersją referatów wygłoszonych w Lublinie z okazji obchodów 50-lecia Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej (październik 1994) i we Wrocławiu na XXXIII Zjeździe Fizyków Polskich (wrzesień 1995).

promieniowania ze swobodnymi elektronami zostało przerwane. Wszechświat stał się przeźroczysty dla promieniowania, którego długość fali odpowiadająca temperaturze 3000 K, wynosiła ok. 970 nm. Przesunięcie do czerwieni spowodowane dalszym rozszerzaniem się Wszechświata doprowadziło do tego, że obecnie długość fali promieniowania reliktowego wynosi ok. 1 mm, co odpowiada temperaturze ok. 3 K. Kłopot sprawiała niebywała izotropowość tego promieniowania, którego rozkład odpowiadał promieniowaniu ciała doskonale czarnego bez żadnych fluktuacji. To świadczyłoby, że Wszechświat w 300 000 lat po Wielkim Wybuchu był idealnie jednorodny. Skąd wzięły się w takim razie galaktyki i kwazary, jeżeli wczesny Wszechświat nie wykazywał żadnych fluktuacji gęstości. Dwa lata temu dane zebrane przez satelitę COBE (*Cosmic Background Explorer*) pokazały, że tło promieniowania reliktowego wykazuje jednak niejednorodności. Co prawda fluktuacje są bardzo małe, bo wynoszą zaledwie 30 μK, ale to wystarczyło, żeby uratować kosmologię Wielkiego Wybuchu.

Standardowy model Wielkiego Wybuchu nie rozwiązuje szeregu problemów, takich jak problem horyzontu, gładkości, płaskości i braku monopoli magnetycznych. Ich rozwiązanie sprowadza się do pytania, jak wyglądały początkowe etapy ekspansji gorącego Wszechświata. Odpowiedź na to pytanie daje model inflacyjny, który zakłada, że w 10^{-35} s po Wielkim Wybuchu Wszechświat przeżył krótko trwającą (do 10^{-33} s), gwałtowną ekspansję, nazwaną inflacją, w czasie której średnica Wszechświata wzrosła ok. 10^{50} razy. Jeżeli model inflacyjny jest poprawny to postrzegany przez nas Wszechświat jest niezwykle małą częścią całego Wszechświata. Według twórców nowego modelu inflacji Gutha i Steinhardta, proponowany model może dostarczyć informacji o mechanizmie powstania świata z nieskończenie małego obszaru i przy zerowej energii początkowej, a więc dosłownie z niczego.

Wszechświat mógł powstać zgodnie z prawami fizyki, a w szczególności z zachowaniem ładunku, krętu i energii. Trzy te wielkości były i są równe zeru. Gdyby ładunki dodatnie i ujemne nie kompensowały się do zera, to ekspansja Wszechświata byłaby szybsza i nie mogłyby się utworzyć obszary o dużej



gęstości. Gdyby Wszechświat się obracał, to promieniowanie reliktowe wykazywałoby anizotropię. Jego natężenie byłoby największe w kierunku osi obrotu. We Wszechświecie zamkniętym dodatnia energia odpowiadająca masie jest dokładnie zrównoważona przez ujemną, potencjalną energię grawitacyjną.

W centrum uwagi dzisiejszej kosmologii są jeszcze dwa problemy, które muszą być wyjaśnione. To sprawa wartości stałej Hubble'a i zagadka stałej kosmologicznej. Żeby określić jak długo Wszechświat się rozszerza, a więc wyznaczyć jego wiek, oprócz pomiaru przesunięcia do czerwieni czyli szybkości ucieczki daleko położonych obiektów astronomicznych, musi być zmierzona ich odległość. Jest to problem, z którym borykają się dwa zespoły w Kaliforni. Zespół Allana Sandage'a doszedł do wniosku, że stała Hubble'a, określająca szybkość oddalania się galaktyk wynosi 43 ± 11 km s^{-1}Mps^{-1} [2], a zespół Gerarda de Vaucouleurs'a podał wartość dwukrotnie większą, bo 85 ± 4 km s^{-1}Mps^{-1}. Jeżeli prawdziwa jest ta większa wartość, to okazałoby się, że Wszechświat jest młodszy od najstarszych gwiazd.[3]

Sprawa stałej kosmologicznej jest ściśle związana z zagadką brakującej masy, przez to rzutuje na przyszłość Wszechświata. Jeżeli masa jest dostatecznie duża, to Wszechświat jest zamknięty i po ekspansji nastąpi jego kontrakcja, jeśli masa jest zbyt niska, to będzie się rozszerzał w nieskończoność. Według obecnych danych gęstość materii we Wszechświecie stanowi 0.2 gęstości krytycznej. Żeby Wszechświat zamknąć potrzebna jest niewidoczna masa, którą może być masa poszukiwanych cząstek Higgs'a lub różna od zera masa neutrino. Ale jest również inna droga zrównoważenia masy i doprowadzenia do tego żeby stosunek Ω gęstości energii do jej gęstości krytycznej był równy jedności. Jest nią wprowadzenie do równań ogólnej teorii względności stałej kosmologicznej. Wprowadził ją już Einstein, chcąc uzyskać Wszechświat stacjonarny, jednorodny i izotropowy, a następnie się jej wyparł, uważając że to był największy błąd w jego życiu naukowym. Otóż stała kosmologiczna jest proporcjonalna do energii próżni, a więc jej uwzględnienie jest równoważne z wniesieniem dodatkowej masy do masy Wszechświata. Wprowadzenie stałej kosmologicznej rozwiązuje jednocześnie dwa problemy. Po pierwsze może uczynić Wszechświat płaskim, co przewiduje model inflacyjny, a po drugie przypisanie pustej przestrzeni ujemnej energii, a taki jest sens fizyczny wprowadzenia stałej kosmologicznej stwarza tendencję samorzutnej ekspansji, której szybkość rośnie z czasem. Stała kosmologiczna spełnia jak gdyby rolę antygrawitacji, z tym, że jej źródłem nie jest masa, ale własność czasoprzestrzeni. W ten sposób nawet dla stałej Hubble'a 75 km s^{-1}Mps^{-1}.

[2] 1 Mps = $3{,}27 \times 10^6$ lat św. = $3{,}09 \times 10^{13}$ km.

[3] Najnowsze pomiary odległości, m.in. przy pomocy orbitalnego teleskopu Hubble'a (HST) dają wynik: 75 ± 15 km s^{-1} Mps^{-1}. Z drugiej strony okazało się, że jedne z najstarszych gwiazd (*RR Lyrae*) są w rzeczywistości młodsze niż szacowano poprzednio. Wydaje się więc, że niepokojąca sprzeczność została usunięta.

i $\Omega = 0{,}15$ stała kosmologiczna, która dopełni Ω do jedności spowoduje, że oceniony wiek Wszechświata wydłuży się do 15 mld lat.

Zmienność w czasie stałych fizycznych

Z historią Wszechświata, która obejmuje miliardy lat, wiąże się zagadnienie stałości w czasie stałych fizycznych. W 1938 r. Dirac zwrócił uwagę na to, że wielkości bezwymiarowe, które są stosunkami długości, mas, sił itp. leżą w dwóch bardzo różnych przedziałach. Jedne z nich są bliskie 10^n, a drugie są rzędu $(10^{40})^n$. Do pierwszych należy np. stała subtelnej struktury $\alpha = 7\times10^{-3}$ lub stosunek mas muonu i elektronu bliski 200. Przykładami z drugiej grupy są np. stosunek siły kulombowskiej do grawitacyjnej rzędu 10^{42} lub stosunek promienia Hubble'a do promienia Bohra, rzędu 10^{37}. Do tej drugiej grupy należy również wiek Wszechświata wyrażony w jednostkach czasu atomowego, jakim jest czas przelotu światła przez klasyczny promień elektronu. Dirac wyraził przypuszczenie, że wszystkie te wielkie liczby powinny mieć wspólne źródło, a więc jeżeli jedna z nich zawdzięcza swoją wielkość wiekowi Wszechświata, to dlaczego inne nie mogłyby również zależeć od tego wieku. W szczególności wysunął hipotezę, że stała grawitacji G nie jest wielkością stałą, ale maleje z czasem i jest odwrotnie proporcjonalna do wieku Wszechświata: $G \sim t^{-1}$. Ta hipoteza wzbudziła duże zainteresowanie. Wkrótce pokazano jednak, że przeczą jej dane paleontologiczne. Gdyby stała grawitacji malała odwrotnie proporcjonalnie do wieku Wszechświata, to miliard lat temu, wskutek większej jasności Słońca i mniejszego promienia orbity Ziemi, a więc w erze Prekambru, powierzchnia Ziemi musiałaby mieć temperaturę przekraczającą 100°C, a więc nie byłoby jeszcze oceanów i życia, którego pierwsze ślady są datowane na 3,5 mld lat wstecz.

Nadal jednak poszukiwano danych, które świadczyłyby o stałości w czasie innych stałych fizycznych. Ciekawe, że o stałości w czasie sił jądrowych i kulombowskich świadczą pozostałości po naturalnych reaktorach jądrowych Oklo w Gabonie, w których reakcja łańcuchowa rozszczepienia ^{235}U przebiegała dwa miliardy lat temu. Dowodem na to, że energia wiązania jąder nie zmieniła się w ciągu tego czasu bardziej niż o 2×10^{-11} początkowej wartości jest stosunek zawartości dwóch izotopów samaru $^{149}Sm/^{147}Sm$. Oba izotopy nie są produktami rozszczepienia, ale zawartość ^{149}Sm w naturalnym samarze zmniejszała się wskutek rezonansowego wychwytu neutronów termicznych wytwarzanych przez naturalne reaktory. Jeżeli przyjąć, że wielkości oddziaływań słabego i elektromagnetycznego są stałe, a ewentualna zmiana sprzężenia neutronu z jądrem jest wywołana zmianą silnego oddziaływania jądrowego, to otrzymany wynik dowodzi, że jego zmienność jest mniejsza niż 10^{-19}/rok. Jeżeli główną rolę odgrywają oddziaływania elektromagnetyczne to ich zmienność jest mniejsza od 5×10^{-17}/rok, jeżeli zaś słabe, to nie zmieniają się bardziej niż 10^{-12}/rok. Jak widać dotychczasowe dane nie potwierdzają hipotezy Diraca o zmienności w czasie stałych fizycznych.

Teorie świata subatomowego

Cztery oddziaływania elementarne: elektromagnetyczne, słabe, silne i grawitacyjne obecnie bardzo różnią się między sobą. W pierwotnym, symetrycznym Wszechświecie o idealnej równowadze, w temperaturze 10^{27} K i w czasie krótszym niż 10^{-35} s po Wielkim Wybuchu, wszystkie oddziaływania były zunifikowane. Ambicją Teorii Wielkiej Unifikacji (*Grand Unified Theory - GUT*) jest sprowadzenie trzech oddziaływań: elektromagnetycznego, silnego i słabego do wspólnego źródła i wyjaśnienie obserwowanych obecnie wielkich różnic między nimi, przejściem Wszechświata do fazy złamanej symetrii . Następny krok to włączenie oddziaływania grawitacyjnego i stworzenie Teorii Wszystkiego (*Theory of Everything* - TOE).

Gdyby znane były prawa świata subatomowego, to wówczas wyrażające je równania prowadziłyby do rozwiązań uwzględniających wszystkie symetrie i wszystkie zasady zachowania. W klasycznej elektrodynamice taką rolę spełniają równania Maxwella. W obecnej sytuacji, gdy nie wszystkie prawa oddziaływania między cząstkami elementarnymi są znane, badanie symetrii jest potężnym narzędziem poznania Wszechświata.

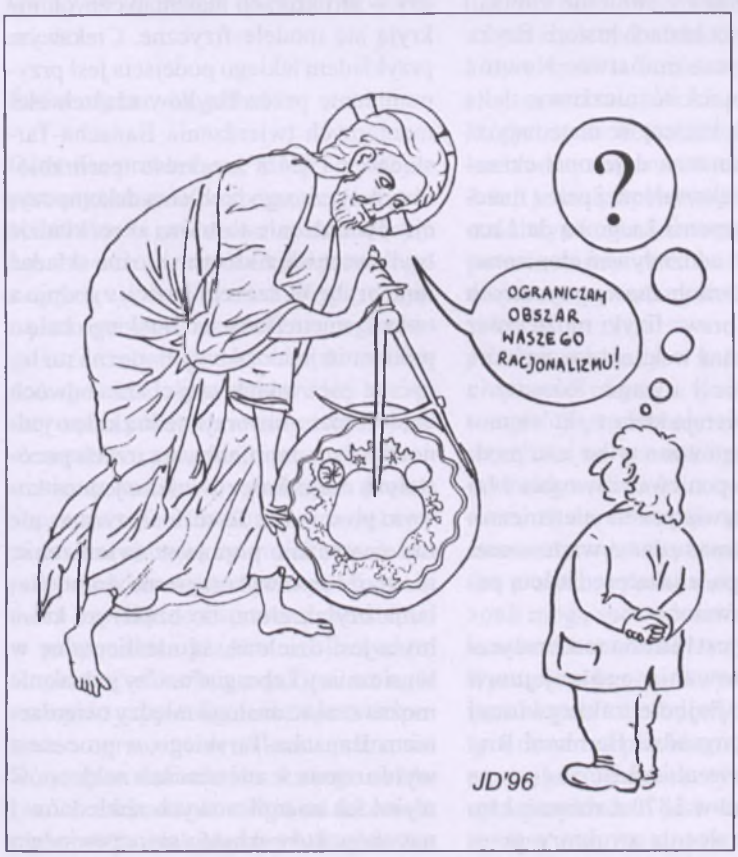
Z faktu, że zjawiska fizyczne są niezmiennicze względem pewnej operacji symetrii wynika na ogół zachowanie pewnej podstawowej wielkości. I tak, z niezmienniczości względem translacji w czasie wynika zasada zachowania energii, z niezmienniczości względem przesunięcia i obrotu w przestrzeni wynikają zasady zachowania pędu i krętu, a niezmienniczość względem zmiany fazy funkcji falowej w mechanice kwantowej prowadzi do zasady zachowania ładunku. Na uwagę zasługują szczególnie ważne w świecie subatomowym symetrie względem sprzężenia ładunkowego C (operacji zamiany cząstki na antycząstkę), zmiany parzystości P (zmiany kierunku wszystkich trzech osi układu współrzędnych: x, y, z) i zmiany strzałki czasu T. Tylko oddziaływania elektromagnetyczne i silne są niezmiennicze względem każdej z tych operacji symetrii oddzielnie. Oddziaływania słabe nie respektują symetrii parzystości, nie są względem tej operacji niezmiennicze. Przykładem jest neutrino, które jest lewoskrętne w stosunku do kierunku lotu. Odbite w lustrze parzystości stałoby się neutrinem o prawej skrętności, a takiego w przyrodzie nie ma. Ktoś powiedział, że neutrino posiada cechy wampira, który jak wiadomo, nie ma odbicia w lustrze. Jednak podwójna operacja sprzężenia ładunkowego i zmiany parzystości, a więc operacja CP daje symetryczny obraz także dla słabych oddziaływań. W przypadku lewoskrętnego neutrina operacja CP daje prawoskrętne antyneutrino i wszystko jest w porządku. W 1964 r. Cronin i Fitch wykazali, że istnieje przypadek nieznacznego pogwałcenia symetrii CP. Dotyczy to rozpadu neutralnego mezonu K, który trochę częściej ulega rozpadowi na pozyton, mezon π^- i i neutrino niż na elektron, mezon π^+ i neutrino. Złamanie symetrii CP pociąga za sobą pogwałcenie symetrii T, gdyż niezmienniczość względem potrójnej operacji CPT wynika z faktu, że operator CPT komutuje z dowolnym hamiltonianem oddziaływania $[CPT, H] = 0$. Jaka jest przyczyna takiego pogwałcenia symetrii CP i T? Czy oprócz sił słabych występują siły supersłabe, mniejsze o wiele rzędów wielkości? Czy niezachowanie liczby barionowej, a więc asymetria materii i antymaterii we Wszechświecie jest z tym związana?

Ładunek jest zachowany nie tylko w skali globalnej, we Wszechświecie jako całości, ale również w każdym punkcie Wszechświata. Na przykład ładunek jest zachowany w punkcie, w którym foton γ

tworzy parę elektron-pozyton. Lokalne zachowanie ładunku wskazuje na to, że każda teoria oddziaływań elektromagnetycznych musi posiadać symetrię fazową w każdym punkcie. Ten warunek spełnia elektrodynamika kwantowa QED rozwinięta w 1940 r. przez Feynmana i Schwingera. Teoria, która oparta jest na zachowaniu symetrii względem przesunięcia fazy dzięki istnieniu dodatkowych cząstek pośredniczących, nosi nazwę teorii cechowania. Jest nią właśnie elektrodynamika kwantowa, w której cząstką przenoszącą oddziaływania jest foton. Teorią cechowania jest również teoria elektrosłabego oddziaływania, której bozony pośrednie W^+, W^- i Z zostały odkryte w CERN-ie w 1983 r. oraz chromodynamika kwantowa QCD - teoria silnych oddziaływań między kwarkami, przenoszonych przez osiem gluonów. Dotychczas nie ma zadowalającej kwantowej teorii grawitacji, a więc również teorii cechowania dla oddziaływań grawitacyjnych. Trudności w połączeniu geometrii czasoprzestrzeni, leżącej u podstaw ogólnej teorii względności ze statystycznym charakterem mechaniki kwantowej, operującej rozkładami prawdopodobieństwa, wynikają z fundamentalnych różnic między mikro- i makroświatem. Cechą mechaniki kwantowej jest jej nielokalność. Pakiet falowy opisujący prawdopodobieństwo lokalizacji cząstki rozciąga się w zasadzie do nieskończoności. Stąd redukcja pakietu falowego przez pomiar może prowadzić do zaskakujących, dziwnych wyników. W odróżnieniu od mechaniki kwantowej teoria grawitacji jest teorią lokalną. W tym tkwi główna trudność unifikacji obu teorii.

Teoretycy usiłują przezwyciężyć trudności na dwóch drogach. Jedna z nich wychodzi z równania Wheelera - de Witta, które jest analogiczne do równania Schrödingera w mechanice kwantowej. O ile jednak równanie Schrödingera opisuje zachowanie cząstek w postaci zależnej od czasu funkcji falowej i pozwala obliczać prawdopodobieństwa procesów, w których cząstki biorą udział, to interpretacja równania Wheelera - de Witta jest o wiele mniej jasna. Jeżeli rządzi ono zmianą w czasie funkcji falowej geometrii przestrzeni, to takie podejście wyróżnia współrzędną czasową i gubi jedność czasoprzestrzeni.

Druga droga to potraktowanie grawitacji w taki sam sposób jak innych oddziaływań elementarnych i wykorzystanie metod teorii pola, w której bezmasową czastką niosącą oddziaływanie jest grawiton. Przełomem w tym podejściu było w 1984 r. nowe spojrzenie na cząstkę subatomową. Green i Schwarz przypisali cząstkom, które poprzednio były traktowane jako punktowe, własności niewyobrażalnie cienkich (10^{-33} cm) drgających strun. Kwantowa teoria pola oparta na strunach pozwala na koegzystencję grawitacji z innymi oddziaływaniami. Wynika z niej istnienie grawitonów. Powstanie teorii superstrun przez połączenie z koncepcją supersymetrii wydawało sie ważnym krokiem ku stworzeniu Teorii Wszystkiego. Nadano temu duży rozgłos. Dotychczas jednak ta teoria nie doprowadziła do przewidywań, które mogłyby ją potwierdzić. A to jest przecież ostatecznym testem prawdziwości każdej nowej teorii.



U podstaw rozwijanych obecnie teorii leży mechanika kwantowa. Mimo, że odniosła olbrzymie sukcesy, pozwalając, między innymi, uzyskać zgodność eksperymentalnie wyznaczonego momentu magnetycznego elektronu z teorią z dokładnością do 9 cyfr znaczących, stwarza jeszcze ciągle trudności interpretacyjne. Po latach dyskusji fizycy zgodzili się z tym, że jako teoria statystyczna, mechanika kwantowa jest deterministyczna, bo względne prawdopodobieństwa wyników procesów kwantowych ewoluują w deterministyczny sposób. Do dziś jednak myślowy eksperyment zaproponowany przez Einsteina, Podolsky'ego i Rosena, czy paradoks kota Schrödingera, wywołują gorące dyskusje, które znalazły wyraz w postaci szeregu listów wybitnych uczonych do *Physics Today* wywołanych artykułem Feschbacha i Weisskopfa. W odpowiedzi na listy Feschbach i Weisskopf słusznie twierdzą, że kłopoty z interpretacją mechaniki kwantowej są pozorne i wynikają z ograniczonej stosowalności pojęć klasycznych w opisie obiektów mikroskopowych. Dlatego mechanika kwantowa wydaje się pod wieloma względami dziwaczną teorią. Obserwacje są wyrażone w języku fizyki klasycznej, której pojęcia nie zawsze mogą być stosowane do opisu zjawisk atomowych. Jeżeli pytanie, na które urządzenie eksperymentalne ma dostarczyć odpowiedzi, nie odpowiada sytuacji w świecie kwantowym, to mechanika kwantowa może dać odpowiedź tylko w formie probabilistycznej. Swoim uwagom Feschbach i Weisskopf dali znamienny tytuł „Zadaj bzdurne pytanie...".

Teoria wszystkiego (TOE), która wyjaśni wspólne pochodzenie wszystkich oddziaływań, będzie osiągnięciem naukowym o olbrzymiej randze, o którym od lat marzą fizycy. Wielu z nich uważa, że będzie to tryumf myśli ludzkiej nieporównywalny z niczym innym. W pełni uznaję doniosłość takiej teorii, ale wydaje mi się, że nazwa „teoria wszystkiego" może wprowadzać w błąd, bo sugeruje, że wszystko przez taką teorię

może być wyjaśnione. Niestety, TOE nie może wyjaśnić złożoności świata, w którym żyjemy. Nie przyczyni się na przykład do lepszego prognozowania pogody czy wyników wyborów parlamentarnych. Nie pozwoli na przewidywanie zdarzeń decydujących o dalszym rozwoju życia na Ziemi i o losach ludzkości. Obawiam się, że nie wyjaśni nam również przyczyny powstania i sensu istnienia Wszechświata.

Charakter praw fizyki

Zastanówmy się nad charakterem praw fizyki. Pytanie czy prawa fizyki są transcendentne jest pytaniem o najbardziej fundamentalnym znaczeniu. Jeżeli tak, jeżeli są niezależne od istnienia Wszechświata, a tylko manifestują się dzięki jego istnieniu, to powinny zawierać wytłumaczenie powstania Wszechświata. Jeżeli jednak prawa fizyki są immanentne, jeżeli dotyczą konkretnego naszego Wszechświata, a więc pojawiły się razem z nim, to nie mogą tłumaczyć jego powstania.

Immanentność praw fizyki rodzi następne pytanie: czy istnieje metaprawo (prawo praw), które narzuca wybór spośród możliwych Wszechświatów, tego w którym żyjemy. Odpowiedź na to pytanie może być bardzo prosta. Stałe fizyczne i prawa fizyki muszą być takie, żeby we Wszechświecie powstało życie i pojawili się inteligentni obserwatorzy, którymi właśnie jesteśmy. Jesteśmy na taki Wszechświat skazani, bo innego nie moglibyśmy obserwować. Jest to zasada antropiczna w jej tzw. słabej wersji. Można ją wyrazić w lapidarnej postaci zastępując kartezjańskie „cogito ergo sum" przez „cogito ergo mundus talis est". Słaba zasada antropiczna odpowiada więc na pytanie, dlaczego obserwowalny Wszechświat jest taki a nie inny. Nie tłumaczy jednak, dlaczego Wszechświat powstał i jaki jest sens jego istnienia. Na to nauka nie może dać odpowiedzi. Silna zasada antropiczna, która głosi, że człowiek jest ostatecznym celem Wszechświata nie jest hipotezą naukową. Jest to kwestia wiary, bez której nasze życie byłoby uboższe, a dla wielu straciłoby sens. Rozważania na ten temat są przedmiotem teologii i psychologii, a wiara w to, że zamysłem Boga było powstanie człowieka jest przesłaniem większości religii świata.

Wszechświat mógł powstać z niczego jako fluktuacja kwantowa. W erze Plancka tzn. w czasie krótszym niż 10^{-43} s był on mniejszy od odpowiadającej mu długości fali materii. Kwantowa zasada nieoznaczoności otulała cały Wszechświat. Cofając się w historii dochodzimy do sytuacji, kiedy czas przestaje istnieć. Hipoteza punktu osobliwego prowadzi do zniszczenia czasoprzestrzeni. Wszystko zostaje wymazane - przeszłości nie ma. W hipotezie Hartle-Hawkinga Wszechświata bez kresu, czas również znika, stając się czwartą współrzędną przestrzenną. Wszechświat w epoce Plancka nie miał brzegu, tak jak powierzchnia kuli nie ma brzegu w przestrzeni trójwymiarowej.

Dzisiejsza nauka odziera powstanie Wszechświata z elementu cudowności. Odbiera Bogu aktywną rolę stwórcy i pozbawia Go konieczności ingerencji w przebieg ewolucji świata. Poza naukowymi są przyczyna powstania oraz sens istnienia Wszechświata. Kwestie te są domeną wiary, która nadaje nam status dzieci bożych.

Fizyka a matematyka

Według Galileusza wielka księga natury jest napisana w języku matematyki, a James Jeans wyraził tę samą myśl mówiąc, że Bóg jest matematykiem. W dziejach rozwoju nauki wielcy fizycy tworzyli nowe działy matematyki, a wielcy matematycy chlubnie zapisali swe nazwiska na kartach historii fizyki. Przykładów jest mnóstwo. Newton stworzył rachunek różniczkowy, delta Diraca zrobiła karierę w matematyce, geometria Riemanna daje opis czasoprzestrzeni zniekształconej przez materię, a grupy symetrii Liego są dziś narzędziem teorii oddziaływań elementarnych. We wzorach matematycznych wyrażających prawa fizyki może przez lata kryć się cenna wskazówka, na którą nikt nie zwrócił uwagi. Równania Maxwella zawierają stałą c, która mogła być interpretowana tylko jako prędkość światła, a ponieważ równania Maxwella są relatywistycznie niezmiennicze, to ta stała ma tę samą wartość niezależnie od tego, z jaką prędkością porusza się obserwator.

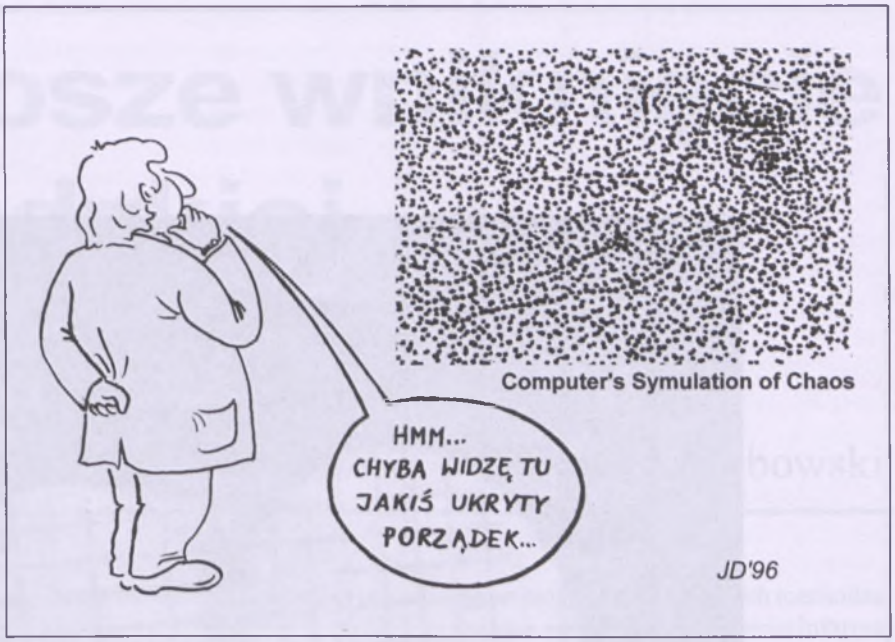
Pouczająca jest historia matematycznego sformułowania ogólnej teorii względności. Pojęcie zakrzywionej przestrzeni wprowadził Bernhard Riemann w połowie ubiegłego stulecia, a Wiliam Clifford w 1870 r. rozważał lokalne zniekształcenia struktury przestrzeni. Einstein o tym nie wiedział. Dopiero jego przyjaciel Marcel Grossman zwrócił mu na to uwagę. Herman Minkowski, który był nauczycielem Einsteina na Politechnice w Zürichu, kilka lat przed przedstawieniem przez Einsteina koncepcji szczególnej teorii względności, nazwał go leniem nie przykładającym się do matematyki. Gdyby Einstein był pilniejszym uczniem, to przypuszczalnie mógłby o 10 lat wcześniej sformułować ogólną teorię względności.

Wspomniałem już o znaczeniu w teorii cząstek elementarnych grup symetrii Liego. Każdej teorii cechowania odpowiada pewna grupa symetrii. W przypadku elektrodynamiki kwantowej jest nią grupa symetrii U(1), która ma jeden generator odpowiadający fotonowi. Teoria elektrosłabych oddziaływań jest oparta na grupie SU(2), która ma 3 generatory odpowiadające bozonom W^+, W^- i Z, a chromodynamika kwantowa, teoria silnych oddziaływań, bazuje na grupie symetrii SU(3). Jej ośmiu generatorom odpowiadają gluony.

Jeżeli świat jest matematyczny, jeśli zjawiska w nim występujące są opisane językiem matematyki, to słuszne wydaje się stanowisko Bruno Augensteina, że fizycy powinni szukać w rzeczywistym świecie odpowiedników koncepcji matematycznych, to jest zastanawiać się, czy w strukturach matematycznych nie kryją się modele fizyczne. Ciekawym przykładem takiego podejścia jest przypomnienie przez fizyków cząstek elementarnych twierdzenia Banacha-Tarskiego z 1924 r. z zakresu teorii zbiorów, dotyczącego problemu dekompozycji. Twierdzenie to mówi o rozkładzie brył na części, z których można składać inne bryły. W szczególności, zgodnie z twierdzeniem Banacha-Tarskiego kulę o promieniu jednostkowym można rozłożyć na pięć takich części, że z dwóch części można utworzyć jedną kulę o jednostkowym promieniu, a z trzech pozostałych drugą kulę również o jednostkowym promieniu. To surrealistyczne, ale matematycznie poprawne twierdzenie, nie może być wykorzystane do powielania bryłek złota, bo części na które bryła jest dzielona, są niemierzalne w sensie miary Lebesgue'a. Czy jednak nie można szukać analogii między twierdzeniem Banacha-Tarskiego, a procesem wytwarzania w zderzeniach nukleonów wysokich energii nowych nukleonów i mezonów, które składają się odpowiednio

z trzech i dwóch kwarków?
Rozważania o matematyczności świata nasuwają pytanie, czy język matematyki jest doskonały. Czy może ułomności tego języka narzucają ograniczenie poznania świata. Dawid Hilbert, w słynnym wykładzie wygłoszonym w 1900 r. zadał fundamentalne pytanie, czy każdy dowolnie skomplikowany problem matematyczny o charakterze obliczeniowym może być rozwiązany. Czy, po odpowiedniej liczbie kroków standardowej procedury, może być dana ostateczna odpowiedź: prawda lub fałsz. Kurt Gödel w początkach lat 30-tych pokazał, że są stwierdzenia matematyczne, nawet w dziedzinie arytmetyki, których prawdziwość lub fałszywość nie może być w ten sposób wykazana. Alan Turing, ojciec maszyn obliczeniowych, odkrył istnienie nieskończenie wielu liczb, które nie znajdują się na liście wszystkich liczb obliczalnych. Istnieją więc niewykonalne operacje matematyczne, których komputer nie może przeprowadzić, zapętlając się na zawsze.

Czy takie problemy matematyki nie mogą stać się źródłem jej niedoskonałości jako języka fizyki? Czy nie mogą powstać piękne teorie, których równania nie będą mogły być rozwiązane przy pomocy wykonalnych operacji matematycznych? Co przyniesie opanowanie teorii i techniki komputerów kwantowych? To są pytania na razie bez odpowiedzi.



Świat złożonych układów

Ostatnim problemem, który chciałbym poruszyć to sprawa olbrzymiej złożoności struktur i procesów w otaczającym nas świecie. Fizyka szukała praw dotyczących zjawisk elementarnych, stojąc na stanowisku redukcjonizmu, wg którego każda własność dowolnie skomplikowanego układu jest całkowicie i bez reszty uwarunkowana własnościami jego elementów i prawami nimi rządzącymi, a więc powstaje w wyniku ich prostej superpozycji. Nowoczesny redukcjonizm przyjmuje, że mechanizm superpozycji elementarnych części wnosi nowe aspekty do tworzonej całości, co w przypadku układów o olbrzymim stopniu złożoności, z jakimi na ogół mamy do czynienia, może stanowić poważne ograniczenie zakresu poznania. Dotyczy to makroświata, którego obiekty i ich zachowanie zależą od tak wielu parametrów i tak bardzo złożonych warunków początkowych, że nawet w tym tak deterministycznie układnym świecie przewidywanie staje sie niezwykle trudne. W przypadku mechaniki kwantowej fizycy, którzy nie mogli się pogodzić z myślą, że jest ona deterministyczna tylko w sensie teorii statystycznej, próbowali wprowadzić tak zwane ukryte parametry. W 1952 r. powstała teoria Bohma, którego w pełni deterministyczna interpretacja mechaniki kwantowej jest sprzeczna z interpretacją szkoły kopenhaskiej.

W przewidywaniu zachowania się w czasie złożonych układów makroświata kłopot sprawia konieczność dokładnej znajomości wszystkich parametrów, od których to zachowanie zależy, a których bezbłędna znajomość jest niemożliwa. Jeżeli jednak wpływ błędów na dokładność wyniku końcowego przejawia się powoli, to poprawne na ogół przewidywania mogą wybiegać daleko w przyszłość.

Istnieją układy, w których błędy początkowe rosną w przyspieszonym tempie. Są to układy chaotyczne, tak wrażliwe na warunki początkowe, że przewidywanie ich zachowania staje się niemożliwe. Obrazuje to powszechnie znane stwierdzenie, że uderzenia skrzydeł motyla w deszczowym lesie Amazonii mogą spowodować tornado w Teksasie. Chaotyczne zachowanie może wystąpić w przypadku procesów nieodwracalnych i nieliniowych. Może przy tym dotyczyć przebiegów czasowych o prostej postaci matematycznej. Klasycznym przykładem jest wzrost populacji opisany wzorem $x_{n+1} = \mu x_n (1-x_n)$, gdzie x_n oznacza stosunek populacji w n-tym roku do populacji maksymalnej, a μ jest efektywną szybkością wzrostu, która może się zmieniać od 0 do 4. Obliczając wielkości x w kolejnych latach można się łatwo przekonać, że dla małych wartości μ, populacja zmierza do stabilizacji, dla pośrednich μ oscyluje między dwiema wielkościami, a dla dużych μ, zmienia się w sposób chaotyczny.

