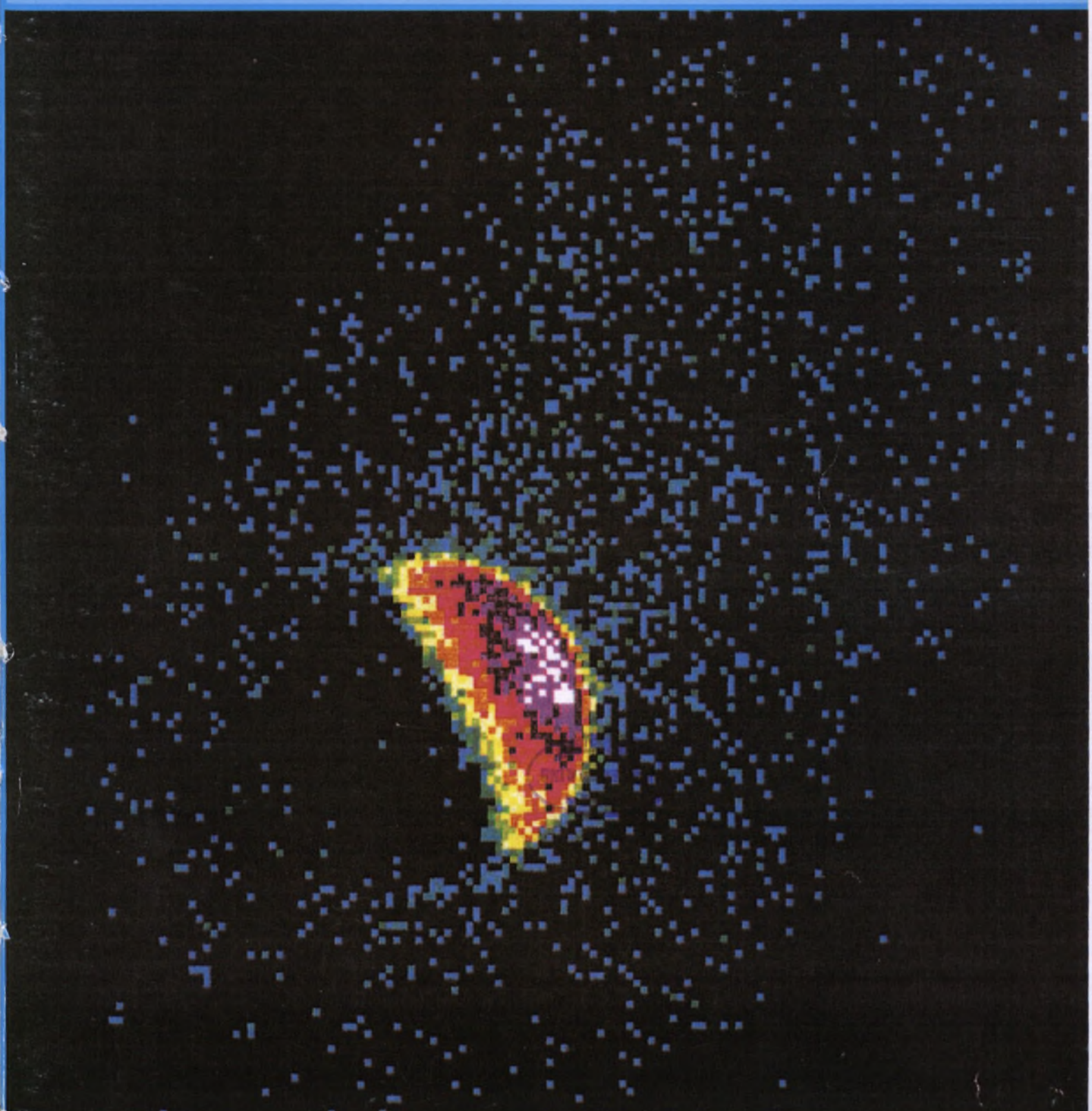
0179777/39

postępy astronomii

TOM 39
ZESZYT 1
STYCZEŃ – MARZEC
1991

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE



POSTĘPY ASTRONOMII

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. Warunki nabywania pisma i warunki prenumeraty – wewnątrz numeru.

Kolegium Redakcyjne:
Bożena Czerny
Joanna Mikołajewska

Projekt okładki:
Tadeusz Jodłowski

Adres Redakcji:
Centrum Astronomiczne
im. M. Kopernika PAN
Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca.

017977

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA W TORUNIU

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . Księżyc, choć nie taki, jakim widzimy go na codzień. Zdjęcie zostało wykonane w promieniach rentgenowskich i pochodzi z pierwszej kolekcji zdjęć wykonanych przez wystrzelonego kilka miesięcy temu satelitę ROSAT (więcej o ROSACie wewnątrz numeru). Księżyc nie świeci własnym światłem, a światłem odbitym. Jasna półkula jest oświetlona promieniowaniem rentgenowskim pochodzącym ze Słońca, a ściślej – z korony słonecznej. Pozwala to badać własności korony słonecznej, która inaczej jest niedostępna, jako zbyt jasna, dla niezwykle czułych urządzeń pomiarowych ROSATa. Kolory na zdjęciu są wprowadzone komputerowo i oznaczają ciemniejsze (niebieski, żółty) lub jaśniejsze (czerwony, fioletowy, biały) obszary.

Najciekawsza jest jednak druga, nieoświetlona półkula. Ciemna strona Księżyca jest ciemniejsza niż otaczające tło. Ta obserwacja dowodzi, że niebo jako całość świeci w zakresie rentgenowskim, a źródła tego świecenia są niewątpliwie dalej niż Księżyc, skoro tarcza Księżyca może je przesłonić.

Zdjęcie Księżyca ozdobiło ostatnio okładki kilku pism (m. in. Sky & Telescope oraz Nature) i my także z przyjemnością je prezentujemy. Inne zdjęcia z ROSATa wewnątrz numeru.

E. 800/92

OD REDAKCJI

Kwartalnik POSTĘPY ASTRONOMII ukazuje się od 1953 roku jako oficjalny organ Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. Pismo zostało założone – jak głosił napis na okładce pierwszego i dalszych numerów – w celu popularyzacji astronomii. W nowej rzeczywistości ekonomicznej Redakcja (też nowa) postanowiła przyjąć to hasło dosłownie i zaproponować szerokiemu gronu Czytelników pismo atrakcyjne w swojej treści i w swojej szacie.

Chcemy przekazywać najświeższe osiągnięcia astronomii światowej. Chcemy publikować artykuły przeglądowe pisane przez najlepszych specjalistów i podsumowujące stan wiedzy w omawianej dziedzinie. Chcemy na tym tle przybliżać Czytelnikom to, co się dzieje w astronomii w Polsce; chcemy przybliżać ośrodki naukowe i poszczególnych ludzi. A przede wszystkim chcemy przekonać Czytelników, że astronomia – ta najstarsza z nauk – wciąż fascynuje i wciąż zadaje zagadki, bo wciąż nie ma odpowiedzi na pytanie, skąd przybywamy i dokąd podążamy...

Zapraszamy do lektury!

WARUNKI PRENUMERATY

Czytelników pragnących zaprenumerować POSTĘPY ASTRONOMII informujemy, że POSTĘPY ASTRONOMII można zamówić osobiście w Redakcji, Bartycka 18, 00-716 Warszawa, u B. Czerny, wtorki 12–14, tel. 41–00–41 w. 40, lub przekazując odpowiednią kwotę na konto Polskiego Towarzystwa Astronomicznego:

Bank Gdański,
IV Oddział w Warszawie,
Nr 300009–6536–132,

z dopiskiem: prenumerata PA. Przyjmujemy też opłatę czekiem wystawionym na Polskie Towarzystwo Astronomiczne.

Cena prenumeraty za rok 1991 wynosi 36 000 zł.

PRZYJMUJEMY

OGŁOSZENIA I REKLAMY

Szczególnie zapraszamy

FIRMY KOMPUTEROWE

oraz

FIRMY PRODUKUJĄCE SPRZĘT DLA MIŁOŚNIKÓW ASTRONOMII

W NUMERZE:

5 **Struktura i rozmiary Wszechświata** *R. Brent Tully*

Struktura Wszechświata wyłania się przed naszymi oczami, jak obraz Ziemi w XV wieku wyłaniał się przed oczami naszych przodków. To, co widzimy bezpośrednio, może być jednak tylko małym fragmentem tego, co istnieje. Czy Wszechświat jest wypełniony ciemną, nieobserwowalną, tajemniczą materią?

11 **Kwantowanie grawitacji** *Krzysztof Maślanka*

Ogólna teoria względności, zapewne ze względu na swoje piękno i prostotę, skutecznie opiera się próbom kwantowania i unifikacji z innymi oddziaływaniami występującymi w przyrodzie. Czy zaproponowana teoria superstrun okaże się naprawdę „teorią wszystkiego"?

15 **ROSAT** *Tomasz Chlebowski, John P. Hughes, Aneta Siemiginowska*

Roentgen Satellite – w skrócie ROSAT – jest najnowszym urządzeniem do obserwacji nieba w promieniach X. Wyniesiony na orbitę 1 czerwca 1990 r. działa doskonale, a pierwsze wyniki wkrótce zostaną poddane starannej analizie. Jakie niespodzianki ROSAT nam przyniesie?

19 **16 lat pracy toruńskiego spektrografu** *Maciej Mikołajewski*

Kanadyjski Spektrograf Kopernikowski – wyposażenie teleskopu w Piwnicach pod Toruniem – jest najcenniejszym urządzeniem służącym astronomii obserwacyjnej w Polsce. Odpowiednio wykorzystany, może być konkurencją dla najlepszych teleskopów na świecie.

24 **Poszukiwania czarnych dziur** *Bożena Czerny*

Frapującą konsekwencją ogólnej teorii względności jest przewidywane istnienie czarnych dziur. Szukamy więc czarnych dziur wśród gwiazd i w jądrach galaktyk. Wydaje nam się, że znaleźliśmy. A może tylko nam się tak wydaje?...

34 **Test wiedzy astronomicznej**

35 **W kraju . . .**

43 **Za granicą . . .**

45 **Sylwetki: Antoni Wilk i jego komety**

47 **Recenzje: S. Hawking, „Krótka historia czasu"**

oraz krótkie nowinki z różnych dziedzin astronomii

Listy Czytelników

Tę stronę odstępujemy Czytelnikom. Chcemy, aby przepływ informacji nie był wyłącznie jednostronny. Astronomia jest nauką, która od swego zarania po dzień dzisiejszy obchodzi wszystkich, nasuwa wątpliwości, wzbudza emocje. Prosimy więc o listy — krótkie pytania i refleksje.

Ciekawi nas na przykład opinia Czytelników na temat popularyzacji astronomii oraz sposobu jej nauczania w szkołach. Szczególnie wdzięczni będziemy za uwagi dotyczące sposobu redagowania naszego pisma.

Na pytania, zawarte w listach, postaramy się w paru słowach odpowiadać. Mamy nadzieję, że już od przyszłego numeru strona ta będzie wypełniona przez Czytelników, a nie przez nas.

Redakcja

Redakcja zastrzega sobie prawo skracania listów dłuższych niż 150 słów. Wśród autorów listów opublikowanych w każdym numerze POSTĘPÓW ASTRONOMII rozlosowana zostanie jedna bezpłatna prenumerata naszego pisma.

SKALA I ROZMIARY WSZECHŚWIATA

R. Brent Tully

Struktura Wszechświata wyłania się przed naszymi oczami, jak obraz Ziemi w XV wieku wyłaniał się przed oczami naszych przodków. To, co widzimy bezpośrednio, może być jednak tylko małym fragmentem tego, co istnieje. Czy Wszechświat jest wypełniony ciemną, nieobserwowalną, tajemniczą materią?

Renesans kosmologii obsewacyjnej rozpoczął się w latach trzydziestych. Pod koniec następnej dekady wyłonił się obraz Wszechświata - ekspandującego i jednorodnego, jeśli zaniedbać jego drobnoskalową strukturę. Wiadomo było, że istnieją pewne obszary o znacznej gęstości galaktyk i te nazwano bogatymi gromadami galaktyk. Większość galaktyk rezydujących w gromadach to galaktyki eliptyczne. Te układy gwiezdne zdominowane są przez gwiazdy stare, które w miarę upływu czasu wymieszały się wypełniając jednorodnie studnie potencjału grawitacyjnego o kształcie eliptycznym. Poza gromadami, większość stanowią galaktyki spiralne. Galaktyki te zawierają znaczne ilości gazu obdarzonego momentem pędu i skutkiem tego tworzącego płaski dysk. Ten zapas gazu pozwala na formowanie coraz to nowych gwiazd. W pierwszych latach kosmologii obserwacyjnej podejrzewano, że oprócz gromad galaktyk istnieje jeszcze jedno piętro w strukturze - supergromady galaktyk, czyli obszary o rozmiarach rzędu 30 milionów lat świetlnych charakteryzujące się pewną nadwyżką w gęstości galaktyk. W jeszcze większej skali Wszechświat, jak zakładano, jest jednorodny i izotropowy. To założenie jest podstawą zasady kosmologicznej - podstawowego twierdzenia o Wszechświecie.

Teoria Wielkiego Wybuchu

W latach pięćdziesiątych i sześćdziesiątych obraz wielkoskalowej struktury Wszechświata nie uległ istotnej zmianie, choć w tym czasie przeprowadzano kilka niezmiernie ważnych przeglądów nieba, które później przynieść miały istotne rezultaty. Kontynuowano prace nad skalą odległości i odkryto, że odległości pomiędzy galaktykami są pięć do dziesięciu razy większe niż przypuszczali pionierzy kosmologii. Ta „ekspansja" przestrzeni była jednym z ważnych elementów przygotowujących panowanie teorii Wielkiego Wybuchu.

Było to tak. Teoria Wielkiego Wybuchu przewidywała, że galaktyki oddalają się od siebie z prędkościami zależnymi od ich wzajemnej odległości. Mierząc te odległości, a następnie odwracając wstecz bieg ksmicznego zegara można było wyznaczyć moment ich rozbiegnięcia się, czyli moment Wielkiego Wybuchu. I tu pojawiał się paradoks, ponieważ czas, jaki minął od Wielkiego Wybuchu okazywał się wyraźnie krótszym od wyznaczonego wieku najstarszych gwiazd! Zmiana skali odległości mniej więcej rozwiązała ten problem. Wyznaczony obecnie na podstawie ekspansji wiek Wszechświata - 10 do 20 milardów lat - jest zgodny z tym, co wiemy o najstarszych gwiazdach.

Gwałtowny rozwój teorii Wielkiego Wybuchu pobudziło odkrycie kosmicznego promieniowania tła. Gdziekolwiek by nie patrzeć, widzimy promieniowanie w zakresie fal milimetrowych, charakterystyczne dla ciała doskonale czarnego o temperaturze 2.7° K. Istnienie tego promieniowania było przewidziane przez teorię Wielkiego Wybuchu. Mikrofalowe tło jest reliktem epoki, w której Wszechświat był gorący i dostatecznie gęsty, by być nieprzezroczystym tak jak obecnie wnętrze Słońca.

Pomiar temperatury mikrofalowego promieniowania reliktowego dostarczyło informacji potrzebnych do szczegółowych obliczeń dotyczących warunków panujących we wczesnym Wszechświecie. Te obliczenia przewidują, że jedna czwarta masy gazu powinna być w formie helu. Choć obfitości pierwiastków cięższych niż hel różnią się znacznie w zależności od otoczenia, to procentowa zawartość helu wydaje się być wielkością uniwersalną, niezależną od miejsca; hel stanowi zawsze około 2.3% masy gazu. Tak się dzieje, ponieważ pierwiastki cięższe produkowane są w gwiazdach w procesie nukleosyntezy, a zatem tempo ich produkcji zależy od lokalnych warunków sprzyjających bądź niesprzyjających powstawaniu gwiazd. Hel powstał w ciągu pierwszych trzech minut po Wielkim Wybuchu, gdy materia była jeszcze rozłożona bardzo równomiernie. Stała zawartość helu, w połaczeniu z wykryciem mikrofalowego promieniowania tła, stanowi przekonywujące świadectwo na korzyść modelu Wielkiego Wybuchu.

Za hipotezą Wielkiego Wybuchu przemawiają też obserwacje wskazujące na ewolucję Wszechświata. Na przykład aktywność w jądrach galaktyk była znacznie bardziej typowym zjawiskiem w przeszłości. Co więcej, ewolucja galaktyk powinna lada moment pojawić się przed naszymi oczami, ponieważ zasięg prowadzonych obserwacji zwiększył się tak znacznie, że sięgając w głąb kosmosu cofamy się zarazem w czasie (ze względu na skończoną wartość prędkości światła) o około dziesięć miliardów lat, do okresu formowania się galaktyk.

W astronomii dekady lat siedemdziesiątych narastało zaufanie do słuszności modelu Wielkiego Wybuchu, ale standardowy punkt widzenia obejmował także zasadę kosmologiczną izotropowego, jednorodnego Wszechświata. Promieniowanie mikrofalowe tla charakteryzuje się taką właśnie doskonałą izotropowością. Jedyna dobrze udokumentowana niejednorodność to zmiana dipolowa, która jest powszechnie uznawana za przejaw ruchu Ziemi z prędkością około 350 km/s względem układu inercjalnego. Poza tym wyznaczono tylko górne granice na wartość fluktuacji mikrofalowego promieniowania tła.

Strumienie promieniowania z kierunków odległych od siebie o kilka minut łuku różnią się mniej niż o 0.01%, a strumienie promieniowania z przeciwległych ćwiartek nieba – o mniej niż 0.001%. Stąd wniosek, że w czasach, gdy Wszechświat był nieprzezroczysty, materia była rozłożona niezwykle równomiernie.

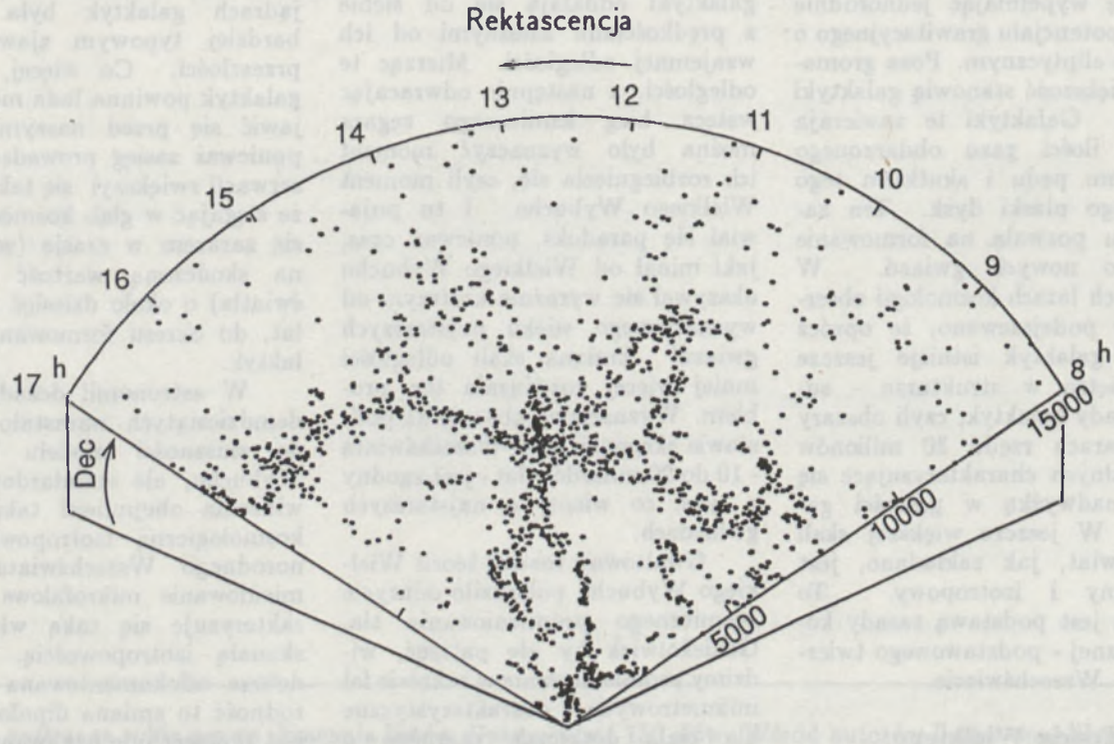
Struktura wielkoskalowa

W latach siedemdziesiątych coraz więcej badaczy zaczęło interesować się strukturą wielkoskalową. Pionierami wstępnych rozpoznań byli: Harlow Shapley, Fritz Zwicky, George Abell i Gerard de Vaucouleurs. Dostrzegali oni ślady organizacji materii na wielką skalę, choć wyniki nie były ilościowe i spotykały się ze sceptycznym przyjęciem. Cała trudność tkwiła w skąpych informacjach na temat odległości obiektów. Położenie galaktyk może być łatwo określone tylko w dwóch wymiarach, jako położenie na sferze niebieskiej. Obrazowi takiemu brak głębi. Trudno określić, czy galaktyki zamieszkują wyróżnione struktury, gdy jedna struktura nakłada się na drugą. Przy braku możliwości odróżnienia przedniego planu obrazu od tła łatwo dojść do wniosku, że Wszechświat wygląda jednorodnie.

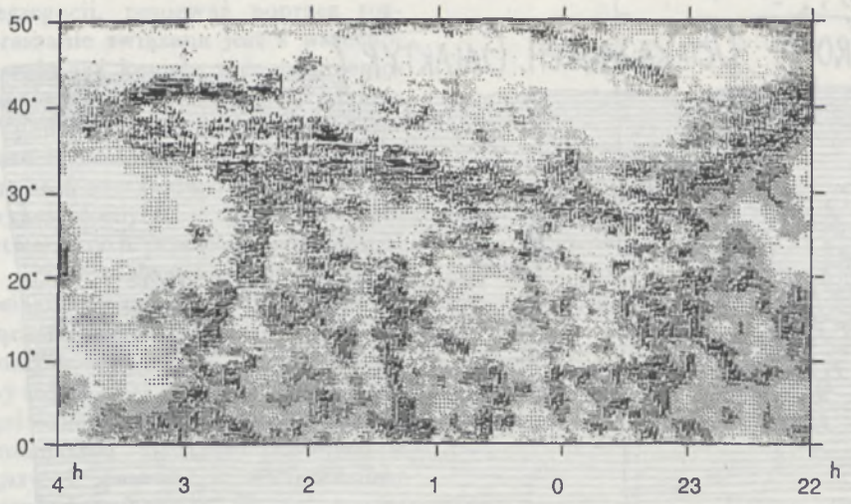
Konieczna była ocena odległości, a najprostszą metodą jest wykorzystanie prędkości galaktyk. Galaktyki uciekają od siebie; te, które są od nas dalej, uciekają od nas szybciej. Rozpoczęto zatem ambitne programy pomierzenia prędkości względnych tysięcy galaktyk.

Już w latach siedemdziesiątych badania te przyniosły niezwykle istotny wynik: „niewidzialna materia" może odgrywać dominującą rolę w ewolucji Wszechświata. Już wcześniej była pewna wskazówka, że bogate gromady galaktyk zawierają znacznie więcej materii niż to wynika z liczby zawartych w nich galaktyk – duże prędkości orbitalne członków gromady wskazywały na istnienie głębokiej studni potencjału. Co więcej, ruch gazu i gwiazd wewnątrz poszczególnych galaktyk oraz prędkości wzajemne galaktyk tworzących układy podwójne i małe grupy też wskazywały na istnienie studni potencjału znacznie głębszej niżby to wynikało z masy świecącej. Wzięcie pod uwagę innych znanych form materii, takich jak gaz międzygwiazdowy czy rozsądna ilość obiektów typu planet, nie rozwiązywało problemu. Statystyczne badania względnych ruchów galaktyk oddalonych od siebie o miliony lat świetlnych oraz wyraźny spływ galaktyk w kierunkach gęściej zasiedlonych obszarów wskazywały, że ciemna materia rozprzestrzenia się na odległości znacznie większe niż czynią to same galaktyki. Obecnie ocenia się, że od dziesięciu do stu razy więcej materii jest właśnie w tej ciemnej, nieznanej postaci niż w formie gwiazd i gazu międzygwiazdowego.