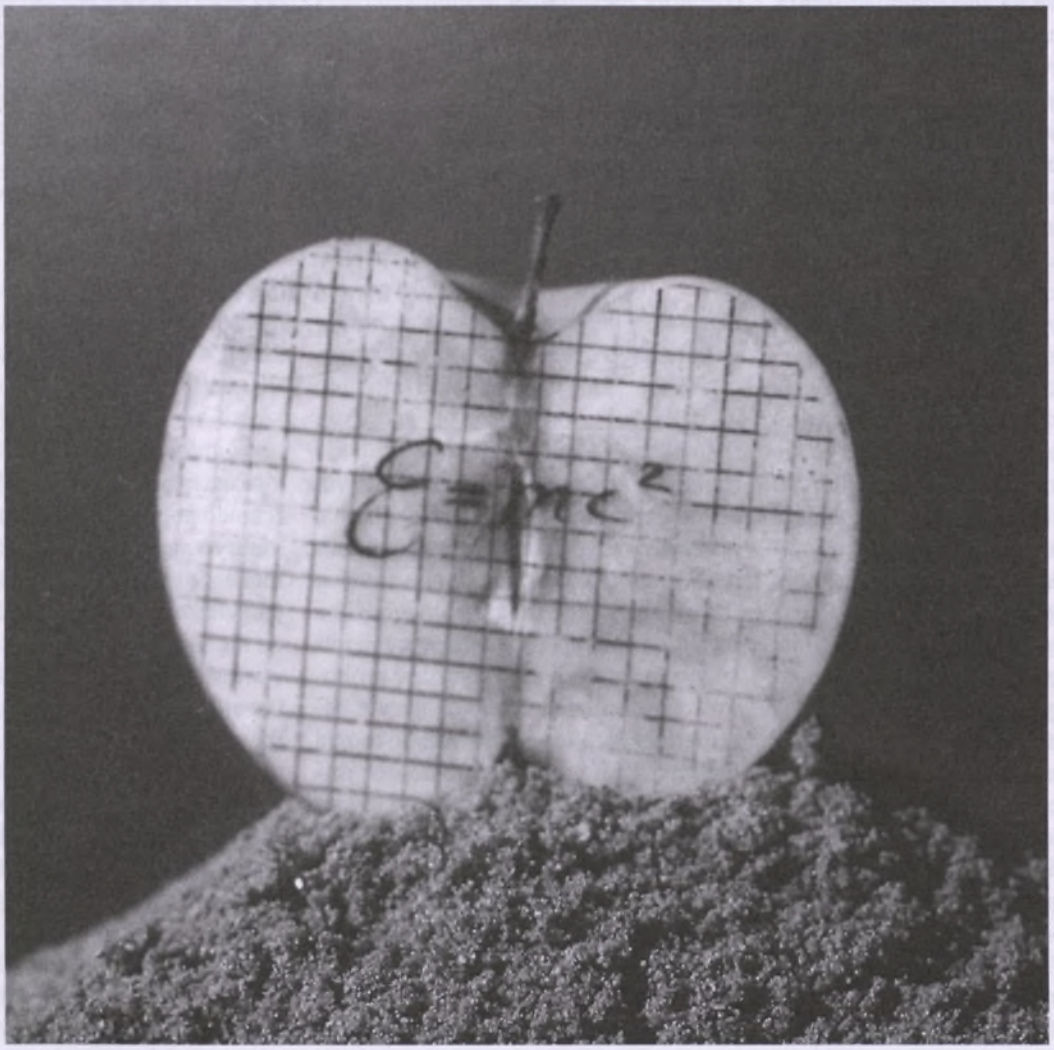
Pojawienie się szybkich komputerów spowodowało, że zaczęliśmy doceniać znaczenie teorii chaosu, ale nawet największe i najszybsze komputery nie pozwolą rozwiązać problemu nieprzewidywalności zachowania chaotycznych układów. Teoria chaosu zdruzgotała naszą wiarę, że będziemy mogli wszystko wyjaśnić i wszystko przewidzieć.

Fascynującym wnioskiem z badań w dziedzinie teorii chaosu jest zdolność do samoorganizacji układów, pojawiająca się na granicy stabilności i chaosu. Ale jest to już temat innego wykładu.

Podziękowanie

Dziękuję Panu Profesorowi Janowi Kwiecińskiemu za dyskusję i cenne uwagi.

Profesor Andrzej Z. Hrynkiewicz jest wybitnym fizykiem prowadzącym badania naukowe w dziedzinie fizyki jądrowej niskich energii w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego. Jest profesorem zw. UJ i członkiem PAN.



fot. J. Puszcz

„...równania są dla mnie ważniejsze,
gdyż polityka jest czymś
istotnym tylko dzisiaj,
a równania są wieczne"

Albert Einstein

„Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury,...”

(część II)

Tadeusz Jarzębowski

W pierwszej części artykułu, zamieszczonej w poprzednim numerze, omówione były zjawiska zachodzące w pobliżu ciał o dużej masie, tj. w rejonach o znacznej krzywiźnie czasoprzestrzeni. Fakt ich występowania potwierdzają dzisiejsze obserwacje: teoria zdaje tu egzamin z wynikiem celującym. Z relatywistycznych zjawisk pozostało jeszcze do omówienia promieniowanie grawitacyjne. Te przewidziane przez Einsteina falowania czasoprzestrzeni, to niewątpliwie tematyka, przed którą jest jeszcze duża przyszłość. Każde ze zjawisk ogólnej teorii względności - a jest to przecież teoria grawitacji - uzależnione jest od mas wywołujących je ciał. Stąd teoria ta stwarza nowe, nie znane w fizyce klasycznej możliwości poznawania tego tak ważnego w astrofizyce parametru. Omówieniem „relatywistycznego” ważenia ciał niebieskich zakończymy niniejszy artykuł.

6. Promieniowanie grawitacyjne

Fale grawitacyjne – dziecko ogólnej teorii względności – stanowią niewątpliwie bardzo ważny rozdział w tematyce relatywistycznej grawitacji.

Tak jak fale elektromagnetyczne wynikają z rozwiązań równań Maxwella, tak fale grawitacyjne byłyby rozwiązaniami równania Einsteina. Promieniowanie elektromagnetyczne wytwarzane jest przez poruszające się z przyspieszeniem cząstki naładowane, natomiast źródłami promieniowania grawitacyjnego są poruszające się z przyspieszeniem masy.

Przy zmianie pozycji masywnego ciała pole grawitacyjne w jego najbliższym otoczeniu dopasowuje się do nowej sytuacji, ale do odleglejszych punktów informacja o tej zmianie dotrze później; przenosi ją zaburzenie – fala grawitacyjna. Mówiąc inaczej, powiedzielibyśmy, że skoro obecność masy zakrzywia czasoprzestrzeń, wszelkie zmiany w rozmieszczeniu masy pociągają za sobą deformacje w czasoprzestrzeni, wywołują zaburzenia, które rozchodą się niczym fale na jeziorze. W języku zaś bardziej relatywistycznym powiedziałoby się, że zmiany w rozmieszczeniu mas powodują zafalowania własnosci geometrycznych czasoprzestrzeni.

Pojęcia fal tego rodzaju nie można było zmieścić w ramach fizyki klasycznej. W myśl teorii newtonowskiej, oddziaływanie grawitacyjne miałoby być przenoszone natychmiastowo, z prędkością nieskończenie wielką. Teoria grawitacji Einsteina usuwa tę nielogiczność, teoria ta zawiera równanie falowe opisujące propagację owych zaburzeń grawitacyjnych. Prędkość ich rozchodzenia się, prędkość przenoszenia informacji o zaistniałych zmianach, winna być równa prędkości światła.

Fale grawitacyjne nie stanowią bynajmniej jakiegoś nowego zakresu widma elektromagnetycznego; odkrywają one przed nami całe widmo promieniowania nowego zupełnie typu. Rozpatrując wykrywalne źródła emisji, mielibyśmy tu do czynienia z częstotliwościami od ułamków herca do 10000 Hz.

Odpowiednikiem fotonu, kwantu pola elektromagnetycznego, byłby tu kwant pola grawitacyjnego, **grawiton**; masa spoczynkowa tej cząstki winna być równa zeru, spin równy 2. Grawitony, podobnie jak neutrina, przenikają swobodnie poprzez najbardziej zagęszczoną materię, mogłyby dobiegać do nas nawet z wnętrz gwiazd neutronowych. Tkwi w tym istotna różnica między falami grawitacyjnymi a elektromagnetycznymi. Rejestrując fale elektromagnetyczne, otrzymujemy informacje o tym, co dzieje się na powierzchniach ciał – natomiast fale grawitacyjne mogłyby przekazywać informacje z wnętrz ciał niebieskich.

Niestety, próby detekcji fal grawitacyjnych, rozpoczęte przed trzydziestoma laty, nie dały dotąd rezultatu. Trudność bezpośredniego zarejestrowania owych zafalowań w czasoprzestrzeni tkwi w słabości oddziaływania grawitacyjnego (oddziaływanie to, np. między protonem a elektronem, jest o prawie czterdzieści rzędów słabsze od kulombowskiego). Astronomia grawitacyjna to ciagle jeszcze kwestia przyszłości, jakkolwiek zapewne już niedalekiej. Polowanie na grawitony – za pomocą nowej generacji detektorów – rozpocznie

się przypuszczalnie już na przełomie stuleci. Ale o tym w oddzielnym artykule.

W ciągu minionego półwiecza astronomia rozszerzyła zasięg badania widma elektromagnetycznego z wąskiej dziedziny widzialnej na cały jego zakres, od fal radiowych po gamma – ale nośnikami informacji były tu wszędzie fotony. Bezpośredni natomiast pomiar strumienia fal grawitacyjnych otworzy nowe zupełnie okno na Wszechświat, gdzie obserwacje bazowałyby już nie na fotonach, ale na ich nieuchwytnych dotąd kuzynach – grawitonach.

6.1 Emisja z układów podwójnych

Falom grawitacyjnym ciągle jeszcze udaje się skrywać swe oblicze, gdy tymczasem Królewska Akademia Nauk w Sztokholmie... przyznała już Nagrodę Nobla za ich odkrycie. Nie obserwuje się ich jeszcze bezpośrednio – to prawda – ale ujawniają się skutki ich emisji; stwierdza się mianowicie ubytek energii w układzie podwójnym gwiazd, energii wyemitowanej pod postacią tych fal.

Źródłem emisji jest tu przyspieszana masa – a ruch krzywoliniowy jest ruchem przyspieszonym – fale grawitacyjne winny być zatem emitowane przez krążące wokół siebie ciała niebieskie, a więc gwiazdy podwójne czy też obiegające gwiazdę planety. Częstotliwość wiąże się tu z odwrotnością okresu obiegu; na przykład układ Ziemia-Słońce emituje promieniowanie o częstotliwości 2/okres obiegu, a zatem $\nu \approx 6 \cdot 10^{-8}$ Hz.

Z ruchem falowym związane jest przenoszenie energii. Jeżeli fale grawitacyjne przedstawiają fizyczną realność, powinny nieść energię. Gdy chodzi o obiegające się ciała, energia tych fal winna czerpać się z energii ruchu orbitalnego układu. Konsekwencją emisji promieniowania grawitacyjnego jest zatem ubywanie energii układu – a to objawia się w kurczeniu orbity i skracaniu okresu obiegu. Są to właśnie te dające się zaobserwować skutki emisji owych „nieuchwytnych" fal.

Historia zaczęła się tu w roku 1974. Areną wydarzeń był trzystumetrowy radioteleskop w Arecibo i odległy od niego o około 25 tysięcy lat świetlnych układ dwóch gwiazd neutronowych. Russell Hulse i Joseph Taylor dokonują odkrycia pierwszego pulsara w układzie podwójnym – *PSR 1913+16*. (Było to odkrycie raczej nieoczekiwane, sądzono bowiem, że skoro gwiazdy neutronowe powstają w następstwie wybuchu supernowej, to kataklizmów takich układ podwójny nie powinien przeżyć).

Dla dwóch ciał o masach m_1 i m_2, obiegających się po orbitach kołowych o promieniu r, wyrażenie na moc emitowanego promieniowania grawitacyjnego brzmi (Shapiro 1983)

M jest tu sumą mas

$$L_{gr.} = \frac{32}{5} \frac{G^4 M^3 \mu^2}{c^5 r^5}$$

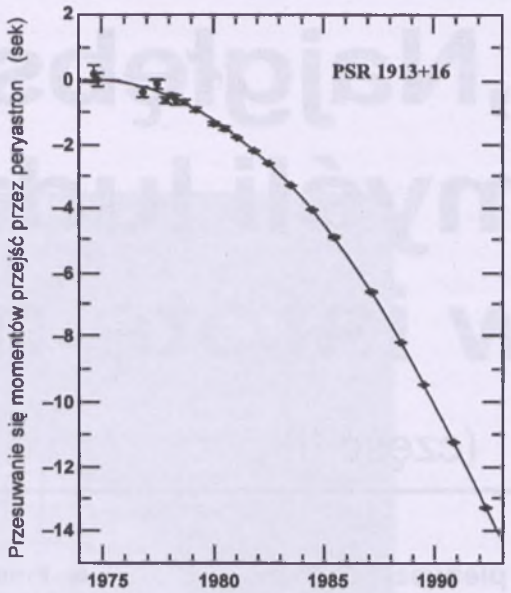
obu ciał, natomiast μ jest tzw. masą zredukowaną,

$\mu = m_1 m_2 / (m_1 + m_2)$.

Gdyby wykonać obliczenia dla układu Ziemia–Słońce (wówczas $M \approx M_\odot$, $\mu \approx$ masa Ziemi), otrzymałoby się moc znikomą, około 200 watów – co starczyłoby na skromne oświetlenie jednego mieszkania. Ale w przypadku obiegających się w niewielkiej odległości gwiazd, emitowana pod postacią fal grawitacyjnych energia może być nawet bardzo znaczna.

W charakterze przykładu weźmy układ o parametrach zbliżonych do *PSR 1913+16*, tj. dwie gwiazdy neutronowe o masach 1.4 $M_\odot$, obiegających wspólny środek masy w odległości miliona km. Układ taki winien emitować promieniowanie o mocy rzędu 10^{24} watów. Jest to już wartość zbliżona do mocy promieniowania elektromagnetycz–nego Słońca, wynoszącej $4 \cdot 10^{26}$ W. W konsekwencji, okres obiegu winien skracać się tu o około $8 \cdot 10^{-5}$ sekundy na rok, natomiast orbita winna rocznie kurczyć się o 3.5 metra. (Orbita Ziemi zmniejsza się w następstwie emisji fal grawitacyjnych o... milionowe centymetra na milion lat).

Te stosunkowo niewielkie ujemne przyrosty okresu dają się dość szybko dostrzec. Rzecz w tym, że zmiana okresu obiegu wpływa na przechodzenie przez punkt peryastronu i – co tu istotne – te różnice w momentach przejść przez peryastron powiększają się z kwadratem upływającego czasu. Widać to wyraźnie na **Rys. 12**, gdzie dane obserwacyjne układają się na paraboli; po dwóch dziesięcioleciach pulsar przebiegał przez peryastron już o około 14 sekund wcześniej.



Rys. 12. Następstwo emisji fal grawitacyjnych. Okres obiegu skraca się, co ujawnia się w coraz to wcześniejszym przechodzeniu pulsara przez peryastron. Linia ciągła: przebieg zjawiska przewidziany przez ogólną teorię względno-

Dokładna analiza tych zmian okresu orbitalnego wymaga wprowadzania niewielkich poprawek, wynikających z kinematyki obiektów; chodzi tu o przyśpieszenie Słońca i pulsara w Galaktyce; uwzględniać też trzeba ruch własny (Damour 1991). Dla *PSR 1913+16* skorygowana wartość pochodnej okresu obiegu $dP/dt = -(7.60 \pm 0.27) \times 10^{-5}$ sekundy na rok (Taylor 1993). Z teorii wynika tu natomiast $dP/dt = -7.582 \times 10^{-5}$ s/rok. Dane obserwacyjne zgadzają się z przewidywaniami ogólnej teorii względności w granicach ułamków procenta. Stanowiło to podstawę do uhonorowania odkrywców tego układu Nagrodą Nobla.

Emisja fal grawitacyjnych z układu Hulsa–Taylora nie podlega wątpliwości. W aspekcie tym do drzwi stukają już dwa inne układy podwójne, stosunkowo niedawno odkryte (dane o nich w **Tab. 1**). Jednym jest *PSR 1534+12* (Wolszczan 1991). Jest to też dwójka gwiazd neutronowych; skorygowane dane obserwacyjne wskazują na tempo skracania się okresu obiegu $dP/dt = -(6.0 \pm 0.9)\ 10^{-6}$ s/rok. Teoria przewiduje wartość podobną (Bell 1996). Tym trzecim, gdzie skutki emisji fal grawitacyjnych też zaczynają się ujawniać, jest wspominany układ o najszybszym obrocie linii apsyd, *PSR 2127+11C* (Deich

1996). Problem korekty na różnicę przyśpieszeń jest w tym przypadku jednak bardziej skomplikowany, gdyż obiekt ten wchodzi w skład gromady kulistej.

Kończąc temat emisji promieniowania z układów podwójnych, jeszcze słów kilka o smutnych perspektywach. Skoro w następstwie tej emisji energia układu zmniejsza się, składniki zbliżają się do siebie, to po upływie określonego czasu układ przestanie istnieć. Przy znacznych odległościach składników i tym samym niewielkiej emisji, czas życia zdecydowanie przewyższy obecny wiek Wszechświata. Ale dla układu takiego jak *PSR 1913+16*, gdzie rozmiary orbit są rzędu średnicy Słońca (**Rys. 14**), ów koniec nastąpi już po upływie około 10^8 lat. Ten katastroficzny koniec, to spadanie na siebie gwiazd układu podwójnego, to będą wydarzenia, na jakie czekać będą przyszli obserwatorzy astronomii grawitacyjnej. Z obliczeń wynika, że takie połączenie się dwu gwiazd neutronowych winno być źródłem energii ponad 10^{46} dżuli – głównie pod postacią neutrin i promieniowania grawitacyjnego (Piran 1996). Będzie to jakże rzadka okazja bezpośredniego zarejestrowania tak potężnego strumienia grawitonów.

Interesującymi będą też i ostatnie minuty przed takim kataklizmem. Układ podobny do *PSR 1913+16*, o okresie obiegu kilku godzin, emituje obecnie promieniowanie o częstotliwości rzędu 10^{-4} Hz; jest to promieniowanie nieobserwowalne przez konstruowane „teleskopy grawitacyjne". Ale w ostatnim kwadransie przed połączeniem się gwiazd byłaby to już częstotliwość obserwowalna – rzędu 10^3 Hz.

Poczekajmy do pierwszych lat przyszłego stulecia.

7. Zjawiska relatywistyczne – masy ciał niebieskich

Podstawowym parametrem gwiazdy, od którego zależy szereg innych jej właściwości, jest masa. Za wyjątkiem Słońca (gdzie dokonujący pomiaru obserwator znajduje się na dogodnie usytuowanej cząstce próbnej – Ziemi), poznanie masy opiera się na bezpośrednim badaniu oddziaływania grawitacyjnego, wywieranego na gwiazdę towarzyszącą. Dla układu wizualnie podwójnego równaniem wyjściowym jest trzecie prawo Keplera

$$m_1 + m_2 \sim \frac{a^3}{P^2}$$

pozwalające uzyskać sumę mas obu składników. Aby wyznaczyć masę każdej z gwiazd oddzielnie, trzeba znać orbity gwiazd względem ich środka masy. Dokładność jest tu niewielka, wyniki dość skromne. Dobrze wyznaczone masy znane są dla co najwyżej setki układów podwójnych.

Możliwości w tematyce wyznaczania mas znacznie rozszerzyły się wraz z wyjściem na świat teorii grawitacji Einsteina oraz późniejszym rozwojem badań w dziedzinie astrofizyki relatywistycznej. Teoria Einsteina wskazała bowiem na występowanie w przyrodzie nie znanych fizyce newtonowskiej zjawisk – zjawisk zależnych od mas ciał niebieskich. Badanie tych zjawisk otwiera nowe perspektywy w tej tematyce.

Najwięcej wnoszą tu zjawiska zachodzące w układach podwójnych gwiazd. Mowa oczywiście o układach z pulsarem, gdyż tylko dzięki obecności owego „zegara" te subtelne relatywistyczne efekty mogą być dostrzeżone. Interesującymi są tu zwłaszcza układy o orbitach eliptycznych, o znacznym mimośrodzie.

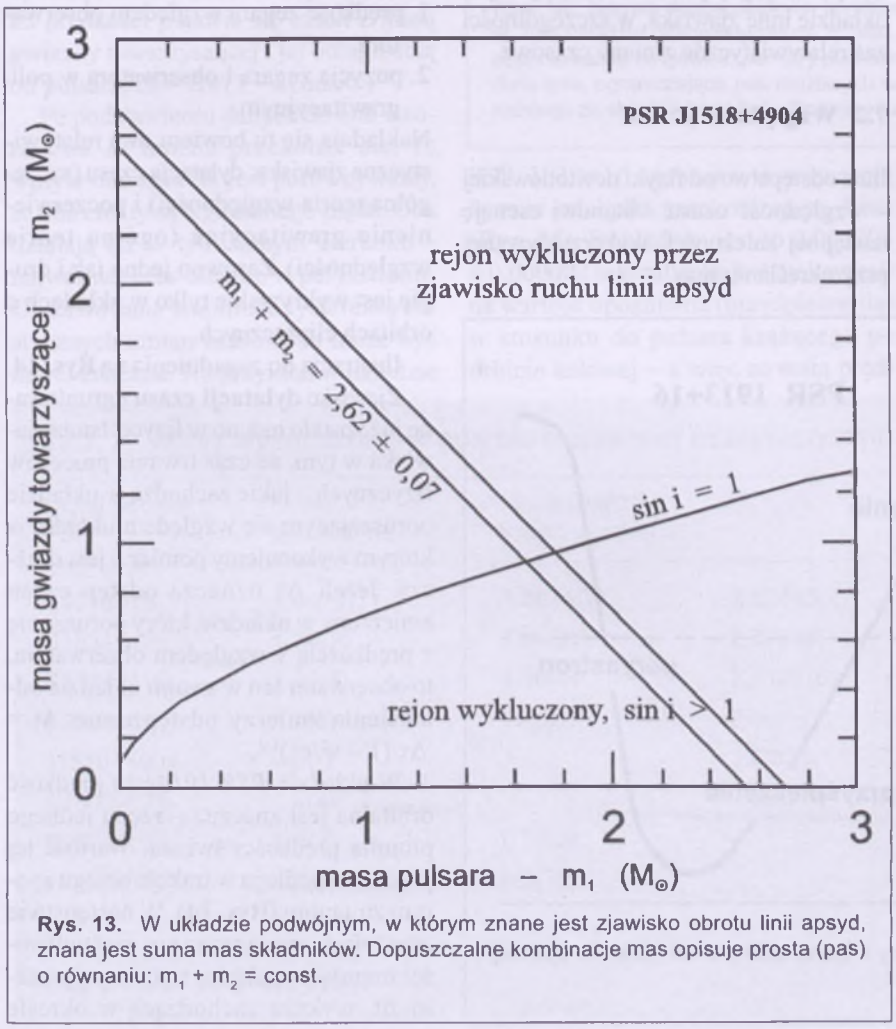
7.1 Ruch peryastronu

Obrót orbity (obrót linii apsyd) jest zjawiskiem względnie najprostszym do wykrycia i badania. Omawialiśmy to bliżej w części pierwszej artykułu, w p. 4.2; w zamieszczonej tam **Tab. 1** podane były wartości kąta dω/dt, określającego prędkość obrotu orbity. W myśl ogólnej teorii względności, tempo obrotu zależy od sumy mas obu składników układu (Shapiro 1983)

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{3G^{2/3}}{(1-e^2)c^2}\left(\frac{2\pi}{P}\right)^{5/3}(m_1+m_2)^{2/3}$$

Okres obiegu P, jest tu znany; mimośród e, otrzymuje się z krzywej prędkości radialnych. Wyznaczywszy zatem z obserwacji wartość kąta dω/dt, otrzymamy sumę $m_1 + m_2$.

Zjawisko obrotu linii apsyd - podobnie jak trzecie prawo Keplera - umożliwia zatem poznanie łącznej masy obu gwiazd układu. Osiągnąć tu jednak



Rys. 13. W układzie podwójnym, w którym znane jest zjawisko obrotu linii apsyd, znana jest suma mas składników. Dopuszczalne kombinacje mas opisuje prosta (pas) o równaniu: $m_1 + m_2 = const$.

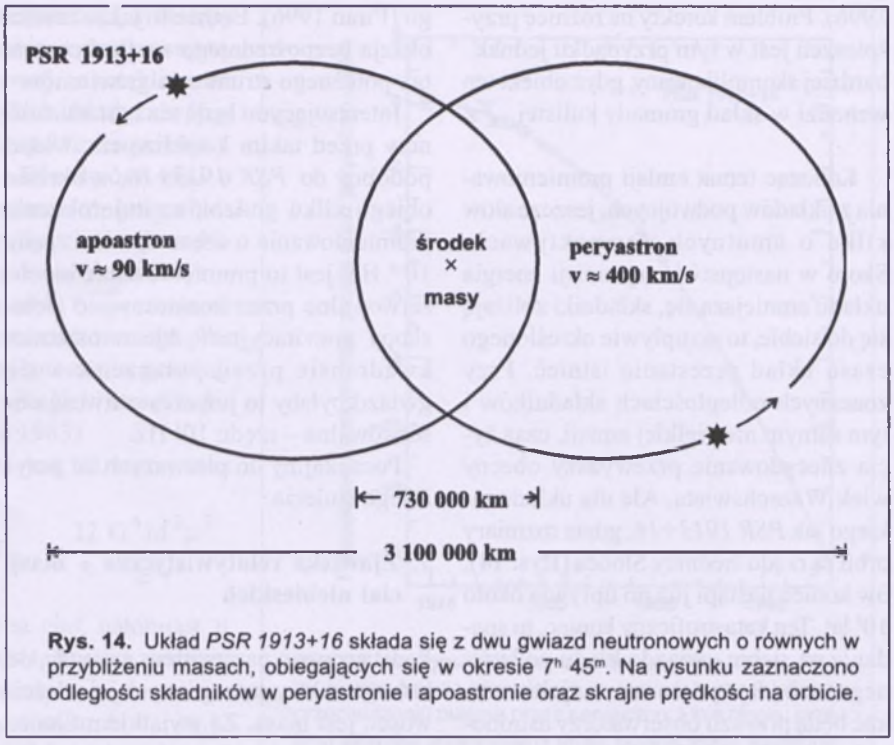
można dokładność znacznie wiekszą niż z prawa Keplera. Zauważmy bowiem, że do określenia występujacej w równaniu Keplera połowy wielkiej osi orbity, a, trzeba znać odległość układu – a wiadomo, że paralaksy to pięta achillesowa w astronomii.

Dla ilustracji zagadnienia rozpatrzmy nowo odkryty, relatywistyczny układ podwójny, *PSR J1518 +4904* (Nice 1996). Poznano tu już prędkość obrotu linii apsyd, dω/dt = 0.0111 ± 0.0002 stopni na rok; otrzymuje się stąd natychmiast $m_1 + m_2 = 2.62 \pm 0.07$ mas Słońca. Zależność między masami liniowa, dopuszczalne zaś kombinacje ułożą sie zatem na prostym pasie o szerokości odpowiedniej do wartości błędu (**Rys. 13**).

Dodatkowe ograniczenie na masy otrzymać można z klasycznego równania tzw. funkcji mas

$$\frac{(m_2 \cdot \sin i)^3}{(m_1 + m_2)^2} = \frac{(a \cdot \sin i)^3}{G} \left(\frac{2\pi}{P}\right)^2$$

Występujące tu nachylenie orbity i, nie jest znane; jednakże sin i ≤ 1. Z wykresu na rysunku odczytamy więc, że masa pulsara m_1, winna być mniejsza od 1.7 $M_\odot$. Najprawdopodobniej zaś mamy tu do czynienia z przypadkiem



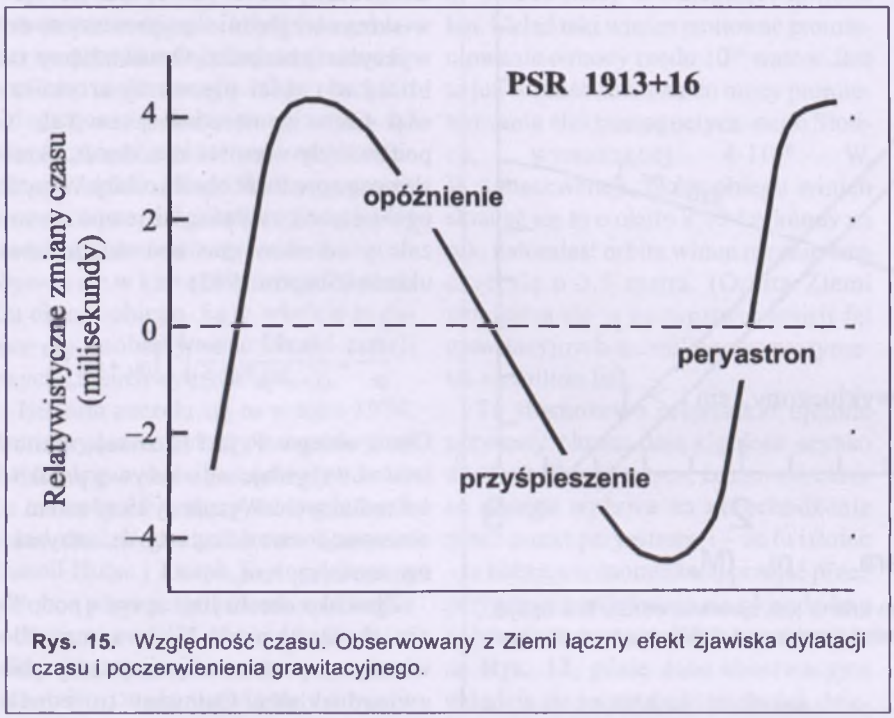
Rys. 14. Układ *PSR 1913+16* składa się z dwu gwiazd neutronowych o równych w przybliżeniu masach, obiegających się w okresie 7ʰ 45ᵐ. Na rysunku zaznaczono odległości składników w peryastronie i apoastronie oraz skrajne prędkości na orbicie.

podobnym do *PSR 1913+16*; są to przypuszczalnie dwie gwiazdy neutronowe o masach bliskich granicy Chandrasekhara[1]. Konkretną odpowiedź uzyska się jednak później, gdy poznane zostaną w tym układzie inne zjawiska, w szczególności zaś relatywistyczne zmiany czasowe.

7.2 Względność czasu

Inne odstępstwo od fizyki newtonowskiej – względność czasu – stanowi esencję następnej zależności, wykorzystywanej przy określaniu mas.

[1] Granica Chandrasekhara – ok. 1.4 $M_\odot$ – górna granica masy białego karła. Jeżeli wyczerpują się zasoby energii jądrowej w gwieździe bardziej masywnej, przechodzi ona w następstwie zapadania grawitacyjnego już w gwiazdę neutronową, a przy masie ponad 3 $M_\odot$ – w czarną dziurę.



Rys. 15. Względność czasu. Obserwowany z Ziemi łączny efekt zjawiska dylatacji czasu i poczerwienienia grawitacyjnego.

Pulsar w układzie podwójnym to poruszający się po orbicie zegar. Na wskazania tego zegara – tj. na interwały czasu, jakie zarejestrują nasze radioteleskopy – wpływać będą dwa czynniki:

1. prędkość zegara względem obserwatora,
2. pozycja zegara i obserwatora w polu grawitacyjnym.

Nakładają się tu bowiem dwa relatywistyczne zjawiska: dylatacja czasu (szczególna teoria względności) i poczerwienienie grawitacyjne (ogólna teoria względności). Zarówno jedno jak i drugie jest wykrywalne tylko w układach o orbitach eliptycznych.

Ilustracja do zagadnienia na **Rys. 14**.

Zjawisko **dylatacji czasu** ugruntowane już zostało mocno w fizyce. Istota zjawiska w tym, że czas trwania procesów fizycznych – jakie zachodzą w układzie poruszajacym się względem układu, w którym wykonujemy pomiar – jest dłuższy. Jeżeli Δτ oznacza odstęp czasu zmierzony w układzie, który porusza się z prędkością v względem obserwatora, to obserwator ten w swoim układzie odniesienia zmierzy odstęp czasu $\Delta t = \Delta\tau/(1 - v^2/c^2)^{1/2}$.

W układzie *PSR 1913+16* prędkość orbitalna jest znaczna – rzędu jednego promila prędkości światła. Wartość tej prędkości podlega w trakcie obiegu sporym zmianom (**Rys. 14**). W następstwie tego rejestrowane przez nas częstotliwości impulsów pulsara, tj. interwały czasu Δt, wykażą zachodzącą w okresie

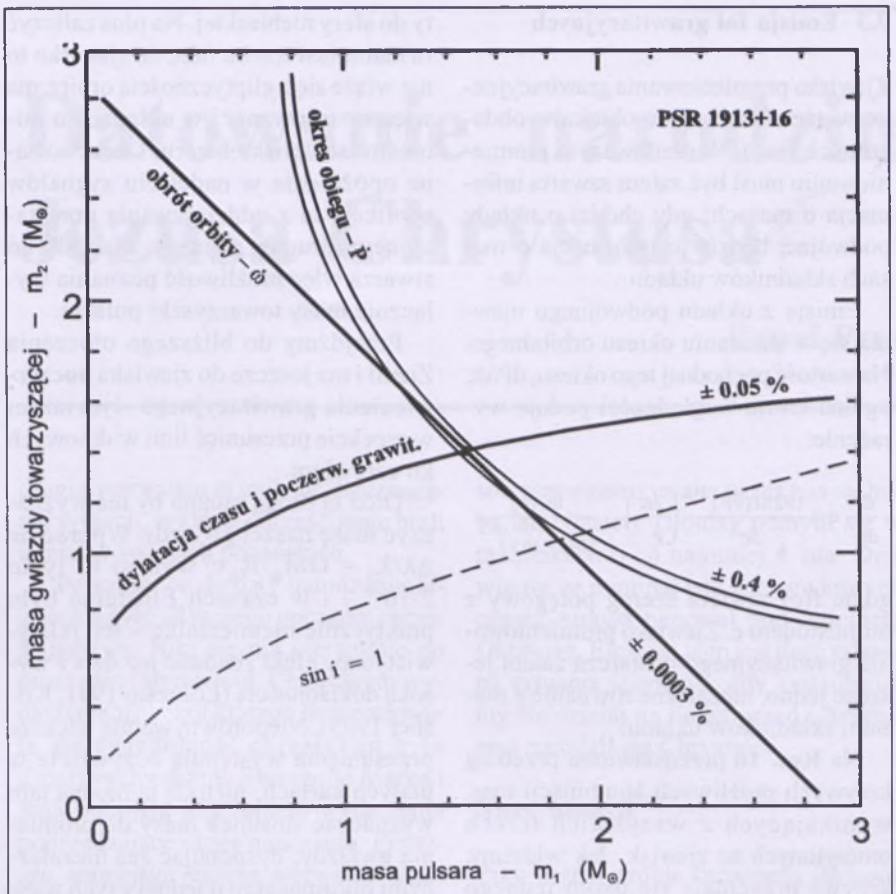
obiegu zmienność. Stwierdzimy mianowicie, że odstępy między impulsami są najdłuższe, gdy gwiazda jest w peryastronie – wówczas „zegar–pulsar" opóźnia.

To drugie zjawisko z problematyki względności czasu – **poczerwienienie grawitacyjne** – wynika z faktu, że promieniowanie, odbierane z rejonu o silniejszym polu grawitacyjnym, jest o mniejszej częstotliwości. Jednostka czasu ulegnie więc wydłużeniu – a to jest równoważne lapidarnemu stwierdzeniu, że w obecności pola grawitacyjnego „czas płynie wolniej".

Spójrzmy na **Rys. 14**. W peryastronie gwiazda towarzysząca jest ponad czterokrotnie bliżej pulsara niż w apoastronie. Będąc w peryastronie, pulsar znajduje się zatem w rejonie, gdzie wpływ pola grawitacyjnego tej gwiazdy jest znacznie silniejszy. Rejestrowane przez radioteleskopy interwały czasu będą zatem wydłużone, „zegar–pulsar" opóźnia.

Matematyczne wyrażenie, opisujące ten wpływ pola grawitacyjnego na bieg czasu, ma kształt podobny do wzoru na dylatację czasu, tylko w miejscu stosunku prędkości pojawia się człon z masą gwiazdy towarzyszącej i jej odległością od pulsara, $\Delta t = \Delta\tau/(1 - 2Gm/rc^2)^{1/2}$.

Po podstawieniu danych do obu wzorów na Δt można przekonać się, że wpływ obu zjawisk jest porównywalny, że oba efekty są tego samego rzędu. Oba działają też w tym samym kierunku – najwolniej czas biegnie w peryastronie. Obserwowana amplituda tych relatywistycznych zmian czasowych może być nawet znaczna. Na przykład w układzie



Rys. 16. Krzywe dopuszczalnych kombinacji mas, uzyskane z trzech obserwowanych w tym układzie relatywistycznych zjawisk. Zaznaczono dokładność, z jaką znane jest obecnie każde ze zjawisk; pomiary pochodnej okresu obiegu są najmniej dokładne, stąd dwie linie, ograniczające pas możliwych wartości. Punkt przecięcia wskazuje na masę każdego ze składników układu. Dodajmy tu jeszcze, iż odległość tego punktu od krzywej

PSR 1913+16 zjawiska te wywołują łącznie odchyłki przekraczające 4 ms (**Rys. 15**). Dokładniej jest to 0.004295 ± 0,000002 sekund; taka jest maksymalna wartość opóźnienia (przyśpieszenia) w stosunku do pulsara krążącego po orbicie kołowej – a więc ze stałą prędkością i w niezmiennym polu grawitacyjnym gwiazdy towarzyszącej.

Po tym przydługim wstępie, przejdźmy do sedna tematu, tj. do mas. Zarówno dylatacja czasu jak i poczerwienienie grawitacyjne wiążą się oczywiście z masami gwiazd układu. Sumaryczną wartość tych relatywistycznych odchyłek czasowych opisuje wyrażenie

$$\frac{G^{2/3}e}{c^2}\left(\frac{P}{2\pi}\right)^{1/3}\frac{m_2(m_1+2m_2)}{(m_1+m_2)^{4/3}},$$

którego wartość liczbową poznaje się z obserwacji. Niewiadomymi w tym wyrażeniu pozostają tylko masy, m_1 i m_2.

Obok opisującego ruch peryastronu wyrażenia na $d\omega/dt$, mamy tu zatem następne równanie, w którym jedynymi niewiadomymi są masy. Dwa równania o dwóch niewiadomych pozwalają już wyznaczyć masę każdej z gwiazd oddzielnie.

Ale do dyspozycji może być jeszcze trzecie równanie.

Tab. 2. Masy wyznaczone w oparciu o zjawiska relatywistyczne

Układ podwójny PSR	Masa pulsara m_1	Masa gwiazdy towarzyszącej m_2	$m_1 + m_2$
B1913+16	1.4410(7)	1.3874(7)	2.82843(2)
B1534+12	1.34(2)	1.34(2)	2.6784(7)
B2127+11C	1.35(4)	1.36(4)	2.7121(6)
B2303+46	1.2(3)	1.4(3)	2.60(6)
J1518+4904	< 1.7		2.62(7)
B1802–07	1.4(4)		1.7(4)
B1855+09	1.5(2)	0.26(3)	
J1713+0747	1.5(5)	0.3(1)	

Masy w jednostkach masy Słońca. Liczba w nawiasie wskazuje na niepewność ostatniej cyfry

7.3 Emisja fal grawitacyjnych

Zjawisko promieniowania grawitacyjnego wiąże się z ruchem obiektów obdarzonych masą. W emitowanym promieniowaniu musi być zatem zawarta informacja o masach; gdy chodzi o układy podwójne, będzie to informacja o masach składników układu.

Emisja z układu podwójnego ujawnia się w skracaniu okresu orbitalnego. Na wartość pochodnej tego okresu, dP/dt, ogólna teoria względności podaje wyrażenie:

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{192\pi f(e) G^{5/3}}{5c^5}\left(\frac{2\pi}{P}\right)^{5/3}\frac{m_1 m_2}{(m_1+m_2)^{1/3}}$$

gdzie f(e) zawiera szereg potęgowy z mimośrodem e. Zjawisko promieniowania grawitacyjnego dostarcza zatem jeszcze jedno, niezależne równanie z masami składników układu.

Na **Rys. 16** przedstawiono przebieg krzywych możliwych kombinacji mas, wynikających z wszystkich trzech omówionych tu zjawisk. Jak widzimy, krzywe przecinają się około jednego punktu na wykresie, wskazujacego na wartość masy pulsara oraz gwiazdy towarzyszacej.

W **Tab. 2** zestawione są dane o masach gwiazd, uzyskane w oparciu o zjawiska relatywistyczne. W przypadku pierwszych pięciu układów byłyby to „małżeństwa" dwu gwiazd neutronowych; pozostałe to gwiazda neutronowa w towarzystwie - najprawdopobniej - białego karła. Są to dotychczasowe, nieliczne jeszcze wyniki; wykaz takich danych będzie się niewątpliwie szybko powiększał. Zauważmy, że osiągana tu dokładność może być znaczna, zdecydowanie przewyższająca możliwości, jakie oferuje w tym aspekcie astronomia klasyczna. Co się zaś tyczy najdłużej obserwowanego *PSR 1913+16*, to tu osiągnięto już dokładność, z jaką znana jest stała grawitacji [$G = (6.6726 \pm 0{,}0008)\ 10^{-11}$] – i z jaką to dokładnością znana jest tym samym masa Słońca czy też masy Ziemi i planet.

7.4 Inne zjawiska

Do wyznaczania mas wykorzystać można np. omawiane w rozdziale 3.2 zjawisko **opóźnienia Shapiro**. Jest ono obserwowalne tylko w układach o sporym kącie nachylenia płaszczyzny orbity do sfery niebieskiej. Na plus zaliczyć tu natomiast trzeba fakt, że zjawisko to nie wiąże się z eliptycznością orbity, ma więc zastosowanie i w układach o mimośrodach bliskich zeru. Obserwowane opóźnienia w nadejściu sygnałów wynikają tu z oddziaływania grawitacyjnego drugiej gwiazdy. Zjawisko to stwarza więc możliwość poznania wyłącznie masy towarzyszki pulsara.

Przejdźmy do bliższego otoczenia Ziemi i raz jeszcze do zjawiska **poczerwienienia grawitacyjnego** - tym razem w aspekcie przesunięć linii widmowych ku czerwieni.

Otóż tą drogą można by też wyznaczyć masę naszej gwiazdy. Wprawdzie $\Delta\lambda/\lambda_0 = GM_\odot/R_\odot c^2$ wynosi tu tylko $2\cdot10^{-6}$ – i w czasach Einsteina było praktycznie niemierzalne – ten relatywistyczny efekt zbadano już dziś z wysoką dokładnością (LoPresto 1991, Krisher 1993). Nieporównywalnie większe przesunięcia występują oczywiście w białych karłach; metodą tą można tam wyznaczać stosunek masy do promienia gwiazdy; dysponujac zaś niezależnymi informacjami o jednej z tych wielkości, uzyskać można wartość drugiej (Wegner 1991). Nadmieńmy jednak, że wchodzą tu w grę tylko gwiazdy, w których efekt poczerwienienia grawitacyjnego da się wydzielić od wynikającego z ruchu przesunięcia dopplerowskiego – a więc np. gwiazdy gromady otwartej, jak te w Hiadach. Współczesna aparatura stwarza już jednak możliwości rozszerzenia badań poczerwienienia grawitacyjnego i na wchodzące w skład gromad otwartych gwiazdy ciągu głównego (von Hippel 1996).

Artykuł ten zaczęliśmy od zjawiska **zmiany kierunku** biegu fotonów i na nim też zakończymy. To wszechstronnie zbadane już zjawisko pozwoliłoby np. wyznaczyć natychmiast masę Słońca. Ugięcie wiązki promieniowania w jego polu grawitacyjnym wyraża zależność $\theta = 4GM_\odot/rc^2$; ten kąt ugięcia wyznacza się już dziś z bardzo wysoką dokładnością. Odwracając zagadnienie – mamy masę naszej gwiazdy $M_\odot$.

Możliwości, jakie oferuje to zjawisko, są jednak znacznie szersze, wybiegają daleko poza Słońce i poza Galaktykę. Każda soczewka grawitacyjna zawiera przecież w sobie jakąś konkretną informację o masie obiektu wywołującego zjawisko. (Wizerunek odkrytej niedawno soczewki grawitacyjnej znajduje się na wewnętrznej stronie okładki). Kąt ugięcia – $4Gm/rc^2$ – zależy od masy, natomiast rozmieszczenie powstałych obrazów, jak też stosunek ich jasności, wskazują na rozmieszczenie mas w soczewce grawitacyjnej. Tematyka soczewkowania grawitacyjnego obejmuje dziś już i takie zagadnienia jak np. rozkład mas w gromadach galaktyk (Miralda 1996).

Na zakończenie cytat z wykładu laureata Nagrody Nobla z roku 1993 (Taylor 1994):

Nie sądzę, że w ogólnej teorii względności zawarte są te ostatnie słowa, jakie napisano o naturze grawitacji. Nie jest to kwantowa teoria grawitacji, a zdawałoby się, że w swych podstawach Wszechświat podlegałby takim właśnie prawom. Niemniej nasze obserwacje podwójnych pulsarów wskazują, iż w jakimkolwiek kierunku poszłyby badania nad istotą grawitacji, będą one musiały prowadzić do wniosków, asymptotycznie zbieżnych z tymi, jakie wynikają z ogólnej teorii względności.

Literatura

J. Bell, M. Bailes 1996, ApJ **456**, L33
T. Damour, J. Taylor 1991, ApJ **366**, 501
W. Deich, S. Kulkarni 1996, IAU Symp. 165, Compact Stars in Binaries, 279
T. Krisher i in. 1993, Phys. Rev. Lett. **70**, 2213
J. LoPresto i in. 1991, ApJ **376**, 757
J. Miralda–Escudé 1996, IAU Symp. 173, Astrophysical Applications of Gravitational Lenses, 131
D. Nice, R. Sayer, J. Taylor 1996, ApJ **466**, L87
T. Piran 1996, IAU Symp. 165, Compact Stars in Binaries, 489
S. Shapiro, S. Teukolsky 1983, Black Holes, White Dwarfs and Neutron Stars, 477, 484
J. Taylor 1993, General Relativity and Gravitation 1992, red. R. Gleiser, 287
J. Taylor 1994, Reviews of Modern Physics **66**, 711
T. von Hippel 1996, ApJ **458**, L37
G. Wegner, I. Reid 1991, ApJ **375**, 674
A. Wolszczan 1991, Nature **350**, 688

Datowanie narodzin Jezusa Chrystusa

Paweł Preś

Wstęp

Datowanie narodzin Jezusa z Nazaretu jest problemem bardzo trudnym. Bez mała należy to zagadnienie nazwać procesem poszlakowym, gdyż brak jest informacji mogących jednoznacznie określić ten moment. Aby móc powiedzieć coś rozsądnego na ten temat, trzeba dokonać kompilacji opisu biblijnego z danymi historycznymi i etnograficznymi. Specyficznego charakteru temu zagadnieniu dodaje podana w Ewangelii Mateusza informacja o pewnym obiekcie niebieskim, który był widoczny w czasie narodzin Jezusa. Ze względu na ten obiekt, zwany powszechnie gwiazdą betlejemską, astronomowie dodają od czasu do czasu swoje trzy grosze w dyskusji nad tą sprawą. O tym, że jednak nie jest to zadanie łatwe mówi choćby fakt, iż proponowane dotychczas daty narodzenia Jezusa zawierają się w okresie od roku 20 p.n.e. do 10 n.e. W literaturze wciąż pojawiają się nowe prace proponujące coraz to inne schematy wydarzeń.

Obecnie we wszystkich Kościołach chrześcijańskich święto Bożego Narodzenia obchodzone jest 25 XII, niezależnie od tego, jakim kalendarzem te Kościoły się posługują. Data ta ma jednak charakter czysto symboliczny. Po raz pierwszy święta Bożego Narodzenia w ten dzień obchodzono w roku 336. Data ta została wybrana w sposób celowy, w ten bowiem dzień, zbiegający się z datą przesilenia zimowego, w Rzymie obchodzono święto ponownego odradzania się Słońca (*Dies Solis Invictis Natalis*), rozpoczynający czas bardzo popularnych Saturnaliów. Kościół wybierając ten dzień na święto Bożego Narodzenia kierował się dwoma przesłankami. Po pierwsze, chciał przez to wskazać, że prawdziwym Słońcem oświecającym każdego człowieka jest Jezus, po drugie, pozwalało to uniknąć dwuznacznej sytuacji, w której chrześcijanie brali udział w świętach pogańskich.

Pewności co do daty narodzenia Jezusa nie było od samego początku chrześcijaństwa. Nikt się nią pierwotnie po prostu nie interesował. Centralnym wydarzeniem, wokół którego koncentrowała się świadomość chrześcijan było Zmartwychwstanie. Ewangelie Marka i Jana pomijają milczeniem wydarzenia poprzedzające okres nauczania. Pierwsza, aramejska jeszcze, wersja Ewangelii Mateusza również zawierała jedynie mowy Jezusa. Dopiero Łukasz w swojej Ewangelii umieszcza okoliczności Jego narodzin. Pod wpływem Łukasza również w nowej redakcji Ewangelii Mateusza pojawiają się szczegóły dotyczące narodzin. Najstarsze wzmianki na temat samej daty pochodzą dopiero z końca III w. n.e. W roku 194 Klemens Aleksandryjski podał datę 3 listopada 3 roku p.n.e., zaznaczając przy tym, że inni wskazują na daty 20 maja lub 20 kwietnia. W 120 lat później Epifaniusz podaje już jedną z tych dat, 20 maja, obok 20 czerwca jako możliwe daty Zwiastowania.

Najsłynniejszej próby datowania narodzin dokonał w VI wieku mnich scytyjski Dionizy Mniejszy. Do tego czasu używano powszechnie starej rachuby lat liczonych *ab urbe conditia*, czyli od założenia miasta – Rzymu. Liczono również tzw. lata olimpiad oraz lata ery Dioklecjana. Na prośbę papieża Jana Dionizy rozpoczął badania nad reformą rachuby lat, tak aby można je było liczyć od momentu narodzin Jezusa. Opierając się głównie na zapiskach dotyczących okresów panowania poszczególnych cesarzy i królów, Dionizy wyznaczył moment narodzin na 25 grudnia roku 753, ustalając rok 754 aub jako pierwszy rok Pański. W ten właśnie sposób powstała używana przez nas rachuba lat. Niestety Dionizy pomylił się w rachunkach o co najmniej 4 lata. Dziś wiemy, że pominął lata w ciągu których cesarz August panował pod imieniem Oktawian. Efektem tego jest dość zabawna sytuacja językowa, gdy zastanawiamy się dzisiaj na ile lat przed Chrystusem narodził się Chrystus.

Nieco historii

Przy każdej próbie datowania jakiegoś zdarzenia należy najpierw oprzeć się na znanych faktach historycznych. Szczegóły dotyczące narodzenia Jezusa podają w swoich Ewangeliach Mateusz i Łukasz. Wiemy z nich, że Jezus narodził się za panowania cesarza Augusta w Rzymie, gdy władcą Judei był Herod Wielki. Same te fakty pozwalają ograniczyć się do rozważania lat panowania Heroda, czyli okresu pomiędzy 27 a 4 rokiem p.n.e. Śmierć Heroda, która nastąpiła pomiędzy dniem 12 III a 11 IV jest jednym z najlepiej określonych momentów w interesującej nas historii. Wiemy też, że powodem, dla którego Józef i Maria odbyli dość uciążliwą podróż do Betlejem był spis ludności. Niestety, informacja ta pozornie tylko pozwala na uściślenie czasu narodzin Jezusa, wprowadza bowiem więcej zamieszania niż korzyści. Łukasz pisze w swojej Ewangelii, że ów spis ludności odbył się, gdy wielkorządcą Syrii był Kwiryniusz (Łk 2,2). Wiemy, że Kwiryniusz był zarządcą Syrii w latach 6–7 n.e. i rzeczywiście przeprowadził wtedy spis ludności w Palestynie. Działo się to jednak, jak łatwo zauważyć w dziesięć lat po śmierci Heroda. Rozbieżność owych okresów próbuje się rozwikłać w różny sposób. Niektórzy zwracają uwagę na dość specyficzne sformułowanie tego wersetu, który można tłumaczyć

także w następujący sposób: pierwszy ów spis odbył się, *zanim* Kwiryniusz był wielkorządcą Syrii. To wyjaśnienie ma jednak charakter bardziej lingwistyczny niż historyczny. Istnieją także sugestie, że Kwiryniusz mógł być już wcześniej zarządcą Syrii. Wymienia się tu lata 12–8 p.n.e. i 3–2 p.n.e. Zamieszanie w kwestii ustalenia czasu owego spisu powiększył jeszcze Tertulian (II/III w. n.e.), który opierając się na dokumentach rzymskich jednoznacznie stwierdził: *jak wiadomo, spis ludności nakazany przez Augusta został przeprowadzony wówczas w Judei przez Sencjusza Saturnina*, który pełnił ten urząd w latach 8–6 p.n.e.

Cały ten problem wydaje się być rozwiązywalny przy założeniu, że w tym czasie zarówno Saturnin, jak i Kwiryniusz byli zarządcami Syrii, jeden będąc legatem zwyczajnym a drugi wojskowym. Zgadza się to z praktykowanym czasem w cesarstwie rzymskim pozostawianiem poprzednich legatów prowincji jako dowódców wojsk. Jest to o tyle zgodne, że wiemy, iż w tym czasie Kwiryniusz prowadził działania zbrojne przeciw Honomadom w Cylicji, która podlegała pod władzę legata Syrii. Z opisu biblijnego wynika, że spis ludności kojarzono w Palestynie z Kwiryniuszem, niezależnie od tego, jakiego typu namiestnikiem był wtedy w Syrii.

Sprawa gwiazdy

Ewangelia Mateusza dostarcza nam jeszcze kilku dodatkowych informacji. Mateusz nadmienia przybycie do Jerozolimy Mędrców ze Wschodu, którzy ujrzeli na niebie gwiazdę zapowiadającą narodzenie znacznego króla żydowskiego. Stwierdzenie to jest bardzo enigmatyczne. Samo określenie *ze Wschodu* sugeruje zarówno pustynię Arabską, jak i Mezopotamię oraz Persję. Słowo μαγοι użyte na określenie Mędrców jest pochodzenia perskiego, a w tradycji antycznej określano tak uczniów Zaratustry. Jest bardzo prawdopodobne, że owi μαγοι znali żydowskie pisma prorockie dotyczące przyjścia Króla–Mesjasza, mogły one być bowiem znane w Mezopotamii po okresie niewoli babilońskiej Żydów. Bogata tradycja astronomii i astrologii babilońskiej każe również sądzić, że znali oni dobrze obie dziedziny wiedzy, wtedy tworzące ściśle jedną całość.

Fakt ukazania się owej gwiazdy na wschodzie pozwala podjąć próbę wykorzystania astronomii do datowania narodzin Jezusa. Identyfikacji owej gwiazdy próbowano dokonać już dość dawno. Słynną hipotezę wysunął Kepler po obserwacji w 1603 roku tzw. potrójnej koniunkcji Jowisza i Saturna. Jest to zjawisko polegające na tym, że w ciągu niecałych sześciu miesięcy Jowisz i Saturn trzy razy zbliżają się na niebie tworząc koniunkcje. Zjawisko to jest dość rzadkie, powtarza się mniej więcej co 120 lat. Według obliczeń Keplera podobna koniunkcja wydarzyła się na jesieni roku 7 p.n.e. Wysuwano też przypuszczenia co do gwiazd nowych lub supernowych, a także co do komety Halleya. Na temat możliwych interpretacji gwiazdy betlejemskiej wyczerpująco pisała Jadwiga Biała w artykule zamieszczonym w numerze 4/93 *Postępów Astronomii*. Najstarszą próbą naturalnego wyjaśnienia gwiazdy betlejemskiej jest wzmianka Orygenesa w jego dziele *Contra Celsum* pochodzącym z pierwszej połowy III wieku, w którym opowiada się on za hipotezą komety, występując przy tym przeciw sądom uznającym ją za zjawisko nadnaturalne.

W opisie Mateusza można wyczytać kilka charakterystycznych cech gwiazdy betlejemskiej:

1. Gwiazda ta była na niebie obiektem nowym i wystarczająco spektakularnym, aby mogła być odczytana jako znak narodzenia kogoś niezwykłego.

2. Gwiazda wykazywała wolny ruch własny na niebie. Mędrcy widzieli ją pierwotnie na wschodzie. Greckie określenie εν τε ανατολε (*en te anatole*) tłumaczone zwykle jako *na wschodzie*, można również tłumaczyć jako *o wschodzie*. Nazwa ta określa dokładnie tzw. wschód heliakalny, czyli pojawienie się obiektu na niebie na krótko przed wschodem Słońca. Natomiast podróżując z Jerozolimy do Betlejem widzieli ją już prowadzącą ich przed sobą, czyli w kierunku południowym. Przyjmując, iż Mędrcy przybyli z obszaru Mezopotamii, można ocenić, że owo przesunięcie z kierunku wschodniego na południowy nastąpiło w ciągu jednego do dwóch miesięcy.

3. Gwiazda zatrzymała się nad Betlejem.

Spośród wielu możliwych obiektów występujących na niebie istnieje w zasadzie tylko jeden rodzaj, który dość dobrze pasuje do powyższego opisu. Jest nim kometa. Jasne komety, widoczne gołym okiem są zjawiskiem dość rzadkim, pojawiają się tylko kilka razy w ciągu stulecia. Fakt przesunięcia się gwiazdy na niebie ze wschodu na południe, czyli o kąt około 90^0 w ciągu 1 do 2 miesięcy jest również zgodny z typową prędkością przesuwania się komet względem gwiazd, czyli średnio 1^0 do 2^0 na dzień.

Pewną trudność w interpretacji tego zjawiska sprawia dość niejasny zapis Mateusza mówiący, że *gwiazda, którą widzieli na Wschodzie, szła przed nimi, aż przyszła i zatrzymała się nad miejscem, gdzie było Dziecię* (Mt 2,9). Właśnie z powodu tego zapisu wielu badaczy sądzi, że była ona obiektem nadnaturalnym, specjalnym cudem Boga ogłaszającego w ten sposób narodziny swojego Syna. Inni znów widzą w tym opisie wyraz tendencji do mitologizowania życia Jezusa. Jednakże obie te cechy mogą być czymś bardzo zwyczajnym. Fakt, że gwiazda szła przed nimi może po prostu oznaczać, że Mędrcy kierując się z Jerozolimy do Betlejem jednocześnie szli w kierunku gwiazdy, czyli że gwiazda zwyczajnie wskazywała im drogę. Natomiast opis zatrzymania się gwiazdy nad Betlejem jest zgodny z dość typowym w owym czasie opisywaniem komet. Ponieważ do czasów Keplera komety uważane były za twory atmosferyczne, dość często opisywano je jako obiekty wiszące lub stojące nad jakimś miejscem. Dla przykładu Dion Kasjusz w swej *Historii Rzymu* opisuje pojawienie się komety Halleya w roku 12 p.n.e. słowami: *gwiazda, zwana kometą, stała przez kilka dni nad Miastem*, tu oczywiście Rzymem. Natomiast Józef Flawiusz w *Wojnie żydowskiej* charakteryzuje kometę z roku 64 n.e. w słowach: *gwiazda przypominająca miecz stała nad miastem*, tu z kolei Jerozolimą. Można przypuszczać, że Mędrcy widzieli ją po prostu z warkoczem ustawionym pionowo do horyzontu, głową swoją wskazującą na Betlejem.

W zidentyfikowaniu owej hipotetycznej komety bardzo pomocne okazują się zapisy z kronik chińskich. Chińczycy bowiem w tym czasie obserwowali niebo z wyjątkową pieczołowitością, notując każdy nowy obiekt na niebie. W okresie od roku 20 p.n.e. do 10 n.e. kroniki te wymieniają pojawienie się trzech komet:

1. W sierpniu 12 roku p.n.e na przeciąg 56 dni pojawiła się kometa, którą identyfikuje się obecnie z kometą Halleya.

2. W marcu 5 roku p.n.e. pojawiła się

w okolicach gwiazdozbioru Koziorożca kometa, która była widoczna przez 70 dni.

3. W kwietniu roku 4 p.n.e. pojawiła się kometa w okolicach gwiazdozbioru Orła, będąc jednak najprawdopodobniej słabym i krótkotrwałym obiektem.

W rozgraniczeniu pomiędzy tymi trzema obiektami pomocne są wskazówki dotyczące czasu rozpoczęcia działalności przez Jana Chrzciciela i Jezusa znajdujące się w Ewangelii św. Łukasza. Łukasz stwierdza, że Jan Chrzciciel rozpoczął swoją działalność w piętnastym roku panowania Tyberiusza (Łk 3,1), co odpowiada okresowi od października roku 28 do października roku 29 n.e. Opisując natomiast okoliczności chrztu Jezusa Łukasz stwierdza, że miał lat około trzydziestu (Łk 3,23). Ten dość ogólny zwrot był stosowany do ludzi pomiędzy 26 a 34 rokiem życia. Przyjmując powyższe informacje można ustalić najwcześniejszy rok narodzin Jezusa na 7 rok p.n.e. Z tego względu musimy odrzucić kometę z roku 12 p.n.e., czyli kometę Halleya, jako zbyt wczesną. Kometa z roku 4 wydaje się być zbyt późną, gdyż prawdopodobnie już jesienią roku 5 p.n.e. Herod wyjechał na leczenie do gorących źródeł do Jerycha, gdzie zmarł na wiosnę roku następnego, mniej więcej w czasie pojawienia się owej komety.

Pozostaje więc kometa z roku 5 p.n.e. Fakt, że pojawiła się ona w gwiazdozbiorze Koziorożca bardzo dobrze zgadza się z opisem gwiazdy betlejemskiej dokonanym przez Mędrców. Dwa tysiące lat temu na szerokościach geograficznych Mezopotamii, na przełomie marca i kwietnia gwiazdozbiór Koziorożca pojawiał się na niebie na krótko przed wschodem Słońca. Kometa ta była więc w tym czasie widoczna εν τε ανα–τολε, czyli o wschodzie.

Kometa Bennetta sfotografowana 26 III 1970 roku ponad pasmem Alp Szwajcarskich. Jeśli przyjmie się, że komety są tworami atmosferycznymi nietrudno odnieść wrażenie, że przy takiej orientacji względem horyzontu kometa wskazuje jakiś punkt na powierzchni Ziemi.

Ważność komety jako znaku

Jeżeli proponujemy wyjaśnienie gwiazdy betlejemskiej jako komety, musimy się zastanowić, czy kometa w ogóle, jak i ta w szczególności, mogła mieć jakieś znaczenie dla Mędrców? Trzeba tu wkroczyć na teren interpretacji astrologicznych, astrologia była bowiem wtedy ściśle związana z astronomią. Poczynając od średniowiecza komety interpretowano jako znaki zdecydowanie złowróżbne. Z tego też powodu wielu ludzi usiłujących interpretować naturę gwiazdy betlejemskiej wolało unikać tego wyjaśnienia. Jednak w czasach starożytnych komety były wiązane nie tylko z wielkimi nieszczęściami lub wojnami, ale także ze wspaniałymi zwycięstwami, narodzinami królów, czy też powstawaniem nowych dynastii. Symbolizowały ważne zmiany historyczne, mogły więc zwiastować na przykład czyjeś narodziny. Przypatrując się pojawieniu komety z roku 5 p.n.e. można również zwrócić uwagę na fakt, iż od 1000 roku p.n.e. do 1000 n.e. gwiazdozbiór Koziorożca był miejscem przesilenia zimowego, a więc miejscem odradzania się Słońca. Ponadto Koziorożec był związany z Saturnem, który w astrologii chaldejskiej symbolizował boskiego Ojca. Możliwe, że w istocie wyprawa Mędrców spowodowana została całym ciągiem znaków. Nie bez znaczenia byłaby tu o dwa lata wcześniejsza potrójna koniunkcja Jowisza i Saturna w gwiazdozbiorze Ryb. W astrologii chaldejskiej Jowisz symbolizował boskiego Syna, natomiast gwiazdozbiór Ryb był astrologicznie często wiązany z Izraelem. Również w rok później na niebie nastąpiło zgrupowanie Jowisza i Saturna z Marsem, który symbolizował potęgę militarną. Oba te znaki mogły zwrócić uwagę Mędrców

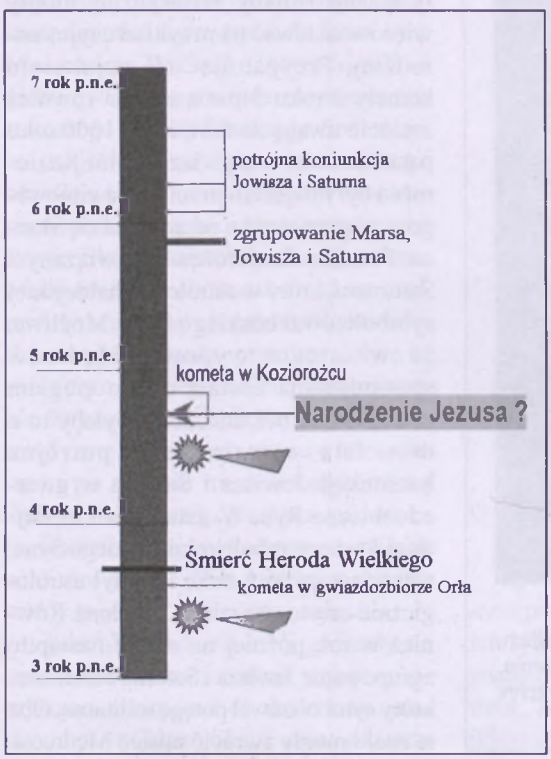
na możliwe narodzenie potężnego Króla–Mesjasza w Judei. Pojawienie się w rok później komety w gwiazdozbiorze Koziorożca byłoby wtedy już trzecim znakiem, tym razem definitywnie wywołującym podróż Mędrców, bowiem kometa ukazując się na wschodzie była znakiem szybko następującej zmiany, w odróżnieniu od komety widocznej na zachodzie, zapowiadającej zmiany powolne.

Jest dość charakterystyczne, że Herod po przeprowadzeniu poufnej rozmowy z Mędrcami na temat gwiazdy kazał zabić w Betlejem wszystkie dzieci w wieku do dwóch lat. Możliwe, że Mędrcy opowiedzieli Herodowi nie tylko o aktualnie widocznej komecie, ale także o poprzedzających ją koniunkcjach planetarnych. Herod wolał się dobrze zabezpieczyć.

Próba ściślejszego datowania

Hipoteza komety z roku 5 p.n.e. wydaje się być zgodna z jeszcze jednym faktem dotyczącym narodzin Jezusa. Łukasz podaje w swojej Ewangelii, że w okolicy Betlejem przebywali w polu pasterze i trzymali straż nocną nad swoją trzodą (Łk 2,8). W całej Palestynie w okresie od listopada do lutego pogoda jest zimna i deszczowa, co nie sprzyja trzymaniu nocą owiec na pastwiskach, a tym bardziej nocowaniu przy nich pasterzy. Owce wypędza się na pastwiska zwykle od marca do końca listopada. Szczególnie w dwóch okresach pasterze przebywali ze swoimi stadami przez całą dobę, a mianowicie na przełomie marca i kwietnia, gdy następował wiosenny sezon rodzenia się jagniąt i w połowie października, gdy stada były zbierane z pól. Kometa pojawiła się w marcu i była widoczna przez 70 dni, Mędrcy musieli więc przybyć do Betlejem najpóźniej z początkiem czerwca. Uwzględniając, że w tym czasie Maria musiała odbyć czterdziestodniowy czas oczyszczenia, a następnie krótką podróż do Świątyni na złożenie wykupu za pierworodnego syna, możemy oszacować czas narodzin Jezusa na miesiące marzec i kwiecień, co odpowiada wiosennemu sezonowi rodzenia się jagniąt.

Można też wysunąć dalszą hipotezę co do daty narodzenia Jezusa. Łukasz wspomina, że dla podróżujących Józefa i Marii nie było miejsca w gospodzie. Fakt ten zwykle łączy się z tłokiem spowodowanym spisem ludności. Jednak ta interpretacja niekoniecznie musi być słuszna, gdyż spisy w starożytności trwały przez dłuższy czas i nie było konieczności stawienia się do spisu na dany dzień czy nawet tydzień. W okresie wiosennym natomiast wypadało największe święto żydowskie, Pascha, na którą w prawie żydowskim każdy dorosły mężczyzna miał obowiązek stawić się do Jerozolimy. Betlejem natomiast leży tylko kilkanaście kilometrów od Jerozolimy i w czasie Paschy mogło być równie zatłoczone pielgrzymami tak jak i cała okolica. Fakt, że Nazaret leży dość daleko, bo około 100 km, od Jerozolimy i w związku z tym podróż do Betlejem nie była krótka, mógł skłonić Józefa do połączenia obu powodów podróży. Można więc wysunąć hipotezę, że Jezus narodził się na kilka dni przed lub po święcie Paschy, które w 5 roku p.n.e. wypadało w kalendarzu juliańskim na 20 kwietnia. Ciekawe, że taką między innymi datę wymieniał pod koniec III wieku wspomniany już tutaj Klemens Aleksandryjski.



Podsumowanie

Powyższa interpretacja wydarzeń została zasugerowana przez Colina Humpreysa i należy do jednej z najlepiej sformułowanych astronomicznych interpretacji gwiazdy betlejemskiej. Jednak mimo swej sugestywności i w niej można znaleźć kilka słabych punktów, jak choćby ten, czy w opisie zachowania się gwiazdy można utożsamiać znaczenia określeń *wisieć* i *zatrzymać się* nad jakimś miejscem. Temat ten pozostaje więc wciąż otwarty i jak sądzę szybko nie zostanie rozwiązany (jeśli w ogóle). Moim zdaniem główny problem leży w odgadnięciu jaki rodzaj znaku na niebie mógł przyciągnąć uwagę Mędrców. Ogromna plastyczność symboli astrologicznych powoduje, że do rangi gwiazdy betlejemskiej może kandydować stanowczo za dużo obiektów na niebie lub ich koniunkcji. Na razie pozostaje nam jedynie świadomość wpływu, jaki owa gwiazda pozostawiła w naszej obyczajowości i języku. Odnajdujemy ją dziś zarówno w określaniu świąt Bożego Narodzenia mianem Gwiazdka, jak i w zwyczaju wypatrywania przed wieczerzą wigilijną pierwszej gwiazdy. Owemu zwyczajowi, mocno przeżywanemu przeze mnie w dzieciństwie, pozostaję wierny do dziś. Za każdym razem wspominam wtedy Mędrców jak i ową tajemniczą gwiazdę, która zainspirowała ich do odnalezienia Jezusa oraz pozwoliła odkryć Jego królewski majestat, mimo ewidentnego ubóstwa w jakim się urodził.

Proponowana literatura:

J. Biała, *Postępy Astronomii* 4/93, 158

D.W. Hughes, *Nature* **264**, 513, 1976

C.J. Humpreys, *Q. Jl. R. astr. Soc.* **32**, 389–407, 1991

M.R. Molnar, *Q. Jl. R. astr. Soc.* **36**, 109–126, 1995

K. Paffenroth, *Q. Jl. R. astr. Soc.* **34**, 449–480, 1993

G. Riccotti, *Życie Jezusa Chrystusa*, PAX, Warszawa 1955.

Paweł Preś jest pracownikiem Instytutu Astronomii we Wrocławiu. Jego ulubionym polem badawczym są gwiazdy typu RS CVn, a szczególnie ich promieniowanie rentgenowskie. Obecnie kończy pracę doktorską o rozbłyskach gwiazdowych.