Wielkie przeglądy nieba poświęcone pomiarom prędkości galaktyk pojawiać się zaczęły w latach osiemdziesiątych. W badaniach prowadzonych przez poszczególne grupy pojawia się zawsze ten sam obraz: galaktyki lubią układać się w formie włókien lub, czasami, całych płatów (rysunek 1 i 2). Te struktury w sposób niemal nieuchronny łączą się wzajemnie tworząc rodzaj prawie ciągłej sieci. Trwa zażarta dyskusja na temat topologii tych tworów, a w szczególności, czy bardziej to przypomina klopsiki, ser szwajcarski czy gąbkę. W modelu klopsików obszary o podwyższonej gęstości byłyby rozłączne, podczas gdy w szwajcarskim serze izolują się obszary puste. W gąbce, z każdego obszaru o podwyższonej gęstości można dotrzeć do każdego innego takiego obszaru wzdłuż sieci, nie zbaczając do obszaru pustego, a zarazem wszystkie obszary puste są wzajemnie w taki sam sposób



Rys. 1. Przegląd nieba katalogujący przesunięcia ku czerwieni, wykonany w Harvard–Smithsonian Center for Astrophysics. Każda kropka określa położenie jednej galaktyki. Nasza Galaktyka znajduje się w „dzióbku" wycinka kuli. Odległość radialna innych galaktyk określona jest przez ich prędkości, sięgające 15000 km/s, a odpowiadające odległości 500 milionów lat świetlnych. Kąt pozycyjny określony jest przez położenie galaktyki na sferze niebieskiej (deklinacja i rektascencja). Jak widać, galaktyki układają się w rodzaj sieci, pozostawiając duże, puste przestrzenie. (M. Geller i J. Huchra)



Rys. 2. Rozkład przesunięć ku czerwieni w supergromadzie Perseusza zrzutowane na sferę niebieską. Ciemniejsze odcienie wskazują obszary o większej gęstości. Pokazane galaktyki mają prędkości bliskie 5000 km/s, z niewielkim rozrzutem. Galaktyki silnie koncentrują się wzdłuż włókna rozciągającego się w poprzek rysunku. (R. Giovannelli i M. Haynes)

połączone. Są wskazówki, choć bardzo niepewne, że Wszechświat najbardziej przypomina gąbkę.

Próby oceny wielkości tych struktur nie powiodły się. Jak dotychczas, niemal każdy przegląd nieba przynosił odkrycie struktur o rozmiarze porównywalnym z rozmiarem badanego fragmentu Wszechświata. Obszary dostatecznie duże, aby obejmować całe struktury, mogą zawierać dziesiątki tysięcy czy nawet miliony galaktyk. W pewnych hierarchicznych bądź fraktalnych modelach pojęcie skali struktur nie może być zdefiniowane. Tym niemniej sporo wysiłku włożono w opis rozmiarów struktur i najbardziej popularnym jest opis poprzez zasięg korelacji pomiędzy parami galaktyk w próbce. Ta charakterystyczna skala korelacji rośnie od 12–15 milionów lat świetlnych dla próbek galaktyk do około 75 milionów lat świetlnych dla próbek złożonych z bogatych gromad galaktyk.

Najbardziej popularne wyjaśnienie wzrostu zasięgu korelacji przy przejściu od galaktyk do gromad podaje hipoteza znana pod nazwą progowej teorii powstawania galaktyk. Zgodnie z tym paradygmatem, początkowo istnieje całe widmo fluktuacji gęstości pierwotnej materii, w czym udział dominujący ma prawdopodobnie ciemna materia. Wewnątrz głębszych studni potencjału mogą tworzyć się gwiazdy, znacząc zarazem, jak latarnie, położenie tych obszarów. To zjawisko może mieć pewną wartość progową; obszary gęstsze od wartości progowej szybko ewoluują i zostają rozjaśnione znanym światłem gwiazd, w obszarach o gęstości poniżej wartości progowej nie widać niczego. Co więcej, takich progów może być kilka. W obszarach o najwyższych gęstościach powstawanie gwiazd może być bardzo wydajne, a zatem rozpoczęło się dawno temu i do tej pory wyczerpało znajdujące się tam zapasy gazu. Obszary takie można by identyfikować z galaktykami eliptycznymi w jądrach bogatych gromad. Płytsze studnie potencjału mogą być związane z galaktykami spiralnymi. Jeszcze płytsze studnie potencjału mogłyby nie być w stanie zatrzymać materii w przypadku zajścia tak gwałtownych zjawisk jak zderzenia czy wybuchy supernowych.

W ramach tego obrazu mapa rozkładu bogatych gromad szczególnie uwydatnia kontrasty gęstości, reprezentując tylko najgęściej zapełnione obszary. Korelacja pomiędzy tymi obszarami, czyli gromadami galaktyk, jest zatem wyraźniejsza niż korelacja pomiędzy obszarami o mniejszym zaburzeniu gęstości.

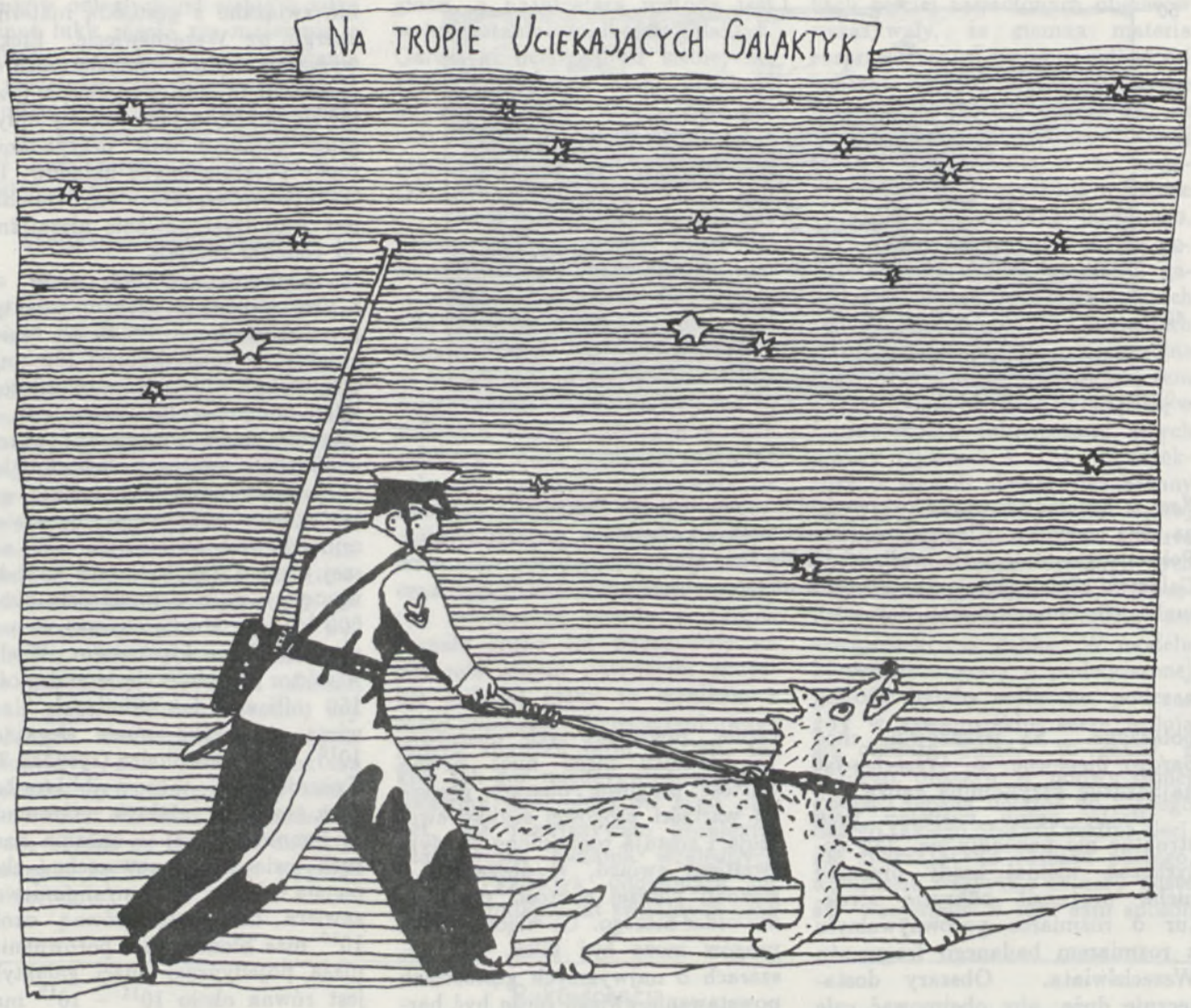
Ruch galaktyk

W pierwszym przybliżeniu ruch galaktyk jest określony przez ekspansję Wszechświata przypisaną Wielkiemu Wybuchowi, a zmodyfikowaną przez powszechne siły przyciągania i, być może, odpychania związane z gęstością materii i energii we Wszechświecie. Efekty wyższego rzędu pochodzić mogą od zgęszczeń materii i energii, a przejawiać się będą jako lokalny spływ grup galaktyk lub przypadkowe ruchy poszczególnych układów. Intrygującym aspektem tego zjawiska jest jego występowanie niezależnie od rodzaju materii.

Ciekawe zjawisko wiąże się z przypadkowym ruchem galaktyk poza gromadami. Prędkości takich galaktyk są małe, poniżej 100 km/s wzdłuż linii widzenia na przestrzeni kilku milionów lat świetlnych, a zarazem może występować znacznie bardziej znaczący ruch globalny obejmujący setki czy tysiące galaktyk na przestrzeni dziesiątek milionów lat świetlnych. W naszej okolicy, jak wskazują dowody, występuje ruch z prędkością około 600 km/s w stronę obszaru nazwanego Wielkim Atraktorem. Wielki Atraktor znajduje się w odległości 150 milionów lat świetlnych i zawiera nadwyżkę masy sięgającą 10^{16} – 10^{17} mas Słońca (rysunek 3). Twierdzi się, że także najbliższa bogata gromada galaktyk – Gromada w Pannie (*Virgo*) – opóźnia nasz ruch związany z powszechną ekspansją o jakieś 250 km/s, ponieważ zawiera ona masę równą około 10^{15} mas Słońca. Dla porównania, masa pojedyńczej dużej galaktyki jest równa około 10^{11} – 10^{12} mas Słońca.

Problem ten to pierwsza linia frontu badań, a wyniki są sporne. Nawet tempo uniwersalnej ekspansji jest dyskutowane, ponieważ nie ma zgody co do odległości najbliższych galaktyk i ponieważ ruchy związane z lokalnym spływem nakładają się na powszechną ekspansję. Tempo powszechnej ekspansji opisane jest stałą Hubble'a, a odwrotność tej wartości jest miarą wieku Wszechświa Oceny zawierają się w granicach między 10 a 20 miliardów lat. Autor osobiście jest zdania, że wartości bliższe dolnej granicy są bliższe prawdzie, a zatem, że może pojawić się konflikt z wyznaczonym wiekiem najstarszych gwiazd, ocenionym na 16 miliardów lat. Do rozstrzygnięcia pozostaje, czy ta jawna sprzeczność jest zwykłym błędem pomiaru, czy też nasz model świata jest nie całkiem poprawny (na przykład, może trzeba rozważać siłę odpychającą?).

Aby dać skrajny przykład niepewności panujących we współczesnej kosmologii obserwacyjnej,



Rys. Andrzej Czeczot

wspomnieć trzeba sugestie, nie akceptowane powszechnie, że istnieją struktury obejmujące tak ogromną przestrzeń jak miliard lat świetlnych, czyli dziesięć procent promienia obserwowalnego Wszechświata (dokładniej, 10% odległości, jaką przebyło światło od chwili Wielkiego Wybuchu). Co ciekawsze, być może zamieszkujemy w takiej właśnie strukturze, silnie spłaszczonej (rysunek 4 i 5, w kolorze – pierwsza strona wkładki). Jeśli tak jest, trudno będzie pogodzić to okoliczność z niewątpliwą jednorodnością mikrofalowego promieniowania tła. Spłaszczona, wielkoskalowa struktura obejmowałaby 10^{18} mas Słońca (co najmniej milion galaktyk) i pierwotne fluktuacje gęstości, dostatecznie duże aby skolapsować w tak wielkiej skali, powinny były zostawić ślad w postaci fluktuacji mikrofalowego tła; przynajmniej tak się nam wydaje.

Podbudowa teoretyczna

W teorii rozwoju wielkoskalowej struktury panuje zamieszanie, a jest to kluczowy problem ponieważ zarodki tej struktury musiały się pojawić wkrótce po narodzinach Wszechświata. Odległości pozagalaktyczne są tak ogromne, że związki przestrzenne między galaktykami wszędzie, z wyjątkiem najgęstszych obszarów, są takie same dziś, jak w zaraniu dziejów. Zatem struktury muszą nam dawać informacje statystyczne o warunkach panujących we Wszechświecie, gdy liczył on sobie zaledwie ułamek sekundy.

Istnieje z pół tuzina teorii wyjaśniających powstanie wielkoskalowej struktury, którym daje się pewną wiarę. Istotne różnice pomiędzy nimi są już wystarczającym ostrzeżeniem, że może nie mamy pod ręką prawidłowego rozwiązania. Teoria zimnej, ciemnej materii jest dziś najpopularniejsza i może służyć jako przykład możliwości, które istnieją. Zgodnie z tą ideą, niewidoczna materia jest w postaci egzotycznych cząsteczek atomowych (coś w rodzaju fotin czy aksjonów), które oddziałują z innymi cząstkami tak słabo, że pojedynczo są zasadniczo niewykrywalne. Ich zasadniczy wpływ zaznacza się dopiero poprzez kolektywne oddziaływanie grawitacyjne. Rozważa się możliwość, że fluktuacje statystyczne w rozkładzie tych cząstek w pierwszym ułamku sekundy po narodzinach Wszechświata są wzmacniane przez przyciągającą siłę grawitacji. Powoli, obszary nieco gęstsze niż otoczenie stają się, w sensie względnym, coraz gęstsze, kosztem obszarów bardziej pustych. Zwykła materia, jak protony i elektrony, przez dłuższy czas

nie bierze udziału w tej stopniowej segregacji, ponieważ poprzez rozpraszanie związana jest z wszechogarniającą kąpielą pola promieniowania pochodzącego z Wielkiego Wybuchu. Kiedy jednak temperatura kąpieli dostatecznie się obniży, znane formy materii spadają do już wykształconych studni potencjału utworzonych przez ciemną materię.

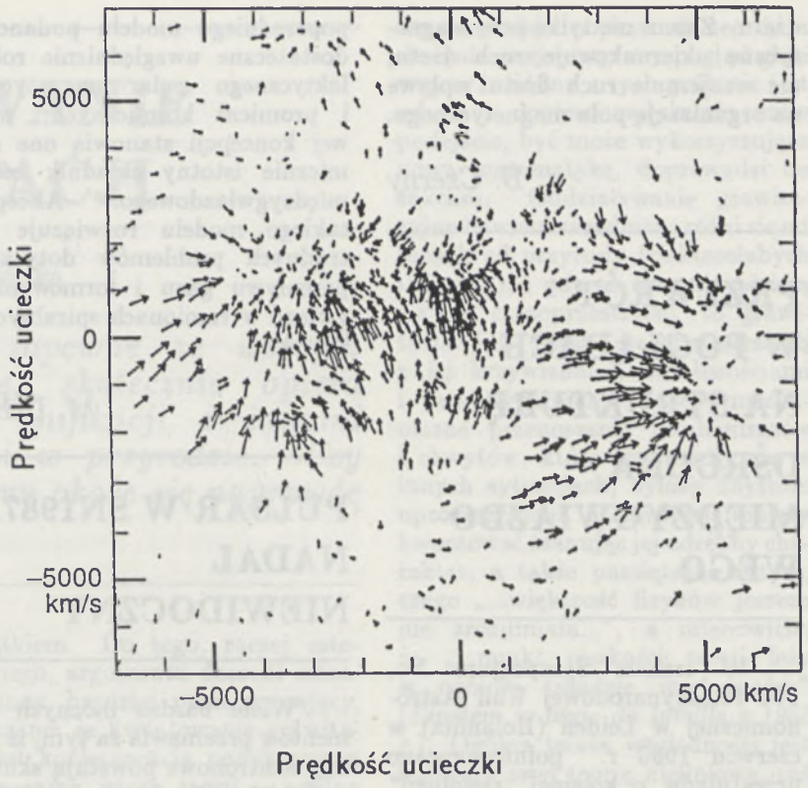
Teoria zimnej, ciemnej materii osiągnęła ogromny sukces objaśniając strukturę materii obserwowaną w małych skalach. Teoria ta wymaga, by rzeczy duże powstawały z małych; galaktyki powstają ze zlewania się mniejszych struktur złożonych z gazu i gwiazd, a wielkoskalowe struktury formują się w wyniku oddziaływania galaktyk. W symulacjach komputerowych potrafimy odtwarzać obserwowaną włóknistą sieć i odpowiednie korelacyjne związki statystyczne. Teoria jednak, w swej obecnej postaci, nie przewiduje wielkoskalowych struktur obejmujących obszary o rozmiarach od 300 milionów do 1 miliarda lat świetlnych, podczas gdy obserwacje wydają się sugerować ich istnienie. Teoria może też mieć kłopoty z wyjaśnieniem obserwowanych wielkoskalowych spływów.

Istnieją też inne teorie, ale nie ma takiej, która górowałaby zdecydowanie. Potrzeba znacznie więcej informacji, aby ograniczyć płodną wyobraźnię teoretyków. Jak piętnastowiecznym odkrywcom, potrzebne nam jest lepsze wyczucie odległości w tym naszym królestwie, lepsze rozeznanie otoczenia i jego części składowych. Musimy wypełnić wielkie białe plamy na naszych mapach: *terrae incognitae*.

R. Brent Tully z Institute for Astronomy na Hawajach jest jednym z najlepszych specjalistów w zakresie pozagalaktycznej skali odległości, wielkoskalowych struktur i własności ciemnej materii.

---

tłumaczyła B. Czerny



Rys.3. Przegląd nieba wykonany przez satelitę IRAS — Infrared Astronomical Satellite. Zbadano obszar o promieniu około 230 milionów lat świetlnych wokół naszej Galaktyki. Każdej galaktyce odpowiada strzałka określająca zrzutowany kierunek jej prędkości względem jednorodnie ekspandującego tła. Widoczne są dwa lokalne centra przyciągania. Po lewej stronie znajduje się Wielki Atraktor, po prawej stronie supergromada Perseusza. (A. Yahil)

MILISEKUNDOWA STRUKTURA RADIOWA KWAZARA 3C 273

Najsłynniejszym i najwcześniej, bo już w 1963 roku, odkrytym kwazarem jest 3C 273. Leży on w odległości około 2 miliardów lat świetlnych od nas, co wynika z przesunięcia ku czerwieni $z = 0.158$. Jedną z fascynujących cech tego obiektu jest nadświetlna ekspansja. Z jądra 3C 273 wychodzi dżet – kłakowaty strumień gazu poruszający się z pozornie nadświetlną prędkością. Zjawisko to nie jest sprzeczne ze szczególną teorią względności, oznacza jedynie, że prędkość gazu jest bardzo bliska prędkości światła, a dżet jest skierowany w naszą stronę.

Mechanizm formowania się relatywistycznych dżetów jest nieznany, choć wszyscy spodziewają się znacznej roli pola magnetycznego.

Elektrony poruszające się w polu magnetycznym świecą w zakresie radiowym, a kierunek polaryzacji fali jest związany z kierunkiem pola, dlatego pomiary polaryzacji mogą dać bezpośredni wgląd w formowanie się dżetu.

Ta idea przyświecała autorom pracy (D.H. Roberts i in. 1990, *Astrophys.J.* 360, 408), w której po raz pierwszy przedstawiono dwuwymiarową mapę radiową wewnętrznych części kwazara 3C 273 o imponującej zdolności rozdzielczej 0.001 sekundy łuku. Mapa polaryzacji liniowej została wykonana na falach o długości 6 cm. Z mapy wynika, że nieprzezroczyste jądro jest bardzo słabo spolaryzowane (stopień polaryzacji poniżej 0.5%), ale polaryzacja szybko rośnie wzdłuż dżetu i osiąga 50% w odległości około 0.020 sekund łuku. Wskazuje to, że w najbardziej wewnętrznych częściach dżetu pole magnetyczne jest bardzo chaotyczne i staje się zorganizowane dopiero stopniowo, w odległości rzędu kilkunastu czy kilkudziesięciu lat świetlnych od jądra, prawdopodobnie ze względu na charakter ruchu

dżetu. Zatem nie tylko pole magnetyczne ukierunkowuje ruch dżetu, ale wzajemnie ruch dżetu wpływa na organizację pola magnetycznego.

B. Czerny

PRZEWRÓT W POGLĄDACH NA STRUKTURĘ OŚRODKA MIĘDZYGWIAZDOWEGO

W trakcie Sympozjum No. 144 Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Leiden (Holandia) w czerwcu 1990 r. poinformowano uczestników o kolejnej „rewolucji" w poglądach na strukturę ośrodka międzygwiazdowego. Od lat 70-tych za obowiązujący kanon uważano model gazu międzygwiazdowego opracowany przez McKee i Ostrikera. W modelu tym przeważająca część przestrzeni międzygwiazdowej wypełniona jest gazem gorącym ($T \sim 5 \times 10^5$ K) i rozrzedzonym ($n \sim 10^{-3}$ cm^{-3}), stale podgrzewanym przez nakładające się na siebie wybuchy supernowych. Inne formy gazu międzygwiazdowego związane są w tym modelu z wielowarstwowymi obłokami. Gaz chłodny i neutralny tworzy ich gęste jądra, natomiast fazy ciepłe ($T \sim 800$ K) – neutralna i zjonizowana – rodzaj wewnętrznej i zawnętrznej otoczki każdego obłoku.

W czasie sympozjum w Leiden jeden z głównych inspiratorów i najgorętszych zwolenników opisanego modelu, Don Cox z University of Wisconsin, przyznał, że jest on już nieaktualny. W zaproponowanym nowym modelu przestrzeń międzygwiazdowa wypełniona jest głównie gazem ciepłym o temperaturze około 10^4 K. Neutralna i zjonizowana forma tego gazu są ze sobą wymieszane w sposób dość niejednorodny: gęstości i ich stosunek (stopień jonizacji) mogą się zmieniać od miejsca do miejsca. Gaz chłodny występuje nadal w postaci obłoków. Faza gorąca (10^6 K) tworzy głównie „bąble" wokół regionów aktywnego tworzenia się gwiazd oraz indywidualnych supernowych I typu. Jako główne źródło błędów poprzedniego modelu podano niedostateczne uwzględnienie roli galaktycznego pola magnetycznego i promieni kosmicznych; w nowej koncepcji stanowią one dynamicznie istotny składnik ośrodka międzygwiazdowego. Akceptacja takiego modelu rozwiązuje wiele trudnych problemów dotyczących przepływu gazu i formowania się gwiazd w ramionach spiralnych galaktyk.

M. Urbanik

PULSAR W SN1987A NADAL NIEWIDOCZNY

Wiele bardzo mocnych argumentów przemawia za tym, iż gwiazdy neutronowe powstają skutkiem wybuchów supernowych. Nikt do tej pory nie widział jednak procesu narodzin takiej gwiazdy. Wynika to z faktu, iż takie wybuchy zachodzą stosunkowo rzadko. Ocenia się, że w dość masywnej galaktyce supernowe wybuchają typowo raz na sto lat. (Ostatnia supernowa zarejestrowana w naszej Galaktyce miała miejsce w XVII wieku.) Supernowe, które udało się poddać analizie przez współczesne instrumenty badawcze, wybuchały w bardzo odległych galaktykach i ich obserwowana jasność była zbyt mała, by można było przyglądać się szczegółom procesu. Dlatego tak wielkie zainteresowanie wzbudził wybuch supernowej w Dużym Obłoku Magellana na początku 1987 roku. Supernowa ta (o nazwie SN1987A), leżąc stosunkowo blisko, pozwala na wszechstronne i dość szczegółowe badania. Jednym z podstawowych pytań jest: czy możemy zaobserwować młodziutką gwiazdę neutronową, manifestującą się jako pulsar?