Konkurs

o kometach

1. Czy komety posiadają jądra, a jeśli tak, to z czego są one zbudowane?

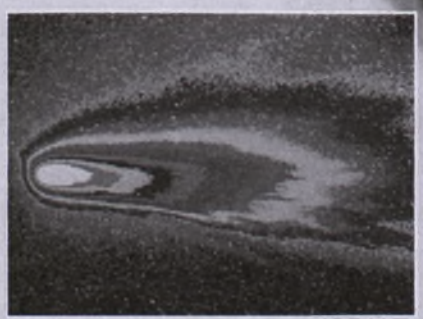
2. Kometa Halley'a podczas swojego ostatniego zbliżenia do Słońca została przebadana z bliska przez pięć sond kosmicznych. Prosimy podać nazwy trzech z nich, ukazanych na prezentowanych obok znaczkach pocztowych.

3. Z jaką kometą kojarzony jest sierpniowy rój meteorów – Perseid?

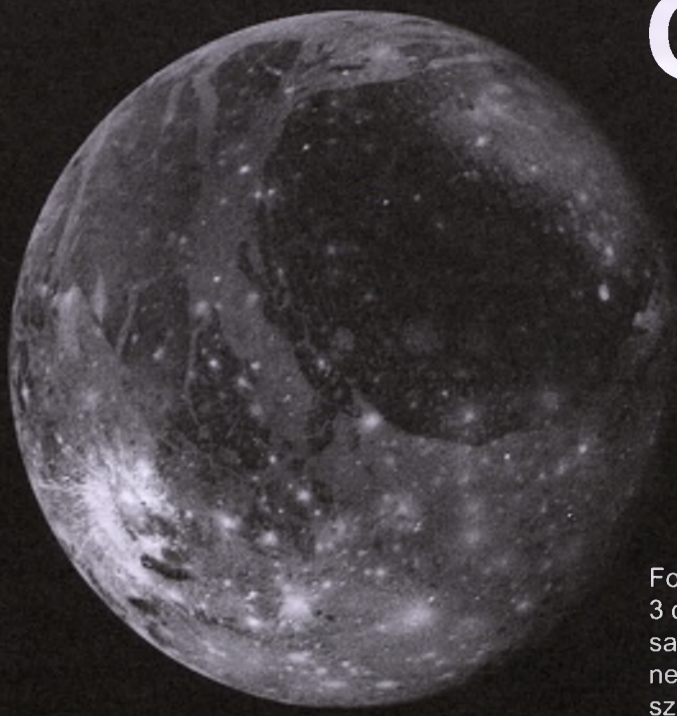
4. Jak nazywa się kometa, u której po raz pierwszy wykryto promieniowanie rentgenowskie?

5. Na poniższych zdjęciach przedstawione zostały obrazy trzech słynnych komet widocznych w bieżącym stuleciu. Prosimy podać ich nazwy i lata ostatniego pojawienia się na naszym niebie.

Odpowiedzi prosimy nadsyłać na adres redakcji do końca kwietnia 1997 roku. Wśród uczestników konkursu rozlosujemy 5 bezpłatnych prenumerat „Postępów Astronomii", a na trzech zwycięzców konkursu czekają nagrody niespodzianki! Liczy się ilość i jakość prawidłowych odpowiedzi!

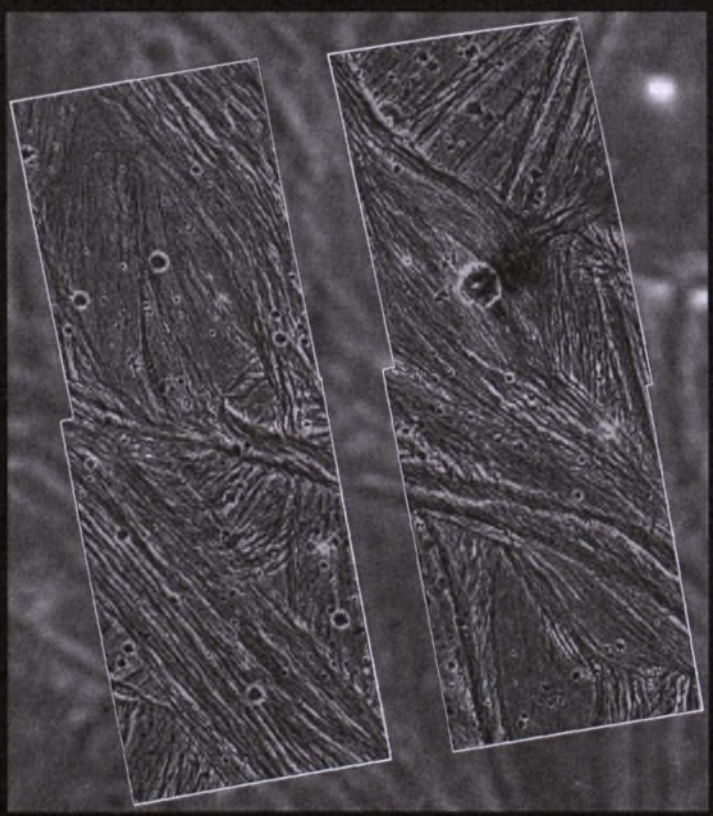


Ganimedes w obiektywie sondy GALILEO



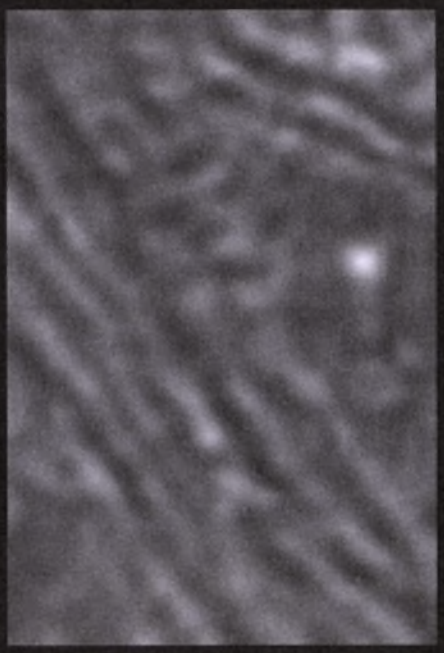
Fot. 1. Widok ogólny globu Ganimedesa uzyskany w dniu 3 czerwca 1996 r., gdy odległość GALILEO od Ganimedesa wynosiła 9.8 mln km. Obraz ten posłużył do precyzyjnego nawigowania stacją kosmiczną. Olbrzymi ciemny obszar to Galileo Regio, którego średnica wynosi ok. 3200 km. Białe plamki to względnie młode kratery meteorytowe. Część obszaru może być pokryta szronem.

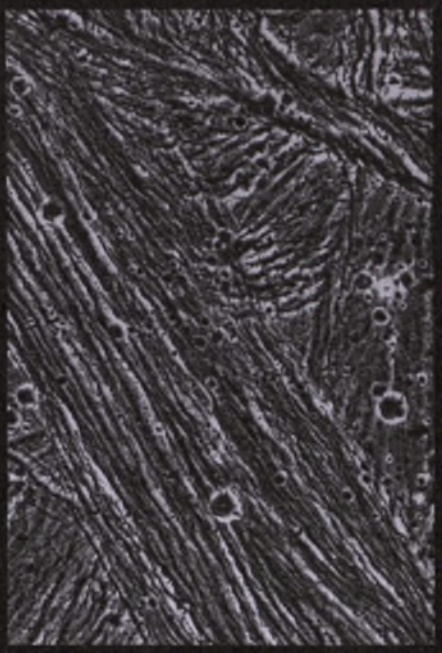
Prezentowane tu obrazy fragmentów powierzchni największego satelity Jowisza, Ganimedesa (promień 2631 km), zostały uzyskane przez statek kosmiczny GALILEO w czasie jego pierwszego zbliżenia do tego satelity. Za wyjątkiem obrazu nr 1, wszystkie zdjęcia zostały zrobione w dniu 27 czerwca 1996 roku. Odległość stacji kosmicznej od satelity wynosiła wtedy ok. 7.5 tysiąca kilometrów. Kolejne bliskie spotkanie tych obiektów nastąpiło we wrześniu 1996 roku, ale na obrazy będziemy musieli poczekać, bo wobec awarii głównej anteny stacji GALILEO, uzyskane dane są magazynowane na pokładzie stacji i przekazywane następnie małymi porcjami (patrz PA 4/95, str. 148.)



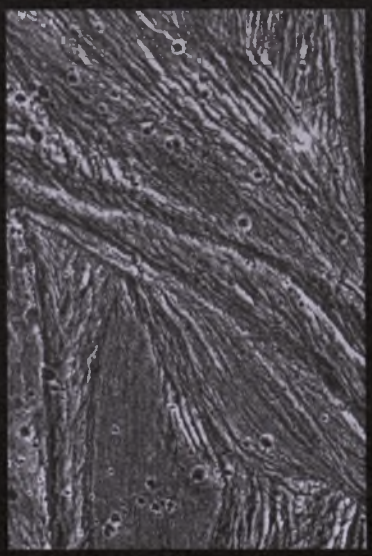
Fot.2. Mozaika 4. obrazów uzyskanych przez GALILEO w rejonie Uruk Sulcus Ganimedesa na tle obrazu tego samego obszaru uzyskanego przez Voyagera 2 w 1979 roku.

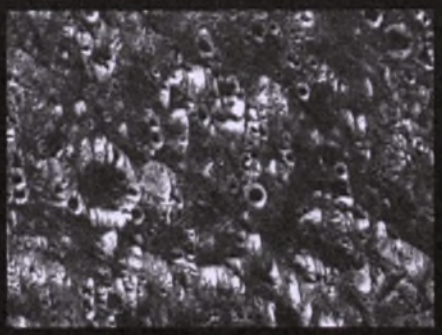
Fot. 3a,b. – porównanie jakości obecnie uzyskanych obrazów z obrazami wcześniejszymi.
Po lewej – obraz uzyskany przez sondę kosmiczną Voyager 2 w roku 1979. Rozdzielczość obrazu wynosi 1.3 km/piksel. Po prawej – obraz tego samego obszaru uzyskany przez GALILEO z odległości 7448 km od Ganimedesa. Zdolność rozdzielcza wynosi 74 m/piksel czyli jest lepsza przeszło 17 razy w stosunku do obrazów Voyagera.





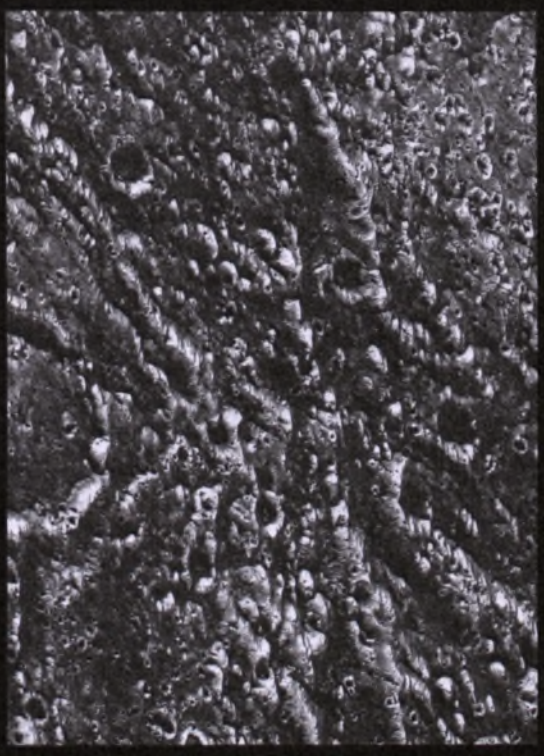
Fot. 4. Górzyste pasma, bruzdy, kratery i względnie płaskie obszary lodowe w rejonie Uruk Sulcus Ganimedesa widoczne z odległości 7448 km.





Fot. 5. Obraz okolicy starego krateru meteorytowego na Ganimedesie wskazujący, że wiek tych obszarów sięga kilku miliardów lat.

Fot. 6. Duży krater meteorytowy w rejonie Uruk Sulcus.



Fot. 7. Obraz części obszaru Galileo (Galileo Regio) na Ganimedesie, który pokazuje „subtelną" strukturę ciemnych rejonów powierzchni tego satelity. Zdjęcie zostało uzyskane z odległości 7652 km.

Ozon w ziemskiej atmosferze

Ultrafioletowe promieniowanie słoneczne dochodzące do powierzchni Ziemi w ciągu ostatnich 15 lat znacznie zwiększyło swoje natężenie. Ten wzrost jest proporcjonalny do ogólnego zmniejszenia się obfitości ozonu w ziemskiej atmosferze. Niepokoi to badaczy różnych specjalności, a szczególnie lekarzy, którzy we wzroście promieniowania ultrafioletowego na powierzchni Ziemi widzą m. in. niebezpieczeństwo wzrostu zachorowań ludzi na raka skóry i kataraktę, złe oddziaływania na plony roślin wykorzystywanych do żywienia człowieka, czy niekorzystne wpływy na życie w morzach i oceanach. To właśnie ozon absorbuje ultrafioletowe promieniowanie Słońca i osłania ziemskie życie od jego zabójczych wpływów. Ponieważ ryzyko dalszego wzrostu promieniowania UV jest bardzo duże, naukowcy z całego świata starają się zrozumieć w jakim stopniu obserwowane zmiany obfitości ozonu w atmosferze są spowodowane z jednej strony działalnością człowieka, a z drugiej takimi procesami naturalnymi jak zmiany dynamiki atmosfery, zmienna aktywność wulkaniczna czy długofalowe zmiany aktywności słonecznej. I od kilkudziesięciu lat prowadzone są regularne obserwacje ozonu mające na celu wyznaczanie jego obfitości w atmosferze i uchwycenie okoliczności zmian tego parametru. Ostatnio coraz częściej te prace są koordynowane w skali światowej i coraz to bardziej wyrafinowana aparatura wprowadzana jest na orbitę okołoziemską, by pełniej i dokładniej śledzić ten problem. W ostatnich miesiącach taką misję pełnią świeżo (odpowiednio 2 lipca i 17 sierpnia 1996) wprowadzone na orbitę satelity TOMS/EP i ADEOS. Pierwszy z nich jest przeznaczonym do badań atmosfery satelitą zbudowanym przez NASA z serii tzw. „Earth Prob" ze spektrometrem ozonowym TOMS (the Total Ozone Mapping Spectrometer) i będzie obserwował atmosferę Ziemi przez prawie 2 dziesięciolecia. Drugi z nich, ADEOS (*Advanced Earth Observing Satellite*) jest satelitą „międzynarodowym". Został wprowadzony na orbitę w sierpniu przy pomocy japońskiej rakiety H-II z japońskiego centrum kosmicznego w Tanegashima. Jego podstawowy, zbudowany przez NASA, instrument TOMS od listopada 1996 będzie kontynuował całodzienną obserwację ozonu atmosferycznego. Obserwacje tego rodzaju rozpoczęła NASA w roku 1978 przy pomocy satelity Nimbus-7 (który pracował do maja 1993 roku) i kontynuowała swoją aparaturą na pokładzie rosyjskiego satelity Meteor-3 aż do końca jego pracy w grudniu 1994 roku. Obecnie wprowadzona na orbitę aparatura jest urządzeniem najnowszej generacji. Z wysokości 800 km mierzy z dużą zdolnością rozdzielczą całkowitą zawartość ozonu w ziemskiej atmosferze przez 24 godziny na dobę. Jak powiedzieliśmy wyżej ozon osłania Ziemię przed niebezpiecznym dla procesów życiowych ultrafioletowym promieniowaniem Słońca, a działalność gospodarcza człowieka i niektóre procesy naturalne niszczą go. Stąd monitorowanie jego zawartości i to w czasie całego cyklu aktywności słonecznej jest bardzo ważne. Osobliwością rozkładu ozonu w ziemskiej atmosferze jest tzw. „dziura antarktyczna" tworząca sie każdego roku w okresie od września do listopada i ona będzie obiektem szczególnej uwagi satelity ADEOS. Jego duża przestrzenna zdolność rozdzielcza i duża precyzja pomiarów pozwolą odkryć i zlokalizować różne źródła zanieczyszczeń atmosferycznych i przyczyn destrukcji tego tak ważnego dla życia składnika atmosfery. Ponadto TOMS dokonuje też pomiarów zawartości dwutlenku siarki, który dostaje się do atmosfery na skutek wybuchów wulkanicznych. Te pomiary z kolei są bardzo ważne dla detekcji i lokalizacji chmur popiołów wulkanicznych, które niezależnie od wpływu na promieniowanie słoneczne, są bardzo groźne dla lotnictwa zarówno cywilnego jak i wojskowego.

Pierwsze pomiary z pokładu świeżo wprowadzonego na prawie biegunową orbitę okołoziemską satelity ADEOS wykonane przez jego spektrometr TOMS dają mapę aktualnego rozkładu ozonu w ziemskiej atmosferze i pokazują rozległą dziurę ozonową nad biegunem południowym. Przytaczamy te obrazy na wkładce w globalnym spojrzeniu na Ziemię i w spojrzeniu na obszary antarktyczne. W sumie pomiary prowadzone przez satelitę ADEOS/TOMS pozwolą na lepsze poznanie zarówno naturalnych, jak i spowodowanych działalnością człowieka procesów odbywających się w tym niezwykle ważnym dla istnienia ludzkości środowisku, jakim jest ziemska atmosfera.

(aw)

Prenumerata *Postępów Astronomii*

Wszystkie sprawy związane z prenumeratą i kolportażem *Postępów Astronomii* prosimy kierować na adres:

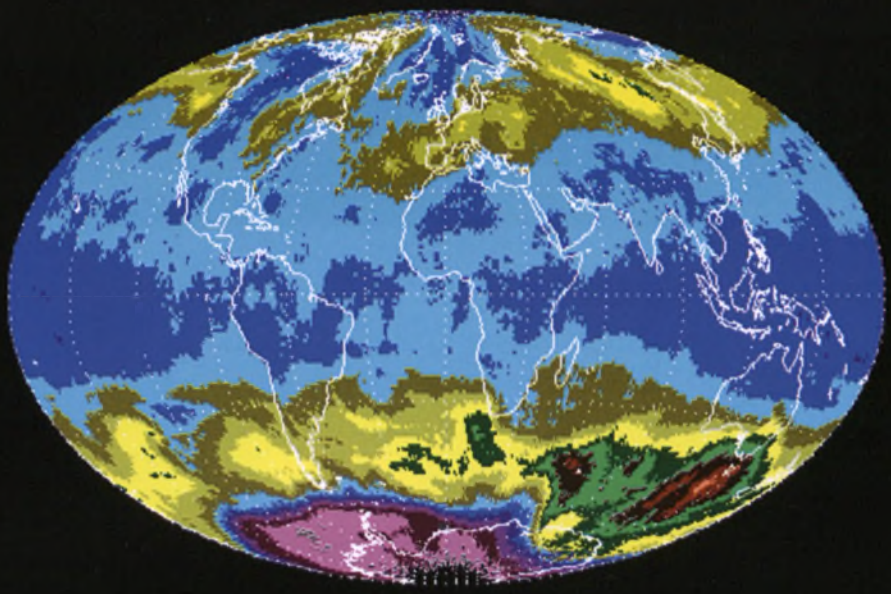
Barbara Gertner
Instytut Astronomii UMK
ul. Chopina 12/18
tel.: (0-56) 260 18 w. 33
e-mail: basia@astri.uni.torun.pl
konto bankowe:
Polskie Towarzystwo Astronomiczne
Bank Gdański S. A. o/Toruń
Nr 308601-6347-132

Cena prenumeraty na rok **1996** wynosi **15 zł** (dla członków PTA - **10 zł**), na rok **1997 - 24 zł** (dla członków PTA - **20 zł**).

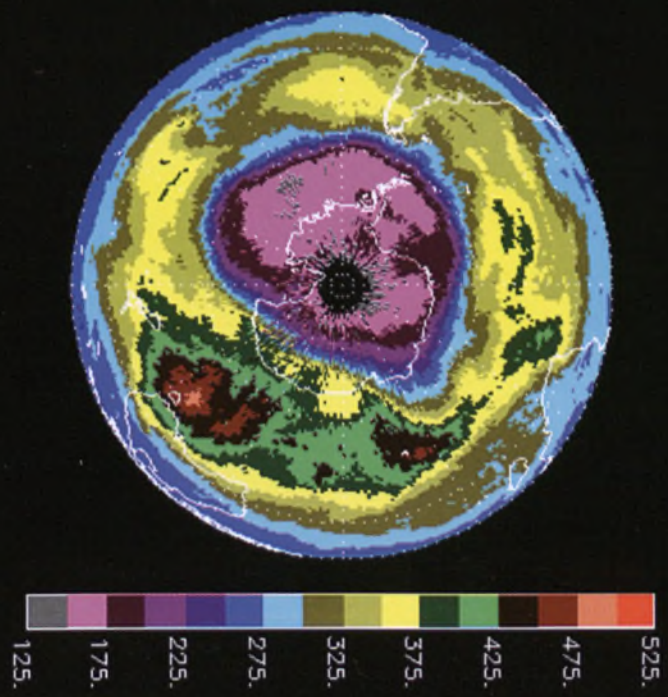
Prenumeratę przyjmujemy przez cały rok i realizujemy począwszy od wskazanego zeszytu.

Posiadamy jeszcze pewną ilość egzemplarzy archiwalnych w bardzo atrakcyjnych cenach!

Ozon w ziemskiej atmosferze



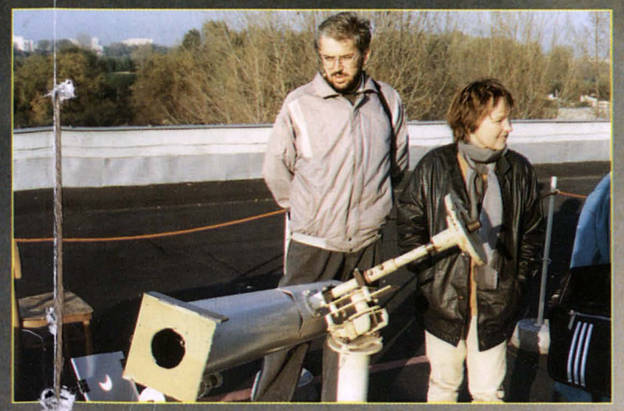
Ozon w ziemskiej atmosferze w dniu 12 września 1996 roku. Dane uzyskane za pomocą instrumentu TOMS umieszczonego na pokładzie satelity ADEOS (patrz – tekst obok).

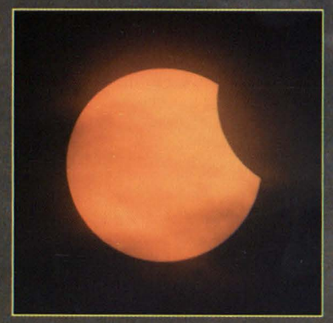


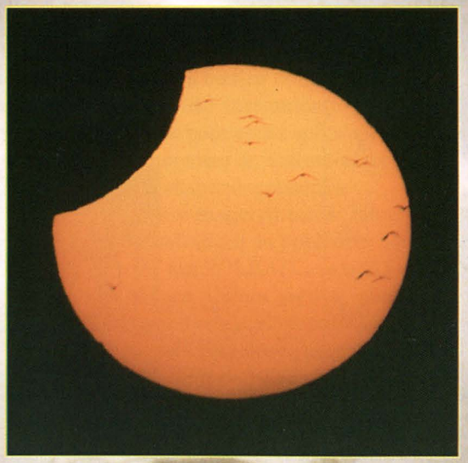
Ozon nad obszarami antarktycznymi w dniu 12 września 1996 roku (TOMS/NASA). Skala w jednostkach Dobsona.

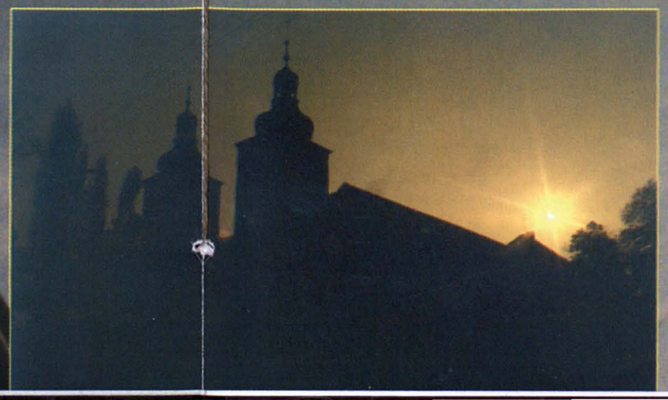
Zaćmienie Słońca

12.10.96



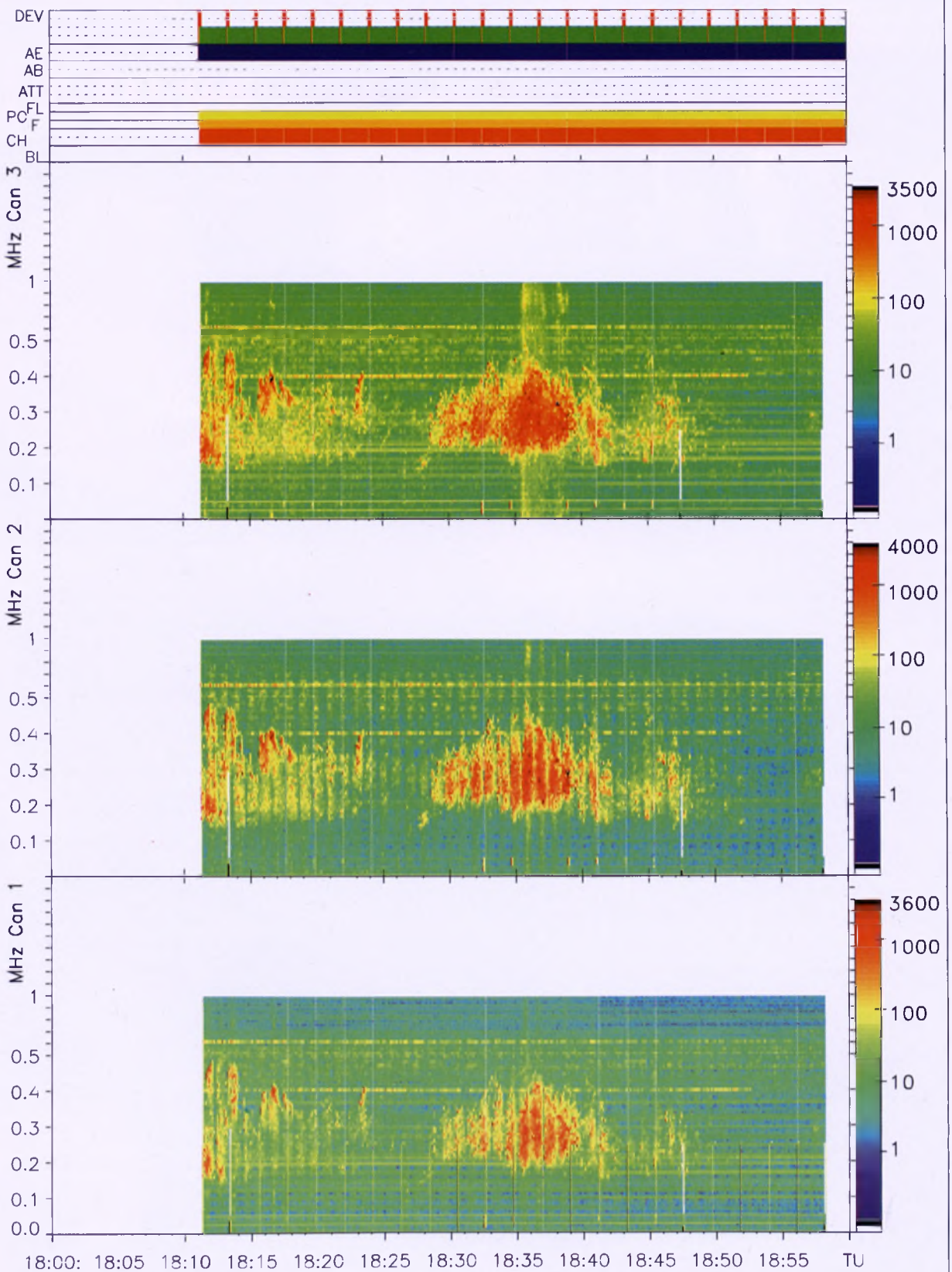






Start time : 27/SEP/96 18:11:13
Orbit : 00124

CHANNELS 1-3 2/12



Sonda Zorzowa bada ziemską magnetosferę

Od 29 sierpnia br. roku krąży szczęśliwie dookoła Ziemi po orbicie eliptycznej silnie nachylonej do równika (62.8 stopni) satelita „Sonda Zorzowa" (INTERBALL-2), z zadaniem badania obszarów zorzowych magnetosfery ziemskiej (apogeum na wysokości około 20 tys. km po stronie północnej i perigeum na wysokości 780 km na półkuli południowej). Okres obiegu satelity dokoła Ziemi wynosi 5,9 godzin. Aparatura badawcza satelity włącza się na kilkugodzinne seanse celem obserwacji zjawisk w obszarach zorzowych i polarnych magnetosfery. 8 razy na dobę aparatura naukowa jest wyłączana na czas przejścia przez pasy radiacyjne z obawy przed uszkodzeniem jej przez promieniowanie jonizujące. Start Sondy Zorzowej rozpoczął drugą fazę dużego międzynarodowego projektu badań magnetosfery ziemskiej znanego pod nazwą INTERBALL (patrz artykuł w *PA* 2/96 str. 73–75).

Projekt ten zapoczątkowany został rok wcześniej startem Sondy Ogonowej, która penetruje odległe obszary ogona magnetosfery ziemskiej po silnie ekscentrycznej orbicie, o apogeum oddalonym od Ziemi o 200 tys. km. Oba satelity prowadzą poszukiwania skorelowanych zjawisk celem zrozumienia wzajemnych odziaływań pomiędzy zjawiskami w tych oddalonych od siebie, ale sprzężonych magnetycznie obszarach.

Sonda Zorzowa jest rosyjskim satelitą typu Prognoz-M2. Wyniesiona została w przestrzeń kosmiczną z pomocą rakiety nośnej typu Mołnia-M. Miejscem startu był kosmodrom w Plesiecku (miejscowość na trasie Archangielsk-Wołogda, 145 km na południe od Archangielska, dawniej był na tym obszarze gułag). Na pokładzie sondy został również wyniesiony w przestrzeń czeski subsatelita Magion-5. Niestety wkrótce po odłączeniu od głównego satelity stracono z nim łączność.

Dane eksperymentalne pozyskiwane przez poszczególne instrumenty, są najpierw zapisywane na dysku pokładowym i co kilka dni trasmitowane do ośrodka łączności kosmicznej w pobliżu Eupatorii na Krymie. Stamtąd są one przesyłane siecią Internetu do Instytutu Badań Kosmicznych Rosyjskiej Akademii Nauk w Moskwie. Tam podlegają wstępnemu przetworzeniu polegającemu na dekomutacji poszczególnych eksperymentów i nawiązaniu czasu. Praktycznie w ciągu 1 do 2 dni od transmisji na Ziemię, dane pomiarowe stają się dostępne dla eksperymentatorów pracujących w różnych częściach świata na serwerze tego instytutu. Dalsza redukcja mająca na celu m. in. wizualizację danych, odbywa się w laboratoriach uczestniczących eksperymentatorów. Przykładowe rejestracje pomiarów można znaleźć na stronie **http://www. iki. rssi. ru/interball.html.**

INTERBALL wyróżnia się wśród innych projektów badań magnetosferycznych kompleksowością aparatury pomiarowej przeznaczonej do równoczesnych pomiarów cząstek i fal, co ma kluczowe znaczenie dla zrozumienia wzajemnych odziaływań między polami elektromagnetycznymi i cząstkami naładowanymi plazmy magnetosferycznej. Na obu sondach znajdują się urządzenia do pomiarów otaczającej plazmy, w tym jej składu jonowego, funkcji rozkładów energii cząstek o energiach od termicznych do relatywistycznych, oraz pól elektrycznych i magnetycznych w zakresie częstotliwości od ułamka herca do pojedynczych megaherców. Na pokładzie Sondy Zorzowej została także zainstalowana kamera video do rejestrownia ultrafioletowych obrazów owalu zorzowego. Na stronie INTERBALL-a można zobaczyć różnorodne widma energetyczne cząstek zjonizowanych i widma częstotliwości fal plazmowych uzyskanych za pomocą instrumentów badawczych zainstalowanych na obu sondach.

Obecnie po około 3 miesiącach intensywnej pracy Sondy Zorzowej na orbicie można uznać, że urządzenia pokładowe pracują bardzo dobrze, podobnie jak większość instrumentów naukowych. Dane pomiarowe spływają szerokim strumieniem do uczestniczących w projekcie eksperymentatorów.

Jednym z eksperymentów falowych przeprowadzanych na pokładzie Sondy Zorzowej jest POLRAD, zaprojektowany w Polsce. Celem jego są pomiary widm i polaryzacji kilometrowego promieniowania zorzowego *(Auroral Kilometric Radiation - AKR)*. Jest to bardzo silne promieniowanie elektromagnetyczne, o mocach osiągających czasami setki megawatów, generowane w zakresie częstotliwości od około 100 do 1000 kHz, w specyficznych obszarach zorzowych magnetosfery na wysokościach od 3 do 15 tys. kilometrów. Obszary te charakteryzują się częstym występowaniem akceleracji cząstek naładowanych i silną turbulencją plazmową wywołaną oddziaływaniami pomiędzy fałami plazmowymi i wiązkami elektronów wysypujących się wzdłuż linii sił pola magnetycznego. Widma turbulencji i generowanego promieniowania elektromagnetycznego są mierzone w szerokim zakresie częstotliwości, od ułamka herca do 2 megaherców przez instrumenty do pomiarów fal. Są to: francuski IESP (zakres częstotliwości od 0,1 do 30 Hz, rosyjski NVK–ONCH: 20 Hz do 20 kHz, francuskie MEMO: 1 Hz do 240 kHz i polski POLRAD: 4 kHz do 2 MHz. Tak więc POLRAD pokrywa zakres najwyższych częstotliwości. W zakresie od 4 do 240 kHz POLRAD i MEMO wzajemnie się uzupełniają. Gdy MEMO dostarcza „mikroskopowych" widm o dużej zdolności rozdzielczej w krótkich interwałach czasu (rzędu sekundy) to POLRAD mierzy w tym samym czasie widma „makroskopowe" z gorszą rozdzielczością (4 kHz), ale w sposób ciągły.

Mechanizm generacji AKR nie jest wciąż dostatecznie wyjaśniony. Podobnie

też i warunki jego propagacji w magnetosferze. Jedną z zalet Sondy Zorzowej jest to, że jej orbita przecina źródła AKR. Jest to znakomita okazja do obserwacji *in situ* procesu generacji tego promieniowania w zestawieniu z równocześnie obserwowanymi widmami turbulencji plazmowej i mierzonymi funkcjami rozkładów cząstek. Warto nadmienić, że jest niebywale trudno prowadzić tego rodzaju pomiary w laboratorium.

Instrument zastosowany do eksperymentu POLRAD to radio-spektro-polarymetr. Jest to wielokanałowy odbiornik radiowy, którego odbiorcze pasmo o szerokości 4 kHz jest przemiatane periodycznie równocześnie we wszystkich kanałach, w żądanym zakresie częstotliwości pomiędzy 4 kHz a 2 MHz. Zaopatrzony jest on w 3 prostopadłe anteny: 2 dipole w płaszczyźnie prostopadłej do osi rotacji satelity o rozpiętości 22 metrów i jeden monopol, wzdłuż osi rotacji, w kierunku anty-słonecznym, o długości 11 m. W ciągu jednego okresu przemiatania POLRAD zapisuje jedno widmo mocy odbieranego promieniowania. Wielokrotne przemiatanie pozwala na zarejestrowanie zmienności czasowej widma ze zdolnością rozdzielczą w czasie równą okresowi przemiatania. Tak powstaje widmo dynamiczne. POLRAD może pracować na kilka sposobów. Jednym z prostszych rodzajów pracy jest jednokanałowy odbiór dla uzyskania widma dynamicznego mocy promieniowania odbieranego przez jedną z trzech anten. W tym rodzaju pracy POLRAD jest wykorzystany jako radiospektrograf.

Dla pomiarów polaryzacji promieniowania jest wykorzystywany odbiór dziewięciokanałowy (radio-spektro-polarymetr). Polega on na tym, że odbierane z trzech anten sygnały radiowe są jednocześnie procesowane i wzmacniane równolegle w dziewięciu niezależnych kanałach, by dostarczyć danych do wyznaczenia parametrów polaryzacji AKR w funkcji częstotliwości (parametry Stokesa). Wyjściowe sygnały są proporcjonalne do logarytmów mocy:

- trzech sygnałów odbieranych oddzielnie z każdej anteny,
- trzech sum sygnałów odbieranych przez każdą parę anten,
- trzech sum sygnałów odbieranych przez każdą parę anten, lecz z jednym sygnałem opóźnionym w fazie względem drugiego o 90 stopni.

Opóźnienie to jest odpowiednikiem „ćwierćfalówki" w polarymetrach optycznych. Gdyby anteny POLRAD-a były skierowane na źródło promieniowania, to dla wyznaczenia czterech parametrów Stokesa wystarczyłyby dwie anteny usytuowane w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku na źródło. Jednakże kierunek na źródło nie jest *a priori* znany. Dlatego do wyznaczenia go i parametrów polaryzacji potrzeba trzech anten i 9 wyżej wymienionych pomiarów. POLRAD może być także połączony z trzema antenami ferromagnetycznymi, w które wyposażony jest francuski instrument MEMO.

Anteny POLRAD-a są bardzo krótkie w porównaniu z długościami analizowanych fal, wynoszącymi od 150 do 15 000 metrów. Tak krótkie anteny są czułe jedynie na składową elektryczną pola fali elektromagnetycznej. Przy równoczesnej pracy „anteny elektrycznej" POLRAD-a i „magnetycznej" MEMO można porównać moce składowej elektrycznej i magnetycznej fali i stąd ocenić, na ile plazma modyfikuje własności fali.

Inne możliwe rodzaje pracy POLRAD-a, to diagnozowanie otaczającej plazmy za pomocą sondowania relaksacyjnego oraz pomiarów impedancji dwóch prostopadłych anten.

Sondowanie plazmy odbywa za pomocą jednej anteny, która nadaje krótkotrwały impuls (250 mikrosekund) podczas gdy druga „słucha" odpowiedzi plazmy pobudzonej do drgań na jej charakterystycznych częstotliwościach rezonansowych. Drgania te gasną w ciągu około 100 milisekund. Pomiar częstotliwości rezonansu górno-hybrydowego pozwala na wyznaczenie gęstości plazmy gdy znana jest częstość cyklotronowa elektronów z pomiarów magnetometrem.

Impedancja anten zależy od gęstości elektronowej i natężenia pola magnetycznego otaczającej plazmy. Dlatego jej wyznaczanie w funkcji częstotliwości pozwala na pomiar charakterystycznych częstotliwości, które zależą od tych dwóch parametrów plazmy.

Pierwsze włączenie aparatury POLRAD-a nastąpiło 4 września 1996 r., w 5 dni po starcie satelity. Przeprowadzone następnie testy wykazały, że pracuje ona tak jak oczekiwano. Obecnie POLRAD obserwuje pełną parą. W ciągu trzech miesięcy dotychczasowej pracy POLRAD-a spłynęło przeszło 200 megabajtów danych obserwacyjnych. Przez większość czasu obserwacyjnego jest widoczne AKR. Ograniczenia czasu obserwacji wynikają jedynie z przepustowości systemu telemetrycznego, oraz z wyłączeń aparatury na czas przechodzenia satelity przez pasy radiacyjne van Allena.

Rysunek przedstawia przykład widm zorzowego promieniowania kilometrowego otrzymanych w dniu 27 września 1996 r. od godz. 18:11:10 do 18:58:00 czasu uniwersalnego w trzech kanałach: kanał 1 – widmo z anteny Y, kanał 2 – widmo z anteny Z (obie anteny prostopadłe do osi rotacji satelity), kanał 3 – widmo z anteny X. Dobrze widoczna jest modulacja sygnału z okresem 60 sekund w kanałach 1 i 2 z powodu rotacji satelity. Widać także, że widmo w kanale 3, odpowiadającym antenie X, nie jest modulowane, ponieważ antena ta jest umieszczona wzdłuż osi obrotu. Pomiar fazy modulacji będzie wykorzystany do wyznaczania kierunków źródeł AKR. Na rysunku nie zostały jeszcze skalibrowane wartości gęstości mocy promieniowania. Mają one tylko względne znaczenie. Dane z pozostałych 6 kanałów (nie pokazane) posłużą do wyznaczania parametrów polaryzacyjnych.

Eksperyment POLRAD jest prowadzony przez Centrum Badań Kosmicznych PAN i został przygotowany wspólnie przez Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN, CBK. i Instytut Lotnictwa. Aparatura była zbudowana pod technicznym kierownictwem dra inż. Zygmunta Krawczyka z Instytutu Lotnictwa. Eksperyment jest częściowo finansowany przez Komitet Badań Naukowych (grant nr: *2 P03C 008 08*).

Jan Hanasz
Centrum Badań Kosmicznych PAN

TAJEMNICE ŹRÓDEŁ RADIOWYCH KLASY GPS

Jacek Niezgoda

Klasa radioźródeł GPS (*Gigahertz Peaked Spectrum sources*) jest jednym z ważnych problemów dzisiejszej astronomii radiowej. Charakteryzuje się ciekawymi własnościami widma radiowego: widmo tych radioźródeł jest wypukłe, ma stromy wskaźnik widmowy na wysokich częstotliwościach i przegięcie blisko = 1 GHz. Wyodrębniona została z klasy radioźródeł zwartych o stromym widmie (CSS). Źródła tej klasy należą obecnie do najbardziej zwartych, a z drugiej strony radiowo najjaśniejszych. Obiekty macierzyste radioźródeł GPS to różnorodna mieszanina galaktyk i kwazarów. Interesującym jest, że ponad połowa kwazarów GPS ma wartości przesunięcia ku czerwieni z powyżej 3. Sprawia to, że są one szczególnie ciekawe w badaniach młodego Wszechświata i jego ewolucji. Mogą też służyć jako test obecnych schematów unifikacyjnych. Obserwowana wokół pewnej części źródeł GPS rozległa gęsta otoczka gazowa może tłumić aktywność jądra, a przy okazji silnie powstrzymywać radiowy dżet, w konsekwencji bardzo spowalniając ewolucję radioźródła. Hipoteza, że źródła GPS są obiektami stosunkowo młodymi (wcześniejsza wersja klasy CSS) nie zgadza się z powyższym faktem obserwacyjnym. To, czy klasa GPS jest rzeczywiście odrębną oraz czy faktycznie ma ona jakiś związek ewolucyjny ze źródłami wielkoskalowymi na razie nie wiemy.

KLASY RADIOŹRÓDEŁ

W oparciu o zależność pomiędzy strumieniem S, a częstotliwością widma radiowego :

$$S \sim \nu^{-\alpha}$$

przyjmuje się następujące określenie widm:

- widmo płaskie, gdy $\alpha < 0.5$,
- widmo strome, gdy $\alpha \geq 0.5$,

a współczynnik α nazywamy *indeksem widmowym*. Określenie „widmo płaskie", czy „widmo strome" jest tu ściśle związane z kształtem radiowego kontinuum, za które jest odpowiedzialny mechanizm promieniowania. **Rys. 1** przedstawia dwa główne mechanizmy emisji radioźródeł, promieniowanie synchrotronowe i swobodno-swobodne. Nachylenie widma opisuje właśnie powyższy wskaźnik; znając go możemy, oczywiście w przybliżeniu, określić jaki mechanizm promieniowania dominuje w danym obiekcie.

Pierwsze przeglądy radiowe nieba dały początek prostemu podziałowi klasyfikacyjnemu obiektów radiowych. Obserwowane źródła radiowe zostały sklasyfikowane na dwie kategorie obiektów: rozległych[1], o *stromym widmie* ($\alpha \geq 0.5$) i zwartych[2], o *płaskim widmie* ($\alpha < 0.5$), wyselekcjonowanych odpowiednio w przeglądach na niskich i wysokich częstotliwościach. Pierwszą grupę stanowią obiekty podwójne z dwoma dobrze oddzielonymi płatami emisji radiowej, rozciągającymi się na około kilkaset kpc od aktywnego jądra identyfikowanej optycznie galaktyki macierzystej. Po bardziej wnikliwym przebadaniu, z dostatecznie wysoką czułością i rozdzielczością, większość z nich okazała się być raczej potrójna niż podwójna, ze zwartym centrum (na wysokich częstościach), odpowiadającemu położeniu jądra galaktyki macierzystej.

Podobnie było w przypadku źródeł zwartych, które były nierozdzielonymi punktami, a ich położenia zgadzały się z jądrem galaktyki macierzystej. Po zbadaniu ich z dostateczną rozdzielczością i czułością okazało się, że często pokazują one rozległą emisję o stromym widmie w dodatku do dominujących jąder. *Zwarta* i *rozległa* klasa źródeł została więc przemianowana na klasę odpowiednio z *dominacją jądra* i z *dominacją płatów*.

ŹRÓDŁA ZWARTE O STROMYM WIDMIE, CSS

Obok źródeł *zwartych* o płaskim widmie (*dominacja jądra*) i *rozległych* o stromym widmie (*dominacja płatów*) wyróżniono jeszcze trzecią kategorię radioźródeł *zwartych o stromym widmie*, zwanych CSS (*Compact Steep Spectrum sources*). Źródła te, odpowiadające około 15% obiektów katalogu 3CR, występują w różnego rodzaju aktywnych galaktykach, wliczając w to kwazary, radiogalaktyki i nieliczne galaktyki Seyferta. Chociaż są to obiekty zwarte (<2" lub 10 kpc) (ponieważ nie były one początkowo rozdzielone przez konwencjonalną interferometrię, np. 5km teleskop w Cambridge), ich strome widmo ($\alpha > 0.5$), typowe dla źródeł o dominacji płatów, wskazywało, że nie posiadają one dominującego i zwartego jądra.

Niemniej jednak, przeprowadzone w ostatnich latach obserwacje o wysokiej rozdzielczości przy pomocy systemów MERLIN[3], VLA[4] czy VLBI[5] ujawniły strukturę radiową źródeł CSS. Klasyfikacja radioźródeł CSS pokazała natomiast, że 40% z nich to źródła podwójne, 40% potrójne, 10% o dominacji dżetu i 10% złożone, tj. takie, których nie dało się opisać w jakiś prosty sposób. Również i tu wystąpiły wyraźne strukturalne różnice pomiędzy radiogalaktykami a kwazarami, podobnie jak w przypadku źródeł wielkoskalowych. Radiogalaktyki generalnie miały prostą podwójną strukturę radiową (czasami ze słabym radiowym dżetem i jądrem), podczas

[1] Obiekty o wyraźnej, rozległej strukturze radiowej (obserwowane są rozległe płaty emisji radiowej); głównie radiogalaktyki, np. *Cygnus*.

[2] Chodzi tu o radioźródła punktowe lub z trudnością rozdzielane (kwazary).

[3] MERLIN - ang. *Multi Element Radio Linked Interferometr Network* (Wielka Brytania).

[4] VLA - ang. *Very Large Array* (USA).

[5] VLBI - ang. *Very Long Baseline Interferometry*.

gdy kwazary pokazywały albo potrójną strukturę (z silnym centralnym składnikiem składającym się z jasnego dżetu) albo strukturę dżetopodobną lub złożoną.

Mały widomy rozmiar źródeł CSS mógł być albo faktyczny albo być wynikiem efektów projekcji. W tym drugim przypadku, CSS'y mogłyby być rozległymi radioźródłami zorientowanymi w kierunku linii widzenia. Nawet jeśli efekty projekcji mogłyby rozszerzać jakieś rzeczywiste zniekształcenie, to fakt braku dominującego wzmocnienia dopplerowskiego jądra jak i stosunek strumieni składników upodabniają tę klasę do rozległych źródeł o stromym widmie. W dodatku, rozkład rozmiarów liniowych źródeł 3CR (które mogłyby być przyjęte jako przypadkowo zorientowane, skoro w większości mają one strome widma) wskazuje, że ≤ 25% obiektów powinno być większymi źródłami widzianymi blisko linii widzenia. Ponieważ jest tam zbyt dużo źródeł CSS, by wyjaśnić je przez prostą projekcję, generalnie przyjmuje się, że ta kategoria obiektów składa się z populacji faktycznie małych radioźródeł (1-10 kpc), przypadkowo zorientowanych na niebie, a tylko dla niewielkiej ich części efekty projekcji mogłyby być znaczące. Wynika stąd, że emisja radiowa źródeł CSS jest ograniczona do obszaru emisji optycznej (~10-20 kpc) galaktyki macierzystej. Ponieważ płaty radiowe pokrywają się z obszarem wąskich linii (NLR *Narrow Line Region*), to złożone struktury radiowe pewnych źródeł CSS mogłyby pochodzić z interakcji z plazmą radiową w tym gęstym lokalnym ośrodku. Być może jedyną faktyczną różnicą pomiędzy radiogalaktykami i kwazarami CSS jest to, że te drugie mogą zawierać bardziej gęsty ośrodek, który tłumaczyłby ich bardziej złożoną strukturę radiową. Subgalaktyczna natura źródeł CSS prowadzi do dwóch możliwych hipotez:

1. reprezentują one oddzielną klasę źródeł, których emisja radiowa nie może przebić się przez gęsty i zaburzony ośrodek ograniczający propagację wiązek radiowych, albo
2. reprezentują wczesne stadium rozwoju radioźródeł wielkoskalowych, głównie FRII[6].

[6] FRII - Fanarof - Riley II, klasa radioźródeł wielkoskalowych, charakteryzujących się jasnymi płatami emisji radiowej i olbrzymimi rozmiarami, dochodzącymi nawet do 1 Mps.

W pierwszym przypadku, CSS'y mogą być klasą źródeł „stłumionych", gdzie niezwykłe warunki panujące w lokalnym ośrodku międzygwiazdowym (ISM *Inter Stellar Medium*), np. bardzo gęstym i/lub turbulentnym, powstrzymują rozbudowę radioźródeł do postaci wielkoskalowej. W tym przypadku, powyższa klasa bardzo jasnych radiowo obiektów mogłaby być analogią słabych, pod względem jasności, galaktyk Seyferta, gdzie dżety spędzają całe swoje życie próbując wyrwać się na zewnątrz ISM. Być może, takie dżety są cechą charakterystyczną źródeł CSS co powoduje, że klasa ta jest szczególnie nieefektywna w transporcie materiału promienistego z centrum do daleko położonych i rozległych płatów. Jeśli jednak ośrodek i dżety są podobne zarówno w klasie CSS jak i w rozległych źródłach, to wówczas ten drugi, tj. ewolucyjny scenariusz CSS, mógłby odpowiadać początkowemu stadium formowania się radioźródeł, w którym wiązki wydobywające się z jądra nie zdążyły jeszcze przedostać się przez gęsty ośrodek międzygwiazdowy.

Oprócz klasy CSS istnieją inne klasy radioźródeł o bardzo małych rozmiarach i o podobnych do niej własnościach. Należą do nich źródła zwane GPS, z podklasą źródeł CD (*Compact Double sources*), oraz źródła CT (*Compact Triple sources*). Powyższe klasy mogą kształtować pewne więzi ewolucyjne z klasą CSS i źródłami rozległymi.

ZWARTE ŹRÓDŁA GPS

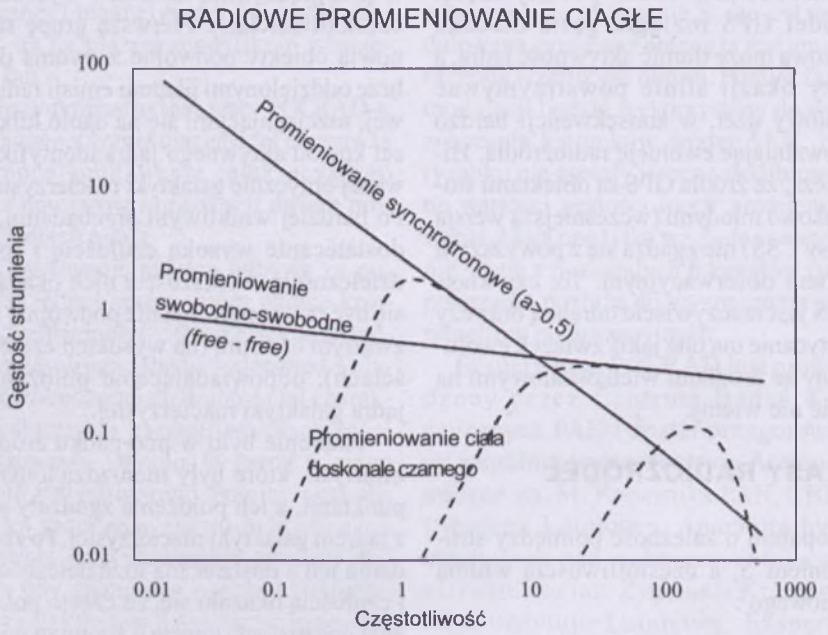
Źródła radiowe zwane GPS to stosunkowo niedawno wyodrębniona, z grupy źródeł CSS, zagadkowa klasa jąder aktywnych galaktyk. Do cech, które definiują tę klasę obiektów zaliczamy:

1. proste, wypukłe widmo radiowe ze stromym wskaźnikiem widmowym na wysokich częstotliwościach i przegięciem widma około $\nu = 1$ GHz,
2. zwartość (kątowa rzędu 10-100 mas[7]), liniowa ~ 10-1000 ps - są to najbardziej zwarte struktury radiowe),
3. bardzo wysokie jasności radiowe (~ 10^{45} erg/s) porównywalne z najsilniejszymi kwazarami,
4. niska polaryzacja radiowa (i optyczna).

Natura tych obiektów jest wciąż niewyjaśniona.

Obiekty macierzyste źródeł GPS są różnorodną mieszaniną radiogalaktyk i kwazarów. Mapy VLBI źródeł GPS pokazują, że część z nich (prawie wyłącznie

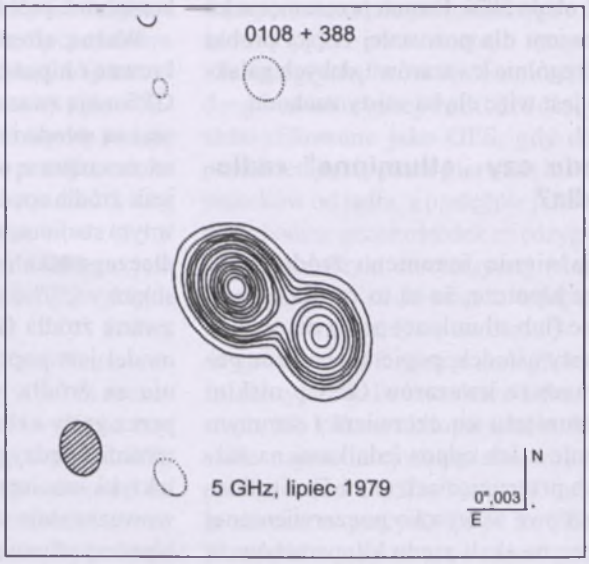
[7] mas - ang. *miliarcsecond*.



Rys. 1. Kontinuum radiowe podstawowych mechanizmów emisji promieniowania radioźródeł. Nachylenie widma określa wartość indeksu widmowego, przy okazji wskazując na mechanizm promieniowania. Widma rzeczywistych obiektów są z reguły dużo bardziej złożone (kilka mechanizmów emisji, bardziej złożona lub niejednorodna struktura, kilka składników, itd.). Na rysunku zaznaczono również schematycznie widmo promieniowania ciała doskonale czarnego.

kwazary, jak wynika z identyfikacji optycznych) okazuje się mieć złożoną lub asymetryczną budowę. Inne, nazywane *zwartymi podwójnymi* (prawie wyłącznie galaktyki), pokazują dwa składniki o podobnym strumieniu gęstości i kształcie widma. Przykładem takiego obiektu jest radioźródło 0108+388, którego strukturę radiową, wykonaną przez system VLBI na 5 GHz, przedstawia **Rys. 2**.

Na początku sądzono, że zwarte, podwójne źródła GPS mogą reprezentować wczesne stadium ewolucji klasycznych podwójnych radioźródeł. W 1990 roku jednak zauważono (właśnie na przykładzie źródła 0108+388), że często wokół zwartych, podwójnych źródeł i innych GPS obserwuje się rozległy obszar emisji (średnio dla co czwartego GPS). Istnienie takich obszarów nie zgadzało się z hipotezą, że wszystkie zwarte podwójne GPS są bardzo młodymi źródłami.



Rys. 2. Mapa konturowa VLBI radioźródła 0108+388 wykonana na częstotliwości 5 GHz z rozdzielczością ~ 0.001". Skala mapy jest określona w dolnym prawym rogu, natomiast po drugiej stronie (w lewym dolnym rogu w postaci zakreskowanego owalu) umieszczona została wielkość wiązki, jaką analizowano obiekt. Widać dwa blisko siebie położone składniki. Wartość strumienia maksimum wynosi 0.99 Jy.

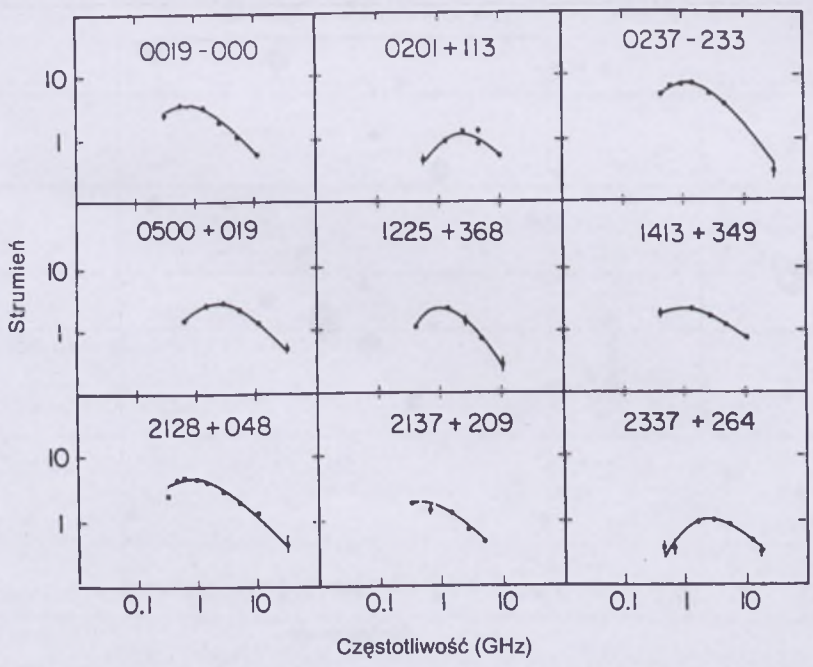
Widmo radiowe źródeł GPS

Widma radiowe źródeł GPS należą do najbardziej charakterystycznych. Zdecydowanie wyróżniającą się ich cechą jest przegięcie w okolicach = 1 GHz. Istnienie takiego przegięcia powoduje, że w większości przypadków widmo radioźródeł GPS na niskich częstotliwościach, szczególnie pomiędzy 0.3 a 1.4 GHz, jest silnie odwrócone, tzn. $z < 0.5$, natomiast na wysokich bardzo strome (> 0.5). Przykładowe takie szerokopasmowe widmo dla kilku obiektów GPS przedstawia **Rys. 3**.

Przegięcie widma najprawdopodobniej spowodowane jest wewnętrzną absorpcją synchrotronową, tj. gęstość elektronów w obrębie źródła jest tak duża, że staje się ono nieprzezroczyste dla jego własnego promieniowania (co jest zresztą przyczyną istnienia płaskiego widma) taki pogląd wynika z obserwacji VLBI. W celu określenia gęstości strumienia (S_m) i częstotliwości punktu przegięcia widma (ν_m) do punktów obserwacyjnych widma najczęściej dopasowuje się, metodą najmniejszych kwadratów, krzywą postaci

$$\log S = a + b(\log \nu) + c(\log \nu)^2,$$

gdzie: S strumień gęstości, ν częstotliwość, a, b, c stałe modelu.



Rys. 3. Szerokopasmowe widma radiowe 9 radioźródeł klasy GPS. Widoczne maksimum widma pojawia się zawsze w okolicach ν = 1 GHz. Poszczególne punkty oznaczają wykonane obserwacje.

Własności optyczne źródeł GPS

Z przeprowadzonych identyfikacji optycznych wynika, że radioźródła GPS, które są pustymi polami na planszach Atlasu Palomarskiego stanowią 44% obiektów. Obserwacje przy pomocy kamer CCD jak dotychczas, zredukowało tę liczbę do 8%! Przykład obrazu CCD w filtrze R i I (610-710 nm i 760-880 nm) obiektu 0108+388 pokazuje **Rys. 4**. Warto zwrócić uwagę na fakt, że są to obiekty bardzo słabe optycznie, jasności większości obiektów mieszczą się w przedziale 20-23 magnitudo. Poza tym kwazary stanowią 27%, gwiazdy 25% i galaktyki 28% próbki. Przesunięcia ku czerwieni są na razie dostępne dla jedynie niewielkiej części obiektów. Istniejący rozkład wartości przesunięcia dla galaktyk i kwazarów jest najwidoczniej bardzo różny. Wartości przesunięcia ku czerwieni z dla galaktyk rzadko przekraczają 1, natomiast dla kwazarów występują w dość dużym przedziale od 1 do 4. Dlatego też źródeł GPS (szczególnie kwazarów) używa się do poszukiwania obiektów o wysokim przesunięciu ku

czerwieni - taka metoda daje skuteczność około 50%. Pomiar przesunięcia ku czerwieni dla pozostałej części próbki (szczególnie kwazarów i słabych galaktyk) jest więc chyba warty zachodu.

Młode czy „stłumione" radioźródła?

Wyjaśnienie fenomenu źródeł GPS przez hipotezę, że są to źródła ograniczone (lub stłumione) przez otaczający je gęsty ośrodek, popierają badania porównawcze kwazarów GPS o niskim przesunięciu ku czerwieni i stromym widmie z ich odpowiednikami na niższych przesunięciach ($z > 1.5$). Struktury radiowe w wysoko poczerwienionej próbce na skali rzędu kiloparseków są mniejsze (i możliwie bardziej zniekształcone). Klasa GPS może więc być ekstremalnym przypadkiem źródeł ograniczonych do obszarów jądra galaktyki macierzystej przez gęsty i zbrylony ośrodek międzygwiazdowy. Mogą to być zatem niedoszłe źródła wielkoskalowe, które pozostały zwarte i dlatego mają wewnętrznie zaabsorbowane widma radiowe.

Jednak nie wszystkie radioźródła o wysokim z pozostają ograniczone do jądra. Istnieje kilka wysoko poczerwienionych radiogalaktyk z rozległą strukturą w skali dziesiątek kpc. To wywołuje pytanie, czy radiogalaktyki i kwazary powstają w różnych środowiskach. Aby je właściwie zaadresować potrzebne są kompletne próbki obiektów.

Ważną alternatywną (chociaż pokrewną) hipotezą jest to, że kwazary GPS mają zwarte źródła radiowe, ponieważ są młode i nie promieniują jeszcze na zewnątrz z obszarów jądra. Jednak, jeśli źródła spędzają bardzo mało czasu w tym stadium, to trudno jest zrozumieć, dlaczego taka duża część źródeł z wysokim z (50%) jest klasyfikowana jako zwarte źródła GPS. Tak więc, jeśli ten model jest poprawny, to promieniowanie ze źródła musi być spowalniane przez gęsty i zbrylony ośrodek w przestrzeni międzygwiazdowej młodej galaktyki macierzystej. Taki scenariusz wówczas staje się bardziej podobny do hipotezy stłumionego źródła wielkoskalowego, omawianej powyżej. Być może źródła spędzają długi czas w gęstych obszarach swojego jądra, ale wówczas unikają wytworzenia rozległych struktur radiowych.

Źródła klasy GPS łączą własności obejmujące kształt widma radiowego, niską polaryzację i niską zmienność radiową. Własności te nie zależą od identyfikacji optycznej czy struktury radiowej. Sugeruje to, że są związane przez wspólne procesy i/lub warunki fizyczne w ich otoczeniu. Aktualne dane wskazują na to, że galaktyki i kwazary GPS powstają, kiedy radioźródła są ograniczone do jądra galaktyki macierzystej przez gęsty i zbrylony ośrodek międzygwiazdowy.

ZWIĄZKI POMIĘDZY KLASĄ CSS A GPS

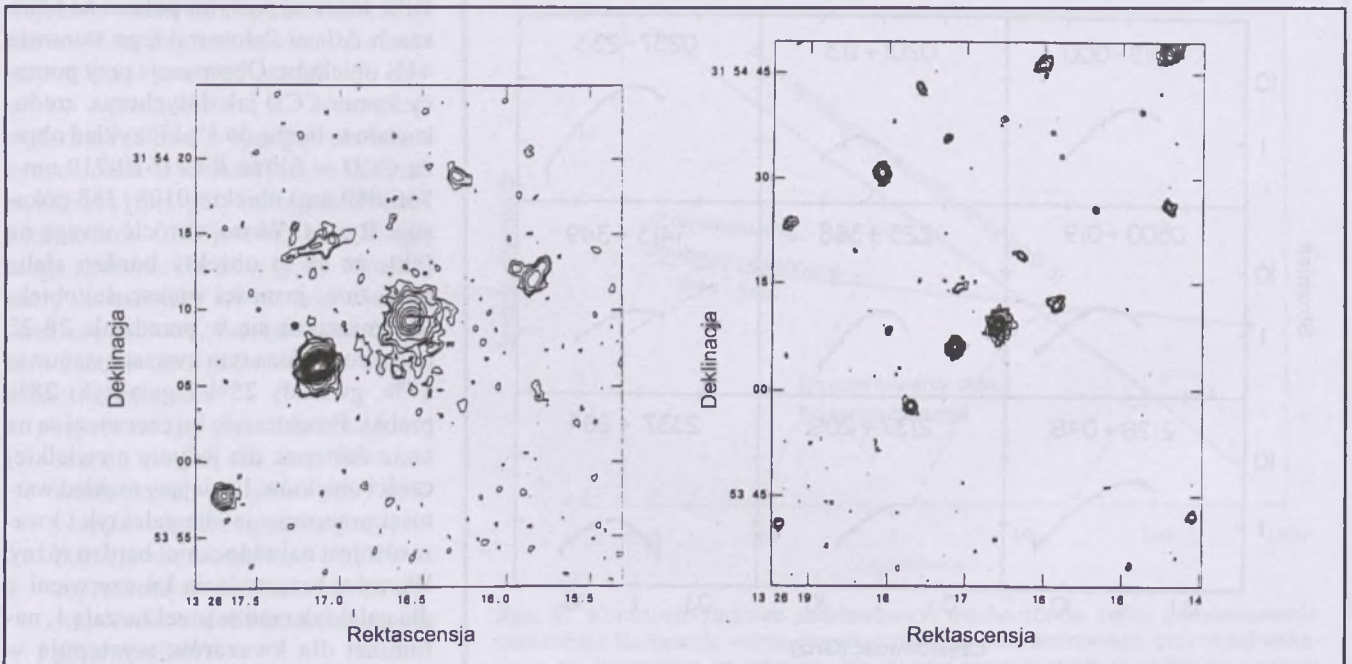
Własności radiowe zwartych źródeł o stromych widmach (CSS) zostały już dość dobrze zbadane. Źródła te mają bardzo podobne własności do źródeł GPS i wydają się być po prostu większą (chociaż wciąż subgalaktyczne), powiększoną wersją źródeł GPS. Z drugiej strony jednak, rozkład przesunięć ku czerwieni kwazarów CSS jest raczej inny niż w przypadku ich odpowiedników w klasie GPS (o stosunkowo wysokich przesunięciach). Źródła CSS mogą również być ograniczone przez bardzo gęsty i zbrylony ośrodek międzygwiazdowy. Istnieją dwie możliwe korelacje pomiędzy źródłami GPS i CSS:

(i) źródła GPS ewoluują do postaci źródeł CSS, a to implikuje, że są po prostu małe, ponieważ są młode;

(ii) źródła GPS i CSS zostały ograniczone (lub stłumione) w ich obecnych rozmiarach i nie będą dużo większe.

Silny strumień gazu i pyłu pochodzący od hipotetycznego towarzysza, a wystarczający do silnej interakcji z radioźródłem, mógłby być w stanie zatrzymać przyszłą ekspansję. Istnieją dwa silne argumenty, które świadczą na korzyść hipotezy o „stłumionych" radioźródłach:

1. hipoteza o młodym źródle nie może



Rys. 4. Obraz konturowy CCD radioźródła 0108+388 w paśmie *R* i *I*. Obiekt oznaczono krzyżykiem. Rozdzielczość uzyskanych obrazów wynosi 0.735" (co również odpowiada wielkości pojedyńczego piksela). Jasność maksimum odpowiada energii 2.4 x 10^{16} erg s^{-1} cm^{-2} $arcsec^{-2}$ (22.0 mag) w paśmie *R* i 4.2 x 10^{-16} erg s^{-1} cm^{-2} $arcsec^{-2}$ (20.8 mag) w paśmie *I*.

wyjaśnić około 25% źródeł GPS z rozległą strukturą.

2. dane radiowe i optyczne wskazują na istnienie wyjątkowo gęstego ośrodka otaczającego radioźródło, tak więc hipoteza „stłumionego" radioźródła jest aktualnie przez nie faworyzowana. Nie przekreśla to oczywiście możliwości, że kilka źródeł GPS może być rzeczywiście młodych, co zresztą mogłoby być bardzo interesujące.

Podstawowe własności radioźródeł bliskich sobie klas CSS i GPS przedstawia **Tabela I**.

PODSUMOWANIE

Źródła GPS pozostają wciąż bardzo zagadkowe, a ich pochodzenie i pokrewieństwo z innymi zwartymi i rozległymi źródłami nie do końca jest zrozumiałe. Obiekty macierzyste radioźródeł GPS są różnorodną mieszaniną radiogalaktyk i kwazarów w większości na dużych wartościach przesunięcia ku czerwieni z, co czyni je szczególnie interesującymi dla kosmologii. Obiekty te mają różne własności (milisekundowa morfologia radiowa, widma radiowe, rozkład przesunięć ku czerwieni), a ich wzajemne powiązania nie są jeszcze jasne. Trudno obecnie stwierdzić, czy ich orientacja w przestrzeni może być efektem odróżniającym te dwie klasy obiektów.

Źródła GPS w całej swej różnorodności wydają się być mniejszą wersją źródeł CSS, z którymi są prawdopodobnie spokrewnione. Nie wiadomo, czy silne ograniczenie dżetów przez gęsty ośrodek do obszaru rzędu 100 pc jest tylko etapem podczas ewolucji zwykłych dżetów (*„babyjets"*) czy jedną z wielu sytuacji patologicznych ich rozwoju, np. spowodowanych przez szczególne ukierunkowanie osi dżetu czy przez obecność pyłowego torusa. Źródła GPS mogą być więc ograniczone na mniejszych skalach rozmiarów przez gęsty ośrodek i nie muszą być wcale młodsze od źródeł CSS.

Klasa źródeł GPS jest ważna w badaniach ewolucji Wszechświata i może służyć jako test obecnych schematów unifikacyjnych. Badanie zależności położenia punktu przegięcia widma od strumienia lub rozmiaru (jedynie VLBI) może również pomóc w ustaleniu modeli dżetu. Część widma poniżej maksimum może służyć jako test, czy jest ono wynikiem jedynie wewnętrznej absorpcji synchrotronowej.