Pierwsze doniesienie o istnieniu koherentnych pulsacji w zakresie optycznym przyszło na początku 1989 roku. J. Middleditch i inni (*IAU Circular* No.4735) ogłosili, że w ciągu jednej obserwacji zarejestrowali pulsacje z okresem 0.5 milisekundy. Dalsza analiza wykazała, że ciało emitujące te pulsacje miało się znajdować jakoby w układzie podwójnym z obiektem o masie dużej planety, na nieco ekscentrycznej orbicie o okresie 8 godzin. Obserwacja ta, aczkolwiek nie potwierdzona przez następne, wzbudziła wielkie zamieszanie w środowisku teoretyków. Żadne z dotychczas proponowanych „realistycznych" równań stanu supergęstej materii, z której zbudowana jest gwiazda neutronowa, nie dopuszcza możliwości tak szybkiej rotacji. Próbowano „wymyślać" więc nowe równania stanu, niektórzy zaś usiłowali interpretować obserwowane pulsacje prawdziwymi pulsacjami gwiazdy neutronowej, a nie jej rotacją.

Uspokojenie przyszło w rok później, kiedy to autorzy „odkrycia" bijąc się w piersi przyznali, że półmilisekundowe oscylacje spowodowane były efektem czysto instrumentalnym. Jednak w niedługi czas później, 3 października 1990 roku, poprzez astronomiczną sieć elektroniczną poszła w świat kolejna wiadomość: grupa brazylijskich naukowców z Sao Paulo, pod kierownictwem astronoma o swojsko brzmiącym nazwisku F. Jablonski, znowu odkryła oscylacje optyczne, tym razem z okresem 18.3 milisekundy. Oscylacje te nie były jednak koherentne, a ich częstość nieco się zmieniała, choć w stosunkowo niewielkim zakresie. Brazylijscy astronomowie tłumaczyli to zjawisko faktem, że prawdopodobnie nie obserujemy promieniowania pulsara bezpośrednio, lecz poprzez odbicie od poruszającej się w jego okolicy materii.

Jednak i to „odkrycie" trzeba było po kilku tygodniach odwołać. Tym razem przyczyną obserwowanych oscylacji okazały się wibracje lustra teleskopu. Wygląda na to, że na prawdziwe odkrycie pulsara w SN1987A trzeba będzie jeszcze poczekać...

Michał Czerny

KWANTOWANIE GRAWITACJI

Krzysztof Maślanka

Ogólna teoria względności, zapewne ze względu na swoje piękno i prostotę, skutecznie opiera się próbom kwantowania i unifikacji z innymi oddziaływaniami występującymi w przyrodzie. Czy zaproponowana teoria superstrun okaże się naprawdę „teorią wszystkiego"?

„Moim przekonaniem jest, że okoliczności, w jakich ludzie zdobywają wiedzę o zjawiskach niebieskich, są nie mniej warte niż same odkrycia".

Johannes Kepler

„Ich denke, es wäre hübsch, wenn Sie in Ihrer Predigt klarmachten, dass der Schwerpunkt der Theorie in dem allgemeinen Relativitäts-Prinzip liegt. Denn die meisten gegenwartigen Physiker haben dies noch nicht erfasst".

Einstein do Infelda, 17 I 1955

Beznadziejność sytuacji w przypadku poszukiwania kwantowej teorii grawitacji skomentował kiedyś Karel Kuchař: nie wiadomo ani jak, ani po co. Grawitacja nie domaga się kwantowania. W teorii atomu lub w elektrodynamice kwantowanie było konieczne w celu usunięcia wewnętrznych sprzeczności i domagało się tego doświadczenie. W grawitacji efekty kwantowe, jeśli istnieją, są niewyobrażalnie małe. Znane jest ilościowe oszacowanie skali odległości, przy których powinny one występować; jest to **długość Plancka** – jednoznaczna kombinacja podstawowych stałych przyrody (stałej Plancka h, prędkości światła c i stałej grawitacji Newtona G):

$$l_P = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} = 1.6 \times 10^{-33} cm.$$

W istocie głównym argumentem przemawiającym za potrzebą poszukiwania kwantowej teorii grawitacji jest przekonanie o jedności praw przyrody. Jeżeli cała przyroda przejawia w małej skali naturę kwantową, to grawitacja nie powinna być wyjątkiem. Do tego, raczej estetycznego, argumentu doszedł ostatnio inny, bardziej przekonywający. Pokazano, że kwantowanie grawitacji jest koniecznością podyktowaną przez samą istotę teorii – ogólną kowariancję i nieliniowość. Okazuje się, że model rzeczywistości, w którym pola fizyczne traktujemy jako kwantowe, a pole grawitacyjne jako czysto klasyczne – jest wewnętrznie sprzeczny.

Dzisiaj znamy już wiele podejść do kwantowania grawitacji, w tym tak interesujące i ambitne jak poszukiwanie funkcji falowej dla Wszechświata jako całości, podjęte przez Hartlego i Hawkinga. Przez jakiś czas spore zainteresowanie budził program „piany kosmicznej" Hawkinga, będący uściśleniem i sformalizowaniem sugestywnych wizji Wheelera: obrazu świata fluktuacji kwantowych w skrajnie małych odległościach – przestrzeni nieustannie zmieniającej swój kształt, złożonej z powstających i znikających przedziwnych bąbli i korytarzy. Wciąż spore nadzieje wiąże się z ideą grawitacji jako sprężystości, sformułowaną blisko trzydzieści lat temu przez Sacharowa. Istnieje nawet ścisła matematycznie i kompletna teoria stworzona równie dawno przez DeWitta, której trudno cokolwiek zarzucić.

Całe to podejście cierpi jednak na pewien element niepokojącej dowolności, który wypełnia luki naszej niewiedzy. Ponieważ nie wiadomo, w jakim kierunku należy zmierzać, proponowane metody zwykle opierają się na analogiach lub są wprost przeniesione z innych teorii pola. Nie wiadomo więc nawet, czy wszystkie te prowizoryczne próby wejdą na trwałe do przyszłej, poprawnej teorii, a skrajnie pesymistyczny pogląd głosi wręcz, że żadna z tych prób nie jest udana i dopiero radykalnie nowe podejście, być może wykorzystujące nową matematykę, doprowadzi do sukcesu. Oddziaływanie grawitacyjne bowiem zasadniczo różni się od innych sił przyrody (elektrosłabych i silnych), i gdy te ostatnie „dzieją się" w czasoprzestrzeni, to grawitacja jest samą czasoprzestrzenią z jej krzywiznami, osobliwościami i całą dynamiką. Zatem mechaniczne przenoszenie mechanizmów i chwytów, które sprawdziły się w innych sytuacjach, byłoby zbytnim uproszczeniem. Grawitację należy kwantować szanując jej odrębny charakter, a także pamiętając o tym, czego „...większość fizyków jeszcze nie zrozumiała...", a mianowicie, że „...punkt ciężkości teorii leży w ogólnej zasadzie względności." (*Einstein w liście do Infelda z 1955 r.*). Ogólna teoria względności jest z natury swej teorią nieliniową, zaś istota mechaniki kwantowej tkwi – przynajmniej w obecnym jej rozumieniu – w zasadzie **liniowej** superpozycji stanów.

Rozumowaniu temu trudno odmówić słuszności, ale też trudno w takiej postaci i bez żadnych dalszych uzupełnień wybrać je jako punkt wyjścia dla nowej teorii. Jak wiadomo, dziś niewiele się mówi o modelu atomu wodoru Rutherforda i nikt nie pamięta o modelu Thomsona, ale w swoim czasie każdy z nich był niezbędnym etapem na drodze do „poprawnego" modelu Schrödingera, który oparty został na jakościowo różnej idei. Nikt również nie wini dwu pierwszych twórców, że owej idei nie znaleźli. Ich próby były wówczas najlepsze z możliwych.

Jest zatem faktem, że dwie fundamentalne teorie współczesnej fizyki – ogólna teoria względności i mechanika kwantowa – nie są do końca zgodne ze sobą. Ten niezadowalający stan rzeczy przejawia się w braku konsekwentnej i spójnej kwantowej teorii grawitacji.

Obecnie istniejące próby znalezienia takiej teorii opierają się na doświadczeniach zdobytych w innych teoriach pola i – podobnie jak tam, lecz w znacznie większym stopniu – prześladowane są już na poziomie technicznym problemami z nierenormalizowalnością. Co ważniejsze, brak nawet stosownej idei wiodącej, która pozwoliłaby kwantować grawitację podkreślając jej odrębny i indywidualny charakter. Z drugiej jednak strony

wydaje się oczywiste, że grawitacja powinna przejawiać w pewnych egzotycznych sytuacjach jakiś aspekt kwantowy. Czarne dziury oraz początkowa osobliwość kosmologiczna (Wielki Wybuch), czyli stany skrajnie wysokich temperatur i znacznych krzywizn, wymagają, by materię opisywać przy pomocy pól kwantowych. W szczególności, w chwilach wcześniejszych niż 10^{-6} sekundy po Wielkim Wybuchu, gdy energia każdej cząstki elementarnej przekraczała 1 GeV, opis materii w przybliżeniu gazu doskonałego traci sens.

W ten sposób kosmologia wczesnego Wszechświata wymusza niejako przyjęcie rozwiązania kompromisowego, jakim jest teoria pól kwantowych w czasoprzestrzeniach zakrzywionych. Takie podejście – nie do końca konsekwentne i jawnie prowizoryczne – dopuszcza możliwość fluktuacji kwantowych pól fizycznych (niegrawitacyjnych) na tle czysto klasycznej czasoprzestrzeni. W praktyce problem sprowadza się do obliczenia tensora energii–pędu z uwzględnieniem fluktuacji kwantowych, a ten z kolei, poprzez równania Einsteina, wpływa na zakrzywienie czasoprzestrzeni.

Spektakularnym sukcesem takiego podejścia jest model inflacyjny Gutha z klasyczną metryką typu Robertsona–Walkera i tensorem energii–pędu próżni opisywanym w ramach mechaniki kwantowej. W modelu tym próżnia wywiera ujemne ciśnienie, co powoduje gwałtowną ekspansję Wszechświata. Teorie unifikujące oddziaływania silne i elektrosłabe przewidują, że wkrótce po Wielkim Wybuchu kwantowo aktywna próżnia dominuje nad „zwykłymi" formami materii. Jakkolwiek ostateczna wersja modelu inflacyjnego jest wciąż sprawą wielu kontrowersji, to zdaje się nie ulegać wątpliwości, że wczesny Wszechświat miał w swej historii etap, kiedy to szybkość ekspansji zdeterminowana była przez energię kwantową próżni.

Uwzględnianie wpływu efektów kwantowych we wczesnym Wszechświecie (duże temperatury i krzywizny) oraz w przypadku modeli czarnych dziur (duże krzywizny) nie jest sprawą przyjętej filozofii czy gustu, ale realizmu. Czysto klasyczne modele wczesnego Wszechświata lub kosmologie wielowymiarowe mogą być poprawne matematycznie, ale nie są korzystne z fizycznego punktu widzenia. Wszechobecny szum kwantowy, nieistotny w warunkach klasycznych (skala odległości duża w porównaniu z długością Plancka l_P), może ujawnić swój wpływ. Pusta przestrzeń, może zyskać energię indukowaną przez fluktuacje kwantowe.

Co więcej, cząstki elementarne o zasadniczo zerowej masie zyskać mogą pewną efektywną masę dzięki samoodziaływaniu oraz geometrii czasoprzestrzeni. Ekstrapolacja tego rozumowania prowadzi do atrakcyjnej hipotezy, że nie tylko energia czy masa, ale wręcz samo zjawisko grawitacji może być efektem indukowanym, zatem wtórnym w stosunku do pól kwantowych. Konsekwentne stosowanie tego rozumowania pozwala włączyć do jednolitego schematu także inne, niegrawitacyjne oddziaływania. Czy zatem rola fluktuacji kwantowych ogranicza się tylko do produkowania poprawek kwantowych do tensora energii–pędu? Jeśli wpomniana ekstrapolacja ma sens, wtedy dochodzimy do obrazu rzeczywistości, w którym kwantowość nie jest jedynie poprawką modyfikującą klasyczne tło. Staje się ona główną przyczyną sprawczą, która indukuje dobrze znane klasyczne wielkości.

Indukowana grawitacja stanowi obecnie – wobec braku pełnej i konsystentnej kwantowej teorii grawitacji – pewną namiastkę takiej teorii. Niektórzy zresztą skłonni są reklamować to niezbyt ortodoksyjne podejście jako właściwą drogę do kwantowej grawitacji. Obecnie rozważana wersja teorii bierze swój początek od starej idei Sacharowa, który pisał o grawitacji jako o „elastycznej reakcji czasoprzestrzeni na kwantowe fluktuacje pól materii". Te ostatnie byłyby zatem czymś bardziej pierwotnym niż krzywizna czasoprzestrzeni i geometria w ogóle. Ta radykalna koncepcja została nazwana „progeometrią".

Czy tak bezkompromisowe zepchnięcie grawitacji z pozycji oddziaływania fundamentalnego na korzyść kwantowych pól materii stanowi krok we właściwym kierunku? Ostateczna odpowiedź jest sprawą czasu i dalszego rozwoju teorii. Jest jednak faktem, że idea ta interesuje fizyków od przeszło dwudziestu lat, niezależnie od zmieniających się bardzo szybko mód i nastrojów wśród teoretyków, a ostatnio wzbogacona została o rozważania wielowymiarowych czasoprzestrzeni.

Na trudności napotykane przy próbach kwantowania grawitacji można także spojrzeć z innej strony. Obecna teoria grawitacji, ogólna teoria względności, opiera się na przejrzystym i wielokrotnie z dużą dokładnością sprawdzonym fakcie fizycznym – równości masy bezwładnej i masy grawitacyjnej. Dysponuje ponadto sprawnym i wygodnym aparatem matematycznym, który dostarcza dobrego modelu klasycznej, czyli niekwantowej czasoprzestrzeni. Modelem tym jest rozmaitość różniczkowalna Riemanna. Te dwie rzeczy – prosty, lecz głęboki fakt fizyczny (idea przewodnia) oraz trafnie dobrany aparat matematyczny podkreślający istotę owego faktu – są koniecznymi atrybutami udanej teorii. Ogólna teoria względności jest właśnie taką, czego nie można powiedzieć o żadnym z jej licznych uogólnień. Dokładnie z tych samych powodów ogólna teoria względności najdłużej opiera się wszelkim próbom włączenia jej do schematu unifikującego z innymi oddziaływaniami – brak nam fizycznego faktu, wokół którego budować teorię. Podobnie ma się rzecz z próbami kwantowania: jakkolwiek, opierając się na bogatych doświadczeniach innych teorii pola „w zasadzie" wiemy, jak kwantować grawitację, to jednak podświadomie czujemy, że są to tylko formalne, choć interesujące próby. Matematyka, nawet najpiękniejsza, pozbawiona fizycznej myśli wiodącej, nie potrafi zaprowadzić do celu.

Mówi się często, że dobra teoria fizyczna – oprócz wewnętrznej elegancji, prostoty i spójności oraz, oczywiście, zgodności z doświadczenie – powinna dać wyprowadzić się z pewnej niewielkiej liczby „naturalnych" założeń. *A priori* stwierdzenie to mogłoby być niesłuszne i dość powszechne przekonanie o jego prawdziwości wynika raczej z pewnej filozofii niż z doświadczenia. W matematyce takie dążenie do oszczędności założeń nazywa się osłabianiem założeń. Potrzeba takiego postępowania, mającego swój początek u Euklidesa, tkwi zapewne w tym, że matematyka ma być systemem niezależnym od doświadczenia. Fizyka natomiast, chociaż posługuje się matematyką, ma dać opis rzeczywistości i to, co w matematyce jest dobrze określone i naturalne, w fizyce bywa często sprawą intuicji czy wręcz wiary.

Wydaje się jednak, że dążenie do osłabiania założeń funkcjonuje jakoś w podświadomości teoretyków konstruujących modele fizyczne, chociaż nie formułują tego w sposób jawny. Zresztą osłabianie założeń w fizyce niekoniecznie musi oznaczać zmniejszenie ich liczby, a co gorsze, może nawet pociągać

za sobą komplikacje formalizmu matematcznego.

Ogólna teoria względności, pod którą to niefortunną nazwą kryje się współczesna, zgeometryzowana, ogólnie kowariantna teoria klasycznego (niekwantowego) pola grawitacyjnego, jest dobrym tego przykładem. Stara i uświęcona sukcesami w XIX–wiecznej mechanice nieba teoria grawitacji Newtona zakładała po prostu istnienie grawitacji i postulowała postać opisującego ją prawa. Nowsza teoria Einsteina stwierdza natomiast, że „grawitacji" nie ma, a ciała poruszają się swobodnie w zakrzywionej czasoprzestrzeni w najprostszy możliwy sposób – po geodezyjnych. Tak radykalne uproszczenie okazało się jednak dokładniejsze od starej teorii i dostarczyło bogactwa nowych zjawisk, takich jak poprawki do ruchu planet i światła gwiazd w pobliżu Słońca, czarne dziury, fale grawitacyjne czy ewolucja Wszechświata jako całości. Cena, którą za tę estetykę i wszechstronność trzeba było zapłacić, tkwi w matematycznej komplikacji równań teorii (zamiast jednego liniowego równania mamy układ dziesięciu sprzężonych równań różniczkowych nieliniowych na dziesięć funkcji). Takie jednak są tutaj reguły gry, które można ująć następująco: **struktury** występujące w teorii mogą być dowolnie skomplikowane, byleby **zasady** rządzące tymi strukturami były proste. Według sformułowania A. Salama „ważna jest ekonomia zasad, nie struktur". W tym właśnie sensie tensor metryczny o dziesięciu składowych, który posiada fantastycznie prostą interpretację geometryczną, jest „prostszy" od jednego tajemniczego pola skalarnego – potencjału Newtona opisującego natychmiastowe oddziaływanie na odległość, wbrew zasadzie przyczynowości.

Niestety, wszystko to nie zbliża nas do teorii kwantowej. Za skomplikowaniem równań kryje się bowiem bogactwo ich rozwiązań. Zgodnie z najlepiej odgadniętymi zasadami (przynajmniej na obecnym etapie zrozumienia praw przyrody) wszystkie te rozwiązania – cały ten niewyobrażalny gąszcz czasoprzestrzeni – interferując kwantowo daje jako rezultat obserwowaną „klasyczną" rzeczywistość. Jest rzeczą oczywistą, że nikt nie jest w stanie kontrolować tworu o takiej liczbie stopni swobody.

Druga trudność jest czysto techniczna i równie prosta do zrozumienia, ale znacznie trudniejsza do pokonania. Mówiąc nieprecyzyjnie: przyroda używa czasoprzestrzeni, człowiek liczy używając metryk. Te ostatnie opisują geometrię używając konkretnch współrzędnych, które stanowią swoistą „osnowę" i nie mają charakteru absolutnego w przeciwieństwie do fizycznego „wątku" punktów w czasoprzestrzeni, czyli zdarzeń. W czasoprzestrzeni nie ma przecież żadnej siatki współrzędnych, ani układu zsynchronizowanych zegarów. Współrzędne są jednak konieczne, aby coś policzyć, ale możemy ich tam sobie wyobrazić nieskończenie wiele i żaden z układów nie jest wyróżniony. Zatem każda czasoprzestrzeń ma nieskończenie wiele reprezentacji, różnych funkcyjnie metryk, których równoważność nie jest ani oczywista, ani łatwa do pokazania przez znalezienie odpowiedniej transformacji współrzędnych. Taka jest istota teorii Einsteina, tradycyjnie zwana „ogólną kowariancją".

W opisanym powyżej schemacie kwantowej interferencji wszystkich możliwych stanów, w wyniku którego powstaje klasyczna obserwowana rzeczywistość, biorą udział nie metryki, lecz czasoprzestrzenie. Zmuszeni, by liczyć na metrykach, musimy zatem starannie rozróżniać metryki równoważne. Jest więc swoistym paradoksem, że fakt, który leży u podstaw teorii klasycznej, jest źródłem trudności przy przejściu do teorii kwantowej.

Na koniec warto zauważyć, że już samo określenie „kwantowanie" budzi spore kontrowersje i nieporozumienia. Przede wszystkim sugeruje istnienie pewnej „procedury", która klasyczną rzeczywistość przeprowdza w kwantową. Tymczasem jest to charakterystyczny antropomorfizm – nieunikniony, lecz mylący. Przyroda jest (lub nie jest) od początku kwantowa, niezależnie od tego, czy jako taką ją odbieramy, czy nie. Podobnie, to nie fizyka jest klasyczna, to klasyczny jest człowiek. Życie stanowi uporządkowaną informację i z tego powodu jedynie twory składające się z wielu miliardów atomów są w stanie taką informację pomieścić i przechować. Z kolei życie wymaga skrajnie dokładnie wybranych warunków(jak na typowe warunki panujące we Wszechświecie) i stąd obce są nam efekty relatywistycznych przyspieszeń, ekstremalnych pól grawitacyjnych, skrajnych temperatur. Kwantowość nie może stanowić życia, relatywistyka je niszczy. Ale z punktu widzenia poznania praw podstawowych, rozciąganie tego, co typowe dla nas, na fizykę jest antropomorfizmem, choćby nawet nadać temu sens ścisłych matematycznie przejść granicznych.

Powyższa, może nieco nieprecyzyjna dygresja dowodzi jednak niezbicie, że do wszystkich wymienionych wyżej pojęciowych i technicznych przeszkód na drodze do poprawnej teorii kwantowej grawitacji dochodzą jeszcze trudności natury czysto psychologicznej.

Co do samej teorii kwantowej, to trzeba z naciskiem powiedzieć, że – niezależnie od jej niekiedy spektakularnych sukcesów doświadczalnych – jest to raczej zbiór odgadniętych poprawnie algorytmów, aniżeli teoria fizyczna w sprecyzowanym powyżej sensie. Już sam fakt, że istnieją trzy niezależne sposoby kwantowania, budzi pewne estetyczne zastrzeżena. Do pewnego stopnia sposoby te są równoważne, ale każdy posiada swoje zlety i wady. Wybór metody kwantowania jest zatem częściowo kwestią subiektywnych upodobań! Śledząc literaturę dotyczącą kwantowania grawitacji można zauważyć swoiste orientacje.

Wspomniany na wstępie Kuchař preferuje tak zwane kwantowanie kanoniczne, z uwagi na jego prostotę, poglądowość i bezpośrednie analogie z mechaniką (do niego należy jedyny interesujący przykład kwantowania cylindrycznych fal grawitacyjnych).

Z kolei M. Pilati w serii prac opublikowanych na początku lat osiemdziesiątych podał kwantową teorię pola grawitacyjnego w przybliżeniu silnego sprzężenia, posługując się kwantowaniem przy użyciu formalizmu przestrzeni Hilberta. Teoria jest niezwykle pomysłowa. Punktem wyjścia są równania Einsteina w formalizmie hamiltonowskim, a w szczególności tak zwany więz hamiltonowski. Przyjmuje się dalej paradoksalny wybór sygnatury metryki, która występuje w więzie hamiltonowskim, jako parametru, względem którego należy prowadzić rachunek zaburzeń! W tym sensie sygnatura przestrzeni euklidesowej wynosi +1, przestrzeni pseudoeuklidesowej (czasoprzestrzeni w szczególnej i ogólnej teorii względności) wynosi -1, natomiast „przestrzeń" stanowiąca punkt wyjścia w teorii zaburzeń ma sygnaturę 0 i jest dziwnym tworem pomiędzy tymi dwoma przestrzeniami. Można pokazać, że w takiej przestrzeni prędkość światła jest równa zeru,

a grawitacyjna stała sprzężenia jest nieskończona (stąd nazwa tej teorii). Jest to zupełnie inny przypadek graniczny niż ten, z którym mamy do czynienia w mechanice Newtona, a który odpowiada prędkości światła praktycznie równej nieskończoności. Jak zauważył C. Teitelboim, sytuacja zerowej prędkości światła przypomina nieco scenkę w ogrodzie Królowej w „Alicji z krainie czarów":

„– Cóż, w naszym kraju – powiedziała wciąż jeszcze zdyszana Alicja – zwykle jest się w innym miejscu...jeśli biegło się tak szybko i tak długo, jak my biegłyśmy.

– Musi to być powolny kraj! – powiedziała Królowa. – Bo tu, jak widzisz, trzeba biec tak szybko, jak się potrafi, żeby zostać w tym samym miejscu. Jeśli chce się znaleźć w innym miejscu, trzeba biec co najmniej dwa razy szybciej!".

Mówiąc poważniej, chodzi mniej więcej o to, że punkty przestrzeni są rozłączone przyczynowo, a stożki świetlne degenerują się do prostych.

Korzyść płynąca ze wszystkich tych udziwnień jest bardzo prozaiczna: można względnie prosto liczyć; sprawdzenie ewentualnej sensowności owych rachunków zostawia się zwykle na później.

Obydwa opisane wyżej podejścia zostały skrytykowane przez największy chyba autorytet w tej dziedzinie – Stephena Hawkinga. Jak podkreśla Hawking, kwantowanie kanoniczne jest sprzeczne z samym duchem ogólnej teorii względności. Zakłada bowiem rozwarstwienie czasoprzestrzeni na hiperpowierzchnie stałego czasu. Jest to bardzo antyeinsteinowskie; od samego początku ignoruje się istotę teorii, ogólną współzależność czasu i przestrzeni. Podobne wątpliwości budzi drugi z formalizmów.

Najbardziej przydatna wydaje się ostatnia z metod, „trzecia droga do kwantowania" Feynmana. Można ją bowiem zmodyfikować tak, by procedura kwantowania przebiegała w sposób jawnie kowariantny. Niestety, i ta metoda – prędzej czy później – natrafia na trudności pojęciowe. Przytoczmy tu słowa Hawkinga:

Wydaje mi się, że wina nie jest po stronie czystej grawitacji czy teorii supergrawitacyjnych, ale w bezkrytycznym stosowaniu do nich podejścia perturbacyjnego [...]. Nie można opisać czarnej dziury jako perturbacji wokół płaskiej przestrzeni. A to właśnie robi się wypisując ciąg diagramów Feynmana."

„Muszę przyznać, że nie mam sposobu na załamanie się rozwinięć perturbacyjnych, ale tak jak człowiek, który szuka swego klucza pod latarnią tylko dlatego, że jest to jedyne miejsce, gdzie ma on jakąś szansę na znalezienie – czuję, że odpowiedź, jeśli istnieje, musi wiązać się z topologiczną strukturą pola grawitacyjnego."

Takie dosyć luźne idee powstawały i zamierały, aż do sierpnia 1984 roku. Wtedy to ukazał się krótki artykuł Greena i Schwarza, który spolaryzował poglądy społeczności fizyków w stopniu nie znanym od czasów elektrodynamiki kwantowej. Praca dotyczyła supersymetrycznych strun, hipotetycznych jednowymiarowych obiektów o rozmiarach rzędu długości Plancka, których końce (kwarki ?) poruszają się z prędkością światła w wielowumiarowej przestrzeni.

Teoria superstrun nazwana została żartobliwie teorią wszystkiego (*TOE – Theory of Everything*), wydaje się bowiem realizować odwieczne marzenia o unifikacji oddziaływań fundamentalnych, będąc jednocześnie od początku wolną od uciążliwych trudności związanych z nierenormalizowalnością. Istnieje także – *last not least* – trzeci aspekt sprawy. Niespodziewanie okazało się, że pewne podstawowe wielkości, dotąd zawsze dowolnie wkładane do teorii, wynikają w sposób (prawie) jednoznaczny z żądania wewnętrznej spójności superstrun. Chodzi tu o grupę symetrii oraz wymiar czasoprzestrzeni.

Punktem wyjścia jest postulat, by teoria nie prowadziła do **anomalii**. Można pokazać, że żądanie to implikuje równanie ewolucji dla danego obiektu (w przypadku superstrun jest to równanie dla tak zwanego dylatonu, czyli pola skalarnego propagującego się wokół zamkniętej struny). Dodatkowo dostaje się warunek ograniczający geometrię przestrzeni, w której propagują się struny; w warunku tym można rozpoznać – nie założone z góry – równania grawitacji Einsteina! Na koniec, w naturalny sposób dowiadujemy się, że, aby znikała anomalia tensora energii–pędu, wymiar przestrzeni musi wynosić 10 (w innych modelach 26).

W obecnym, dość jeszcze burzliwym, okresie rozwoju teorii wszystko to wygląda podejrzanie pięknie i nadzwyczaj kusząco. Czas pokaże, czy nie wyłonią się trudności, które sprawią, że dumna nazwa „teoria wszystkiego" zdjęta z modelu superstun nie będzie musiała czekać na inną, bardziej poprawną teorię.

Krzysztof Maślanka jest pracownikiem Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika, specjalistą w zakresie teorii pola.

ZMIERZCH „SUPERGWIAZD"

Problem górnej granicy masy gwiazd powstających w wyniku kolapsu obłoków molekularnych jest niezwykle istotny dla procesów gwiazdotwórczych. Do niedawna uważano, że możliwe jest powstawanie gwiazd o masach przewyższających setki razy masę Słońca. Przekonanie to opierało się na obserwacjach licznych obiektów, których jasności wskazywały na duże masy. Po zastosowaniu techniki uzyskiwania obrazów o dużej dynamice (kontraście jasności) i zdolności rozdzielczej przy użyciu tzw. kamer CCD coraz częściej supermasywne gwiazdy okazują się być bardzo zwartymi gromadami obiektów o mniejszych masach. Do klasycznych przykładów należą obserwacje M. Heydari-Malayeri i M. Remy z ESO oraz P. Magain z Uniwersytetu Liege. Wykazali oni, że trzy gwiazdy w Obłokach Magellana: dwie o masach ponad 100 $M_\odot$ i jedna 85 $M_\odot$ (jak dotychczas uważano) są w rzeczywistości gromadami złożonymi z 6 do 14 mniej masywnych składników. Autorzy wyrażają przekonanie, że błędne identyfikacje zwartych gromad z pojedynczymi, jasnymi gwiazdami mogą prowadzi do znacznych błędów w ocenach odległości do najbliższych galaktyk, które to oceny oparte są na fotometrii najjaśniejszych gwiazd. W szczególności możliwe jest zaniżenie odległości o czynnik rzędu 2 (wg. *Sky & Telesc.* No. 1/90).

M. Urbanik

ROSAT

Tomasz Chlebowski
John P. Hughes
Aneta Siemiginowska

Roentgen Satellite – w skrócie ROSAT – jest najnowszym urządzeniem do obserwacji nieba w promieniach X. Wyniesiony na orbitę 1 czerwca 1990 r. działa doskonale, a pierwsze wyniki wkrótce zostaną poddane starannej analizie. Jakie niespodzianki ROSAT nam przyniesie?

Pierwszego czerwca zeszłego roku 13 minut przed północą naszego czasu został wystrzelony na orbitę satelita ROSAT. Był to ważny dzień dla tysięcy astronomów zajmujących się badaniami rentgenowskimi, ponieważ w ciągu ostatnich kilku lat astronomowie nie mieli możliwości obserwacji rentgenowskich o dużym zasięgu i jednocześnie z dobrą rozdzielczością przestrzenną, widmową i czasową.

Pierwszym dużym satelitą rentgenowskim, wyposażonym w zwierciadła ogniskujące promieniowanie w tym zakresie był wystrzelony w 1978 r. HEAO-2, nazwany EINSTEINEM. Ale od momentu zamilknięcia tego instrumentu - oprócz kilku małych satelitów (radziecki Kvant, japońskie Ginga i Tenma, amerykański Astro) - jedynie europejski EXOSAT próbował w roku 1983 umożliwić astronomom dostęp do rentgenowskiego nieba z dostateczną czułością i możliwością rejestrowania obrazów. Jednak dopiero ROSAT jest narzędziem, które - przegotowywane od kilkunastu lat - wypełnia lukę czasową między dotychczas niedoścignionym EINSTEINEM, a wymarzonym AXAF-em (Advanced X-ray Astrophysical Facility), który zatwierdzono do wyniesienia na orbitę w 1996 r.

Idea wystrzelenia satelity rentgenowskiego narodziła się w Instytucie Maxa Plancka koło Monachium w 1975 r. Astronomowie niemieccy zaproponowali swojemu rządowi projekt satelity, który - wyposażony w teleskop rentgenowski i licznik proporcjonalny czuły na położenie (*Position Sensitive Proportional Counter*, PSPC) - dokonałby przeglądu całego nieba. Dotychczas bowiem wystrzeliwano albo urządzenia skanujące niebo (np. HEAO-1) albo detektory ze zwierciadłami, które mogły obserwować jedynie małą część nieba (EINSTEIN obserwował jedynie 10sfery niebieskiej). Do Niemców dołączyli Anglicy, proponując umieszczenie na satelicie również szerokokątnej kamery (*Wide-Field Camera*, WFC) czułej na daleki ultrafiolet (extreme UV, XUV). W 1982 r. do projektu przyłączyli się Amerykanie z rentgenowskim detektorem obrazującym o wysokiej rozdzielczości (High Resolution Imager, HRI), bardzo podobnym do tego, który pracował na EINSTEIN

Amerykanie również mieli zapewnić wystrzelenie satelity na orbitę. Miało się to stać w październiku 1987, ale tragedia Challangera pokrzyżowała te plany. Zdecydowano się na wykorzystanie rakiety Delta II zamiast promu. Po pewnych przeróbkach i niewielkich opóźnieniach (w grudniu 1987 założono, że ROSAT zostanie wyniesiony na orbitę w lutym 1990) załadowano satelitę na czubek Delty, która 1 czerwca wyniosła go kołową orbitę o wysokości ok. 500 km i nachyleniu 56°. Przez pierwsze 6 miesięcy ROSAT był zawsze skierowany „od Ziemi" i pod kątem prostym do linii Ziemia-Słońce. W ten sposób dokonał przeglądu całego nieba. Od lutego tego roku ROSAT pracuje w modzie znanym z EINSTEINA: astronomowie z całego świata (z preferencjami dla Amerykanów, Niemców i Anglików) składają propozycje, co satelita ma obserwować i - po zatwierdzeniu przez odpowiednią komisję - satelita jest kierowany na zaakceptowane źródło.

Dziś znane są jedynie niektóre wstępne wyniki przeglądu nieba. Ale zanim do nich przejdziemy, warto może napisać o samym satelicie i jego detektorach.

Dwa główne składniki satelity, teleskop rentgenowski (*X-Ray Telescope*, XRT) i ultrafioletowa WFC, skierowane są w tym samym kierunku. Cały satelita waży ok. 2.4 tony, z tego 2/3 stanowi wyposażenie naukowe. Energia dostarczana jest przez baterie słoneczne, które jednocześnie ładują akumulatory wykorzystywane w czasie pracy w cieniu Ziemi. Dane telemetryczne i naukowe rejestrowane są na taśmach magnetycznych o pojemności 700 Mbitów; są one przekazywane na Ziemię w czasie kolejnych sesji łączności.

Satelita potrafi szybko się obracać (180° w ciągu 15 minut); umożliwia to obserwację dwóch przeciwległe położonych na niebie źródeł w czasie jednego obiegu Ziemi (jedno źródło jest obserwowane w czasie, gdy drugie jest zaćmione przez Ziemię, po czym następuje szybki obrót satelity).

Praca satelity kontrolowana jest przez Niemieckie Centrum Operacji Kosmicznych (German Space Operations Center, GSOC) w Oberpfaffenhofen. Łączność jest nawiązywana sześciokrotnie w ciągu doby. Satelita może zapamiętać plan 30 kolejnych obserwacji, co uniemożliwia planowanie wielu krótkich (poniżej 15 minut) obserwacji.

XRT składa się ze zwierciadła (X-ray Mirror Assembly, XMA) oraz z PSPC i HRI.

Sam teleskop (XMA) składa się z 4 zagnieżdżonych zwierciadeł typu Wolter I, jest to konstrukcja bardzo podobna do zwierciadła EINSTEINA. Zwierciadła wykonane są z Zeroduru pokrytego złotem. Średnica teleskopu wynosi 84 cm, a geometryczna powierzchnia – 1141 cm^2. Kąty odbicia zawierają się w granicach 1 – 2°. Pole widzenia teleskopu wynosi 2°. W płaszczyźnie ogniskowej skala obrazu odpowiada 0.012 mm na sekundę łuku. Zwierciadło nie potrafi odbijać fotonów o energii większej niż 2 keV, tak więc XRT jest czuły na promieniowanie w zakresie 0.1–2 keV (ok. 100–6 Å). Jego rozdzielczość kątowa wynosi ok. 4 – 5".

Średnica otworu wlotowego podstawowego detektora, PSPC, wynosi 8 cm, pole widzenia 2°, rodzielczość widmowa 43% w 0.93 keV. Przed licznikiem znajduje się koło z 4 filtrami. Efektywna rozdzielczość czasowa detektora wynosi ok. 0.3 ms, a rozdzielczość kątowa - 25".

HRI jest praktycznie identyczny z HRI zastosowanym na EINSTEINIE: jest to płytka mikrokanałowa (*microchannel plate*) rejestrująca położenie i moment przyjścia fotonów rentgenowskich; jej pole widzenia wynosi 38', rozdzielczość kątowa - 1.7", rozdzielczość czasowa - 61 mikrosekund.

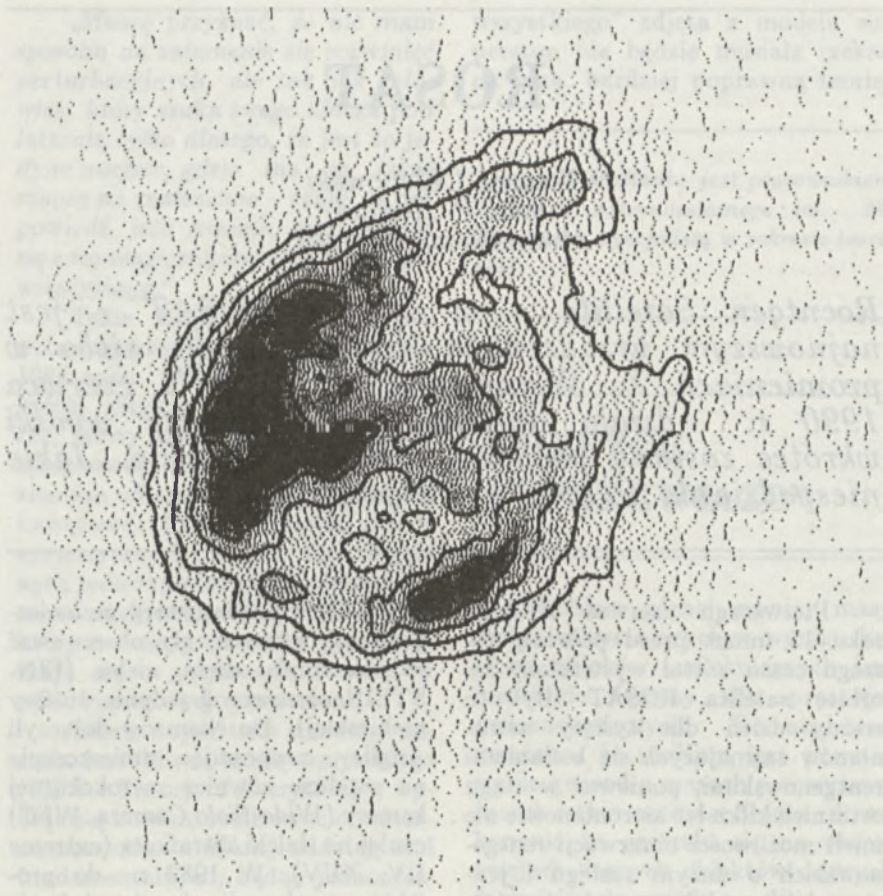
WFC jest instrumentem całkowicie niezależnym od XRT, włacznie z własnymi telegwiazdami (star trackers), kontrolą temperatury i pakietem obróbki danych. Ma również własne zwierciadło. Jest ono wykonane z niklowanego aluminium pokrytego złotem. Pole widzenia wynosi 5°, geometryczna powierzchnia zwierciadła wynosi 456 cm^2, średnica - 58 cm. Skala na płaszczyźnie ogniskowej 0.16 mm = 1'. Rozdzielczość kątowa wynosi 1.7'. Zwierciadło ma zdolność odbijania promieniowania w zakresie 40-200 eV, czyli 300-60 Å.

Detektorami WFC są dwie płytki mikrokanałowe o średnicy 5.5 cm, przed którymi znajduje się koło z 8 filtrami.

Centrum Danych Naukowych ROSAT-a wydało na początku 1989 roku manual będący podstawą wiedzy o satelicie, jego teleskopach i detektorach dla wszystkich naukowców pragnących przedstawiać swoje propozycji obserwacyjne. W podręczniku tym zamieszczono również szczegółową instrukcję, jak należy składać takie propozycje.

Po tej gromadzie liczb czas na opis pierwszych wyników. Po przeprowadzeniu rozruchu i kalibracji (co nastąpiło w czerwcu i lipcu) oraz pierwszych testach (pierwsza obserwacja Cygnusa X-2 wykonana została 1 lipca) satelita dokonał przeglądu nieba w okresie sierpień-styczeń w sposób opisany powyżej. W ognisku XRT znajdował się cały czas PSPC. W czasie skanu każde miejsce sfery niebieskiej było obserwowane za każdym razem preze 32 sekundy. Liczba skanów przechodzących przez dany punkt sfery niebieskiej zależała od jego położenia, ale przez niektóre punkty przechodziło nawet 30 skanów: w okolicy bieguna ekliptyki czas ekspozycji wyniósł 30 000 sekund, podczas gdy w pobliżu równika - jedynie 600 s. W tym przeglądzie źródła X są lokalizowane z dokładnością do 25", a źródła obserwowane kamerą WFC są lokalizowane z dokładnością lepszą niż 1'.

Satelita spisuje się znakomicie, jedyne kłopoty związane są z pewnymi problemami dotyczącymi pozycjonowania satelity. Inne charakterystyki zwierciadeł i detektorów okazały się lepsze niż w czasie testów naziemnych. Przewiduje się, że ROSAT będzie pracować przez 7 lat.



Pozostałość po supernowej N132D

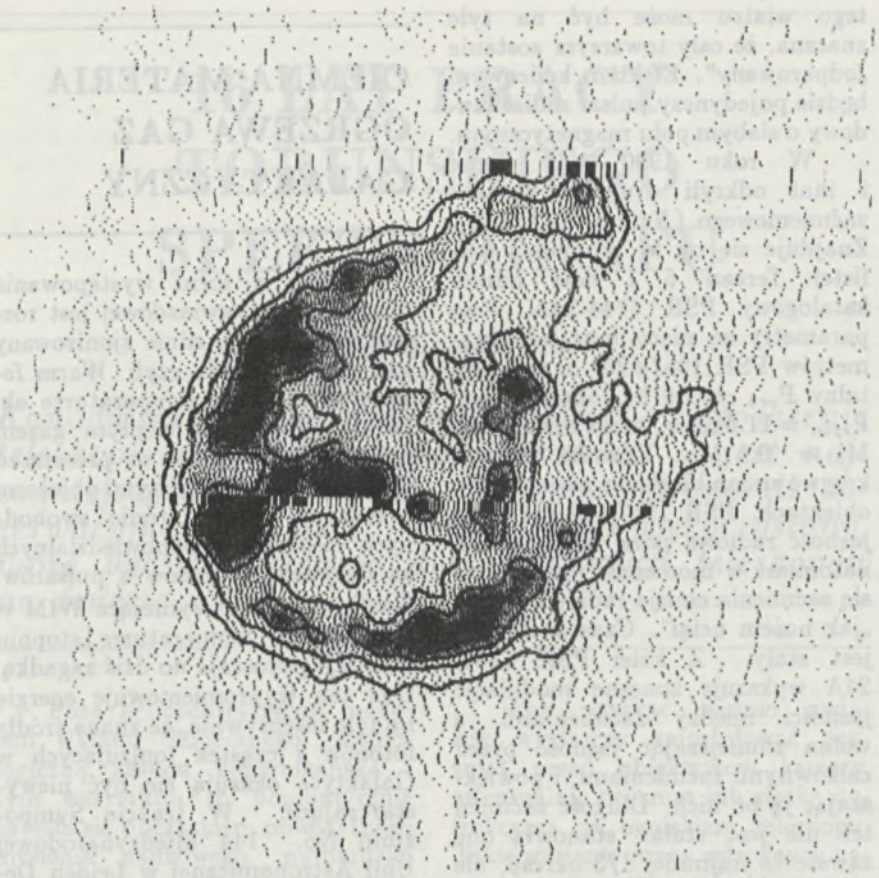
Obraz z ROSATA

Od lutego br. trwa *„pointed phase"* pracy satelity, czyli obserwacje wybranych obiektów. Jednak obecnie dysponujemy jedynie wstępnymi danymi uzyskanymi w czasie pierwszych testów i kalibracji. W ramach tych testów obserwowano m.in.: wspomniany wyżej Cyg X-2, za pomocą HRI pulsar w Krabie, Wielki Obłok Magellana, Mgławicę Andromedy i Księżyc (patrz zdjęcie na okładce).

W ramach testów wykonano 14-godzinną obserwację M31 (Mgławica Andromedy) za pomocą HRI. Uzyskano czułość parę razy większą niż w przypadku EINSTEINA. Widoczna jest emisja rozciągła źródła, obszary z tzw. ciepłymi plamami (*worm spots*), również nowe, niewidoczne na obrazach uzyskanych z EINSTEINA. Czy są to realne zmiany, które pojawiły się w czasie ostatnich 10 lat?

Obserwowano również pozostałość supernowej N132D, najjaśniejszą w Wielkim Obłoku Magellana, obserwowaną również przez EINSTEINA. Wiek tej supernowej nie jest dobrze znany, ale z prędkości optycznych i wielkości obszaru świecenia można oszacować wiek na około 1300 lat. Obraz uzyskany przez ROSAT-a jest bardzo podobny do obrazu z EINSTEINA, choć widać i różnice (rysunek 1, 2). Czy są one rzeczywiste? Prowizoryczna analiza nie dała jeszcze na to pytanie odpowiedzi. W widmie X widoczne są silne linie tlenu; potwierdza to, że supernowa jest nadobfita w tlen, co było wcześniej wiadome z obserwacji optycznych. Zdęcie innej pozostałości po supernowej znajduje się na czwartej stronie kolorowej wkładki.

Przeprowadzono także testowe obserwacje gromady galaktyk Abell 2256. Na drugiej i trzeciej stronie kolorowej wkładki znajdują się



Pozostałość po supernowej N132D

Obraz z EINSTEINA

obrazy tej gromady otrzymane z PSPC i HRI.

Już wkrótce w czasopismach astronomicznych zaczną ukazywać się wyniki prawdziwych obserwacji, a nie tylko testów i kalibracji. Jest pewne, że obserwacje ROSAT-a przyniosą niejedną sensację. Oby satelita ten służył środowisku astronomicznemu tak długo jak IUE (który lata już 13 lat).

Tomasz Chlebowski jest pracownikiem Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego, specjalistą w zakresie rentgenowskiej aktywności gwiazd; John P. Hughes z Harvard/Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, USA zajmuje się promieniowaniem rentgenowskim pozostałości po supernowych; Aneta Siemiginowska jest pracowniczką centrum Astronomicznego im. M. Kopernika w Warszawie – obecnie na rocznym stażu w Harvard/Smithsonian Center for Astrophysics .

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA w TORUNIU

MILISEKUNDOWE PULSARY ZAĆMIENIOWE

Istota pulsarów radiowych została zrozumiana bardzo szybko po ich odkryciu w 1968 roku. Dziś nie ma najmniejszej wątpliwości, że są to gwiazdy neutronowe o masie $\sim 1\ M_\odot$ i promieniu $\sim$ 10 km, obdarzone bardzo silnym polem magnetycznym (typowo $10^{12} - 10^{13}$ G), i bardzo szybko rotujące wokół własnej osi. Okresy rotacji typowych pulsarów zawierają się w przedziale od kilkudziesięciu milisekund do kilku sekund. Pulsary emitują promieniowanie radiowe (a także w innych zakresach widma elektromagnetycznego, jak również promieniowanie korpuskularne) kosztem swojej energii rotacyjnej, z wolna wydłużając swój okres. Silne argumenty statystyczne wykazują, że pole magnetyczne pulsarów zmniejsza się w czasie, a skala jego zaniku jest dość krótka i wynosi 2–5 milionów lat. Zachodzi więc następująca statystyczna zależność: im dłuższy jest okres pulsara, tym słabsze jest jego pole magnetyczne.