Źródła radiowe w trakcie swojego życia przechodzą przez różne formy ewolucyjne: promieniowanie dżetów, transport materiału promienistego z centrum w jądrze na zewnątrz i formowanie rozległych płatów. Podczas możliwej drogi ewolucyjnej radioźródło jest sklasyfikowane jako GPS, gdy dżety przedzierają się przez pierwsze kilkaset parseków od jądra, a następnie jako CSS przechodząc przez ośrodek międzygwiazdowy galaktyki macierzystej w ciągu następnych kilkudziesięciu kiloparseków, aż wydostaną się na ośrodek międzygalaktyczny formując rozległe radioźródło typu FRII o rozmiarze kilkudziesięciu lub kilkuset kiloparseków. Aktualnie najbardziej kompletna robocza próbka źródeł GPS, w liczbie 95, została zawarta w pracy O'Dea i in. (1991). Wszystkim zainteresowanym gorąco polecam wymieniony wyżej artykuł.

Literatura.

O'Dea C. P., Baum S. A., Stanghellini C., 1991, *Astroph. J.*, **380**, 66.

Niniejszy artykuł jest syntezą pracy magisterskiej Jacka Niezgody, wykonanej pod opieką dr. Andrzeja Mareckiego z Katedry Radioastronomii UMK.

Tabela I. Zebrane podstawowe własności źródeł CSS i GPS.

	CSS	GPS
widmo	maksimum na częstości ≤ kilkaset MHz	maksimum na $\nu \sim$ 1 GHz
zwartość	≤ 15 kpc	≤ 1 kpc
radiowa struktura morfologiczna -galaktyki - kwazary	 podwójne jądro z dominacją dżetu	 podwójne struktura typu jądro-dżet
rozległa emisja radiowa wokół radioźródła	występuje rzadko (np. 3C236)	występuje w 20 - 25% obiektów (np. 0108+388)
zakres przesunięcia ku czerwieni z	0.2 - 3.5	0.2 - 3.8
stopień polaryzacji	≤ 30%(np. 3C 138)	≤ 1%
zmienność strumienia	prawie żadna	mała (np. CTA 102)

OBRAZY ZÓRZ POLARNYCH NA JOWISZU

O istnieniu zórz polarnych na innych planetach Układu Słonecznego już pisaliśmy na łamach PA. Były to jednak obserwacje izolowane. Obecnie Teleskop Kosmiczny rozpoczął bardziej systematyczne obserwacje zórz polarnych na Jowiszu. Ma to związek z sondą GALILEO krążącą wokół planety i badającą warunki fizyczne w jej otoczeniu (w szczególności pola magnetyczne i strumienie cząstek naładowanych).

Zdjęcia prezentowane w obecnym numerze zostały wykonane pomiędzy majem a wrześniem 1995 roku z pomocą tzw. WFPC 2 – szerokokątnej kamery służącej do obserwacji planet. Prezentowane są obserwacje w świetle widzialnym (w lewym górnym rogu) i ultrafioletowym (pozostałe). Teleskop pozwala zobaczyć szczegóły o rozmiarach rzędu 300 km. Taka sama jest w przybliżeniu dokładność lokalizacji zorzy na tarczy planety (problemy wynikają z faktu, że w ultrafiolecie tarcza w odróżnieniu od zorzy jest słabo widoczna). W czasie ekspozycji trwającej 100 sekund tarcza planety obracała się o ok. 1 stopień, co przyczyniało się również do rozmycia obrazu, niezależnego od zdolności rozdzielczej samego instrumentu. Układ filtrów zastosowanych do obserwacji pozwalał na sięgnięcie w ramach przepuszczanego pasma (115 – 210 nm) do poziomów atmosfery odpowiadających ciśnieniom od 1 mikrobara do 0.1 bara. Odpowiada to w skali pionowej różnicy wysokości ok. 350 km.

Dlaczego obserwacje zórz polarnych są tak ważne? Dla wielu z nas kojarzą się one przede wszystkim z pięknymi, delikatnymi strukturami widocznymi na nocnym niebie w okolicach podbiegunowych – w naszych szerokościach geograficznych zorze pojawiają się wyjątkowo. Zorza polarna jest jednak końcowym produktem skomplikowanych procesów w magnetosferach planetarnych i w związku z tym niesie informacje o odległych nieraz obszarach. Tak jak w przypadku Ziemi, decydującą rolę przy powstawaniu zorzy odgrywa dla Jowisza pole magnetyczne. Wiązki naładowanych cząstek przez nie prowadzonych trafiając do gęstszych warstw atmosfery powodują jej świecenie – trochę tak jak gaz świecący w neonówce, gdy przepuszczać przez niego prąd. Ponieważ zorze zlokalizowane są w obszarach podbiegunowych, to cząstki je wywołujące wędrują wzdłuż linii sił pola magnetycznego (a ściślej, powłok magnetycznych ze względu na dryf cząstek w poprzek linii sił pola) przecinających odległe obszary magnetosfery Jowisza. W szczególności mogą to być linie łączące jonosferę Jowisza z jednym z najdziwniejszych tworów w jego układzie – księżycem Io.

Podobnie jak dla Ziemi, świecenie zorzowe skoncentrowane jest w obrębie owali zorzowych – północnego i południowego (widocznych dobrze na zdjęciach w prawym górnym rogu panelu i w jego dolnej części). Tak jak w przypadku Ziemi, są one podobne do siebie, co dla Ziemi świadczy o symetrii pola, natomiast dla Jowisza jest pewną niespodzianką – wiadomo, że jego pole magnetyczne nie jest tak symetryczne. W ramach jowiszowych owali można rozróżnić szczegóły korotujące z planetą, jak i zależne od pory dnia – te ostatnie być może mają związek z kompresją pola po stronie dosłonecznej wywołaną przez wiatr słoneczny. Środki owali są przesunięte o kilkanaście stopni względem osi rotacji planety, co odzwierciedla orientację osi dipola magnetycznego (jest to pierwsze przybliżenie opisujące pole magnetyczne). Widoczne jest to na dwóch dolnych zdjęciach przedstawiających zmiany związane z rotacją planety.

Zorza polarna na Jowiszu jest około 1000 razy silniejsza niż na Ziemi, energia deponowana w atmosferze jest rzędu 45 – 450 erg/cm^2/s. Prowadzi to do lokalnego grzania gazu i jego naddźwiękowej ekspansji. Powstająca struga zorzowa powinna być też silniejsza niż na Ziemi. Jest rzeczą oczywistą, że energie deponowane w ten sposób w obszarach zorzowych przewyższają znacznie energię dostarczaną przez Słońce.

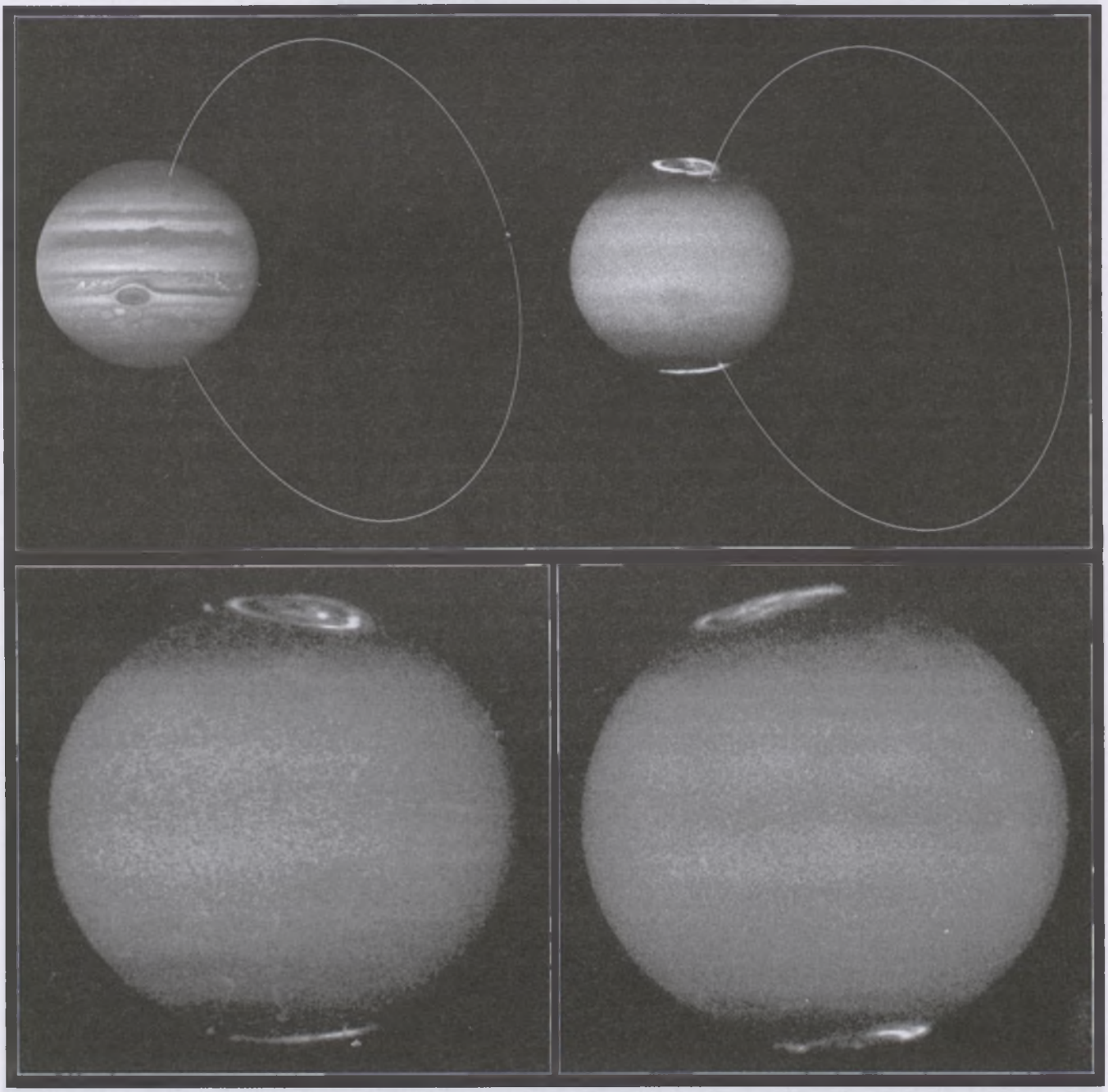
Dokładna analiza obrazów zorzy jowiszowej pozwoli na uzyskanie dodatkowych informacji o polach magnetycznych w odległych obszarach magnetosfery – potencjalnych źródłach cząstek naładowanych wysypujących się do atmosfery Jowisza jak i samym mechanizmie powstawania zorzy. W odróżnieniu bowiem od Ziemi, wnętrze magnetosfery jowiszowej jest znacznie lepiej izolowane od wiatru słonecznego i czynniki wewnętrzne mogą mieć decydujący wpływ na tamtejsze zorze polarne. Względny wpływ czynników wewnętrznych i zewnętrznych nie jest jeszcze jasny. W szczególności na Ziemi obserwuje się tzw. burze magnetyczne związane z gwałtownymi zmianami w wietrze słonecznym – dla Jowisza mogą one być wyzwalane przez procesy zachodzące wewnątrz magnetosfery.

Przypadkiem szczególnym jest jowiszowy księżyc Io. Wiadomo, że na jego powierzchni znajdują się aktywne wulkany wyrzucające gazy do wnętrza magnetosfery jowiszowej (po drodze gaz zostaje jeszcze zjonizowany). Okazuje się, że oprócz zjonizowanego torusa, który Io pozostawia za sobą wzdłuż orbity, istnieją również wiązki naładowanych cząstek wędrujące wzdłuż rurki magnetycznej łączącej Io z północną i południową półkulą Jowisza, ściślej z jego jonosferą. Odpowiada to prądowi o natężeniu około 3 milionów amperów, różnica potencjałów go wywołujących wynosi ok. 400 kV. Obecność tak potężnego prądu przejawia się na przedstawionych zdjęciach w postaci plamek wędrujących na zewnątrz obydwu owali zorzowych w ten sposób, że ich położenie względem Io nie zmienia się (znajdują się zawsze „pod" księżycem). Plamki widoczne na dwóch obrazach – u góry z prawej strony panelu i niżej z lewej. W górnej części panelu zaznaczono również linię sił pola magnetycznego przechodzącą przez Io. Na obrazie w świetle widzialnym Io jest widoczny, w ultrafiolecie przy stusekundowej ekspozycji jest zbyt słaby, aby można go było zobaczyć. Badanie jasności i położeń wspomnianych plamek pozwala na analizę szcze-

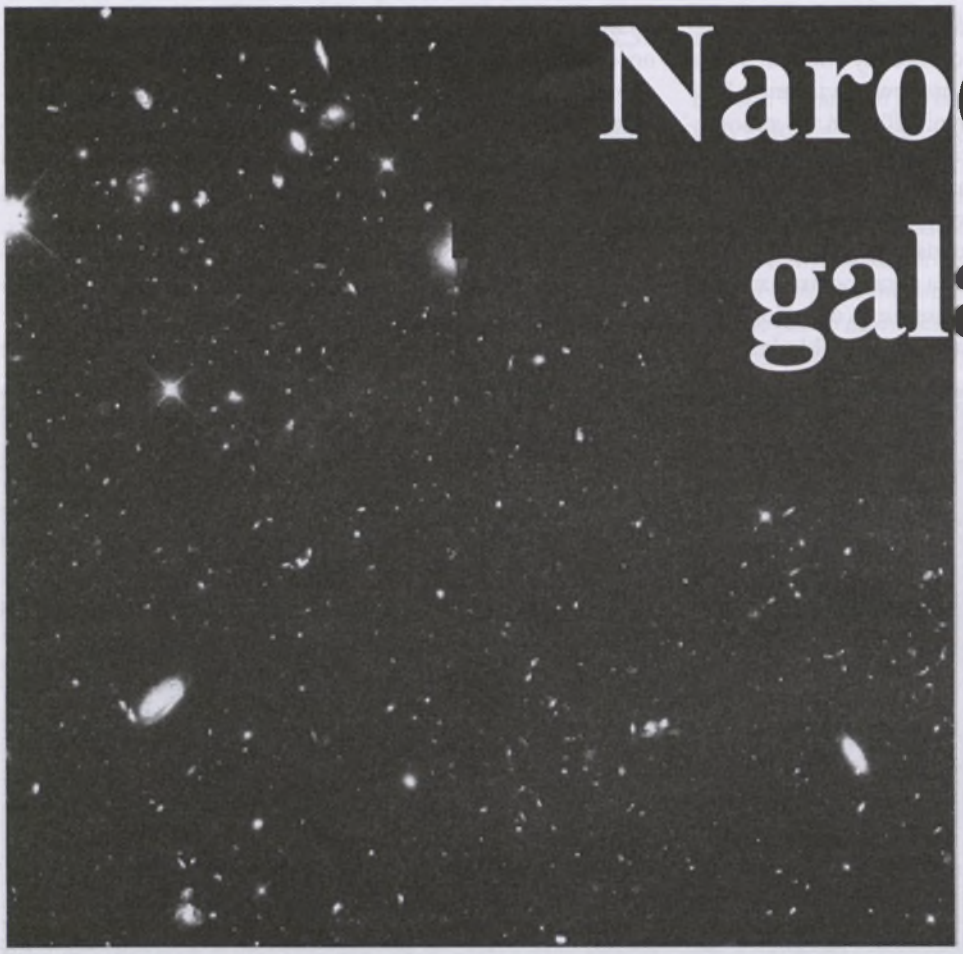
gółów pola magnetycznego przez które wędruje Io po swojej orbicie. Obszary świecące mają poprzeczny rozmiar rzędu 1000 – 2000 km, podczas gdy rurka prądowa związana z Io w atmosferze Jowisza ma średnicę jedynie 200 km. W atmosferze Jowisza muszą zatem zachodzić gwałtowne procesy. Z faktu, że plamka związana z Io znajduje się zawsze na zewnątrz owalu zorzowego (co odpowiada mniejszym szerokościom magnetycznym w układzie Jowisza) wynika, że główne źródła cząstek odpowiedzialnych za zorze polarne znajduje się na zewnątrz orbity Io. W przeliczeniu na odległość daje to powyżej 12 promieni jowiszowych. Ile dokładnie, nie wiadomo – na tych odległościach magnetosfera (w szczególności równikowa) jest bardzo zniekształcona, co wynika m.in. z wielkich prądów i sił odśrodkowych w korotujących z planetą częściach magnetosfery. Poza tym model pola magnetycznego nie jest dostatecznie dobrze znany, w szczególności niewiele wiadomo o jego wyższych składowych, które mają istotne znaczenie w pobliżu planety.

Więcej szczegółów (i obrazów) można znaleźć w dwu artykułach opublikowanych w numerze *Science* z 18 października 1996 roku.

(rs)

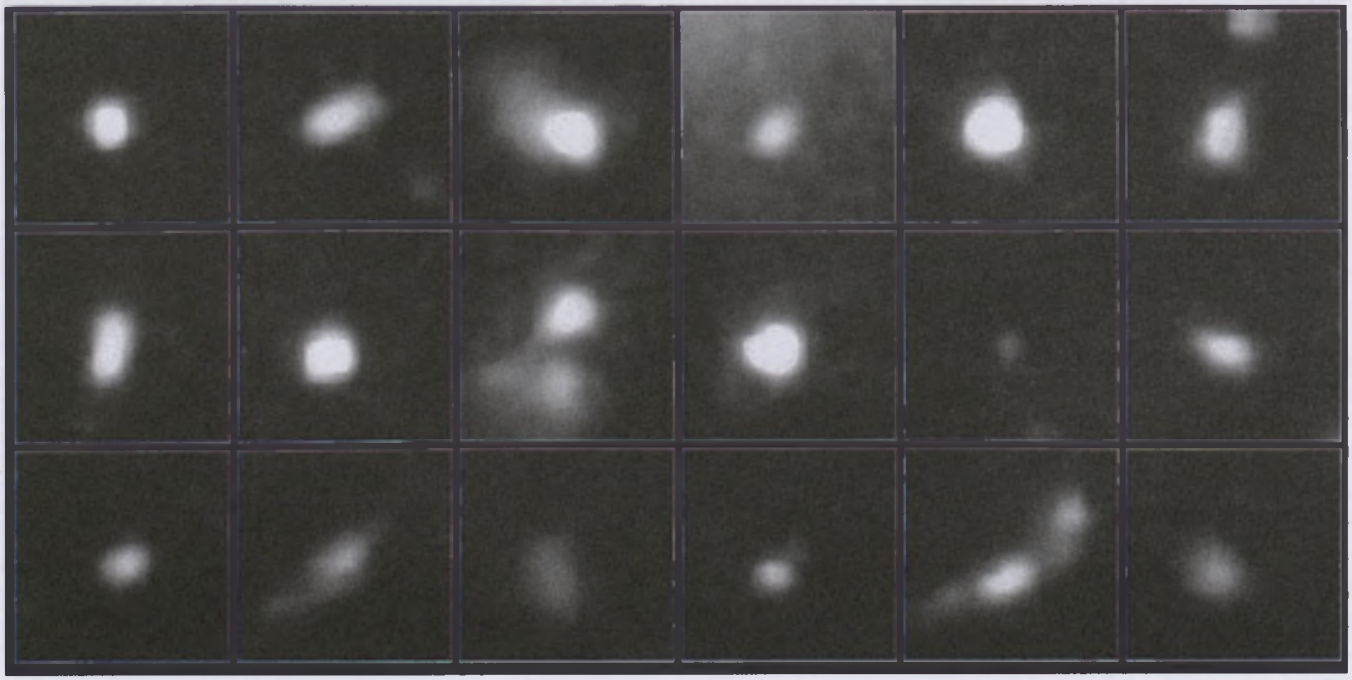


Narodziny galaktyk



Fot. 1. Na przedstawionej fotografii z Teleskopu Kosmicznego odnaleźć można m.in. 18 kryjących się w najodleglejszych zakątkach Wszechświata niepozornych obiektów, stanowiących pierwotny budulec galaktyk. Obraz ten pokrywa na niebie obszar o rozmiarach trzynastokrotnie mniejszych od średnicy tarczy Księżyca.

Fot. 2. 18 obiektów z poprzedniego zdjęcia uznano za galaktyczne „klocki". Zawarte w obszarze o rozmiarach około dwóch milionów lat świetlnych zagęszczenia materii, składające się w rzeczywistości z miliardów gwiazd, w wyniku wzajemnych zderzeń utworzą kilka większych galaktyk.



Obrazy uzyskane niedawno za pomocą krążącego na orbicie okołoziemskiej teleskopu Hubble'a odsłoniły kulisy procesu tworzenia galaktyk. Zagłębiając się w najodleglejsze zakątki Wszechświata, odkryto wypatrywany już od lat pierwotny budulec dzisiejszych ogromnych gwiezdnych skupisk – galaktyk. Te galaktyczne „klocki" stanowi zgrupowanie 18 gigantycznych gromad gwiazd w konstelacji Herkulesa. W ciągu dwóch dni zbierano promieniowanie biegnące z jednego tylko kierunku na niebie, by zgromadzić świadectwo zjawisk rozgrywających się w odległości 11 miliardów lat świetlnych.

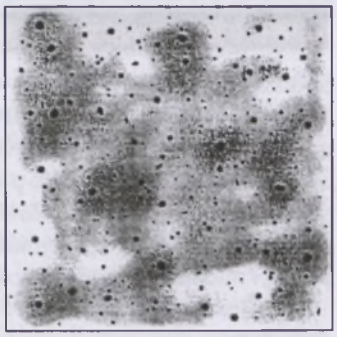
Dostrzeżone przy pomocy kamer Teleskopu Kosmicznego gromady gwiazd zajmują obszar o średnicy dwóch milionów lat świetlnych. Każda z gromad zawiera około miliarda gwiazd i jest wielkości mniej więcej dwóch tysięcy lat świetlnych (na niebie jest to jedna dziesiąta sekundy łuku, czyli prawie 20 tysięcy razy mniej niż rozmiary kątowe tarczy Księżyca czy Słońca). Nawet w porównaniu z naszą Galaktyką - o średnicy stu tysięcy lat świetlnych - nie jest to dużo. Fakt ten przemawia na rzecz teorii, zgodnie z którą galaktyki powstają z mniejszych skupisk gwiazd. Seria zderzeń, a raczej spotkań takich tworów prowadzi do ukształtowania większej struktury, z czasem przybierającej formę galaktyki. Co najmniej cztery z zaobserwowanych gromad wykazują podwójną strukturę wewnętrzną. Wydaje się więc, że oglądamy je właśnie w momencie takiego zderzenia.

Astronomowie obserwują rodzące się gwiazdy, bo gwiazdy powstają nieustannie po dziś dzień. Tymczasem do tej pory astronomom nie udawało się bezpośrednio ujrzeć narodzin galaktyk, gdyż proces ten zachodził w odległej przeszłości (a jeśli następuje i dziś, to w niewielkiej skali i nie jest obserwowany).

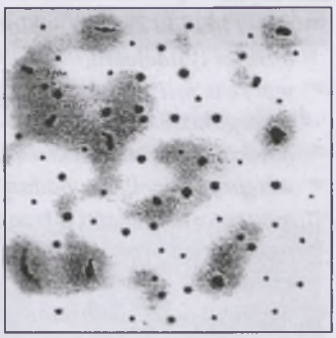
Jeszcze do niedawna sądzono, że galaktyki mogłyby powstawać - podobnie jak gwiazdy - wskutek grawitacyjnego kurczenia się olbrzymich obłoków gazu. Ostatnio rozważania teoretyczne przechyliły nieco szalę na korzyść modelu „zlepiania się" mniejszych struktur. Obserwacje Teleskopu Kosmicznego stanowią bezpośredni dowód słuszności tej drugiej teorii. Analizowane gromady gwiazd znajdują się dostatecznie blisko siebie, by po pewnym czasie zespolić się w kilka odrębnych struktur. Na tym etapie będą już widoczne jako słabe błękitne galaktyki – klasa bardzo odległych obiektów, wyodrębniona na podstawie wcześniejszych obserwacji, m.in. teleskopem Hubble'a. W toku dalszej ewolucji przynajmniej niektórych z nich obłok otaczający świecące jądro utworzy dysk i powstanie galaktyka spiralna.

Przebadany obszar nieba nie wyróżnia się niczym szczególnym, możemy więc spodziewać się podobnego obrazu zjawisk rozgrywających się przed miliardami lat w każdym innym kierunku, a więc w całym młodym Wszechświecie.

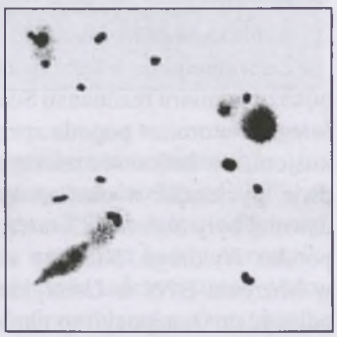
Krzysztof Rochowicz



a) Pół miliarda lat po Wielkim Wybuchu - materia, początkowo rozłożona w miarę równomiernie, wykazuje już niejednorodności w formie masywnych gazowych obłoków, w których rodzą się gwiazdy.



b) Miliard lat po Wielkim Wybuchu - najdrobniejsze struktury wchłonięte zostały przez większe zgęszczenia materii.



c) Dwa miliardy lat po Wielkim Wybuchu - niektóre z powstających obiektów osiągają rozmiary, dzięki którym stają się dostrzegalne dla Teleskopu Kosmicznego.

d) Cztery miliardy lat po Wielkim Wybuchu - zespalające się w wyniku wzajemnych oddziaływań elementy tworzą nieregularne struktury o rozmiarach galaktyk.

e) Trzynaście miliardów lat po Wilekim Wybuchu - galaktyki przyjmują swą obecną formę.

Pierwsze bieszczadzkie spotkanie dyskusyjne: *Pola elektromagnetyczne ULF w astrofizyce i medycynie*

Spotkanie – a raczej Szkoła – odbyło się w Dwerniczku na Rusinowej Polanie w dniach 16–20 września 1996 r. Udział wzięło 16 osób (astronomowie, fizycy, lekarze, studenci). Szkołę zorganizowała grupa pracowników OA UJ, z *Pracowni Rezonansu Schumanna Zakładu Radioastronomii i Fizyki Kosmicznej*. Dzięki uprzejmości Państwa Rusinów, do dyspozycji mieliśmy obszerny i niezwykle wygodny pensjonat.

Ogółem wysłuchaliśmy 11 wykładów, których tematyka dotyczyła:

- *fizyki układu Ziemia – Słońce oraz aktywności Słońca w naszym tysiącleciu,*
- *wpływu fali elektromagnetycznej ciągłej i pulsującej na organizm ludzki,*
- *naturalnego pola elektromagnetycznego ULF,*
- *wstępnych wyników badań wpływu pola ULF na EEG,*
- *magnetosfera Ziemi a rezonans Schumanna,*
- *możliwości wpływu mikropulsacji na proces myślenia człowieka,*
- *wpływu pola elektromagnetycznego na organizmy żywe,*
- *pomiarów pól elektromagnetycznych na Wawelu, podstaw techniki pomiarowej ULF.*

Ze względu na wilgotną aurę, nie odbyły się planowane pokazy pomiaru rezonansu Schumanna w dolinie potoku *Hyłatego*. Natomiast pogoda sprzyjała długim i owocnym dyskusjom, a w końcówce tak się poprawiła, że mogliśmy odbyć dwie wycieczki: w okolice rezerwatu *Tarnawa* i tam gdzie dawniej były *Sokoliki Górskie*, oraz do Zatwarnicy w dolinę potoku *Hylatego*. Niestety zabrakło już czasu na wizytę w Muzeum BPN w Ustrzykach Dolnych. Postanowiono ją odłożyć do następnego spotkania.

Celem podjętego – przez grupę pracowników OAUJ – jeszcze w 1992 roku eksperymentu, była ocena możliwości obserwacji w Polsce, słabego zmiennego pola elektromagnetycznego, związanego z rezonansami Schumanna.

Jonosfera ziemska z jednej strony, a powierzchnia Ziemi z drugiej, tworzą wielką naturalną wnękę rezonansową. Rozwiązanie równań Maxwella dla wyidealizowanego modelu dwu doskonale przewodzących koncentrycznych powierzchni sferycznych – z podaniem wartości rezonansowych – uzyskał w 1952 roku W. O. Schumann. Obserwacje wskazują, że kształt i położenie rezonansów zmienia się nieznacznie z dnia na dzień tak, że średnie częstotliwości dla pierwszych pięciu maksimów wynoszą: 8, 14, 20, 26, 32 Hz. Wartości dobroci dla tych pierwszych kilku rezonansów zmieniają się w granicach od 4 do 10.

Przyjmuje się, że źródłem energii drgań rezonatora jonosferycznego są wyładowania elektryczne w atmosferze ziemskiej. Pojedyncze wyładowanie przebiega w postaci serii kilkunastu do kilkudziesięciu impulsów prądu o czasie trwania ok. 1/100 s i niesie ze sobą przeciętnie energię ok. 5×10^9 J. Część tej energii uwalnia się w postaci pola elektromagnetycznego o szerokim widmie częstotliwości (z maksimum w okolicach od 2 do 10 kHz). Niewielki ułamek tej energii, związany ze składowymi spektralnymi pola elektrycznego wyładowania o kierunku radialnym, leżącymi w pasmie częstotliwości linii rezonatora, zasila jego pole. W ciągu sekundy na całej kuli ziemskiej ma miejsce około 100 wyładowań atmosferycznych, co zapewnia stosunkowo płynne pompowanie rezonatora energią. Ze względu na specyficzny, wykładniczy, rozkład energii wyładowań atmosferycznych (małe wyładowania zdarzają się często, od czasu do czasu mają miejsce wyładowania o wielkich energiach, przekraczających o całe rzędy wielkości wyładowania przeciętne) energia drgań rezonansu Schumanna podlega charakterystycznym wahaniom. Pole rezonatora jonosferycznego ma charakter globalny, stanowi uwspólniony wkład wyładowań atmosferycznych zachodzących na obszarze całej Ziemi.

Również charakterystyczne parametry rezonatora, takie jak jego częstotliwości własne czy dobroci, zależą od elektrycznych parametrów geofizycznych uśrednionych po całym obszarze. Obserwacje rezonansu dostarczają zatem cennych globalnych informacji o fizyce Ziemi i poprzez związek stanu

Uczestnicy bieszczadzkiego spotkania na progu gościnnego pensjonatu Państwa Rusinów.

jonosfery ziemskiej z magnetosferą Słońca, informacji o uśrednionym stanie jego aktywności, łącząc się jednocześnie z wynikami codziennych obserwacji radiopromieniowania Słońca prowadzonymi w Obserwatorium Astronomicznym UJ od prawie 40 lat.

Obserwacja naturalnych pól w zakresie infraniskich częstotliwości (3 – 30 Hz) jest w Europie praktycznie niemożliwa z powodu wysokiego poziomu zakłóceń cywilizacyjnych. Zakłócenia wytwarzane w centrach przemysłowych i wielkich miastach propagują się na duże odległości wzdłuż linii energetycznych pokrywających gęsto całą powierzchnię kontynentu. Chociaż maksima energetyczne widma zakłóceń przemysłowych skupione są wokół częstotliwości 16.66 i 50 Hz oraz harmonicznych tych częstotliwości, istnieje składowa płaska widma sięgająca w dół do częstotliwości 5 Hz. Jednym z nielicznych obszarów w Polsce, o mało gęstym rozmieszczeniu linii energetycznych, są **Bieszczady**.

Potwierdziły to pomiary zakłóceń na częstotliwości 50 Hz, a także rejestracja pola trzech pierwszych rezonansów Schumanna.

Pierwsze pomiary przeprowadzono na trzech polanach leśnych położonych w odległości ok. 10 km na południowy – zachód od Sękowca. Ogółem w czasie trwania dwóch pierwszych wypraw pomiarowych: wiosennej i jesiennej w 1992 r. zrealizowano 9 eksperymentów pomiarowych.

Obecnie – już przy pełnej automatyzacji – wykonaliśmy ich już ponad 800, głównie w dolinie potoku *Hylatego*.

W czasie trwania każdej ekspedycji przeprowadzano również pomiary poziomu zakłóceń cywilizacyjnych.

Uzyskane wyniki potwierdzają możliwość prowadzenia systematycznych obserwacji rezonansów Schumanna w Polsce. Poza znaczeniem takich obserwacji w studiowaniu wpływu aktywności słonecznej na rezonanse Schumanna, mogłyby się one przyczynić do głębszego poznania roli infraniskich pól elektromagnetycznych w biosferze. Występowanie niezakłóconych naturalnych pól w Bieszczadach może skłaniać do nadania temu obszarowi rangi *rezerwatu elektromagnetycznego*. Oznaczałoby to szczególną ochronę krajobrazu przed prowadzeniem napowietrznych linii energetycznych i stopniowym zastępowaniem linii istniejących – liniami podziemnymi. Dlatego właśnie wybraliśmy Bieszczady na miejsce pierwszego spotkania i dyskusji nad wpływem pola elektromagnetycznego ultraniskiej częstotliwości na mieszkańców Ziemi.

Andrzej Kułak, Stanisław Micek,
Adam Michalec, Jerzy Kubisz

Technika CCD w astronomii

Szkoła Polskiego Towarzystwa Astronomicznego

W dniach od 24 do 27 września 1996 roku w Koninkach odbyła się Szkoła Polskiego Towarzystwa Astronomicznego poświęcona technice CCD i jej zastosowaniom w Astronomii. Szkoła była adresowana do wszystkich osób bezpośrednio zainteresowanych praktycznymi problemami związanymi z prowadzeniem obserwacji przy pomocy kamer CCD, a więc przede wszystkim do młodych astronomów obserwatorów, a także studentów astronomii.

Współorganizatorem Szkoły była Katedra Astronomii Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Krakowie. Uczestnicy mieszkali w szczególnie gościnnym dla astronomów Ośrodku Wypoczynku i Sportów Zimowych w Koninkach (gmina Niedźwiedź, koło Mszany Dolnej). Ośrodek ten jest położony nad strumieniem w malowniczej gorczańskiej dolinie, otoczonej przez porośnięte lasem wzgórza. Taka lokalizacja, oraz pewne odcięcie od reszty świata (3 autobusy do Krakowa na dobę), sprzyjały owocnej współpracy uczestników Szkoły i jej lektorów, również w tzw. czasie wolnym czyli poza wykładami i ćwiczeniami praktycznymi.

Do prowadzenia zajęć w Szkole zostały zaproszone osoby mające na co dzień do czynienia z kamerami CCD. Można powiedzieć, że organizatorom udało się zgromadzić fachowców. Wykładowcami Szkoły byli:

- Prof. J.Smak – „Wprowadzenie do techniki CCD",
- Prof. J. Kałużny – „Fotometria techniką CCD",
- mgr J. Krzesiński – „Obserwacje i redukcja danych",
- dr A. Pigulski – „Fotometria profilowa"- „Transformacje do systemu standardowego",
- dr W.Waniak – „Dekonwolucja obrazów astronomicznych",
- dr B.Pokrzywka – „Podstawy fizyczne działania CCD".

Wykłady (przeważnie złożone z kilku części) odbywały się przed obiadem, po południu natomiast każdy uczestnik Szkoły miał okazję samodzielnie doświadczyć strony praktycznej omawianych na wykładach problemów. Organizatorzy przygotowali bowiem kilka stanowisk komputerowych, gdzie pod kierunkiem J. Krzesińskiego i A. Pigulskiego można było samemu zmierzyć się z DAOPHOT-em, MIDAS-em, BIAS-em, PSF-em itd. Oczywiście te ćwiczenia dotyczyły realnych obserwacji zapisanych wcześniej na komputerowych dyskach.

Dla tych, którym to nie wystarczało i którzy chcieli zobaczyć i dotknąć prawdziwego CCD i własnoręcznie przeprowadzić obserwacje, organizatorzy przygotowali taką możliwość. Mogli oni podjąć trud wspinaczki do obserwatorium krakowskiej WSP na Suhorze (1000 m n.p.m.) gdzie przy 60 cm teleskopie Zeissa jest zainstalowana kamera CCD Star 1 firmy Photomeric. Kamera ta jest wyposażona w kostkę („chip") o rozmiarach 384×576 pikseli (pole widzenia 4×6 minut kątowych) ze zwiększoną dodatkowo czułością dla niebieskiej części widma.

Niestety pogoda w czasie trwania konferencji uniemożliwiała dokonanie samych obserwacji nieba, jednak każdy uczestnik Szkoły mógł prześledzić jakże ważne i skomplikowane przygotowania do obserwacji (BIAS, Dark itp.) oraz zrobić interesujące zdjęcia wnętrza kopuły!

W podsumowaniu trzeba zaznaczyć, że taki rodzaj Szkoły jaki zaproponowali organizatorzy w Koninkach okazał się bardzo owocny nie tylko ze względu na znakomite wykłady i bardzo fachowe ćwiczenia, ale również ze względu na niepowtarzalną okazję poznania interesujących ludzi oraz do prowadzenia długich, indywidualnych rozmów np. w czasie spacerów wokół ośrodka. Liczne drobne elementy (np. dostępne na okrągło komputery, kserograf, rzutnik obrazu komputerowego na ekran itp.) znacznie usprawniły przebieg zajęć w Szkole.

Pozostaje mieć nadzieję, że szkoła tego typu nie będzie wydarzeniem jednorazowym i może już w przyszłym roku spotkamy się podczas omawiania innych interesujących tematów. Szlak został przetarty.

Waldemar Ogłoza
(uczestnik Szkoły)

Polsko – francuska współpraca w dziedzinie astronomii *)

W styczniu 1993 r. zainicjowane zostały dwa programy współpracy, które koordynowali: A. Omont (Institut d'Astrophysique de Paris) ze strony francuskiej i P Haensel (Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN) ze strony polskiej. Pierwszy z tych programów finansował wspólne badania w dziedzinie astronomii w latach 1993–95. Znany był pod skrótem PICS (pełna nazwa francuska *Programme Internationale de Coopération Scientifique „Astronomie France–Pologne"*). Uczestniczyło w nim blisko trzydziestu astronomów francuskich oraz dwudziestu pięciu astronomów polskich.

Instytutami koordynującymi współpracę w ramach PICS były: Institut d'Astrophysique de Paris (IAP, Paryż) oraz Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika PAN (CAMK, Warszawa).

Wśród uczestników ze strony francuskiej dominowali astronomowie z IAP oraz Observatoire de Paris (departamenty: DARC – Département d'Astrophysique Relativiste et de Cosmologie, DAEC – Département d'Astrophysique Extragalactique et de Cosmologie, oraz DASGAL – Département d'Astrophysique Stellaire et Galactique), poza tym w programie uczestniczyli astronomowie z innych placówek francuskich takich jak Laboratoire d'Astrophysique de Toulouse (Observatoire Midi–Pyrenées, Tuluza), Observatoire de Strasbourg (Strasbourg), Observatoire de Côte d'Azur (Nicea), Institut d'Astrophysique Spatiale (Orsay), Service de Physique Théorique (CEN Saclay), oraz Université de Marseille (Marsylia). Ze strony polskiej znaczną większość uczestników PICS stanowili pracownicy CAMK (Warszawa i Toruń), ale było też po kilku astronomów z placówek astronomicznych jak Obserwatorium Astronomiczne UW i Instytut Astronomii UMK.

Zasadniczym elementem programu PICS były wizyty astronomów polskich w placówkach francuskich i astronomów francuskich w polskich instytutach astronomicznych. W latach 1993–95 PICS finansował (średnio) rocznie kilkanaście pobytów krótkoterminowych (kilka tygodni – do miesiąca) astronomów polskich w placówkach francuskich. Głównym sponsorem PICS po stronie francuskiej było CNRS (Centre Nationale de la Recherche Scientifique – francuski odpowiednik KBN), oraz francuskie Ministerstwo Spraw Zagranicznych. W latach 1993–1994 PICS dysponował dodatkowo etatem naukowo badawczym (Poste Rouge), finansowanym przez CNRS, w ramach którego szereg astronomów polskich przebywało na długoterminowych (powyżej 3 miesięcy) pobytach w IAP i DARC. Koszty podróży astronomów polskich były pokrywane z indywidualnych grantów KBN, zaś w latach 1994–95 również ze specjalnego grantu KBN, przyznanego dla CAMK na finansowanie programu PICS.

Kilkutygodniowe pobyty astronomów francuskich w Polsce (kilkanaście rocznie w latach 1993–95) były finansowane z indywidualnych grantów KBN polskich uczestników PICS, zaś koszty podróży – z budżetu PICS.

Wspólne badania dotyczyły głównych kierunków współczesnej astrofizyki i kosmologii. Silnym punktem PICS była kosmologia. Prace polsko–francuskie w tej dziedzinie dotyczyły pochodzenia i ewolucji wielkoskalowych struktur we Wszechświecie, fluktuacji gęstości i fluktuacji kosmicznego promieniowania tła. Uczestnicy programu PICS zorganizowali w 1994 r. międzynarodową konferencję kosmologiczną w Jabłonnej pod Warszawą.

Spora grupa prac dotyczyła zwartych obiektów, takich jak gwiazdy neutronowe i supernowe, badano również zagadnienie zapadania grawitacyjnego i promieniowania neutrinowego gwiazd neutronowych. Jednocześnie w ramach tego tematu prowadzono wspólne badania dotyczące własności supergęstej materii w gwiazdach neutronowych, w szczególności jej równania stanu.

W ramach tematu „Dyski akrecyjne" badano bardzo różnorodne zjawiska i obiekty astronomiczne, takie jak aktywne jądra galaktyk, ciasne układy podwójne, strugi pozagalaktyczne, promieniowanie X i gamma pulsarów oraz gwiazdy symbiotyczne i gwiazdy nowe. Szereg wspólnych prac poświęcono modelom astrofizycznym, w których istotną rolę odgrywał dysk akrecyjny wokół zwartego obiektu (gwiazda, supermasywna czarna dziura).

W badaniach dotyczących mgławic planetarnych i ośrodka międzygwiazdowego astronomowie francuscy i polscy

*) Polsko-francuska współpraca naukowa w dziedzinie astronomii istnieje i daje dobre owoce od kilkudziesięciu już lat. Formalne umowy były podpisywane przez CNRS i Polską Akademię Nauk praktycznie od początku istnienia tej ostatniej. Pozwalały one m. in. już w latach 50-tych na dostęp polskich astronomów z wielu ośrodków do największego wówczas obserwatorium astronomicznego w Europie Observatoire de Haute Provence i innych obserwatoriów francuskich. Owocem tych wcześniejszych form współpracy z Francją, obok wielu publikacji, było też szereg prac doktorskich i prace habilitacyjne. W latach 90-tych prerogatywy PAN przejął Komitet Badań Naukowych i od tego czasu KBN i CNRS, poprzez odpowiednie instytucje krajowe i zainteresowanych astronomów, są partnerami nowych form tej współpracy. **(red.)**

zajmowali się ewolucją i własnościami statystycznymi mgławic planetarnych, a także badali widma pasmowe i liniowe ośrodka międzygwiazdowego. Interesujące wyniki uzyskano w dziedzinie astro- i heliosejsmologii, dotyczyły one oddziaływania rotacji i pulsacji gwiazd, a także w ramach analizy obserwacji gwiazd pulsujących. Wyniki wspólnych badań w ramach PICS zostały przedstawione w trzydziestu pięciu publikacjach w czasopismach międzynarodowych, a także w kilkunastu komunikatach i referatach na międzynarodowych konferencjach astronomicznych.

Równolegle do PICS, w latach 1993–1994 działał program stypendialny dla doktorantów z CAMK (*Réseau Formation – Recherche*, w skrócie RFR). Program RFR był finansowany przez francuskie Ministerstwo Edukacji i Badań Naukowych (*Ministére de l'Education et de la Recherche* – w skrócie MESR), które ufundowało 9- miesięczne stypendia dla siedmiu doktorantów z CAMK (dwa z nich zostały przedłużone do 12 miesięcy). Zasadą programu RFR była wspólna polsko–francuska opieka naukowa nad doktorantem: oprócz promotora polskiego, uczestnik RFR miał opiekuna naukowego z Francji, który przejmował kierownictwo naukowe nad doktorantem w czasie pobytu doktoranta we Francji.

Jednocześnie RFR finasował krótkie (do 2 tygodni) wizyty polskich promotorów stypendystów RFR we Francji.

Zasadą RFR jest „kształcenie przez uczestnictwo w badaniach naukowych". Polscy stypendyści RFR w czasie pobytów w czołowych instytutach astronomicznych Francji brali udział w badaniach naukowych dotyczących najbardziej aktualnych problemów współczesnej astrofizyki i kosmologii, stając się współautorami szeregu prac naukowych, opublikowanych w międzynarodowych czasopismach astronomicznych – w ten sposób wnieśli oni swój wkład do dorobku programu PICS. Spośród siedmiu uczestników RFR, trzech obroniło już doktorat, a pozostali są na etapie spisywania rozpraw doktorskich.

W roku 1996 wystartował nowy program RFR, przewidziany na lata 1996–98. Pierwsi doktoranci (nie tylko z CAMK, ale również z Obserwatiorium Astronomicznego UW i Centrum Badań Kosmicznych (Warszawa) przebywają już we Francji.

Trzyletni program PICS został zakończony w 1995 r. Rok 1996 to początek nowego programu o nazwie *Jumelage* (odpowiednik angielski – *Twining*, polska nazwa jest zdecydowanie dłuższa – *Porozumienie o Instytutach Bliźniaczych*). Program *Jumelage* jest wyższą (w stosunku do PICS) formą współpracy, która ze strony francuskiej finansowana jest głównie przez CNRS, i w mniejszym stopniu – przez francuskieMinisterstwo Spraw Zagranicznych. Z polskiej strony program finansowany jest z indywidualnych grantów polskich uczestników, oraz ze specjalnego grantu KBN na współpracę z Francją. *Jumelage* to program na lata1996–99, oparty o współpracę trzech placówek: IAP i DARC ze strony francuskiej i CAMK ze strony polskiej.

Uroczyste podpisanie umowy o *Jumelage* miało miejsce 7 maja 1996 r. w pałacyku PAN w Jabłonnie. Program *Jumelage* jest kontynuacją PICS, z nieco większą liczbą uczestników z tych samych jak w przypadku PICS placówek naukowych. Opiera się on na podobnych formach współpracy (długo i krótkoterminowe pobyty w placówkach francuskich i polskich). Koordynatorzy *Jumelage* są przeświadczeni, że program ten będzie równie owocny jak program PICS.

Francuska wersja artykułu na temat PICS i RFR ukazała się w *Journal des Astronomes Français*, Nr.51, czerwiec 1996.

Paweł Haensel i Alain Omont
(koordynatorzy programów)

Astrofizyk Prof. Bohdan PACZYŃSKI

laureatem nagrody Fundacji Nauki Polskiej na rok 1996

11 października 1996 r. Rada Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej przyznała doroczne Nagrody za wybitne osiągnięcia naukowe. Jednym z trzech tegorocznych laureatów „Polskiego Nobla" został **Profesor Bohdan PACZYŃSKI**, (obecnie profesor Uniwersytetu w Princetown - USA). Jest to nagroda w dziedzinie nauk scisłych, a jej oficjalna motywacja brzmi: **„za odkrycie nowej metody wykrywania obiektów kosmicznych i wyznaczania ich masy poprzez mikrosoczewkowanie grawitacyjne"**.

O mikrosoczewkowaniu grawitacyjnym i badaniach centralnych obszarów naszej Galaktyki przy wykorzystaniu tego zjawiska pisał wielokrotnie na łamach „Postępów Astronomii" sam Laureat oraz Jego uczniowie i współpracownicy (patrz np. *PA* 4/91, 3/93 i 3/95). Tej metodzie (projekt OGLE) oraz już uzyskanym i spodziewanym rezultatom poświęcił też Profesor Paczyński swój wykład na sesji z okazji jubileuszu 90 - lecia Profesor Wilhelminy Iwanowskiej we wrześniu 1995 roku w Toruniu (*PA* 3/95). Dla praktycznego wykorzystania idei mikrosoczewkowania grawitacyjnego w badaniu Galaktyki zbudowany został polski teleskop optyczny w Chile, który z początkiem 1997 roku rozpocznie regularną astronomiczną służbę. Teleskop ten został opisany i pokazany w *Postępach Astronomii* najpierw w zeszycie 4/91 przez Marcina Kubiaka i Andrzeja Udalskiego, a ostatnio w zeszycie 3/96 przez Andrzeja Udalskiego. **Cieszymy się bardzo, że nasz Kolega i Mistrz wielu polskich astronomów został uhonorowany tą prestiżową nagrodą. Gratulujemy Mu serdecznie i życzymy dalszych wspaniałych pomysłów i osiągnięć naukowych.**

Pozostałymi laureatami nagrody FNP w 1996 roku zostali:
- w dziedzinie nauk humanistycznych: prof. dr hab. Jerzy GADOMSKI za trzytomowe dzieło „Gotyckie malarstwo tablicowe Małopolski"
- w dziedzinie nauk medycznych i biologicznych: prof. dr hab. Aleksander KOJ za „prace dotyczące regulacji syntezy białek ostrej fazy", obaj z Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie.

Przyznawana od 1992 roku Nagroda FNP, zwana „Polskim Noblem" jest „znaczącą nagrodą naukową wyróżniającą polskich uczonych i popierającą takie ich dokonania, które zapewniają Polsce miejsce w nauce światowej i wnoszą zauważalny wkład w życie duchowe i postęp cywilizacyjny naszego kraju" - tak brzmi oficjalne określenie tej nagrody.

Uroczystość wręczenia nagrody FNP odbyła się na Zamku Królewskim w Warszawie w dniu 6 grudnia. Wysokość nagród pieniężnych w roku bieżącym wynosi 29 tys. złotych każda.

(red.)

STAN WIEDZY ASTRONOMICZNEJ ABSOLWENTÓW SZKÓŁ PODSTAWOWYCH

Test miał na celu wykonanie „mapy" wiadomości uczniów po szkole podstawowej. Pytania i warianty odpowiedzi w teście mogą budzić wątpliwości. Ponadto test powinien obejmować uczniów z różnych środowisk (małe miasto, wieś). Liczymy więc na oddźwięk i uwagi. Ten lub poprawiony test warto przeprowadzić w szerszej skali. Zachęcam do współpracy. Uwagi proszę przesyłać do Redakcji lub na adres: Robert Głębocki, Instytut Fizyki Teoretycznej i Astrofizyki, Uniwersytet Gdański, 80-952 Gdańsk, ul. Wita Stwosza 57.

Badania testowe będące przedmiotem niniejszego artykułu, wykonane zostały w ramach pracy magisterskiej przygotowywanej w Zakładzie Astrofizyki Uniwersytetu Gdańskiego.

Test przeprowadzony został w kwietniu 1996 r., **wśród 250 uczniów**, z trzynastu klas VIII - gdyńskich szkół podstawowych SP 5, SP 16 i SP 31.

Powyższym szkołom należą się podziękowania za pomoc i otwartość na tego rodzaju badania. Rozmiar tych badań upoważnia już do rozszerzenia ich wyników na te szkoły, które bojąc się prawdy o sobie - nie chciały „by je potem opisywano w gazetach".

Opis testu

Test zawiera 20 pytań z dziedziny astronomii i 3 pytania ankietowe. Jest to test wyboru. Przy każdym pytaniu - uczeń zakreślał jedną z trzech odpowiedzi, mając pewność że jedna z nich na pewno jest poprawna. Niezakreślenie żadnej odpowiedzi oznaczało: „nie wiem".

Z założenia, nie chodziło w nim o sprawdzenie stopnia realizacji tego czy innego programu nauczania, gdyż o astronomii i tak w szkole podstawowej prawie się nie mówi. Pytania te miały na celu zorientowanie się co absolwent szkoły podstawowej wie o Wszechświecie - niezależnie od tego czy słyszał coś na ten temat w szkole czy nie.

Większość informacji, o których mowa w teście, może i powinien posiadać każdy, kto:

- ✓ ma 15 lat,
- ✓ żyje w XX wieku,
- ✓ ma telewizor,
- ✓ czasem coś czyta,
- ✓ rozmawia z ludźmi,
- ✓ „gdzieś coś słyszał".

Jeśli zaś nic na ten temat nie słyszał - to co o tym myśli? To właśnie miał sprawdzić ten test. Odpowiedzi błędne były więc tu równie cenne co te poprawne.

Nie bez znaczenia były - **warunki i okoliczności, w jakich przeprowadzany był test:**

- Test był całkowicie anonimowy. Jego wynik nie wiązał się dla ucznia z żadną oceną, nagrodą, ani karą.
- Do testu nie było żadnych przygotowań. Uczniowie podchodzili do niego z „biegu", dowiadując się o nim w ostatniej chwili.
- Testem objęto całą gamę temperamentów i postaw uczniowskich. Wypełniali go i „szalikowcy" z Arki - Gdynia i wzorowe uczennice w białych kołnierzykach.

Test przewidziany był na 45 minut. Wypełniano go jednak najczęściej w 20 minut i nikt nie robił go dłużej niż 30 minut.

Jako ciekawostkę warto tu dodać, że ten sam test przeprowadzany „ponadprogramowo" w 40 - osobowej grupie studentów I roku filologii polskiej UG - dał wyniki bardzo podobne.

Wyniki przeprowadzonego testu

Na poszczególne pytania odpowiadano następująco:
(Wartości bez nawiasów - dotyczą absolwentów szkół podstawowych, w nawiasach studentów Filologii Polskiej).

1. Zjawisko dnia i nocy zachodzi ponieważ:

(a) Słońce porusza się dookoła Ziemi, wschodząc i zachodząc za horyzontem	14% (2%)
(b) Ziemia obiega Słońce	34% (33%)
(c) Ziemia wiruje wokół własnej osi	***51% (58%)***
nie wiem:	2% (8%)

2. Gdyby Ziemia nie obiegała Słońca:

(a) panowałaby na niej wieczna noc	25% (20%)
(b) nie byłoby pór roku	***65% (68%)***
(c) panowałby na niej wieczny dzień	6% (2%)
nie wiem:	4% (10%)

3. Fazy księżyca spowodowane są:

(a) przelewaniem się rozżarzonych warstw lawy na księżycu	2% (0%)
(b) cieniem, który Ziemia rzuca na Księżyc	40% (48%)

(c) zmieniającym się ustawianiem Księżyca względem promieni słonecznych ***43% (40%)***
nie wiem: 14% (13%)

4. Przypływy i odpływy morza, spowodowane są:
(a) ruchem Ziemi wokół Słońca 22% (8%)
(b) oddziaływaniem grawitacyjnym Księżyca i Słońca na wody oceanu ***44% (55%)***
(c) ogrzewaniem się oceanu w dzień i ochładzaniem w ciągu nocy 24% (15%)
nie wiem: 11% (23%)

5. Zaćmienie Słońca ma miejsce, gdy:
(a) temperatura Słońca gwałtownie spada 3% (5%)
(b) Księżyc znajdzie się między Słońcem a Ziemią ***79% (65%)***
(c) Ziemia przesłania Słońce 17%(20%)
nie wiem: 1% (10%)

6. Ruch Księżyca i sztucznych satelitów krążących wokół Ziemi:
(a) odbywa się według tych samych praw fizyki ***41% (43%)***
(b) nie ma ze sobą nic wspólnego 15% (5%)
(c) jest bardzo podobny, z tym że satelita wymaga stałego napędu odrzutowego 33% (28%)
nie wiem: 11% (25%)

7. Gdy nadamy ciału I prędkość kosmiczną, to:
(a) ciało oddali się w przestrzeń kosmiczną i już nie wróci 26% (5%)
(b) ciało zacznie krążyć na orbicie wokółziemskiej ***44% (63%)***
(c) ciało będzie mogło dolecieć do Słońca w ciągu 1 roku 7% (2%)
nie wiem: 24% (30%)

8. Siłą rządzącą ruchami planet jest siła:
(a) magnetycznego oddziaływania między planetami 27% (30%)
(b) grawitacyjnego oddziaływania między Słońcem a planetą ***32% (28%)***
(c) tzw. „siła wyporu przestrzennego" - występująca w stanie nieważkości 30% (10%)
nie wiem: 11% (33%)

9. Mikołaj Kopernik stworzył teorię budowy Wszechświata, według której:
(a) planety krążą wokół Ziemi, a Ziemia wraz z nimi wokół Słońca 8% (8%)
(b) Słońce, Księżyc i planety krążą wokół Ziemi 7% (5%)
(c) Ziemia inne planety krążą wokół Słońca ***84% (88%)***
nie wiem: 1% (0%)

10. W naszym Układzie Planetarnym krąży:
(a) 5 planet 6% (0%)
(b) 9 planet ***87% (92%)***
(c) 14 planet 5% (2%)
nie wiem: 1% (2%)

11. W skład naszego Układu Słonecznego wchodzą:
(a) wszystkie widoczne gwiazdy i planety 23% (8%)
(b) 5 najbliższych gwiazd wraz z ich planetami 10% (2%)
(c) Słońce, planety księżyce i meteoryty ***65% (75%)***
nie wiem: 2% (15%)

12. Meteoryty są to:
(a) okruchy z Kosmosu spadające na Ziemię ***78% (90%)***
(b) gwiazdy z gwiazdozbiory „Meteora" 14% (5%)
(c) próbniki do badań astronomicznych i meteorologicznych 1% (0%)
nie wiem: 6% (5%)

13. Na planetach naszego Układu Słonecznego:
(a) poza Ziemią nie ma wogóle istot żywych ***42% (48%)***
(b) możliwe, że żyją gdzieś istoty podobne do ludzi 47% (48%)
(c) z pewnością żyją istoty podobne do ludzi 9% (0%)
nie wiem: 2% (5%)

14. Gwiazdozbiory są to:
(a) zbiory gwiazd wzajemnie oddziaływujących ze sobą 42% (13%)
(b) specjalne katalogi gwiazd tworzone przez astronomów 8% (10%)
(c) umowne układy gwiazd na sferze niebieskiej ***46% (73%)***
nie wiem: 4% (5%)

15. Rok świetlny, to:
(a) średni czas życia gwiazdy 9% (0%)
(b) jednostka odległości - stosowana w astronomii ***56% (85%)***
(c) jednostka czasu, równa 365 dniom słonecznym 30% (13%)
nie wiem: 6% (2%)

16. Najbliższa Słońca gwiazda, oddalona jest od niego:
(a) o około 4 lata świetlne ***48% (33%)***
(b) mniej więcej tyle samo co Ziemia od Słońca 16% (8%)
(c) o około 100 000 km 16% (8%)
nie wiem: 20% (52%)

17. Gwiazdy czerpią swą energię z procesu:
(a) spalania węgla 13% (2%)
(b) gwałtownego łączenia się atomów wodoru i tlenu 36% (40%)
(c) syntezy termojądrowej (podobnie jak w bombie wodorowej) ***30% (23%)***
nie wiem: 21% (35%)

18. Galaktyki, są to:
(a) zbiorowiska gwiazd ***49% (50%)***
(b) drobne odłamki materii międzygwiezdnej 9% (8%)
(c) odległe planety podejrzane o istnienie na nich życia 34% (28%)
nie wiem: 8% (15%)

19. Pierwiastkami najobficiej występującymi we Wszechświecie, są:
(a) węgiel i żelazo 18% (15%)

(b) wodór i hel ***45% (55%)***
(c) pluton i uran 28% (5%)
nie wiem: 8% (25%)

20. Cywilizacji pozaziemskich jest we Wszechświecie:
(a) bardzo dużo, ale uczeni trzymają to w tajemnicy 8% (2%)
(b) nie ma żadnej poza naszą 10% (2%)
(c) nie potrafimy dziś odpowiedzieć na pytanie ***77% (90%)***
nie wiem: 4% (5%)

ANKIETA

21. Astronomia:
(a) wydaje mi się ciekawa 72% (80%)
(b) w ogóle mnie nie interesuje 25% (15%)
(c) jest moim hobby 2% (0%)
nie wiem: 1% (5%)

22. Źródłem mojej wiedzy z astronomii jest:
(a) głównie szkoła 27% (58%)
(b) głównie telewizja i radio 47% (25%)
(c) głównie książki, czasopisma i własne dociekania 25% (10%)
nie wiem: 1% (8%)

23. Jestem:
(a) uczniem 45% (studentem 7%)
(b) uczennicą 50% (studentką 82%)
5%-? (11%-?)

Omówienie otrzymanych wyników

W grupie ankietowanych uczniów - średnia ilość poprawnych odpowiedzi wynosi 11 (na 20 możliwych) i nie jest to wcale zły wynik. Co by o nim nie mówić - jest to 55% poprawnych odpowiedzi, a więc wynik „zaliczający". Nie jest to źle - bo mogło być gorzej. Gdyby na 20 zadanych pytań, średnia ta wynosiła 7 - oznaczałoby to, że odpowiedzi udzielano całkowicie losowo (tzn., że wybierano na ślepo jedno z trzech odpowiedzi i czasem nawet trafiono). Wynik powyżej tej granicy przypadkowości świadczy o tym, że na ogół zastanawiano się nad odpowiedziami.

Należy też pamiętać, że w szkole podstawowej o astronomii mówi się bardzo mało, a więc uzyskany wynik uczniowie zawdzięczają praktycznie samym sobie. (W pytaniu nr 22 - tylko 27% uczniów podaje szkołę jako źródło swej wiedzy z dziedziny astronomii). Nasuwa się jednak refleksja, co by było, gdyby nie był to test wyboru? Uczeń miał tu przecież pewność, że jedna trzech odpowiedzi jest na pewno poprawna i nie musiał jej samodzielnie formułować.

W 40 osobowej grupie studentów I roku filologii polskiej UG - test dał wyniki tylko trochę lepsze. Średnia ilość poprawnych odpowiedzi wyniosła tu 12 (tj. 60%), co oznacza, że student (bądź co bądź po maturze) poprawia wyniki absolwenta szkoły podstawowej - średnio o jedno tylko pytanie! Należy też chyba przyjąć, że przyszłe panie polonistki nie poczynią już żadnych postępów, jeżeli chodzi o znajomość astronomii i ... takie już pozostaną.

A może należy traktować to jako rzecz normalną, że powszechna, potoczna znajomość jakiejś dziedziny nauki jest zawsze te 100 - 200 (a czasem nawet 1000!) lat za jej stanem współczesnym? Pozostawiam to pytanie bez odpowiedzi.

W porównaniu z uczniami - widoczna jest u studentów wyraźna różnica na korzyść szkoły jako źródła informacji, a astronomia ciekawi ich w jeszcze większym stopniu niż uczniów (patrz pytania nr 21 i 22). W przypadku paru pytań, studenci mają oczywiście nieco wyższy procent poprawnych odpowiedzi niż uczniowie, ale jednocześnie ich grube „wpadki" (pytania nr 1, 8, 13) są podobne. Generalnie jednak - ukończenie szkoły średniej poprawia trochę stan ich wiedzy.

Ilość poprawnych odpowiedzi w badanych grupach 250 uczniów (i 40 studentów) przedstawiono graficznie na str. 187.

Każdy zgodzi się chyba z tym, że sformułowane tu pytania testowe nie są wszystkie równej „rangi". Można się tu jednak spierać i długo dyskutować nad podziałem tych pytań na „ważne i ważniejsze". Podziały takie i tak są subiektywne, dyskusyjne i dokonuje się ich zawsze pod pewnym kątem. Osobiście uważam, że pytania naprawdę „elementarne", to pytania nr **1, 2, 3** (ze względu na powszechną obserwowalność zjawisk, których one dotyczą) i pytania nr **8, 9, 10, 13 i 20** (ze względu na ich znaczenie światopoglądowe). Odpowiedzi na nie powinien znać każdy człowiek żyjący wśród ludzi, niezależnie od tego czy się o tym uczył czy nie. Nieznajomość odpowiedzi na pytania z tej grupy woła o tzw. „pomstę do (gwiaździstego) nieba". Co do pozostałych pytań, to bez znajomości tychże odpowiedzi - można w zasadzie żyć.

Pytanie nr 1 - zdawałoby się najprostsze, zadane rutynowo - okazało się „niespodzianką". Aż połowa ankietowanych nie wie z czego wynika (tak powszechne przecież) zjawisko dnia i nocy. Zdumiewające. A lekcje geografii!?

Pytanie nr 2 - zdawałoby się nieco trudniejsze od pierwszego - wypadło całkiem nieźle, ale w odpowiedziach na *pytanie nr 3*, niepokojąco często fazy księżyca utożsamiane są z jego zaćmieniem.

Ogromną „niespodzianką" okazało się *pytanie nr 8*. Jak wynika z udzielonych na nie odpowiedzi - w świecie planet może dziać się wszystko. Wszystkie oddziaływania (również te, których w ogóle nie ma) są tu równouprawnione, a grawitacja - to taka sama opcja jak inne.

Kto „wstrzymał Słońce, ruszył Ziemię" -widać (na szczęście) dosyć dobrze w odpowiedziach na *pytanie 9*. I tu można jednak się dziwić i zapytać - czemu nie 99%? Przecież slogan ten powtarza się do znudzenia każdemu Polakowi od małego.

Pytanie nr 10 było polem do popisu dla naszej szkoły jako takiej. Jak widać - w dziedzinie faktografii ma ona całkiem niezłe wyniki. Czasem padały nawet pytania o dziesiątą planetę. Wątpię jednak, by pytania te „wynoszone" były ze szkoły.

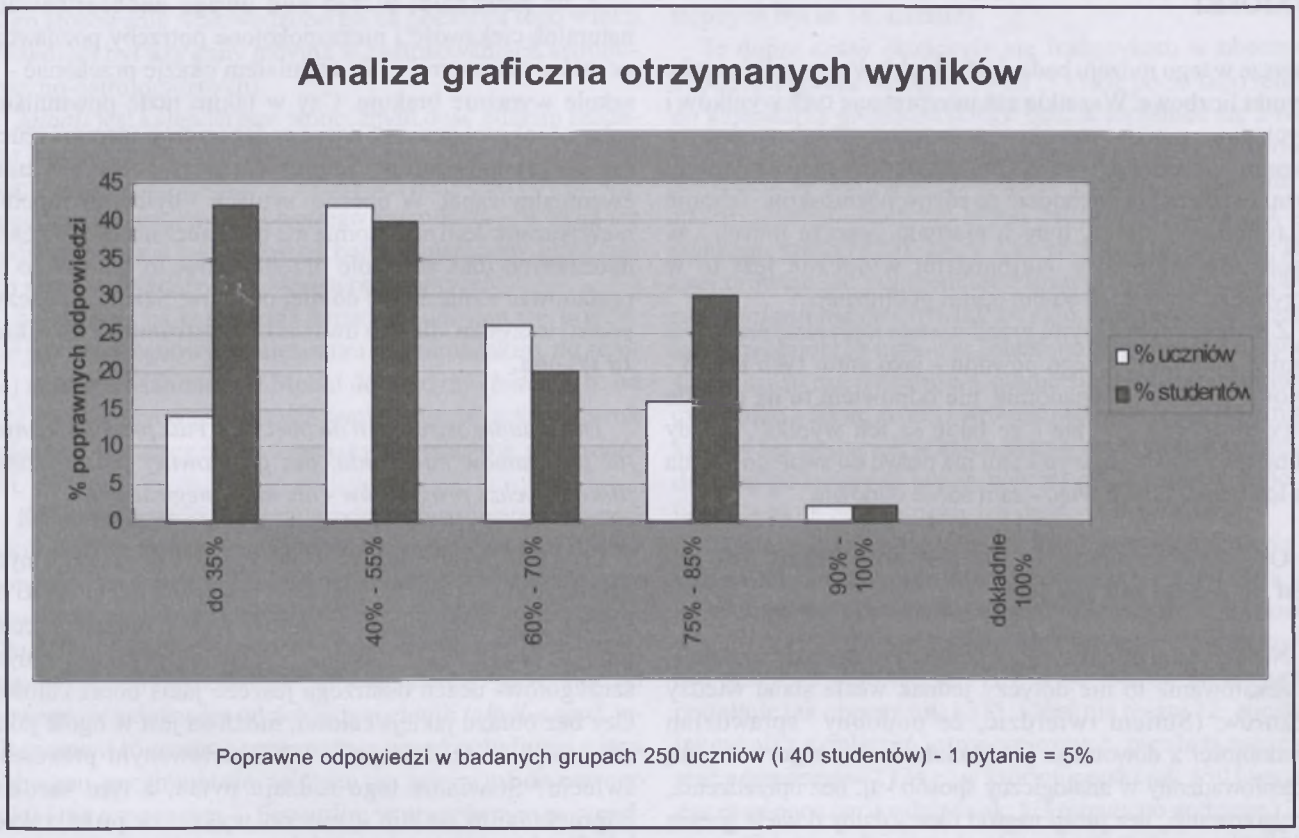
Pytanie nr 13 wzbudzało w szkołach wiele kontrowersji i protestów. Pytano mnie - skąd mam pewność, że gdzieś na Neptunie, za skałą nie siedzi ktoś mały, kudłaty, nie wysyłający żadnych sygnałów i zjadający kamienie? Odpowiedziałem wtedy - dobrze, jeśli któryś z filmów rysunkowych przekonał was, że ktoś taki tam siedzi, to zaznaczcie odpowiedź (b). Jak widać - telewizja potęgą jest i basta! (widać to także w *pytaniu nr 22*). Myślę, że dyskusje te wynikały z naturalnej chyba dla ludzi tęsknoty za spotkaniem we Wszechświecie „kogoś jeszcze".

Sytuację ratuje nieco *pytanie nr 20*. Jak wynika z odpowiedzi na nie - tęsknota ta nie góruje na szczęście nad zdrowym rozsądkiem. Należy jednak zauważyć, że wynik *pytania nr 20* w porównaniu z wynikiem pytania nr 13 - jest podejrzanie poprawny. Prawdopodobnie należy go (patrz *pytanie nr 22*). Tak więc to głównie im zawdzięczamy „jako takie" wyniki tego testu.

Jak wynika z *pytania nr 21* - prawie 3/4 uczniów (i jeszcze więcej studentów) uważa astronomię za ciekawą. Wyniki te są bardzo budujące, bo pamiętać należy, że każdy odpowiadający mógł tu być bezlitośnie szczery.

Typowi też dla tej nauki są nieliczni oczywiście, lecz za to zapaleni jej miłośnicy. Trzech uczniów udzieliło 18, a jeden nawet 19 - poprawnych odpowiedzi na 20 możliwych.

Wyniki takiego testu jak ten - można oczywiście poprawiać różnymi działaniami o charakterze akcyjnym, lecz nie o to przecież chodziło. Test ten miał za zadanie sprawdzić to co uczeń wie „z biegu", na codzień, a nie to - czego jest się w stanie wyuczyć tuż przed sprawdzeniem i zapomnieć tuż po nim. Uzyskane w ten sposób wyniki, dobrze oddają



Poprawne odpowiedzi w badanych grupach 250 uczniów (i 40 studentów) - 1 pytanie = 5%

interpretować w ten sposób, że to „on" (jako konkretny uczeń) nie potrafi dziś odpowiedzieć na to pytanie. W ten oto sposób - zupełnie nieświadomie - uczeń ów zajmuje w tej sprawie oficjalne stanowisko nauki. Nauka też tego nie wie.

Co do pozostałych pytań to cóż, koń jaki jest - każdy widzi. Cieszyć może fakt, że za wyjątkiem *pytania nr 17*, odpowiedzi poprawne zakreślane były częściej niż błędne. Jak już wspomniane było wcześniej - nie każdy przecież musi interesować się astronomią.

Należy zauważyć, że zdumiewająco dobrze jak na grupę pytań, wypadło tu dość „specjalistyczne" przecież - *pytanie nr 19*. Zwłaszcza, że destruktory były tu bardzo zachęcające.

Blisko połowa ankietowanych stwierdza, że źródłem ich wiedzy z dziedziny astronomii jest głównie telewizja i radio rzeczywistą wiedzę ucznia i jak widać - nie są takie złe. Można chyba o nich powiedzieć, że są wypadkową rozmaitych prądów informacyjno - światopoglądowych końca XX wieku.