Wielką sensacją wczesnych lat osiemdziesiątych było odkrycie pulsarów o bardzo krótkich okresach rotacji (zaledwie kilka milisekund), lecz także o stosunkowo słabych polach magnetycznych ($10^8 - 10^9$ G). Powyższa zależność nie jest więc spełniona dla pulsarów milisekundowych. Próbowano to tłumaczyć hipotezą, że milisekundowe pulsary rodzą się ze znacznie słabszym polem magnetycznym niż pulsary „normalne". To tłumaczenie jest jednak w sprzeczności ze współczesnymi modelami ewolucji pola magnetycznego w gwiazdach neutronowych. Modele te przewidują, że silne pole magnetyczne jest wygenerowywane w gwieździe neutronowej tuż po jej powstaniu, skutkiem działania pewnych procesów termomagnetycznych, bądź też procesów typu „dynamo". Dlatego też przyjęto inne wytłumaczenie, a mianowicie, iż pulsary milisekundowe są starymi gwiazdami neutronowymi, w których pole magnetyczne zdążyło już znacznie zmaleć, lecz które zostały w pewien sposób ponownie „rozkręcone". Najbardziej prawdopodobnym mechanizmem rozkręcania pulsarów jest przepływ materii w układzie podwójnym. Jeżeli gwiazda neutronowa znajduje się w układzie podwójnym z gwiazdą „normalną", tzn. z gwiazdą ciągu głównego bądź olbrzymem, to – skutkiem ewolucji – jej towarzysz może wypełnić powierzchnię Roche'a i zacząć przelewać materię na pulsara. Materia ta posiada wystarczająco dużo momentu pędu, by rozkręcić gwiazdę neutronową do okresu milisekundowego.

Rzeczywiście znaczna większość spośród kilkunastu obecnie znanych pulsarów milisekundowych znajduje się w układach podwójnych, co potwierdza zasadność powyższej hipotezy. Znamy jednakże także kilka obiektów pojedynczych. Do niedawna ich pochodzenie stanowiło sporą zagadkę. Jej rozwiązanie stanowi być może odkrycie dwóch milisekundowych pulsarów zaćmieniowych.

Istnienie zaćmień poprawia nasze możliwości wyznaczenia parametrów układu podwójnego, w

którym znajduje się pulsar. Z pomiarów momentów nadejścia kolejnych pulsów (które nie są liniową funkcją czasu, jako że w układzie podwójnym działa efekt Dopplera) możemy wyznaczyć tzw. funkcję masy. Funkcja ta zależy od mas obu składników układu podwójnego oraz od jego inklinacji. Sam fakt istnienia zaćmień mówi nam, że inklinacja układu musi być bliska 90°, eliminując przez to jedną niewiadomą. Jeżeli zaś dodatkowo założymy coś o masie gwiazdy neutronowej (z reguły przyjmuje się tzw. kanoniczną wartość masy, wynoszącą 1.4 $M_\odot$), możemy znaleźć masę drugiego składnika. Z kolei czas trwania zaćmienia, w porównaniu z okresem orbitalnym, określa geometryczne rozmiary obszaru zaćmiewającego.

Pierwszy milisekundowy pulsar zaćmieniowy został odkryty w 1988 roku przez A.S. Fruchtera, D.R. Stinebringa i J.H. Taylora (*Nature*, **333**, 237). Nosi on miano PSR 1957+20, a jego parametry są następujące: okres orbitalny P_{orb} = 9.17 hr, okres rotacji P_{spin} = 1.6 msec, czas zaćmienia P_{ecl} = 50 min, masa gwiazdy–towarzysza M_2 = 0.022 $M_\odot$. Zdumiewająca jest nie tylko malutka masa towarzysza, ale także jego rozmiar: z czasu trwania zaćmienia wynika, że obszar zaćmiewający pulsara ma promień dwukrotnie większy niż promień powierzchni Roche'a dla gwiazdy o takiej masie! Tak więc materią zaćmiewającą nie może być stacjonarna powierzchnia gwiazdy, lecz raczej gęsty wiatr gwiazdowy wiejący z jej powierzchni.

Znaczenie odkrycia obiektu PSR 1957+20 zostało błyskawicznie docenione przez społeczność naukową. Dość powiedzieć, że w 10 dni po ukazaniu się numeru *Nature*, w którym obwieszczono odkrycie tegoż pulsara, autor tej notatki wspólnie z A.R. Kingiem złożył w tym samym czasopiśmie artykuł dyskutujący teoretyczne konsekwencje tego odkrycia. Po trzech dniach artykuł ten został zwrócony przez redakcję (bez odsyłania go do recenzentów) łącznie z listem wyjaśniającym, iż w kolejce do druku w *Nature* czeka już kilka artykułów prezentujących podobne wnioski!

Najważniejszy z tych wniosków jest następujący: wysokoenergetyczne promieniowanie pulsara może w pewnych warunkach wywołać silny wiatr gwiazdowy z gwiazdy–towarzysza. Utrata masy skutkiem tego wiatru może być na tyle znaczna, że cały towarzysz zostanie „odparowany". Efektem końcowym będzie pojedynczy pulsar milisekundowy o słabym polu magnetycznym.

W roku 1990 A.G. Lyne i inni odkryli drugiego pulsara zaćmieniowego (*Nature*, **347**, 650). Znajduje się on w gromadzie kulistej Terzan 5 i nosi numer katalogowy PSR 1744-24A. Jego parametry są nieco inne od parametrów PSR 1957+20: okres orbitalny P_{orb} = 1.8 hr, okres rotacji P_{spin} = 11.6 msec, masa towarzysza $M_2 \approx 0.1\ M_\odot$. Również radiowe krzywe zmian blasku są różne w obu obiektach. PSR 1957+20 ma stałą jasność radiową poza zaćmieniami, natomiast w momencie rozpoczęcia się zaćmienia emisja radiowa zanika „jak nożem uciął". Czas zaćmienia jest stały. Z kolei PSR 1744-24A wykazuje znaczne modulacje jasności między zaćmieniami, z wolna zmniejszając jasność przed całkowitymi zaćmieniami, i powiększając ją po nich. Długość zaćmień też nie jest stała: stanowią one zawsze co najmniej 1/3 okresu, ale mogą dochodzić do połowy okresu. Zdarzało się też, że pulsar nie był widoczny przez kilka okresów. Może to świadczyć o różnicy w profilach gęstości zaćmiewających obszarów, a tym samym o mniejszej prędkości wiatru z towarzysza PSR 1744-24A w porównaniu z prędkością wiatru z towarzysza PSR 1957+20.

Dalsze obserwacje pulsarów zaćmieniowych mogą przynieść kolejne ciekawe rezultaty. Pomiar zmian okresów orbitalnych określi tempo utraty masy z gwiazd–towarzyszy. Inne możliwości prezentuje odpowiednik optyczny PSR 1957+20. Jest to słaba gwiazda o jasności wizualnej $\sim 20^m$, zmieniająca swą jasność z okresem równym okresowi orbitalnemu. Największa jasność przypada na moment, gdy pulsar znajduje się pomiędzy nami a gwiazdą–towarzyszem. Świadczy to o tym, że istotnie efekt oświetlania towarzysza przez pulsara jest bardzo istotny. W widmie odpowiednika optycznego PSR 1957+20 odkryto linię Hα. Pomiar zmian prędkości radialnej tej (i ewentualnie innych) linii umożliwiłby bezpośrednie wyznaczenie masy pulsara.

Michał Czerny

CIEMNA MATERIA OGRZEWA GAZ GALAKTYCZNY

Jedną z form występowania materii międzygwiazdowej jest rozrzedzony, ciepły, silnie zjonizowany gaz (tzw. WIM, czyli *Warm Ionized Medium*), o temparaturze ok. 10^4 K. Razem z ciepłym gazem neutralnym wypełnia on przestrzeń między chłodnymi,gęstymi obłokami i stanowi główne źródło swobodnych elektronów odpowiedzialnych za dyspersję sygnałów z pulsarów. Źródło energii utrzymujące WIM w odpowiedniej temperaturze i stopniu jonizacji pozostaje do dziś zagadką. Gaz ten wypromieniowuje energię na tyle intensywnie, że znane źródła fotonów i cząstek jonizujących w Galaktyce okazują się być niewystarczające. W trakcie Sympozjum No. 144 Międzynarodowej Unii Astronomicznej w Leiden Denis W.Sciama z Międzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście przedstawił na ten temat oryginalną hipotezę. Według niej źródłem energii ogrzewającym i jonizującym WIM może być „ciemna materia" postulowana od dawna przez kosmologów oraz badaczy zajmujących się problemem rotacji galaktyk. Zdaniem autora hipotezy, materia ta składa się z ciężkich neutrin o masie 27.7 eV. Posiadają one czas życia ok. 1.5×10^{23} s, po którym rozpadają się produkując m. in. fotony o energii ok. 14 eV i natężeniu wystarczającym dla utrzymania WIM'u. Dobierając odpowiednią gęstość postulowanych cząstek, można nie tylko wyjaśnić ogrzewanie i jonizację gazu w pobliskich galaktykach, ale wyciągnąć również szereg wniosków istotnych dla kosmologii (m. in. wyznaczono wartość Stałej Hubble'a jako równą 54.4 km/s/Mps).

M. Urbanik

16 LAT PRACY TORUŃSKIEGO SPEKTROGRAFU

Maciej Mikołajewski

Kanadyjski Spektrograf Kopernikowski – wyposażenie teleskopu w Piwnicach pod Toruniem – jest najcenniejszym urządzeniem służącym astronomii obserwacyjnej w Polsce. Odpowiednio wykorzystany, może być konkurencją dla najlepszych teleskopów na świecie.

Poza heliocentrycznym modelem Układu Słonecznego, kosmologiczną zasadą kopernikańską i tym wszystkim co pompatycznie określa się początkiem nowożytnego myślenia naukowego, najbardziej pożytecznym spadkiem po Koperniku w dzisiejszych czasach okazują się rocznice Jego urodzin, zwłaszcza okrągłe. I tak 500–lecie urodzin Astronoma uczczono nie tylko ogłoszeniem Międzynarodowego Roku Kopernikowskiego ale i z tej okazji dwoma wspaniałymi darami astronomów i społeczeństwa Stanów Zjednoczonych i Kanady dla astronomów polskich. Pierwszym był komputer PDP11/45 i, jako dodatek do komputera, budynek Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika w Warszawie (patrz *Post. Astron.* t. 23, str. 129, r. 1981). Drugim, wówczas o wiele skromniejszym, ale dziś o dziwo, o wiele mniej zestarzałym (komputer PDP przy dzisiejszej technice to właściwie zabytek) był Kanadyjski Spektrograf Kopernikowski podarowany Uniwersytetowi Mikołaja Kopernika w Toruniu i zainstalowany w ognisku Cassegraina 90cm teleskopu Obserwatorium w Piwnicach (patrz notatka w tym samym numerze).

Unikalne to urządzenie, w swojej klasie należące do najbardziej udanych konstrukcji na świecie, pozostaje do dzisiaj najcenniejszym urządzeniem służącym astronomii obserwacyjnej w Polsce. Prezentując niektóre rozwiązania techniczne i możliwości spektografu oraz pokrótce charakteryzując uzyskane dzięki niemu wyniki naukowe, spróbuję uzasadnić tę opinię.

Aby uzyskać widmo gwiazdy wystarczy zainstalować pryzmat przed obiektywem kamery, ewentualnie pryzmat lub siatkę dyfrakcyjną za ogniskiem teleskopu. Takie warianty pracy astrofizycy nazywają pryzmatem obiektywowym lub spektrografem bezszczelinowym.

Układ taki ma jednak tę niewątpliwą wadę, że zdolność rozdzielcza będzie zawsze ograniczona wielkością obrazu gwiazdy, a więc w przypadku teleskopów naziemnych wielkością scyntylacji atmosferycznych. Aby pominąć tę nieprzyjemną okoliczność konstruuje się spektrografy szczelinowe, w których widmo stanowi ciąg monochromatycznych obrazów szczeliny (a nie gwiazdy) i zdolność rozdzielcza (tzn. możliwość rozdzielenia dwóch bliskich linii widmowych) zależy wyłącznie od budowy urządzenia. Konkretnie, chcemy by wielkość obrazu szczeliny odpowiadała zdolności rozdzielczej detektora (kliszy, retikonu, CCD), z reguły rzędu 10μm, podczas gdy szczelinę chcielibyśmy maksymalnie otworzyć, tak aby jak najmniej tracić światła gwiazdy.

Ponieważ obraz szczeliny jest zmniejszany w stosunku odpowiadajacym stosunkowi ogniskowej kamery rzutującej widmo na detektor do ogniskowej kolimatora rzutującego rozbieżną wiązkę światła z teleskopu w postaci wiązki równoległej na element dyspersyjny (siatkę dyfrakcyjną, pryzmat), występuje konieczność stosowania krótkoogniskowych, ale o dużym kącie widzenia (widmo jest obiektem rozciągłym), a więc bardzo światłosilnych kamer. Jednocześnie wymagamy, aby obraz szczeliny był „czysty", rzeczywiście monochromatyczny, tzn. kąt, pod jakim jest widoczna szczelina przez kolimator, odpowiadał kątowej zdolności rozdzielczej siatki dyfrakcyjnej lub pryzmatu. Tak więc potrzebujemy możliwie długiej ogniskowej kolimatora, co poprzez konieczność zachowania zbieżności wiązki z teleskopu ograniczone jest możliwymi do uzyskania rozmiarami siatki lub pryzmatu.

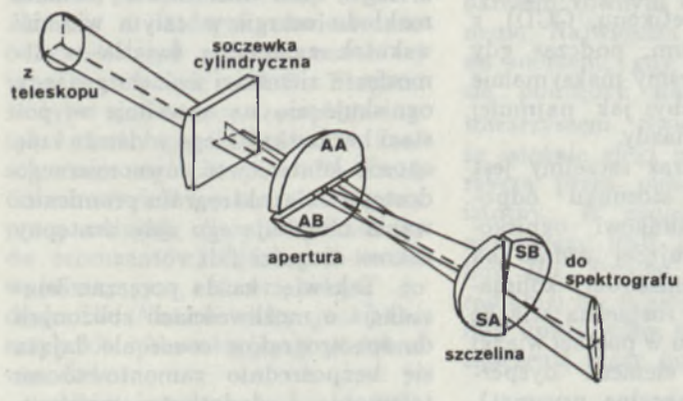
Cały ten mętny wywód nie może oczywiście w żaden sposób pomóc nawet obeznanemu z zasadami spektroskopii czytelnikowi w rozpoczęciu własnych konstrukcji. Pragnę jedynie w ten sposób przybliżyć ogrom problemu budowy spektrografów astrofizycznych (czyli dla słabych źródeł światła), który zawsze musi być rozsądnym kompromisem rozmiarów szczeliny, siatki dyfrakcyjnej lub pryzmatu i ... wytrzymałości gruntu, gdyż jak mam nadzieję uważny czytelnik zauważył, pełne trzymanie się reguł sztuki musiałoby doprowadzić do monstrualnych rozmiarów urządzenia.

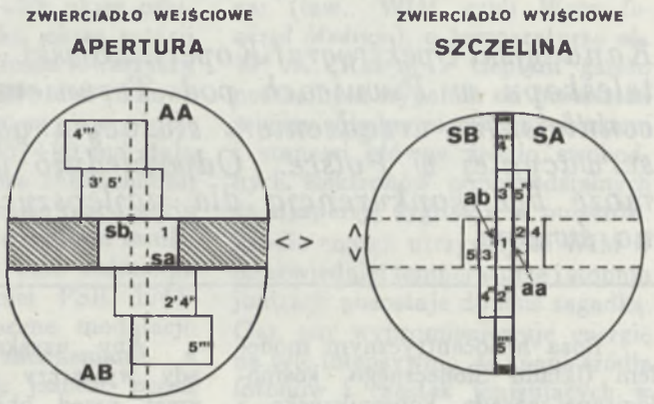
I rzeczywiście, kamery spektrografów wielu wielkich teleskopów dorównują lub nawet przewyższają rozmiarami zwierciadeł sam teleskop. Jest oczywiste, że takie „monstrum" może być umieszczone tylko w nieruchomym ognisku *coudé* i kosztuje ogromne pieniądze. Ponieważ rozmiarów spektrografu nie można powiększać w nieskończoność, podstawową ich wadą są straty światła na szczelinie: z powodu konieczności uzyskania odpowiedniej zdolności rozdzielczej szczelina musi być węższa niż scyntylujący obraz gwiazdy i tylko część światła gwiazdy wpada do wnętrza spektrografu. Dodatkowo wynika z tego brak możliwości badania rozkładu energii w całym widmie: wskutek załamania światła w atmosferze ziemskiej światło gwiazdy ogniskuje się na szczelinie w postaci bardzo krótkiego widemka i nie sposób kontrolować równomiernego dostępu do spektrografu promieniowania obejmującego cały dostępny zakres długości fali.

Tak więc każda poręczna konstukcja o możliwościach zbliżonych do spectrografów *coudé* ale dająca się bezpośrednio zamontować na teleskopie i dodatkowo wykorzystująca cały ogniskowany obraz gwiazdy bez względu na wspomnianą wyżej dyspersję atmosferyczną, zakrawałaby wręcz na cud i czary. Nasz spektrograf jest właśnie

Image slicer Richardsona

Na rysunku obok przedstawiono perspektywiczny wygląd *image slicera* Richardsona, a poniżej rozkład oświetlenia na wewnętrznych elementach zwierciadeł wejściwego i wyjściowego. Dla lepszego zrozumienia zasady działania, wszystkie skale na rysunkach zostały przerysowane. Symetryczna wiązka światła z teleskopu pada na soczewkę cylindryczną, której astygmatyzm powoduje, że wiązka „pionowa" ma ognisko między pierwszą parą luster (aperturą) a nie zaburzona wiązka pozioma, między drugą parą luster (szczeliną) wnęki *image slicera*. Obydwie pary skierowanych do siebie luster powstały z dwóch identycznych luster sferycznych położonych w odległości równej ich promieniowi krzywizny. Zwierciadło apertury zostało przecięte na pół, i obydwie części AA i AB rozsunięte do wielkości odpowiadającej wartości oczekiwanych scyntylacji atmosferycznych i tak „zwichrowane" (tzn. nachylone i skręcone względem siebie) aby ich środki krzywizny wypadały symetrycznie po obydwu stronach środka szczeliny w miejscach odpowiednio aa i ab. Szczelina powstała z drugiego identycznego zwierciadła, przeciętego na identyczne części SA i SB i rozsunięte na odległość określoną wymaganą zdolnością rozdzielczą spektrografu. Zwierciadła szczeliny są jeszcze bardziej „zwichrowane" (tzn. bardziej skręcone niż nachylone względem siebie) tak, że środek krzywizny odpowiednich części zwierciadła szczeliny jest lokowany na przeciwnej połówce zwierciadła apertury tzn. odpowiednio w punktach sa i sb. Czyli inaczej mówiąc, obraz odbity od części SA jest lokowany na części AB, pod otworem wejściowym i odwrotnie, odbity od części SB jest lokowany na części AA, nad otworem wejściowym. W powstałej w ten sposób wnęce mogą następować kolejne odbicia, a ponieważ zwierciadła są odległe o długość promienia krzywizny, obrazy odbite od połówek zwierciadła szczeliny tworzą rzeczywisty, identyczny z obrazem otworu wejściowego, obraz na powierzchi zwierciadła apertury. W ten sposób kolejne obrazy będą stanowiły stos kolejnych obrazów otworu wejściowego, położonych nad i pod nim w postaci





pasków (*slices*), skąd nazwa. Podobnie odbite od zwierciadła apertury kolejne paski, na powirzchni zwirciadła szczeliny będą tworzyły zawsze ten sam obraz połówki „resztki" nie przepuszczonego promienia pierwotnego. Prześledźmy teraz bieg promieni wewnątrz wnęki. Obraz przechodzący przez otwór wejściowy 1 lokuje się na szczelinie i część ta od razu, bez odbić, przechodzi w kierunku kolimatora. Scyntylacje atmosferyczne powodują jednak, że część obrazu (2-4 i 5-3) nie trafia w szczelinę i jest odbijana odpowiednio nad i pod otwór wejściowy tworząc jego rzeczywiste odbite obrazy 2'-4' i 3'-5'. Obraz ten oczywiście jest ponownie odbijany w kierunku szczeliny na której musi utworzyć rzeczywiste obrazy „nie wypuszczonych" części obrazu gwiazdy 2-4 i 3-5 w miejscach odpowiednio 2"-4" i 3"-5". Wskutek odpowiedniego zwichrowania zwierciadeł części 2" i 3" po dwukrotnym odbiciu wpadają w szczelinę. Ponownie "nie wypuszczone" z wnęki części 4" i 5" tworzą kolejne paski nad i pod otworem apertury a ich obrazy po czterokrotnym odbiciu trafiają w szczelinę. Łatwo ocenić, że zastosowanie *image slicera* około 4-krotnie zwiększa ilość światła wykorzystywanego przez spektrograf i przy zastosowaniu wysokiej jakości powierzchni odbijających (powłoki dielektryczne) w zależności od wielkości scyntylacji może sięgać 75-90% zbieranej teleskopem energii. Uważny czytelnik zauważy, że stosowanie soczewki cylindrycznej w zasadzie nie jest konieczne, aczkolwiek powoduje ona znaczne bardziej równomierne oświetlenie prostokątnych apertur otworu wejściowego i szczeliny. Liczba odbić (slice'ów) jest zdeterminowana warunkami zewnętrznymi (światłosiłą teleskopu, konstrukcją spektrografu i wielkością scyntylacji atmosferycznych). Nasz spektrograf używa właśnie 5 środkowych slice'ów, tak jak na rysunku.

ucieleśnieniem takiego cudu, a „czarodziejem" był E.H.Richardson z Dominion Observatory w Victorii w Kanadzie, konstruktor optyki spektrografu i wynalazca genialnego urządzenia, o nazwie *image slicer* zastępującego w spektrografie konwencjonalną szczelinę.

Image slicer

Image slicer jest to urządzenie, które obraz dużego otworu wejściowego (odpowiadającego wielkości scyntylacji atmosferycznych) układa w stos wąskich pasków wzdłuż szczeliny (patrz obok). Zachowana jest więc podstawowa zaleta spektrografów szczelinowych – bardzo wąska szczelina gwarantuje wysoką zdolność rozdzielczą – a jednocześnie uniknięto ich podstawowej wady, strat światła na tej szczelinie.

Niebagatelne znaczenie ma również fakt, że *image slicer* daje od razu widmo poszerzone do odpowiedniej szerokości. Inaczej należałoby poszerzać widmo poruszając obrazem gwiazdy (czyli w rzeczywistości teleskopem) wzdłuż szczeliy, co w wypadku ogniska łamanego (w Toruniu spektrograf zamocowano na widłach teleskopu) wymagałoby jednoczesnego ruchu w dwóch współrzędnych o proporcjach zmieniających się w zależności od deklinacji gwiazdy.

„Automatycznie" poszerzone widmo z *image slicera* jest jednak też główną wadą tego urządzenia. A więc nie możemy zwiększać zasięgu nawet kosztem zwiększania szumu, zmniejszając poszerzenie widma. W poprzek dyspersji nie ma żadnej informacji o przestrzennym rozkładzie natężenia jakiejś linii wzdłuż szczeliny, co ma znaczenie na przykład przy badaniu mgławic i otoczek wokólgwiazdowych. Co więcej, rozkład energii w poprzek widma, w poszczególnych paskach (slice'ach) jest nierównomierny: środkowy pasek, wprawdzie przechodzący bez odbić, jest osłabiony z powodu cienia lustra wtórnego telekopu na lustrze głównym, natomiast rozkład energii w pozostałych paskach jest bardzo czuły na rozkład energii w aperturze wejściowej image slicera a więc na zogniskowanie i prowadzenie teleskopu. Trzeba przyznać, że w przypadku odbiorników nieliniowych (klisza !) jest to istotnym źródłem błędów w kalibracji energetycznej, jak jednak pokazało doświadczenie, błędy są na poziomie na ogół oczekiwanym od tego typu detektora (5–10%).

Wąska szczelina wyjściowa *image slicera* w połączeniu z niewielkimi rozmiarami teleskopu pozwoliła na skonstruowanie spektrografu o niezwykle małych rozmiarach: w niewielkiej walizce mieszczą się dwa pełne zestawy optyki dla zakresu niebieskiego i czerwonego, a ich całkowita wymiana, dzięki modułowej konstrukcji, zajmuje około 10 minut. Podobnie prosta jest podstawowa regulacja optyki urządzenia. Zmorą konstruktorów spektrografów siatkowych, w których wiązka światła ulega wielokrotnemu odbiciu, jest uniknięcie blendowania powracającej wiązki na biernych częściach i obudowach poszczególnych elementów optyki.

W spektrografie Richardsona uniknięto tego, dzięki sprytnemu zastosowaniu optyki pozaosiowej, co dodatkowo pozwoliło zmniejszyć rozmiary konstrukcji: oś optyczna pozostaje zawsze obok czynnych elementów optyki lub, inaczej mówiąc, wszystkie elementy optyki (kolimator, kamera etc.) zostały wycięte z „zewnętrznych" części, pierwotnie znacznie większych elementów. W ten sposób z jednego dużego zwierciadła kolimatora można było wyciąć trzy kawałki (odpowiadające aperturze siatki) do trzech spektrografów, a z jednej pierwotnie bardzo światłosilnej kamery, uzyskać z jej zewnętrznych części dwie identyczne kamery o takim samym kącie widzenia i aperturze odpowiedniej do naszego spektrografu.

Na koniec warto jeszcze zaznaczyć, że na wszystkie elementy optyki nałożono odpowiednie powłoki dielektryczne zwiększające zdolność odbijającą wszystkich luster (zamiast aluminium) i zmniejszające odbicia w przypadku przepuszczających światło (soczewki) elementów optyki. W latach siedemdziesiątych była to nowość w skali europejskiej.

Możliwości obserwacyjne

Kilka siatek dyfrakcyjnych i możliwości pracy z nimi w różnych rzędów i zakresach pozwala na uzyskanie różnych dyspersji, od 160Å/mm do 18Å/mm, co przy rewelacyjnej efektywności i szybkości spektografu zbliża go do możliwości spektrografów *coudé* na teleskopach 1.5 do 2 metrowych. W rozsądnym czasie kilku godzin można uzyskać dobre widmo w zakresie niebieskim w najwyższej dyspersji 18Å/mm dla gwiazd o jasności B $\approx$ 8.5 mag, a w najniższej 160Å/mm nawet dla B $\approx$ 11 mag. Gwiazdy z jasnymi liniami emisyjnymi mogą być nawet o 0.5 do 1 magnitudo słabsze od podanych limitów.

O sukcesie danego urządzenia decyduje jednak człowiek, astronom decydujący, w którą stronę na niebie skierować teleskop. Po serii testów, pierwsze zarejestrowane widmo gwiazdy, skrajnego nadolbrzyma 89 Her, uzyskał 24 czerwca 1974 późniejszy odkrywca podwójności tej i kilku innych podobnych gwiazd, wytrawny spektroskopista i doświadczony obserwator, Jan Smoliński. Z pewnymi oporami (jakże to tak „wielkim" teleskopem obserwować tylko jedną gwiazdę???!!!), początkowo tylko w księżycowe noce, toruńscy astronomowie torowali sobie drogę i uczyli się nowego urządzenia. W początkowej fazie były to przede wszystkim właśnie skrajne nadolbrzymy typów F,G,K i gwiazdy magnetyczne (Ap). Prawdziwą klasą przyszło błysnąć spektrografowi u schyłku lata 1975.

Na pierwszą wieść o wybuchu jasnej gwiazdy nowej (Nova Cygni 1975 = V1500 Cyg), cała ekipa toruńskich astronomów organizuje w Piwnicach prawdziwą kampanię obserwacyjną, intensywnie monitorując ją przy użyciu właśnie spektrografu. Uzyskali jedne z pierwszych w ogóle widm tej gwiazdy, a niektóre serie z pierwszych dni po wybuchu, obejmujące kilkadziesiąt doskonałej jakości widm, do dzisiaj korcą, aby poszukać w nich szybkich zmian spektroskopowych, wynikających z efektów orbitalnych lub odziaływania pola magnetycznego (niedawno okazało się, że nowa ta zawiera silnie namagnesowanego białego karła). Pewne rozczarowanie instrumentem przyniosły próby pomiarów prędkości radialnych z uzyskanych widm.

Należy jednak pamiętać, że dysponowano wówczas tylko jedną siatką dyfrakcyjną, dającą dyspersję około 28Å/mm, a więc nie najwyższą możliwą. Ponadto wymagane było zdobycie pewnego doświadczenia w użyciu lampy wyładowczej, będącej źródłem widma porównania nie tylko dlatego, że image slicer ma tendencję pogrubiania linii pochodzących od rozproszonego źródła światła, ale początkowo nawet braku identyfikacji linii. Późniejsze doświadczenia autora pokazały, że tak krótkoogniskowa kamera spektrografu jest bardzo czuła na nawet niewielkie skręcenia płaszczyzny ogniskowej. Wreszcie, przez wszystkie te lata nie było w obserwatorium urządzenia nadającego się do takich

pomiarów, choćby umożliwiającego precyzyjną justację osi kamery, poza prymitywnymi komparatorami Abbego, których użycie do tak precyzyjnych pomiarów naraża na ciężkie kalectwo ślepoty.

Inną drogą wykorzystania obserwacji była względna kalibracja energetyczna widm, umożliwiajaca pomiar takich parametrów jak względne natężenia linii, czy szerokości równoważne. Nadludzkim jak na tamte czasy wysiłkiem, a przede wszystkim dużym talentem, Zygmunt Turło uruchomił najpierw prymitywny, a później wciąż udoskonalany system odczytu i przetwarzania widm oparty o mikrofotometr ZEIS'a. Temu systemowi spektrograf zawdzięcza większość swoich wczesnych sukcesów, analizę ewolucji widma wspomnianej wyżej Novej Cygni, analizę zmian spektroskopowych, w tym kontrowersyjnych, nieregularnych zmian krótkookresowych niektórych gwiazd magnetycznych; prace prowadzone głównie przez Andrzeja Woszczyka i jego młodszych kolegów. Dalej były próby analizy szerokich struktur absorpcyjnych w gwiazdach Ap firmowane przez Marka Mućka i Janusza Gertnera.

Wyniki i plany na przyszłość

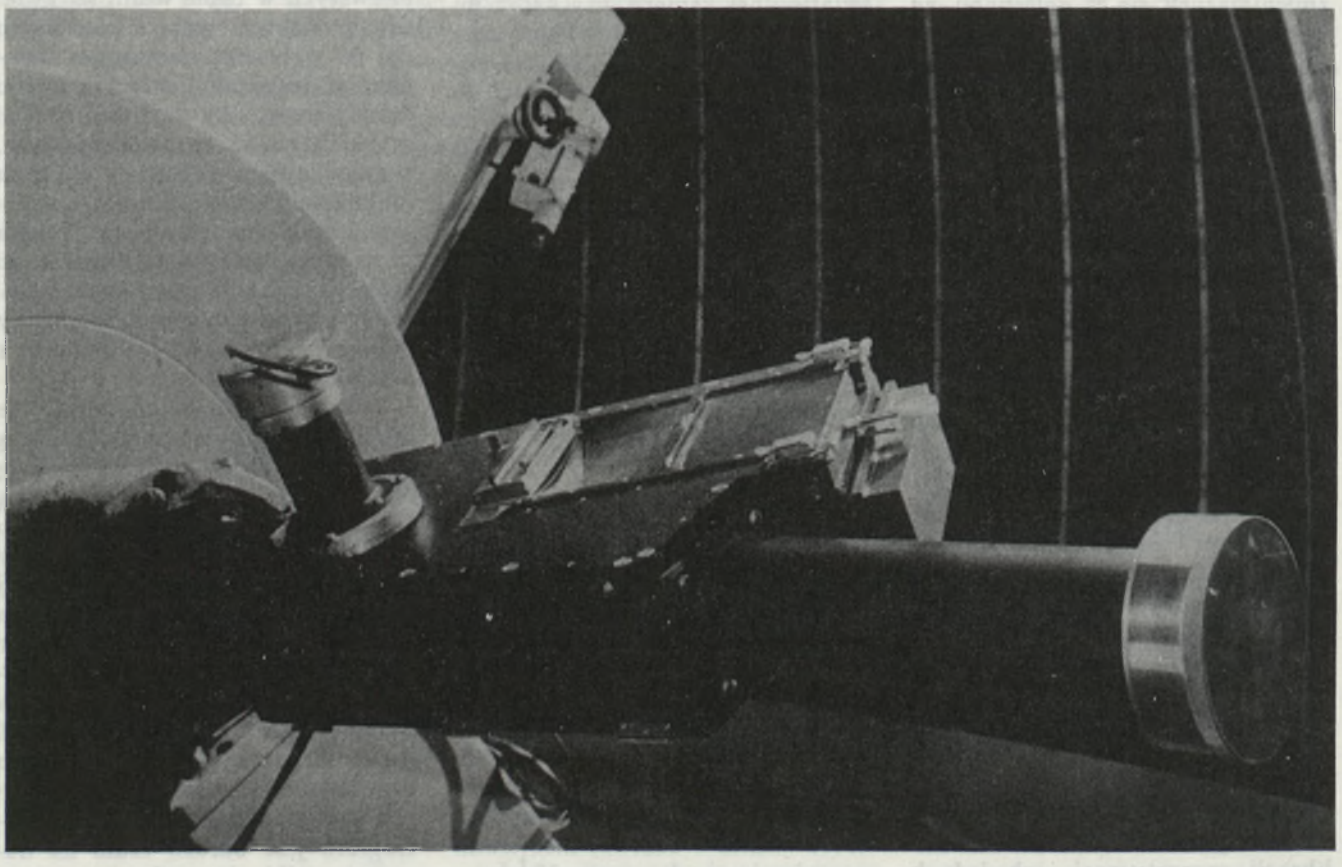
Wszystkie te doświadczenia posłużyły nam, tzn. Joannie Mikołajewskiej i jej aktualnemu mężowi, autorowi niniejszego artykułu, do głębokiej analizy przydatności i zastosowania spektrografu. Należało przede wszystkim ze względu na rodzaj detektora (klisza!) i nierównomierny rozkład energii w poprzek widma szukać efektów dużych, na poziomie kilkudziesięciu, nawet kilkuset procent. Należało wykorzystać fakt, że spektograf łączy cechy spektrografu szczelinowego (zdolność rozdzielcza) i bezszczelinowego (duży otwór wejściowy image slicera).

Dzięki dużemu otworowi wejściowemu widmo jest wolne od efektów dyspersji atmosferycznej i uwalniając się od efektów czułości spektralnej i ekstynkcji atmosferycznej można myśleć o pomiarach stosunków strumieni (np. linnii emisyjnych!!!) w całym zakresie a w perspektywie o absolutnym, pozaatmosferycznym rozkładzie energii w całym widmie. Warto zauważyć, że zdominowanie w ostatnich dziesięciu latach spektroskopii gwiazdowej poprzez badania ultrafioletowe wynika głównie z tego, że satelita IUE dostarcza danych w absolutnej kalibracji, w „nieśmiertelnych" jednostkach, erg/s/cm^2/Å.

Idealnymi więc obiektami do badania naszym unikalnym spektrografem byłyby gwiazdy z liniami emisyjnymi, w których „dużo się dzieje", a skale czasowe tych zjawisk są zróżnicowane i nieprzewidywalne. Przy tym podejściu spektrograf staje się konkurencyjny w stosunku do nawet najlepszych i największych teleskopów udostępnianych dla danych obiektów tylko na krótkie sesje.

Obiektami takimi są wszelkiego typu osobliwe gwiazdy zmienne z liniami emisyjnymi, przede wszystkim gwiazdy symbiotyczne, ale również gwiazdy nowe, a nawet sama βLyrae.

W ostatnich latach, dzięki pracy Jurka Borkowskiego, powstał rewelacyjny program ReWiA (Redukcja Widm Astronomicznych), który m.in. pozwala na pełny zapis cyfrowy widm i ich kalibrację w długości fali i absolutną kalibrację w strumieniach. Przykłady zasto-



Kanadyjski Spektrograf Kopernikowski konstrukcji E.H. Richardsona i G.A. Breadley'a (fot. archiwum Obserwatorium Astronomicznego w Piwnicach

sowania programu ReWiA do widm wysokiej dyspersji ze spektrografu *coudé* i widma w absolutnej kalibracji dla obserwacji ze Spektrografu Kanadyjskiego pokazano na str. 30 w notatce na temat MWC 560. Do chwili obecnej Spektrografem Kanadyjskim wykonano prawie 1400 klisz i wiele tysięcy (na kliszy może być do ośmiu widm), często unikalnych widm gwiazd.

Obserwacje wykonane tym spektrografem stanowiły materiał wykorzystany w kilkudziesięciu publikacjach naukowych, kilku pracach magisterskich i rozprawach doktorskich. W tej chwili zaawansowane są prace nad zastosowaniem retikonu jako detektora w spektrografie. Można być pewnym, że w takim układzie spektrograf będzie nowoczesnym narzędziem jeszcze przynajmniej przez kilkanaście lat. Należy mieć nadzieję, że będzie natchnieniem do realizacji wielu nowych ciekawych programów obserwacyjnych i pełnego wykorzystania istniejącej kliszoteki.

Maciej Mikołajewski jest pracownikiem Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, specjalistą w dziedzinie gwiazd symbiotycznych.

DZIWNY ROZBŁYSK Z SMC X–1

Pulsary rentgenowskie są to gwiazdy neutronowe akreujące materię poprzez kolumnę akrecyjną leżącą wzdłuż osi magnetycznej, która nie pokrywa się z osią rotacji. Emisja z tej rotującej kolumny wywołuje obserwowany efekt „pulsów" rentgenowskich.

L. Angelini, L. Stella i N.E. White opisują (*Astrophys. J.*, w druku) dziwny rozbłysk rentgenowski ze źródła SMC X–1, jaki znaleźli w archiwalnych danych otrzymanych przez satelitę EXOSAT. SMC X–1 jest dobrze znanym pulsarem rentgenowskim w Małym Obłoku Magellana o okresie rotacji 0.7 s i okresie orbitalnym 3.9 dni.

Dnia 18 października 1984 roku SMC X–1 pojaśniał trzykrotnie w czasie krótszym niż 0.7 s. Rozbłysk trwał około 80 s i miał dość skomplikowaną strukturę, z co najmniej trzema maksimami w krzywej zmian blasku. W czasie rozbłysku pulsacje rentgenowskie były nadal widoczne, zachowując kształt, amplitudę i fazę sprzed rozbłysku. Po rozbłysku, natężenie promieniowania spadło do poziomu ok. 35% niższego niż przed rozbłyskiem (skala opadania jasności wyniosła ok. 50 minut), i pozostawało na tym poziomie przez co najmniej 5 godzin, kiedy to nastąpił koniec obserwacji. Po trzech dniach, gdy EXOSAT znowu zaczął obserwować SMC X–1, poziom emisji przypominał poziom sprzed rozbłysku.

Podobne rozbłyski obserwuje się w wielu źródłach (tzw. bersterach) należących do klasy małomasywnych rentgenowskich układów podwójnych. Tłumaczy się je wybuchowym spalaniem termonuklearnym materii, która odkłada się skutkiem procesu akrecji na powierzchni gwiazdy neutronowej o słabym polu magnetycznym. Gwiazda neutronowa w SMC X–1 musi być jednak silnie namagnesowana (o czym świadczy fakt obserwowania pulsów rentgenowskich), a teoria przewiduje, iż w takim przypadku proces spalania termojądrowego powinien przebiegać stabilnie, nie powodując gwałtownych rozbłysków. Prócz tego typowy rozbłysk rentgenowski z berstera charakteryzuje się znacznymi zmianami spektralnymi: w czasie opadania jasności od maksimum do poziomu sprzed rozbłysku widmo staje się coraz bardziej „miękkie", zachowując się jak widmo stygnącego ciała doskonale czarnego. Widmo rozbłysku z SMC X–1 nie wykazywało takich zmian, zachowując cały czas stały kształt, ten sam, co przed rozbłyskiem. „Stwardniało" ono jednak wyraźnie po zakończeniu rozbłysku. Wszystko to sugeruje, że rozbłysk z SMC X–1 nie został wywołany wybuchem termonuklearnym na powierzchni gwiazdy neutronowej, lecz jakąś nieokreśloną niestabilnością w procesie akrecji.

Michał Czerny

OBŁOK MIĘDZYGALAKTYCZNY OKAZAŁ SIĘ GALAKTYKĄ

Możliwość bezpośredniej obserwacji pierwotnego gazu, tak jak wyglądał on w epoce formowania się galaktyk, posiadałaby ogromne znaczenie dla kosmologii. Pozwoliłoby to zarówno na weryfikację przewidywanego przez teorie kosmologiczne pierwotnego składu chemicznego materii jak i na badanie warunków fizycznych, w jakich rozpoczęło się formowanie pierwszych galaktyk. Dostępna obserwacjom materia gazowa, znajdująca się w galaktykach lub ich bezpośrednim otoczeniu, jest w stosunku do swej pierwotnej postaci znacznie zmodyfikowana przez procesy tworzenia się gwiazd. Z tego powodu duże poruszenie spowodowało wykrycie w konstelacji Panny międzygalaktycznej koncentracji neutralnego wodoru, która (według pierwszych ocen) nie zawierała żadnych śladów procesu tworzenia gwiazd. Twór ten uważano za dobrego kandydata na nieskażony relikt gazu pierwotnego i przykład obłoku przedgalaktycznego. Ku rozczarowaniu zwolenników tej hipotezy, M. Irvin i R. McMahon z Uniwersytetu w Cambridge, stosując bardzo czułe metody fotometryczne, odkryli w tym obiekcie słabe świecenie, mogące świadczyć o zachodzących tam procesach tworzenia gwiazd. Dodatkowych informacji dostarczyły obserwacje spektroskopowe wykonane przez S.G. Djorgovsky'ego z Kalifornijskiego Instytutu Technologii. Doprowadziły one do wykrycia międzygwiazdowych linii zjonizowanego tlenu typowych dla mgławic powstających wokół młodych, gorących gwiazd. Pierwiastek ten nie występuje w materii pierwotnej, jest natomiast produktem syntezy jądrowej w gwiazdach. Jego obecność w obłoku w Pannie nie tylko potwierdza istnienie tam młodych gwiazd, ale wskazuje też na istotną modyfikację składu chemicznego gazu w wyniku procesów gwiazdotwórczych. Obiekt w Pannie jest więc w gruncie rzeczy otoczką gazową zbioru gwiazd przypominającego małą galaktykę nieregularną i nie nadaje się do badań nad materią pierwotną (wg. *Sky & Telesc.* No. 1 i 2, 1990).

M. Urbanik

POSZUKIWANIA CZARNYCH DZIUR

Bożena Czerny

Frapującą konsekwencją ogólnej teorii względności jest przewidywane istnienie czarnych dziur. Szukamy więc czarnych dziur wśród gwiazd i w jądrach galaktyk. Wydaje nam się, że znaleźliśmy. A może tylko nam się tak wydaje?...

Początki

Czarne dziury mają obecnie bardzo duże powodzenie w astrofizyce. W każdym numerze czasopisma astronomicznego jest co najmniej kilka prac, które wyjaśniają jakieś zjawisko poprzez procesy zachodzące w pobliżu czarnych dziur. Czym zatem są czarne dziury, i czy rzeczywiście je obserwujemy?

Czarna dziura w swej istocie jest obszarem przestrzeni, w którym przyciąganie grawitacyjne jest tak silne, że nawet światło nie jest w stanie uciec. Zasadnicza idea jest prosta, przynajmniej powierzchownie, choć poprawny opis zjawiska jest możliwy dopiero w ramach ogólnej teorii względności.

Istnienie czarnych dziur zostało zresztą zapostulowane na wiele lat przed Einsteinem. Najbardziej znane są rozważania Pierre Laplace'a w książce *Exposition du Systeme du Monde* opublikowanej w 1796. Naprawdę pierwszym był jednak mniej znany angielski fizyk John Michell. Wnioski swoje przedstawił 27 listopada 1783 przed Towarzystwem Królewskim. W rok później praca ukazała się drukiem w *Philosophical Transactions of the Royal Society*. O fakcie tym przypomina w jednym ze swych artykułów Gary Gibbons.

Praca Michella dotyczyła zasadniczo problemu określania rozmiarów gwiazd, a nosiła nieco przydługawy tytuł: „On the Means of discovering the Distance, Magnitude, &c. of the Fixed Stars, in consequence of the Diminuition of the Velocity of their Light, in case such a Diminuition should be found to take place in any one of them, and such other Data should be procured from Observations, as would be further necessary for that purpose."

W swojej pracy Michell, opierając się na mechanice Newtona, ocenił, jak bardzo przyciąganie grawitacyjne gwiazdy spowolni podróż zwykłej cząstki z powierzchni gwiazdy do Ziemi. Postulował on następnie, że cząstki światła podlegają grawitacji tak samo jak inne ciała, ze względu na jej stwierdzoną uniwersalność.

Dalej wnioskował on następująco: jeśli gwiazda miałaby tę samą gęstość co Słońce, natomiast byłaby 500 razy większa, to cząstka spadająca z nieskończoności uzyskiwałaby przy powierzchni prędkość większą niż prędkość światła. Odwracając zagadnienie, prędkość światła nie jest wystarczająca, aby pokonać siłę grawitacji i światło zamiast uciec do nieskończoności musi zawrócić w stronę gwiazdy.

Michell przewidywał, że w przypadku mniej masywnych gwiazd ich światło będzie do nas docierać, ale wolniej, i proponował pomiary prędkości światła od dwóch gwiazd tworzących układ podwójny. Dziś wiemy, że taki eksperyment jest skazany na niepowodzenie. Zgodnie z teorią Einsteina prędkość światła ze wszystkich źródeł jest taka sama, natomiast zmianie ulega długość fali. Obserwacje potwierdzają, że widma gwiazd są przesunięte ku czerwieni. Fotony nie mogą opuścić powierzchni masywnej gwiazdy nie dlatego, że prędkość światła pod wpływem grawitacji maleje, ale że czasoprzestrzeń ulega zakrzywieniu.

Interesujący jest jednak dalszy fragment:

„Jeśli takie duże gwiazdy istnieją, to są dla nas niewidoczne, podobnie jak gwiazdy o zbyt małej jasności. Wnioskować o ich istnieniu możemy jednak za pośrednictwem jasnych obiektów znajdujących się w pobliżu poprzez śledzenie zaburzeń w ich ruchu. Dalsze konsekwencje tego rozumowania są proste."

Dokładnie w taki właśnie sposób dziś zbierane są najbardziej przekonywujące dowody istnienia czarnych dziur. W poszukiwaniu supermasywnych czarnych dziur o masach rzędu $10^8 M_\odot$ w jądrach galaktyk rozważa się kształt potencjału grawitacyjnego, w którym porusza się gaz czy gwiazdy. Jeszcze bliższy „klasycznemu" jest sposób identyfikacji czarnych dziur o masach rzędu $10 M_\odot$. Badany jest ruch układów podwójnych, w których tylko jeden ze składników jest „normalną" gwiazdą i dyskutowane są wszelkie możliwe hipotezy dotyczące natury drugiego składnika. Cała procedura – znalezienie „obiecujących" układów podwójnych, a następnie wykazanie, że drugi składnik jest z pewnością czarną dziurą – nie jest jednak wcale prosta.