Czasem - są one oczywiście tylko rezultatem zwykłej niewiedzy. Może po prostu tak już musi być? Może nigdy nie było i nie będzie już pod tym względem lepiej?

„Średni" absolwent szkoły podstawowej (pamiętając, że zawsze tzw. „średni człowiek" jest tworem budzącym wiele kontrowersji i zastrzeżeń) reprezentuje stan wiedzy z zakresu astronomii:

Na ogół wie on - że zgodnie z teorią Kopernika - planety krążą wokół Słońca i że planet tych jest 9. (Slogan plus cyfra). Nie bardzo natomiast wie- jaka to siła rządzi ruchem tych planet. Nie jest on pewien, czy we Wszechświecie istnieją

oprócz naszej jeszcze jakieś cywilizacje, ale jeśli chodzi o nasz Układ Słoneczny, to według niego - możliwe jest, że żyją w nim gdzieś inne istoty podobne do ludzi.

Wie, czym tłumaczy się zjawisko zaćmienia Słońca i co to są meteory. Najciekawsze jest chyba jednak to, że aż połowa ankietowanych budząc się rano i włączając jakiś (satelitarny często) program telewizyjny - nie wie z czego wynika zjawisko nowego dnia, który się właśnie rodzi i nocy, która się właśnie skończyła. No i jak to właściwie jest z tym satelitą telewizyjnym, dzieki któremu oglądają Eurosport i MTV?

Jak widać, obszerna wiedza o tym, co nas otacza - nie jest wcale do życia niezbędna.

WNIOSKI

Zawsze w tego rodzaju badaniach obiektywne są tylkie suche wyniki liczbowe. Wszelkie zaś interpretacje tych wyników i wyciągane z nich wnioski - w mniejszym lub większym stopniu - są subiektywne. Na podstawie tych samych danych, różni ludzie mogą dochodzić do różnych wniosków. Te same fakty jednych cieszą, innych martwią, jeszcze innych - w ogóle nie interesują. Najbardziej widoczne jest to w przypadku wszelkich badań opinii publicznej.

Z badaniami będącymi przedmiotem niniejszej pracy jest bardzo podobnie. Z tego powodu - jako autor tych badań - celowo i zupełnie świadomie, nie odpowiem tu na pytanie „czy to dobrze, czy źle - że takie są ich wyniki", Każdy zainteresowany tymi wynikami ma prawo do swojego zdania na ich temat. Niech więc - sam sobie odpowie.

Osobiście uważam, że nie jest ani dobrze, ani źle. Jest po prostu tak jak jest.

Nie ukrywam jednak swojego **subiektywnego** rozczarowania. Rozczarowanie to nie dotyczy jednak wcale stanu wiedzy uczniów. (Śmiem twierdzić, że podobny sprawdzian wiadomości z dowolnego przedmiotu nauczanego w szkole, przeprowadzony w analogiczny sposób - tj. bez uprzedzenia, przygotowania, bez presji nagród i kar - dałby o wiele gorsze wyniki). Rozczarowany natomiast jestem samą „filozofią nauczania", z którą to na codzień mają do czynienia uczniowie i której to rezultatem jest taki, a nie inny stan ich wiedzy.

Sam dobrze pamiętam ze szkoły, że w podstawówce takie rzeczy jak UFO, astronomia, podróże kosmiczne, cywilizacje pozaziemskie, trójkąt bermudzki itp. - interesowały niemal wszystkich. (Być może właśnie dlatego, że nie było o nich mowy w szkolnych programach nauczania). Dziś - jak się miałem okazję przekonać - nic się pod tym względem nie zmieniło. W wielu klasach, po zebraniu testów - byłem zasypywany spontanicznymi pytaniami na te tematy. Wyraźnie było widać jak uczniowie korzystają z okazji obecności kogoś, kto ich zdaniem „zna się" i może im trochę tych spraw wyjaśnić. Rodziło się wtedy we mnie ciche pytanie - czy naprawdę nikt wam o tym nic nie mówił?

Jak można tak nie brać pod uwagę naturalnej ciekawości poznawczej ucznia?

Nigdy nie mogłem zrozumieć, na czymże właściwie polega ta rzekoma „praktyczność" szkolnych programów nauczania, wobec których to - astronomia pokornie musi chylić głowę i przepraszać, że żyje. Przecież niepraktyczność, encyklopedyzm i faktografia - to i tak od lat główne atrybuty polskiej „filozofii nauczania". Słupki dat i tabelki danych statystycznych - wciągają i „fascynują" naszych uczniów od lat. Stanowią one przecież „bezcenną" wprost wiedzę, wymienialną bezpośrednio i od ręki na pieniądze.

A na poważnie: biorąc pod uwagę zaobserwowaną naturalną ciekawość i niezaspokojone potrzeby poznawcze uczniów, astronomii - jak się miałem okazję przekonać - w szkole wyraźnie brakuje. Czy w takim razie powinniśmy zakasać rękawy, zewrzeć nasze pedagogiczne szeregi i rzucić się do jej nauczania? Lepiej darujmy sobie ten nasz ewentualny zapał. W obecnej sytuacji - byłby on zupełnie niewskazany. Jeśli astronomia ma być nauczana tak jak reszta nauczanych dziś w szkole przedmiotów, to nie ma co jej profanować i zniechęcić do niej uczniów. Szkoła wypaczyć potrafi wszystko, dlatego uważam, że: **astronomii do szkoły za szkoda.**

Dokładanie astronomii do obecnych i tak przeładowanych już programów nauczania, bez gruntownej zmiany samej filozofii tychże programów - nie ma żdnego sensu.

Czy nie byłoby lepiej w przypadku poszczególnych przedmiotów - nauczać metody i podejścia danej nauki do świata zamiast jej wyników, które to wyniki można przecież mnożyć bez liku? Czy obecnie - w lawinie przekazywanych szczegółów- uczeń dostrzega jeszcze jakiś obraz całości? Czy bez obrazu jakiejś całości, możliwa jest w ogóle jakaś orientacja w dzisiejszym - tak zwariowanym przecież - świecie? Stawianie tego rodzaju pytań, a tym bardziej odpowiadanie na nie - mocno wykracza poza zakres tematyczny pracy.

Pytania te są jednak najbardziej uzasadnione w obliczu przedstawionych tu wyników badań.

Wyniki te bowiem ukazują - moim zdaniem - słabość naszej szkoły. Szkoły jako sysytemu. Ukazują słabość jej metod, filozofii, programów, podejścia do ucznia i rozumienia jego potrzeb. Wyniki te są potwierdzeniem opinii, że szkoła po prostu nie radzi sobie z otaczającą rzeczywistością.

Krzysztof Cilulko

Kalendarz perski

Kazimierz M. Borkowski

Jednym z mniej znanych w Polsce kalendarzy jest kalendarz perski nazywany też *jalaali* (czyt.: dżalali) używany w Iranie i okolicznych obszarach takich jak Afganistan, republiki środkowej Azji i Kurdyjska Mezopotamia. Jego współczesny kształt pochodzi od znanego irańskiego poety i matematyka Omara Khayyama (zmarł w 1122 r.). Do praktycznego stosowania wprowadzono go na początku tego wieku (przedtem był używany jedynie w zastosowaniach astronomiczno-astrologicznych).

Jalaali jest kalendarzem słonecznym dość bliskim naszemu kalendarzowi gregoriańskiemu, ale odróżnia go szereg zalet, które – szczególnie w świetle co jakiś czas powracającego tematu rewizji reguł naszego kalendarza – wydają się godne zwrócenia uwagi. Jest on bardziej naturalny, gdyż rządzi nim rzeczywisty ruch Słońca po ekliptyce.

Numeracja lat kalendarza perskiego odbywa się, podobnie jak w księżycowym kalendarzu muzułmańskim, od słynnej ucieczki Mahometa z Mekki do Medyny (*hidżra*), tj. od 622 r.n.e. Zatem w pierwszych swoich miesiącach każdy rok *jalaali* nosi numer o 621 mniejszy niż nasz rok gregoriański.

Kalendarz perski jest ściśle zsynchronizowany z porami roku. Każdy rok zaczyna się w chwili (co do sekundy) równonocy wiosennej obliczonej przez astronomów. Irańczycy uznają ten moment za nowy rok i nazywają go *tahvil-e saal*. Dla celów rachuby kalendarzowej, cały 24–godzinny przełomowy dzień może należeć albo do starego roku, albo do nowego, w zależności od dokładnej chwili *tahvil-e saal*: jeśli moment równonocy przypadnie przed południem czasu Teheranu, przyjmuje się, że dzień ten należy już do nowego roku i ma oznaczenie 1. Farvardin; w przeciwnym przypadku liczy się go jako ostatni dzień poprzedniego roku (29 lub 30 Esfand).

Każda pora roku stowarzyszona jest z trzema pełnymi miesiącami. Ponieważ półrocza roku zwrotnikowego są nierówne, w kalendarzu tym ustalono, że pierwsze sześć miesięcy mają po 31 dni, a ostatnie sześć – po 30 dni, z wyjątkiem lat zwykłych, czyli nieprzestępnych, w których ostatni miesiąc roku (przełom lutego i marca) ma 29 dni. Wynika stąd, że kalendarz ten liczy 365 lub 366 dni, jednak ten 366. dzień przypada w ogólności na inne lata niż w kalendarzu gregoriańskim. W praktyce w ostatnich 32 latach, lata przestępne kalendarza gregoriańskiego i perskiego zawsze zachodziły na siebie, co ułatwiało przeliczanie odpowiednich dat. Pomijając ostatnie 20 dni lat przestępnych *jalaali*, w tym czteroletnim okresie można było wykorzystać kalendarze dowolnego roku z minionych 32 lat, aby sprawdzić odpowiedniość dat w obu systemach zliczania dni. Jedynie w latach przestępnych we wspomnianych 20 dniach kalendarz gregoriański pozostawał dodatkowo o jeden dzień za perskim w odniesieniu do zwykłych lat (np. 8 marca zwykle odpowiadało 17. dniowi miesiąca Esfand, a w latach przestępnych był to 18. Esfand).

Te dobre czasy skończyły się Irańczykom w obecnym, 1996 roku i przez następne 99 lat (3 cykle po 33 lata) relacja do kalendarza gregoriańskiego będzie zmieniać się z roku na rok. Bierze się to stąd, że w bieżącym roku równonoc przypadła przed południem czasu średniego Teheranu (o 11:29), dlatego dzień ten został zaliczony do nowego, następnego roku (1375), który z tej racji jest przestępny. Inaczej mówiąc, od poprzedniego roku przestępnego mija teraz w *jalaali* nie czwarty jak zwykle, lecz piąty rok. Cztery lata wcześniej równonoc w Teheranie wypadła 30. Esfand o 12:14 czasu miejscowego. Cofanie się momentu równonocy wynika z faktu, że rok zwrotnikowy jest o ok. 11,25 minut krótszy niż średni rok w kalendarzowym czteroleciu (365,25 dni), co po czterech latach wynosi ok. 45 minut, a po 33 latach – ok. 6 godzin czyli 1/4 dnia.

Obecnie w kalendarzu perskim stosuje się reguła, że na każde 33 lata występuje 8 lat przestępnych. Są to te lata, dla których reszta z dzielenia numeru roku przez 33 wynosi 1, 5, 9, 13, 17, 22, 26 lub 30. Np. rok 1370 *jalaali* po podzieleniu przez 33 daje resztę 17, a więc jest on przestępnym podobnie jak obecny rok 1375, który ma resztę 22. Niestety, jak wynika z obliczeń astronomicznych, reguła ta może zostać przerwana w 2124 r., w którym perski rok 1503 wyznacza równonoc przypadającą ok. 1/3 minuty po godzinie 12:00 czasu Teheranu. Ponieważ momentu równonocy nie można przewidzieć dokładnie (ze względu na nieregularność spowalniania rotacji Ziemi), może się okazać, że równonoc wypadnie jednak przed godz. 12:00, co spowoduje przerwanie ciągłości 33–letniego cyklu. Jeśli jednak tak się nie stanie, podana reguła będzie obowiązywać aż do roku 2256 (1634 *jalaali*).

Czytelnicy zainteresowani przeliczaniem dat *jalaali* na lub z kalendarza gregoriańskiego mogą skorzystać z programu Khayam dostępnego w Internecie pod adresem **http://tehran.stanford.edu/Iran_Lib/Calendar/khayam.html** (poprawny w latach 1799 – 2256) lub mojego programu *calconv* przygotowanego pod DOS-em na ok. 3000 lat ery *hidżra* (można go znaleźć pod adresem **ftp://copernicus.astro.uni. torun.pl/pub/hide/kb/**).

„GWIAZDA TOLERANCJI"

„Gwiazda Tolerancji" jest doskonałym przykładem, jak na badania astronomiczne może wpływać niszcząco pozornie nie związana z nią działalność. W przeciwieństwie do innych nauk doświadczalnych, astronomia nie może ograniczyć dostępu do swego laboratorium – obserwujemy bowiem przez ziemską atmosferę, której użytkownikami jesteśmy wspólnie z całą ludzkością, zaś nasze Obserwatoria Kosmiczne dzielą przestrzeń pospołu z innymi satelitami oraz ze wzrastającą ilością odpadów kosmicznych. Również inne formy działalności, zwłaszcza w dziedzinie lokalnej produkcji silnego promieniowania elektromagnetycznego (np. światło, transmisje radiowe), mogą w znacznym stopniu utrudniać nasze obserwacje.

„Gwiazda Tolerancji" została zaproponowana jako sposób uczczenia pięćdziesięciolecia UNESCO (Światowej Organizacji d/s Nauki, Kultury i Wychowania). Ta organizacja wiele osiągnęła w ciągu tego półwiecza i jej dokonania powinny stanowić źródło słusznej dumy. „Gwiazdę Tolerancji" stanowić miała para połączonych ze sobą sznurem o długości 2 km balonów o średnicach 50 m i 30 km skonstruowanych z odbijającego materiału.

Po starcie „Gwiazda" miała osiągnąć wysokość orbitalną 1250 km i oczekiwano, że będzie tak jasna jak Syriusz. Wyglądałaby jak gwiazda podwójna, gdyby ją obserwować o zmierzchu. Miałaby również możliwość przesyłania sygnałów na falach radiowych, umiejętność inicjowania wydarzeń ziemskich, jak np. włączania urządzeń oświetlających budynki, itp. Po projektowanym czteroletnim okresie życia, „gwiazda" zostałaby wybita z orbity i spalona w atmosferze ziemskiej. Przyznać należy, że byłby to bardzo zwracający uwagę, doskonale widoczny i pomysłowy sposób uhonorowania UNESCO. Na szczęście dla astronomii – UNESCO zadecydowała nie wprowadzać w życie tego pomysłu.

Dlaczego „na szczęście dla astronomii"? Przecież sama „Gwiazda" nie stanowiłaby katastrofy dla astronomii? Oczywiście jest inaczej. Występowanie obiektu tak jasnego jak Syriusz, a czasem nawet tak jak Jowisz, przemieszczającego się po niebie w regularnych odstępach czasu, nie zawsze o zmierzchu, stanowiłoby irytujące ryzyko dla badań astronomicznych. Wprowadziłoby bowiem szereg zmieniających się „stref zakazanych" na niebie. Przypadkowe pojawienie się tak jasnego obiektu w polu widzenia bardzo czułego detektora promieniowania mogłoby, w zasadzie, doprowadzić do poważnych i kosztownych uszkodzeń tego detektora. Na orbicie o promieniu 1250 km czas życia „Gwiazdy" byłby ponad 1000 lat. Wydaje się, że łącza są szczególnie wrażliwe na szkody wyrządzone przez odpady kosmiczne. Gdyby połączenie zostało przerwane, to napewno części „Gwiazdy" nie udałoby się usunąć z orbity i pozostałaby jako ryzyko dla obserwacji astronomicznych przez ponad 1000 lat. Zaś uszkodzenie „Gwiazdy" przez odpady kosmiczne mogłoby spowodować wytworzenie wielu fragmentów odbijających, stanowiących nie do przewidzenia ryzyko, dla obserwacji przez okres znacznie dłuższy niż 1000 lat. Istnieje także wątpliwość, czy procedura ściągania z orbity układu zawierającego łącze miałaby szanse powodzenia.

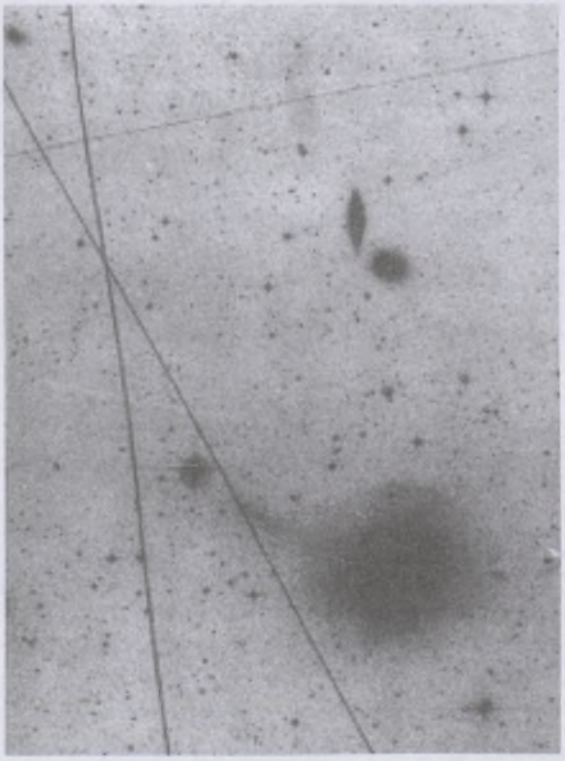
Jednakże największym zagrożeniem całej propozycji dla astronomów jest fakt, że stanowiłaby ona rodzaj precedensu. Gdyby UNESCO umieściło na orbicie „Gwiazdę Tolerancji", to mogłoby się zdawać, że umieszczenie tam większych, a więc jaśniejszych reflektorów przeznaczonych do promowania mniej szczytnych celów otrzymało przyzwolenie ze strony tej najważniejszej światowej instytucji kulturalnej, naukowej i edukacyjnej. Reflektory słoneczne byłyby zatem wypuszczane w dużych ilościach, faktem stałoby się umieszczanie reklam w przestrzeni. A to stanowiłoby już zagrożenie dla astronomii we wszystkich długościach fali. Dla astronomii optycznej – odbite światło słoneczne z satelitów–reklam rozjaśniałoby niebo kilka razy bardziej intensywnie niż Księżyc w pełni, a należy pamiętać, że Księżyc rozjaśnia całe niebo do takich rozmiarów, że astronomia „głębokiego nieba" (tj. obserwacje o znaczeniu kosmologicznym) nie mogą być podejmowane regularnie przez 2 tygodnie (tydzień przed i po pełni Księżyca) przy każdej lunacji, trwającej w przybliżeniu 4 tygodnie. Dalszy rozwój reklam w przestrzeni kosmicznej napewno doprowadziłby do takiego rozjaśnienia nocnego nieba, że uniemożliwiłby zupełnie prowadzenie

postępki astronomów

obserwacji w zakresie fal widzialnych. Dla radioastronomii zaś – transmisje radiowe z takich odbijających satelitów stanowiłyby dalszy przyczynek do „szumu elektromagnetycznego", stanowiącego już obecnie poważny problem.

Wiadomość, że to właśnie UNESCO planuje takie przedsięwzięcie o katastrofalnych dla astronomii skutkach – stanowiła istny szok dla społeczności astronomicznej. W niedawnej bowiem przeszłości UNESCO wspomagała materialnie przedsięwzięcia Międzynarodowej Unii Astronomicznej związane z upowszechnianiem różnych zagrożeń dla astronomii wynikających z praktyki życia codziennego: dokładniej, wymagań „cywilizacji" sprzecznych z wymogami dobrych warunków dla obserwacji astronomicznych. A jednak UNESCO poważnie rozważała propozycję prowadzącą do poważnych szkód w badaniach astronomicznych. Na szczęście UNESCO nie wprowadziła w życie swych zamierzeń, a ta decyzja została gorąco przyjęta przez społeczność astronomiczną.

Cały ten epizod stanowi zbawienną lekcję dla astronomii. Propozycja wysunięta w dobrej wierze w dziedzinie zupełnie nie związanej, mogła mieć szkodliwe konsekwencje dla nauki w innej dziedzinie. A wydawałoby się, cóż może mieć szkodliwego dla astronomii propozycja uczczenia UNESCO? Jednak konsekwencje tego właśnie planu byłyby szczególnie szkodliwe. Trzeba zatem wielokrotnie powtarzać, że astronomia musi bacznie zwracać uwagę na to co się dzieje wokół niej. Istnieje bowiem prawie powszechny brak społecznego zrozumienia, jak bardzo słabe są sygnały kosmiczne, które astronomia stara się uchwycić – nawet jeśli jest wspomagana przez udogodnienia techniczne tej samej cywilizacji, która mogłaby łatwo, bez złośliwych intencji, doprowadzić nagle do uniemożliwienia samych obserwacji astronomicznych. Astronomia jest wrażliwa na zmiany w środowisku, przy czym są to rzędy wielkości znacznie większe od tego, co najbardziej rozsądni ludzie uważaliby za zaniedbywalne. Astronomia zdaje się więc coraz bardziej wchodzić w konflikt z propozycjami o wielkim społecznym i handlowym znaczeniu, które jednak wyrządzałyby nieodwracalne szkody tej dyscyplinie naukowej. Takie propozycje pochodzą zarówno od tych, którzy zdają się być blisko astronomii, jak i od tych, których związki z astronomią są odległe.



Trudno jest już dzisiaj zrobić zdjęcie odległej galaktyki lub kwazara bez co najmniej kilku śladów „przelatujących" satelitów.

Astronomia musi zatem być bardzo czujna, aby zdawać sobie sprawę z tych niebezpieczeństw. W wielu wypadkach zagrożenie jest zauważane dopiero po zajściu zjawiska, jak np. plany oświetlenia ulicznego: obserwatorium może nie wiedzieć o nowych planach oświetlania swej miejscowości, jeśli planiści nie uznają za potrzebne zaznajomienia astronomów ze swymi projektami. Istnieje silna potrzeba ciągłego uświadamiania społeczeństwu, jak bardzo astronomia jest narażona na niezamierzone zakłócenia – nawet wyrządzone przez najlepszych przyjaciół.

Tym razem nam się udało! Mieliśmy natchnionych obrońców. Ale astronomia potrzebuje więcej niż łutu szczęścia i szybkiej reakcji natchnionych adwokatów. Jeśli „Gwiazda Tolerancji" nauczyła nas czegoś, to tego, że Astronomowie powinni szybko uruchomić ciągły mechanizm do identyfikowania zagrożeń i szybkiego reagowania na jakąkolwiek aktywność prowadzącą do zmniejszenia naszych możliwości obserwowania Kosmosu.

Derek McNally
University of London Observatory

tłum. C. Iwaniszewska

Artykuł został pierwotnie opublikowany w Biuletynie ICSU „Science International" Nr 62, sierpień 1996.

ZAWARTOŚĆ TOMU 44. *POSTĘPÓW ASTRONOMII*

Numeracja stron: *zeszyt 1* (1 - 48), *zeszyt 2* (49 - 96), *zeszyt 3* (97 - 144), *zeszyt 4* (145 - 192)
Strony kolorowe: *rzymska cyfra* - numer zeszytu, *o* - okładka, *w* - wkładka

INDEKS PRZEDMIOTOWY

Artykuły

Badania magnetosfery ziemskiej - misja Interball, *Jan Hanasz*, 73
Datowanie narodzin Jezusa Chrystusa, *Paweł Preś*, 161
Dlaczego Jowisz świeci, *Edmund Sioda*, 108
Galaktyczny kanibalizm czy pierwotna zapaść?, *Marek Gołębiewski*, 125
Gromada kulista M4 (NGC 6121), *Marek Gołębiewski*, 34
Kalendarz Majów, *Leszek P. Błaszkiewicz*, 132
Kalendarz perski, *Kazimierz M. Borkowski*, 189
Kometa niespodzianek, *Krzysztof Ziołkowski*, 52
Kosmiczne powiązania w Przyrodzie, *Leszek P. Błaszkiewicz*, 61
Kwestia możliwości i celowości korekty reguł kalendarza słonecznego, *Jan Mietelski*, 81
Masery, nowe narzędzia badań astronomicznych, *Leszek P. Błaszkiewicz*, 10
„Najgłębsze wniknięcie myśli ludzkiej w istotę natury,...", *Tadeusz Jarzębowski*, 101, 155
O istocie praw fizyki i granicach poznania, *Andrzej Z. Hrynkiewicz*, 148
O małych księżycach wielkich planet, *Krzysztof Goździewski*, 111
Powstawanie pulsarów podwójnych i milisekundowych, *Wojciech Lewandowski*, 16
Pożytki z astronomii, *Emmanuel Davoust*, 56
Promieniowanie grawitacyjne, *Andrzej Krasiński*, 4
Propozycja uporządkowania schematu i reguł kalendarza, *Adam S. Kisiel*, 40
Tajemnice źródeł radiowych klasy GPS, *Jacek Niezgoda*, 171
Warszawski teleskop fotometryczny w Chile, *Andrzej Udalski*, 129, IIIw

HST obserwuje

100000 zdjęć wykonanych Teleskopem Kosmicznym!, 141
Brązowy karzeł Gliese 229B, IIo
Czarna dziura w NGC 4261, Io
Dyski protoplanetarne w M 42, Iw
Dysk pyłowo-gazowy Beta Pictoris, IIo
η Carinae, IIIo
Ewolucja przedmgławicowa - nowe znaki zapytania, *Ryszard Szczerba*, 25
G1 - gromada kulista w M31, IIIo
GL229B - brązowy karzeł!, *Marek Gołębiewski*, 77
Kometa Hyakutake w obiektywie kamery WFPC2, Io
Mapa Plutona, *Andrzej Woszczyk*, 80
Matecznik gwiazdowy w sąsiedniej galaktyce, IIIo
Mgławica Krab, IVo
Mgławica planetarna Helix (NGC 7293), *Krzysztof Gęsicki*, 76, IIw
Narodziny galaktyk, Krzysztof Rochowicz, 178
Obrazy zórz polarnych na Jowiszu, *Roman Schreiber*, 176
Pradawna galaktyka, IVo
Tam rodzą się gwiazdy i planety: M 16 i M 42, *Andrzej Woszczyk*, 23, Iw
Zorze polarne na Saturnie, *Roman Schreiber*, 28

Rozmaitości

Ganimedes w obiektywie sondy Galileo, *Andrzej Woszczyk*, 166
Jeszcze raz o Galileo, *Andrzej Woszczyk*, 32
Odkrycie kolejnych planet!, *Andrzej Woszczyk*, 31
Opowieść o Lalande 21185, czyli jak gwiazdka stała się gwiazdą, *Krzysztof Rochowicz*, 124
Ozon w ziemskiej atmosferze, *Andrzej Woszczyk*, 168, IVw
Polar obserwuje zorzę polarną, *Roman Schreiber*, 72, IIw
Powstawanie promieni kosmicznych w otoczkach supernowych, *Roman Schreiber*, 29
Sonda Zorzowa bada ziemską atmosferę, *Jan Hanasz*, 169
Widmo pulsara w Krabie, *Andrzej Woszczyk*, 30
WIND - 24 godziny z życia stacji w obrazkach, *Roman Schreiber*, 121, IIIw
Żelazne jądro Io, *Roman Schreiber*, 71
Życie na Marsie?, *Andrzej Woszczyk*, 122

Astronomia w szkole

Czy istnieją orbity kołowe?, *Juliusz Domański*, 43
XL Olimpiada Astronomiczna 1996/1997, 44
Przed XIII OMSA w Grudziądzu, *Magdalena Kożuchowska*, 91
Seminarium dla nauczycieli fizyki 1-3 grudnia - Koninki, *Magdalena Kożuchowska*, 90
Stan wiedzy astronomicznej absolwentów szkół podstawowych, *Krzysztof Cilulko*, 184

Sylwetki *PA*

Profesor Karol Kozieł (1910-1996), *Jerzy M. Kreiner*, 134

In memoriam

Roman Smoluchowski (1910-1996), *Andrzej Woszczyk*, 50

W kraju

Astrofizyk Prof. Bohdan Paczyński laureatem nagrody Fundacji Nauki Polskiej na rok 1996, 183
Ks. prof. Michał Heller doktorem Honoris Causa AGH, *Jan Mietelski*, 93
Pierwsze bieszczadzkie spotkanie dyskusyjne: „Pola elektromagnetyczne ULF w astrofizyce i medycynie", *Andrzej Kulak, Stanisław Micek, Adam Michalec, Jerzy Kubisz*, 180
Polsko-francuska współpraca w dziedzinie astronomii, *Paweł Haensel, Alain Omont*, 182
Technika CCD w Astronomii (szkoła PTA), *Waldemar Ogłoza*, 181

Felieton

Astronomia i muzyka, *Jacek Drążkowski*, 142
Czasowe kłopoty, *Zdzisław Kościelak*, 46
Czy Einstein śpiewał barytonem, *Ewa Kuczawska*, 94
Gwiazda tolerancji, *Derek McNally*, 190

Recenzje PA

Czy ładne musi znaczyć byle jakie?, *Barbara Gertner*, 48
Pasjonująca wędrówka po krętych ścieżkach nauki, *Kazimierz Schilling*, 87
Programy astronomiczne shareware, *Bożena Chyży*, 137
Urania - komputerowy program astronomiczny, *Adam Michalec*, 96, IIo

Fotoobserwacje

Galeria planet i księżyców, IVo
Kometa Hyakutake, Io

Inne

Konkurs o kometach, 165
Nagroda Młodych Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, 144
Nagroda im. Włodzimierza Zonna za popularyzację wiedzy o Wszechświecie, 144
Rotacja komety, IIo
Wyniki konkursu na błędne prezentacje reguły Titiusa-Bodego, *Kazimierz Schilling, 98*
Zaćmienie Słońca 12.10.96, IVw

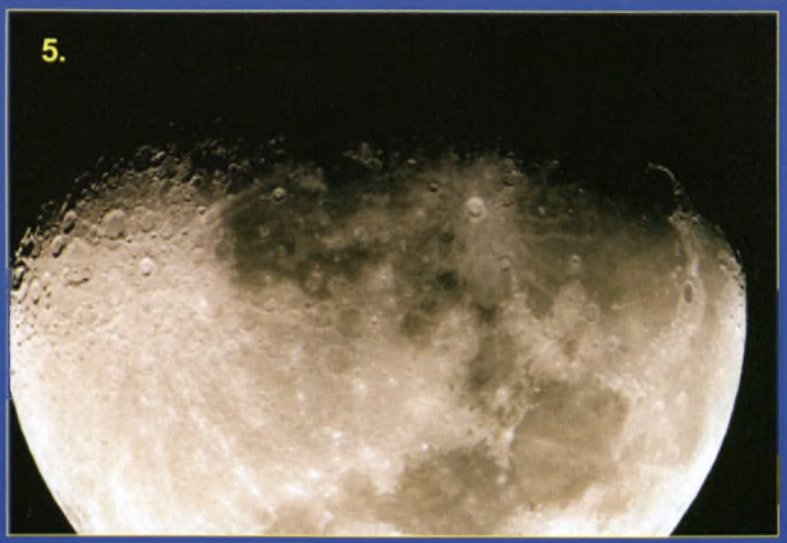
INDEKS AUTORÓW

Błaszkiewicz Leszek P., 10, 61, 132
Borkowski Kazimierz M., 189
Chyży Bożena, 137
Cilulko Krzysztof, 184
Davoust Emmanuel, 56
Domański Juliusz, 43
Drążkowski Jacek, 142
Gertner Barbara, 48
Gęsicki Krzysztof, 76
Gołębiewski Marek, 34, 77, 125
Goździewski Krzysztof, 111
Haensel Paweł, 182
Hanasz Jan, 73, 169
Hrynkiewicz Andrzej Z., 148
Jarzębowski Tadeusz, 101, 155
Kisiel Adam S., 40
Kościelak Zdzisław, 46
Kożuchowska Magdalena, 90, 91
Krasiński Andrzej, 4
Kreiner Jerzy M., 134
Kubisz Jerzy, 180
Kuczawska Ewa, 94
Kulak Andrzej, 180
Lewandowski Wojciech, 16
McNally Derek, 190
Micek Stanisław, 180
Michalec Adam, 96, 180
Mietelski Jan, 81, 93
Niezgoda Jacek, 171
Ogłoza Waldemar, 181
Omont Alain, 182
Preś Paweł, 161
Rochowicz Krzysztof, 124, 178
Schilling Kazimierz, 87, 98
Schreiber Roman, 28, 29, 71, 72, 121, 176
Sioda Edmund, 108
Szczerba Ryszard, 25
Udalski Andrzej, 129
Woszczyk Andrzej, 23, 30, 31, 32, 50, 80, 122, 166, 168
Ziołkowski Krzysztof, 52

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA W TORUNIU

FOT Obserwacje

Galeria planet i księżyców



1. Saturn z (już!) widocznymi pierścieniami sfotografowany przez Wiesława Skórzyńskiego (teleskop Shafera 250/16 f=12.6 m, exp. 1/6 s)
2. Księżyce Saturna uwidocznione dzięki wydłużeniu czasu ekspozycji (W. Skórzyński, ∅ 256 mm f=4 m, t=15 s)
3. Jowisz i jego galileuszowe księżyce (jak wyżej, t=10 s)
4. Zaćmienie Księżyca z dnia 27 września br. wykonane Zenitem XL z obiektywem 135 mm przez Pawła Presia – w lewym dolnym rogu widoczny jest Saturn!
5. Księżyc (nie zaćmiony) sfotografowany przez W. Skórzyńskiego (jak fot. 1 z czasem 1/20 s)
6. Światło popielate Księżyca sfotografowane teleskopem firmy „Uniwersał" ∅ 150 mm f=900 mm na filmie Konica SR-G 3200 z czasem ekspozycji 20 s (fot. Michał Siwak)

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A

obserwuje

Mgławica Krab

Biblioteka Główna UMK
300048429913

Po stronie lewej przedstawiony jest obraz Mgławicy Krab, która jest pozostałością wybuchu supernowej z roku 1054 uzyskany w świetle widzialnym przy pomocy teleskopu Schmidta na Mt Palomar. Mgławica rozciąga się obecnie na przestrzeni ok. 10 lat świetlnych i znajduje się w odległości 7 tys. lat świetlnych od nas w gwiazdozbiorze Byka.

W środku mgławicy znajduje się pulsar, czyli szybko rotująca (30 obrotów na sekundę) gwiazda neutronowa – w kuli o średnicy ok. 10 km zawarta jest tam materia o masie większej od masy Słońca. Silne pole magnetyczne rotującej gwiazdy jak gdyby zamiata i biczuje cząsteczki elementarne otaczającej ją materii rozpędzając je na „wszystkie strony" do bardzo dużych prędkości. Niebieska poświata w wewnętrznej części mgławicy to właśnie światło emitowane przez napędzane w ten sposób elektrony poruszające się po spiralach oplatających linie sił pola magnetycznego.

Obraz po prawej stronie, pokazujący wewnętrzną część mgławicy Krab został uzyskany kamerą WFPC2 Teleskopu Kosmicznego Hubble'a w dniu 5 listopada 1995 roku w długości fali 550 nanometrów czyli w obszarze widmowym największej czułości oka ludzkiego. Sam pulsar NP 0532 jest widoczny tutaj jako położona po lewej stronie gwiazda ze stosunkowo jasnej pary gwiazd znajdujących się w pobliżu środka obrazu. Otoczenie pulsara przedstawia bardzo złożoną, pręgowatą, strukturę różnych zagęszczeń i rozrzedzeń występującej tam materii. Kilkumiesięczne obserwacje panów Jeffa Hestera i Paula Scowena z Arizony pokazały, że struktury te są bardzo zmienne i że pulsar wymiata materię ze swojego otoczenia z szybkościami sięgającymi nawet połowy prędkości światła.