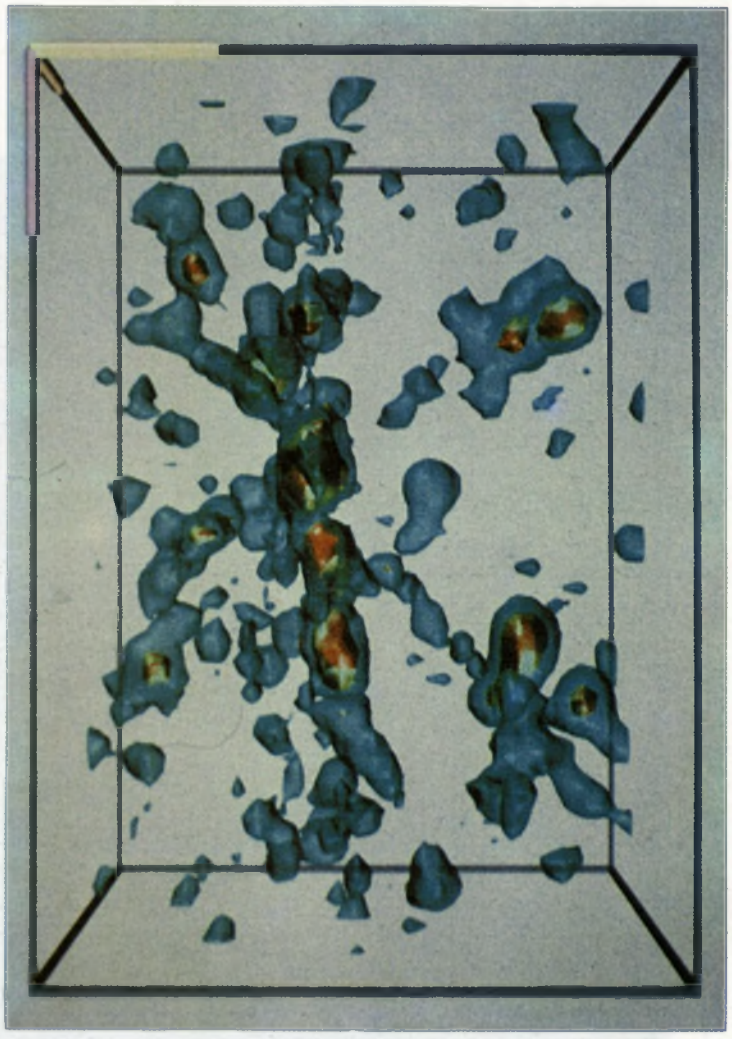
Czarne dziury w układach podwójnych

W 1964 roku, na siedem lat przed pojawieniem się pierwszego kandydata na czarną dziurę – Cygnusa X-1 – radziecki astrofizyk Yakov B. Zeldowicz zaproponował, żeby poszukiwać czarnych dziur w ciasnych układach podwójnych, w których siły przypływowe są tak silne, że gaz jest wyrywany z towarzysza i spływa spiralując w kierunku czarnej dziury. Dysypacja w gazie będzie go ogrzewać do temperatur rzędu 10^8 K i świecenie tego gazu powinno być obserwowane w zakresie rentgenowskim. Ten kierunek badań przyniósł sukcesy.

Spośród obecnie proponowanych kandydatów na czarną dziurę trzy wyróżniają się zdecydowanie. Są to: Cygnus X-1, LMC X-3 (czyli źródło rentgenowskie w Łabędziu i w Małym Obłoku Magellana) oraz A0620-00. Postępowanie dowodowe, że te układy podwójne zawierają czarną dziurę, składa się z trzech odzielnych elementów.

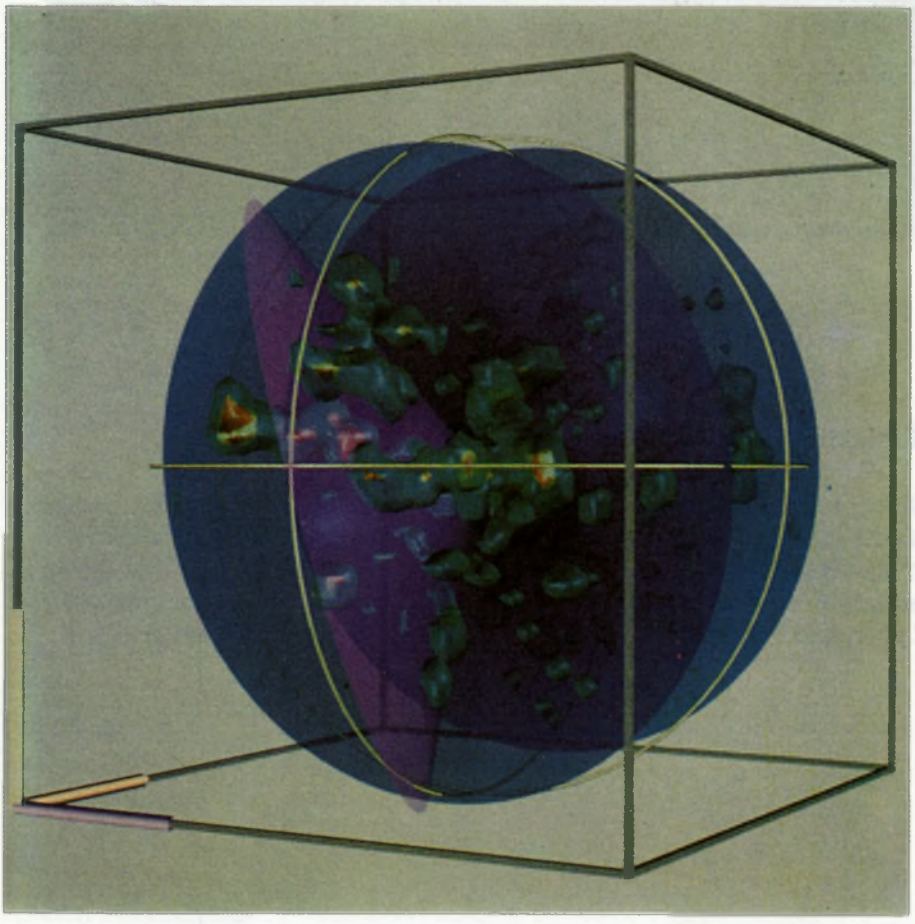
(1) Układ podwójny zawiera bardzo jasne ($\sim 10^{38}$ erg/s) i zmienne źródło rentgenowskie. Źródło takie świeci na koszt energii grawitacyjnej gazu opadającego na zwarty składnik i niewątpliwie zawiera gwiazdę co najmniej tak gęstą i masywną jak gwiazda neutronowa.

(2) Prędkość towarzysza, okres orbitalny i inne argumenty geometryczne prowadzą do wniosku, że masa obiektu zwartego



Rozkład pobliskich galaktyk

(rysunek 4 do artykułu „Skala i struktura Wszechświata"). Gęstość powierzchniowa galaktyk zaznaczona jest konturami. Prostopadłościan odpowiada prędkościom około 5000 km/s, czyli odległościom blisko 200 milionów lat świetlnych. Nasza Galaktyka znajduje się w górnej części pionowego zgęszczenia. Cała pionowa struktura jest fragmentem płaszczyzny Lokalnej Supergromady Galaktyk.



Rozkład bogatych gromad galaktyk

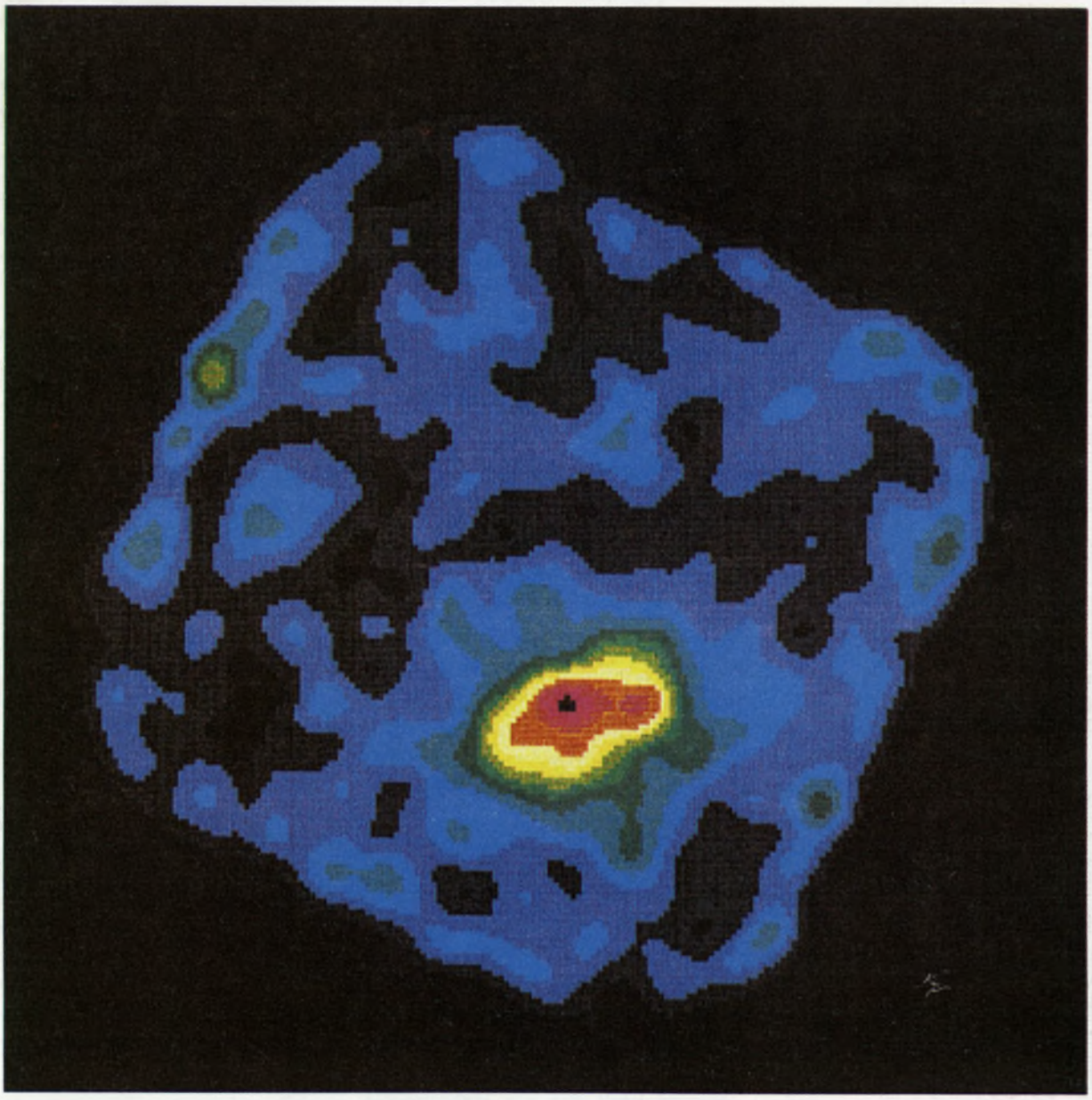
(rysunek 5 do artykułu „Skala i struktura Wszechświata"). Kontury pokazują gęstość gromad w sześcianie odpowiadającym prędkościom 60 000 km/s, czyli odległościom blisko 2 miliardy lat świetlnych. Widoczna jest koncentracja bogatych gromad wokół poziomej płaszczyzny – Lokalnej Supergromady. Całe to zgęszczenie nazwane zostało Układem Supergromad Ryby – Wieloryb.

ROSAT PSPC MPE

Gromada galaktyk Abell 2256

Gromady galaktyk świecą jasno w promieniach Roentgena. Emisja pochodzi z gorącego gazu wyrzucanego z galaktyk podczas ich wzajemnych zderzeń i wypełniającego przestrzeń międzygalaktyczną. Zdjęcie pochodzi z satelity ROSAT. To zdjęcie, a także wszystkie pozostałe zdjęcia rentgenowskie zamieszczone w tym numerze, zostało opracowane i udostępnione przez zespół z Max–Planck–Institute für Physik und Astrophysik, Institut für Extraterrestrische Physik.

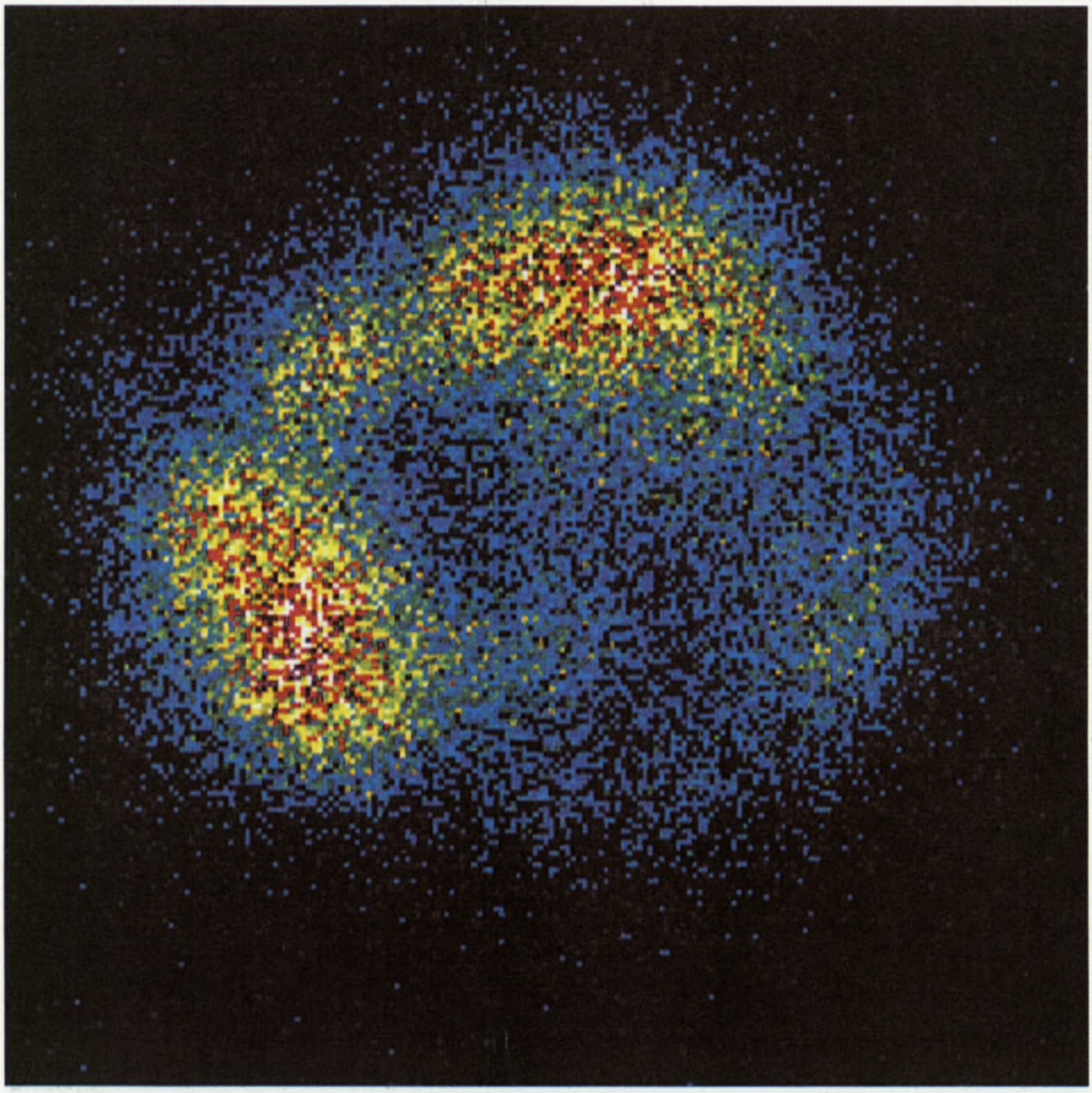
ROSAT HRI MPE



Gromada galaktyk Abell 2256

Na satelicie ROSAT zostało umieszczone nie jedno, ale kilka urządzeń pomiarowych pełniących różne funkcje. To zdjęcie zostało wykonane przez inne urządzenie niż zdjęcie obok. Kamera HRI ma wysoką zdolność rozdzielczą przestrzenną i jest przeznaczona głównie do analizowania obrazów, natomiast w odróżnieniu od urządzenia PSPC nie posiada energetycznej zdolności rozdzielczej.

ROSAT PSPC MPE



Pozostałość po supernowej Kasjopea A

Kasjopea A jest pozostałością po gwieździe supernowej, która wybuchła w naszej Galaktyce w roku 1670. Widzimy promieniowanie rentgenowskie gorącej plazmy o temperaturze kilku milionów stopni. Gaz ten został wyrzucony przez eksplozję do ośrodka międzygwiazdowego.

jest większa niż trzy masy Słońca.

(3) Zgodnie z teorią, gwiazda neutronowa nie może mieć masy większej niż trzy masy Słońca. Gwiazda taka musi skolapsować pod wpływem własnego pola grawitacyjnego i utworzyć czarną dziurę.

Zatem przeprowadzenie dowodu istnienia czarnej dziury polega na obserwacyjnym wykazaniu, że masa zwartego obiektu jest większa niż trzy masy Słońca i na wniosku teoretycznym, że taki obiekt jest czarną dziurą, a nie gwiazdą neutronową.

Parametry układów podwójnych zawierających kandydatów na czarne dziury:

	Cyg X-1	LMC X-3	A0620-00
$L_x(erg/s)$	2×10^{37}	3×10^{38}	1×10^{38}
typ widmowy towarzysza	O9.7I	B3V	K5V
d (kps)	2.5	55	1
$v_c sini(km/s)$	76	235	457
P (dni)	5.6	1.7	0.32
$f(M)$	0.25 ± 0.01	2.3 ± 0.3	3.18 ± 0.16

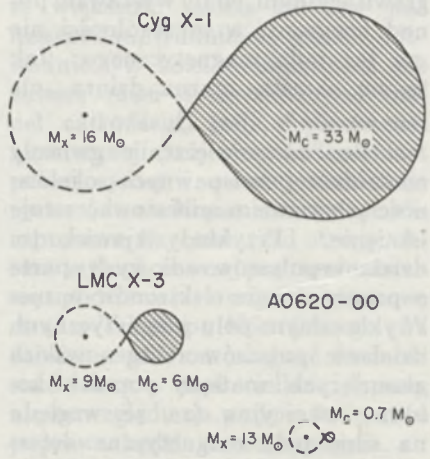
Parametry trzech układów podwójnych, w których zwarty składnik wydaje się być czarną dziurą, są przedstawione w tabeli.

Najistotniejszym parametrem układu jest ten ostatni – optyczna funkcja masy. Jest on zdefiniowany następująco:

$$f(M) := \frac{(M_x sin\ i)^3}{(M_x + M_c)^2}$$

$$= P(V_c sin\ i)^3 / 2\pi G$$

gdzie M_x oraz M_c określają masę źródła rentgenowskiego i towarzysza, i jest nachyleniem orbity, P okresem orbitalnym, $V_c sini$ jest mierzoną (zrzutowaną) amplitudą prędkości orbitalnej towarzysza, a G jest stałą grawitacji. Wyrażenie po prawej stronie jest bezpośrednio wyznaczane z obserwacji. Określa ono zarazem absolutne minimum masy źródła rentgenowskiego: odpowiada przypadkowi $M_c = 0$, $i = 90°$ (obserwujemy w płaszczyźnie orbity). Zatem z samej już funkcji masy wynika, że zwarty składnik A0620-00 o masie $M_x/M_\odot \geq 3.18 \pm 0.16$ jest niemal na pewno czarną dziurą. W przypadku Cygnusa X-1 konieczne są dalsze argumenty stwierdzające, że układ jest obserwowany pod małym nachyleniem albo towarzysz jest gwiazdą masywną. Ocena mas gwiazd w oparciu o typ widmowy towarzysza, ograniczenia na kąt nachylenia układów (wynikające m. in. z faktu, że w żadnym z nich nie obserwujemy zaćmień rentgenowskich), prowadzą do następującego obrazu (rysunek 1).



Rys.1. Schematyczny szkic trzech układów podwójnych zawierających prawdopodobnie czarną dziurę. Składnik zakreskowany wypełnia powierzchnię Roche'a.

Sugerowane masy są rzędu 10 $M_\odot$, wyraźnie powyżej granicy dopuszczlnej masy dla gwiazdy neutronowej. Oszacowania te zawierają jednak bardzo poważne uproszczenie. Relacja typ widmowy – masa gwiazdy, wyznaczana dla gwiazd pojedynczych, nie stosuje się do gwiazd w ciasnym układzie podwójnym. Szczególnie gwiazdy OB w innych układach rentgenowskich mają często masy o czynnik 2 lub więcej mniejsze niż wartości odpowiednie dla ich typu widmowego.

Inną metodę, opartą wyłacznie na geometrii układu i jasności towarzysza, zaproponował w 1974 roku polski astrofizyk Bohdan Paczyński. Metoda ta daje dolną granicę na masę w zależności od odległości do obiektu. Dla Cygnusa X-1 i odległości 2 kps granica ta wynosi 3.4 $M_\odot$, wyznaczenie odległości do tego źródła nie jest jednak zbyt pewne. Dla LMC X-3 metoda Paczyńskiego prowadzi do wartości minimalnej 6 $M_\odot$, a odległość jest wyznaczona bardzo dokładnie, gdyż źródło to znajduje się w Wielkim Obłoku Magellana. Jednak i w tym przypadku napotykamy problem, a mianowicie wyznaczenie jasności towarzysza. Gwiazda–towarzysz nie jest tak jasna, jak w przypadku Cygnusa X-1 i część promieniowania optycznego pochodzi z dysku akrecyjnego.

Dodatkowym problemem są cztery efekty, które mogą modyfikować amplitudę prędkości i redukować graniczną wartość masy obiektu. Są to: oświetlanie rentgenowskie, odkształcenie przypływowe towarzysza, jego niesynchroniczna rotacja i obecność linii emisyjnych w widmie. Ich staranna dyskusja jest niezbędna przed wyciągnięciem ostatecznych wniosków.

Najpewniejszym kandydatem wydaje się A0620-00. Sama funkcja masy jest już duża, $f(M) = 3.18 \pm 0.16 M_\odot$. Bardziej fizyczną dolną granicę otrzymać można zakładając coś o masie towarzysza i inklinacji. Jako masę towarzysza można przyjąć $M_c = 0.25 M_\odot$ (zmierzona masa towarzysza typu K w układzie GK Per), a nachylenie orbity jest większe niż 5° ($i < 85°$), co wynika z braku zaćmień. Przy tych założeniach dolna granica na masę wynosi 3.20 $M_\odot$. W mniej ostrożnym, ale fizycznie dobrze uzasadnionym podejściu wykorzystuje się dwa fakty: wypełnianie powierzcni Roche'a przez towarzysza oraz ograniczenia na inklinację układu wynikające z modulacji jasności towarzysza w czasie ruchu po orbicie ze względu na elipsoidalność powierzchni Roche'a. Tak otrzymana dolna granica jest równa 7.3 $M_\odot$.

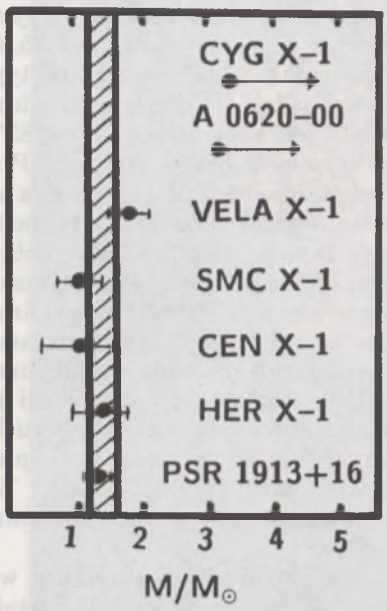
Z przedstawionej dyskusji wynika, że jakkolwiek wnioski o istnieniu obiektów bardziej masywnych niż 3 $M_\odot$ w układach podwójnych Cygnus X-1, LMC X-3 i A0620-00 są dość przekonywujące, to jednak lepsze obserwacje są niezbędne, aby wnioski te uzyskały rangę dowodów.

Część trzecia – teoretyczna – wnioskowania o istnieniu czarnej dziury nie przedstawia trudności, jeśli „stoimy na gruncie słuszności" ogólnej teorii względności. Co prawda maksymalna wartość masy dopuszczalna dla nierotującej gwiazdy neutronowej zależy w sposób istotny od przyjętego równania stanu, ale waha się w granicach od 1.4 do 2.7 $M_\odot$. Efekt rotacji nie powinien przesunąć tej granicy bardziej niż o 20 %.

Co więcej, istnieje też niewiele słabsze ograniczenie na masę czarnej dziury, które od naszej nieznajomości fizyki supergęstej materii nie zależy. Wystarczy wykorzystać fakt, że równanie stanu dla materii o gęstości poniżej gęstości jądrowej znamy dobrze, a dla wyższych

gęstości założyć, że ogólna teoria względności jest słuszna, a prędkość dźwięku musi być mniejsza niż prędkość światła, aby otrzymać wniosek: masa nierotującej gwiazdy neutronowej nie może przekraczać 3 $M_{\odot}$.

Wnioski te są potwierdzane przez obserwacje. Wyznaczone wartości mas gwiazd neutronowych w układach podwójnych mieszczą się w granicach 1.4 ± 0.2 $M_{\odot}$. Trzy dyskutowane obiekty: Cygnus X-1, LMC X-3 i A0620-00 zawierają gwiazdy wyraźnie masywniejsze niż znane gwiazdy neutronowe i są niemal na pewno czarnymi dziurami (rysunek 2).



Rys. 2. Masy składników zwartych w układach podwójnych. Obszar zakreskowany odpowiada masie gwiazdy neutronowej.

Oprócz tych trzech źródeł, zgłaszane są także inne kandydatury. Parametry tych układów nie są jednak dokładnie wyznaczone, a sugestie opierają się na podobieństwach w widmie i charakterze zmienności do trzech wiodących kandydatów. Ten sposób podejścia nie gwarantuje automatycznie sukcesu. Niestety, oprócz kryterium ze względu na masę nie dysponujemy żadnym innym, które wyróżniałoby czarną dziurę (choć mamy zjawiska dowodzące obecności gwiazdy neutronowej).

Akrecja na czarną dziurę i na gwiazdę neutronową o słabym polu magnetycznym nie ma powodu różnić się decydująco. Potencjał grawitacyjny, a zatem wydajność akrecji są podobne. Za kształt widma i obserwowaną zmienność w obu przypadkach prawdopodobnie odpowiedzialny jest dysk akrecyjny otoczony gorącą koroną.

Jedyną fizyczną istotną różnicą jest posiadanie przez gwiazdę neutronową wyraźnej, twardej powierzchni. Czarna dziura nie ma powierzchni – nie ma nic poza polem grawitacyjnym, co by wystawało ponad horyzont; w szczególności nie ma też pola magnetycznego. Jak to się określa, czarna dziura „nie ma włosów" , jest „łysa".

Twarda powierzcnia gwiazdy neutronowej w pewnych okolicznościach może manifestować swoje istnienie. Przykłady zjawisk to: działanie pulsarów radiowych oparte o przyspieszanie elektronów w niezwykle silnym połu magnetycznym, działanie pulsarów rentgenowskich akreujących materię poprzez kolumnę akrecyjną (ze ze względu na silne pole magnetyczne determinujące ruch gazu), „trzęsienia Ziemi" pulsarów (nagła zmiana okresu pulsara skutkiem skokowej zmiany struktury powierzchni krystalicznej), rozbłyski (bersty) rentgenowskie wywołane wybuchowym spalaniem termojądrowym zapasów helu zgromadzonego na powierzchni gwiazdy.

Istnienie bądź nieistnienie twardej powierzchni gwiazdy neutronowej nie zawsze musi się ujawnić. Teoria niczego nie podpowiada, ponieważ szczegółowy opis akrecji jest zbyt trudny. Pozostaje kompletowanie cech charakterystycznych i eliminowanie tych, które zostały zaobserwowane w układach podwójnych zawierających gwiazdę neutronową, a także ciągła obserwacja kandydatów. Tak na przykład wyeliminowane zostało źródło Circinus X-1; odkryto w nim rozbłyski – bersty rentgenowskie – niezbicie świadczące o istnieniu gwiazdy neutronowej w tym układzie.

Niewątpliwie najbardziej przekonywującym dowodem odkrycia czarnej dziury byłoby zaobserwowanie zjawisk, których nie można byłoby wytłumaczyć obecnością gwiazdy neutronowej. Propozycje są następujące:

(1) błysk promieniowania grawitacyjnego pochodzącego od zlania się dwóch czarnych dziur,
(2) linie widmowe o bardzo dużym przesunięciu ku czerwieni,
(3) rotacja płaszczyzny polaryzacji promieniowania rentgenowskiego skutkiem efektu relatywistycznego Lense–Thirringa,
(4) anomalnie duża prędkość orbitalna towarzysza.

Przyszłość może przynieść takie odkrycia.

Supermasywne czarne dziury

Poszukiwanie czarnych dziur nie jest ograniczone wyłącznie do skali gwiazdowej. Masa czarnej dziury nie jest niczym ograniczona. Istnieć mogą supermasywne czarne dziury o masach 10^6 czy 10^{10} $M_{\odot}$ – obiekty na skalę galaktyczną. Wkrótce po odkryciu kwazarów w roku 1963, Zeldovich i Novikov oraz Salpeter niezależnie zasugerowali, że akrecja gazu na supermasywną czarną dziurę jest najlepszym wyjaśnieniem tak niesamowitej aktywności, która może być bez trudu obserwowana z odległości kosmologicznych. W miarę upływu czasu zaczęto podejrzewać, że obiekt taki może się ukrywać w jądrze każdej większej galaktyki.

Zasadniczy kierunek poszukiwań jest taki sam, jak w przypadku gwiazdowych czarnych dziur. Czarna dziura oddziałuje z otaczającymi ją gwiazdami i gazem za pośrdnictwem pola grawitacyjnego. Umieszczona w centrum gromady gwiazd modyfikuje rozkład ich prędkości. Jeśli w pobliżu znajdą się zapasy gazu i działać będzie mechanizm odtransportowujący nadmiar momentu pędu, to zacznie spływać do czarnej dziury dysypując swoją energię grawitacyjną i świecąc.

Procedura poszukiwań składa się z dwóch etapów:

(1) Wyznaczenie masy centralnej zajmującej małą objętość w jądrze galaktyki,
(2) Wykazanie, że bardzo gęsta gromada gwiazd, szczególnie gwiazd neutronowych, nie może tłumaczyć danych obserwacyjnych.

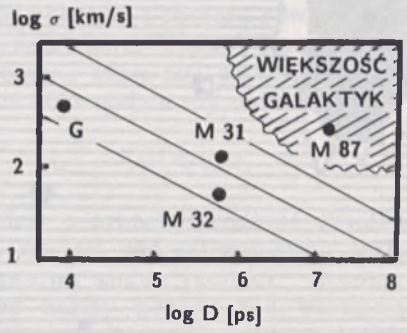
Konkretna realizacja tego programu zależy w sposób istotny od tego, czy zajmujemy się tymi kilkoma najbliższymi galaktykami, które są w zasięgu obecnej zdolności rozdzielczej instrumentów, którymi dysponujemy, czy też analizujemy obiekty dalsze. Te dwa przypadki trzeba rozważać odzielnie.

Duża zdolność rozdzielcza przy obserwacjach najbliższych galaktyk pozwala zasadniczo na bezpośredni pomiar masy centralnej czarnej dziury poprzez badanie ruchu gwiazd. Oczywiście czarna dziura musi być dostatecznie masywna, aby dominować potencjał grawitacyjny w badanym obszarze. Typowe

prędkości gwiazd w pobliżu czarnej dziury

$$v^2 = \frac{GM}{r}$$

muszą być większe niż typowa dyspersja (rozrzut) prędkości w galaktykach. Badany obszar r jest nie mniejszy niż to dopuszcza zdolność rozdzielcza, $D\theta$ (D jest odległością galaktyki, θ kątową zdolnością rozdzielczą rzędu 1 sekundy łuku) . Potencjalną szansę wykrycia czarnej dziury w bliskich galaktykach ilustruje rysunek 3.



Rys. 3. Ukośne proste określają minimalną masę supermasywnej czarnej dziury jaką można wykryć z odległości D, mierząc dyspersję prędkości σ.

Na rysunku, obok jądra naszej Galaktyki znalazły się trzy znane pobliskie galaktyki. Inne są z reguły zbyt daleko, aby można było w nich wytropić punktowe masy rzędu $10^8 M_\odot$.

Obserwacje polegają na pomiarze profilu jasności powierzchniowej galaktyki oraz spektroskopowym pomiarze profilu dyspersji prędkości oraz krzywej rotacji, to znaczy zależności prędkości rotacji od odległości od centrum. Następny etap to rachunki modelowe. Jeśli żaden „rozsądny" rozkład gwiazd zgodny z naszą wiedzą o dynamice nie pozwala odtworzyć obserwacji, natomiast dodanie do potencjału grawitacyjnego punktowej masy poprawia sytuację wyraźnie, to wysuwamy hipotezę o odkryciu czarnej dziury.

Historycznie pierwszą kandydatką była galaktyka M 87 - obiekt bardzo znany ze względu na swą aktywność radiową. Pierwsze oceny (z roku 1978) wartości masy centralnej czarnej dziury dawały $4 \times 10^9 M_\odot$. Zarówno obserwacje, jak i użyty do dyskusji model dynamiczny były później krytykowane. Obecnie za znacznie pewniejsze kandydatury uważa się galaktykę Andromedy (M 31) oraz jej mniejszą towarzyszkę, galaktykę M 32. Wyznaczone wartości masy centralnej są równe kilkadziesiąt czy kilkanaście milionów razy większe od masy Słońca.

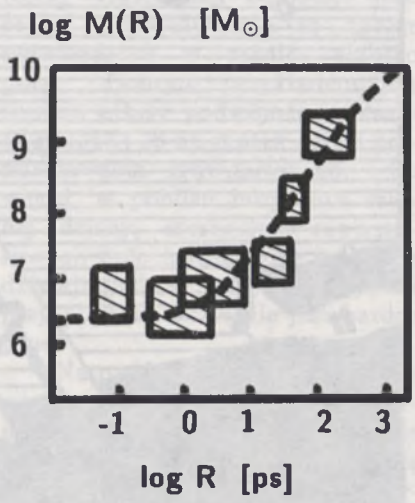
Wątpliwości, które się ciągle jednak pojawiają, w sporej mierze dotyczą tego, co zakłada się o rozkładzie i ruchu gwiazd. Bardzo szczególne rozkłady mogą imitować istnienie dodatkowej centralnej masy. Można się spodziewać, że większość takich układów jest niestabilna, trudniej to jednak udowodnić. Z kolei niestabilność nie zawsze musi dyskwalifikować model całkowicie; jeśli dopuszczenie nieznacznej „trójosiowości" zamiast pełnej symetrii osiowej stabilizuje system, to rozwiązanie może być akceptowane fizycznie. Od strony obserwacyjnej, pewnej poprawy można się spodziewać ze względu na nowe dane z Teleskopu Kosmicznego. W założeniu miał on osiągnąć zdolność rozdzielczą o rząd wielkości lepszą, ale ze względu na wadę instrumentu poprawa będzie nieco mniejsza.

Specyficzne problemy związane są z jądrem naszej Galaktyki. Ze względu na jego bliskość – zaledwie około 8 kps, czyli około 25 tysięcy lat świetlnych – można badać struktury o rozmiarach 0.05 ps (50 dni świetlnych) w podczerwieni, a w zakresie radiowym o rozmiarach rzędu 20 jednostek astronomicznych (jednostka astronomiczna to promień orbity Ziemi wokół Słońca). Pomiary w zakresie optycznym nie są możliwe ze względu na silną ekstynkcję – pochłanianie i rozpraszanie światła przez ośrodek międzygwiazdowy.

Obserwacje wskazują, że w centrum Galaktyki znajduje się silne zwarte radioźródło Saggitarius A* (część składowa kompleksu Saggitarius A, czyli radioźródła w gwiazdozbiorze Strzelca), zwarte źródło promieniowania podczerwonego IRS 16, zwarte źródło promieniowania rentgenowskiego, szczególnie silnie zmienne w zakresie wyższych energii, oraz silnie zmienne źródło promieniowania odpowiadające linii anihilacyjnej elektronu z pozytronem. Źródła te zasadniczo koincydują ze sobą w granicach błędu i sugerują istnienie obiektu o bardzo małych rozmiarach.

Na mapach jądra Galaktyki w podczerwieni widoczne są przede wszystkim strugi zjonizowanego gazu tworzące rodzaj mini–ramion spiralnych rozciągających się do odległości 1.7 ps. Kinematyka i świecenie tego gazu były wielokrotnie badane. Wydaje się, że tak zwane ramię zachodnie jest fragmentem pierścienia i gaz znajdujący się w nim porusza się po orbicie prawie kołowej. Pozostały gaz to strugi prawdopodobnie wpływające do centrum skutkiem utraty momentu pędu. Typowe prędkości tego gazu to 100 km/s w odległości 1.7 ps, 150 km/s dla 0.7 ps, 260 km/s dla 0.3 ps i 700 km/s w odległości 0.1 ps. Sugeruje to stromą studnię potencjału, a twierdzenie o wiriale określa wartość masy cantralnej determinującej pole grawitacyjne na 1 do 4 milionów mas Słońca. Globalny rozkład masy w Galaktyce przedstawiony jest na rysunku 4.

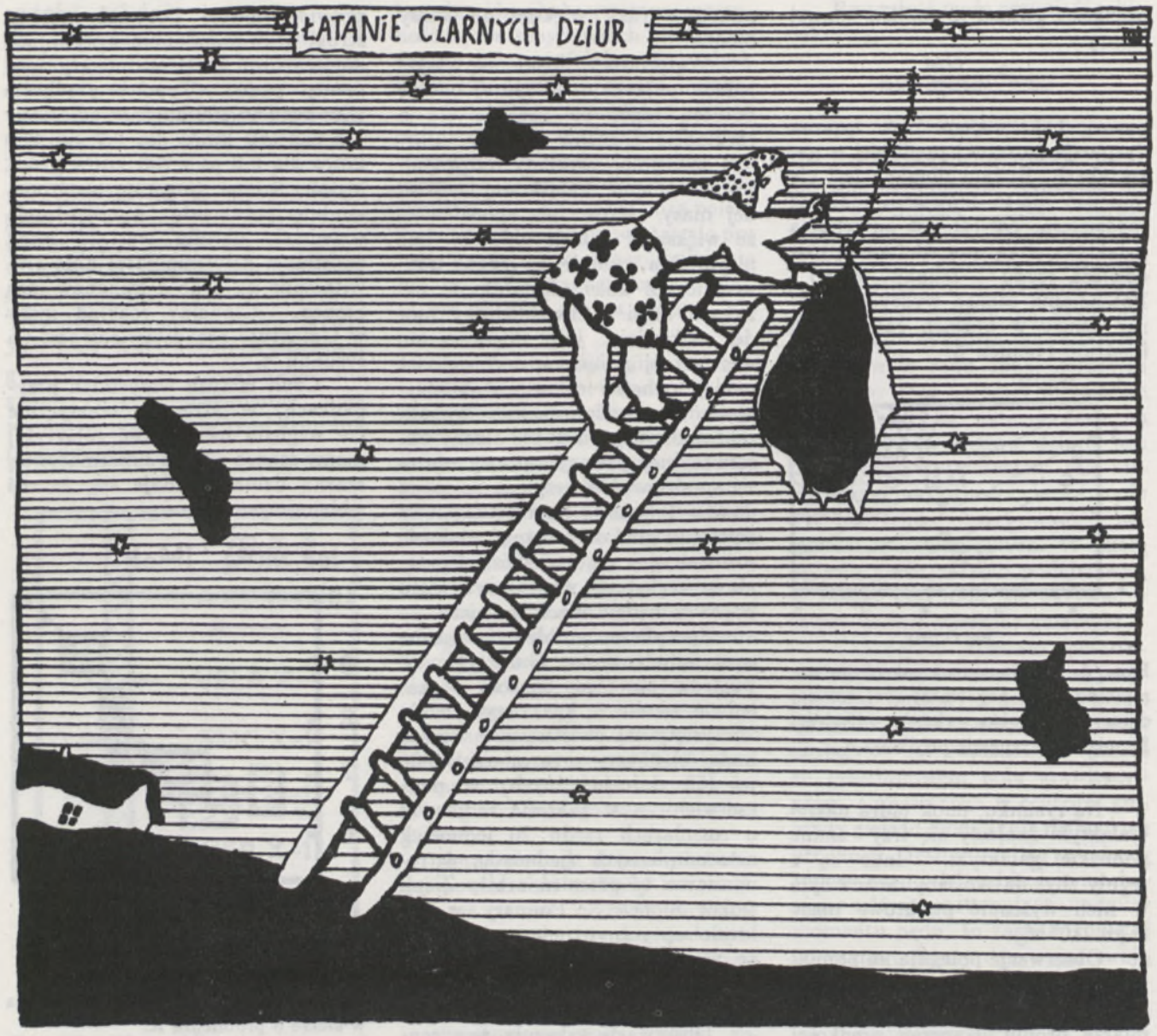
Czyli w tych wszystkich przypadkach, w których teoretycznie (ze względu na bliskość galaktyki) mamy szansę odkryć supermasywną czarną dziurę, wydaje się, że coś widzimy.



Rys. 4. Część masy Galaktyki zawarta w sferze o promieniu R.

Pozostaje do przeprowadzenia druga część dowodu, a mianowicie trzeba rozważyć, czy zwarta (o promieniu poniżej 1 parseka) gromada gwiazd, w szczególności gwiazd neutronowych, nie może być odpowiedzialna za zaburzenie potencjału grawitacyjnego. Jeśli przyjąć, że ograniczenie na rozmiar źródła radiowego w jądrze naszej Galaktyki (20 j.a.) jest zarazem ograniczeniem na obszar koncentracji masy to masa rzędu 2 milionów mas Słońca zajmuje obszar o promieniu zaledwie 400 razy większym niż odpowiadający tej masie promień grawitacyjny czarnej dziury.

Rozważania dynamiki takich systemów prowadzą do wniosku, że gromada gwiazd będzie ewoluować w kierunku wytworzenia centralnej, supermasywnej czarnej dziury o masie w zakresie $10^6 - 10^8 M_\odot$. Początkowy etap tak zwanego kolapsu grawitermicznego trwa długo



Rys. Andrzej Czeczot

i gromada musi mieć dostatecznie dużą dyspersję prędkości, aby odewoluować w czasie krótszym niż wiek Wszechświata. Etap późniejszy (gromada o promieniu mniejszym niż 100 promieni grawitacyjnych) jest szybki, czarakteryzuje się licznymi zderzeniami gwiazd i kończy się utworzeniem centralnej czarnej dziury o masie 100 $M_\odot$, następnie szybko rosnącej. Szczegóły tego procesu wymagają dopiero zbadania, jednak osiągnięte już wyniki wskazują, że silna koncentracja masy w centrum galaktyki musi prowadzić do niestabilności grawitacyjnej i w ostateczności do sformowania supermasywnej czarnej dziury.

W przypadku galaktyk odległych, podobnie jak w przypadku układów podwójnych, zdolność rozdzielcza nawet nie zbliża się do interesującej nas granicy. Ograniczyć się zatem trzeba do galaktyk posiadających aktywne jądra.

Jasności całkowite aktywnych jąder galaktyk sięgać mogą nawet do 10^{48} erg/s, o dziesięć rzędów wielkości przekraczając jasności układów rentgenowskich. Ponieważ aktywność utrzymuje się na przestrzeni milionów lat i dłużej, to proces akrecji materii ma charakter w przybliżeniu stacjonarny. Jasności obiektów nie powinny zatem przekraczać jasności Eddingtona – jasności, przy której ciśnienie wydobywającego się promieniowania dokładnie równoważy przyciąganie grawitacyjne. Jasność Eddingtona zależy tylko od masy obiektu i jest równa

$$L_{Edd} \approx 1.3 \times 10^{38} \frac{M}{M_\odot} erg/s$$

Typowe jasności kwazarów $\sim 10^{44} - 10^{47}$ erg/s oznaczają, że typowe masy aktywnych jąder są rzędu $8 \times 10^5 - 8 \times 10^8 M_\odot$.

Niestety, ocena całkowitej jasności obarczona jest dość znacznym błędem. Bezpośredni pomiar może być dokonany w zakresie radiowym, w zakresie od dalekiej podczerwieni do ultrafioletu ($\sim$ 1200 Å) oraz w zakresie rentgenowskim od 0.1 keV ($\sim$ 120 Å) do 100 keV. Obszar XUV (pomiędzy ultrafioletem a zakresem rentgenowskim) jest jak na razie całkowicie nieobserwowalny ze względu na silne pochłanianie promieniowania w tym zakresie przez

materię międzygwiazdową w naszej Galaktyce, a tam właśnie jest emitowana znaczna, prawdopodobnie dominująca część energii. Także zakres od 100 keV do kilku MeV jest bardzo istotny, gdyż tam przypada maksimum jasności rentgenowskiej, jak wskazują pomiary dla kilku źródeł.

Ograniczenie na rozmiar świecącego obszaru wynika z obserwowanej zmienności źródeł. Koherentne znaczne zmiany jasności (o czynnik kilka) w skali czasowej godzin czy dni oznaczają, że promieniowanie pochodzi z obszaru powiązanego przyczynowo. Typowy rozmiar tego obszaru musi być zatem mniejszy niż kilka godzin czy dni świetlnych:

$$R \leq c\Delta t,$$

gdzie c oznacza prędkość światła, a Δt jest charakterystyczną skalą czasową zmian jasności. Rozmiar ten należy porównać z wartością promienia czarnej dziury o masie wyznaczonej na podstawie jasności obiektu.

Najszybszą zmienność obserwuje się w zakresie promieniowania rentgenowskiego; zarazem w tym zakresie emitowana jest znaczna część energii. Zatem właśnie jasność rentgenowska wykorzystywana jest przy wyznaczaniu rozmiarów świecącego obszaru.

Obserwacje zmienności aktywnych jąder galaktyk w promieniach X prowadzą do wniosku, że promieniowanie pochodzi z obszaru nie większego niż dziesięć – do kilkuset – promieni czarnej dziury. W rzeczywistości może on być znacznie mniejszy, jeśli zmiany jasności propagują się znacznie wolniej niż z prędkością światła. Tak się dzieje, gdy zmiana jasności jest spowodowana zmianą temperatury gazu, a informacja o zmianach rozchodzi się z prędkością dźwięku. Uwzględnienie tego faktu może łatwo prowadzić do wniosku, że świecący obszar ma promień tylko kilkukrotnie większy od promienia grawitacyjnego, jak to ma miejsce w przypadku gazu akreującego na czarną dziurę.

Metodę oceny zwartości świecącego obszaru można przetestować na przykładzie omawianego już źródła galaktycznego Cygnus X–1. Okazuje się, że w Cygnusie X–1 dominuje zmienność o charakterystycznej skali czasowej rzędu 1 sekundy, która jest kilkaset razy dłuższa od promienia czarnej dziury mierzonego czasem przelotu światła. Sugeruje to, że także w aktywnych jądrach galaktyk żądanie propagacji zmian z prędkością światła jest zbyt silne i prowadzi do zawyżonej oceny rozmiaru świecącej chmury gazu. Zatem pogląd, że za aktywność jąder galaktyk odpowiedzialna jest akrecja gazu na supermasywną czarną dziurę, wydaje się być dobrze uzasadniony.

Pewna ostrożność przy stosowaniu takiej metody oceny rozmiaru obszaru świecącego jest jednak niezbędna. Po pierwsze, część promieniowania jest emitowana przez dżety – wąskie strugi gazu wypływającego z obszaru centralnego – które osiągają prędkości relatywistyczne. Obserwowana zmienność jest wtedy szybsza niż w układzie odniesienia źródła. Po drugie, jeśli obserwowana amplituda zmiany nie jest znaczna, ocena rozmiaru nie jest możliwa ze względu na często chaotyczny charakter zmienności.

Można też oceniać wartość masy centralnej w oparciu o obszary szerokich i wąskich linii emisyjnych. Sugerują one, że typowe jasności są raczej rzędu 0.01 jasności Eddingtona. Metody te jednak opierają się na dość mocnych założeniach, a wyniki były często podważane.

Pozostaje wykazanie, że gęsta gromada akreujących gwiazd neutronowych lub supermasywna gwiazda nie mogą wyjaśnić obserwowanych zjawisk. Wydaje się, że nie, między innymi ze względu na niestabilność; zarówno gromada gwiazd jak i pojedynczy supermasywny obiekt powinny w stosunkowo krótkim czasie skolapsować i utworzyć czarną dziurę, zgodnie z ogólną teorią względności. Niestety, oba te modele nie są zbadane równie dokładnie jak model akrecji na czarną dziurę i to może pozostawiać cień wątpliwości.

Dowód a poszlaka

Argumenty za istnieniem czarnych dziur są przekonywujące, ale nie mają rangi bezspornych dowodów i to, jak bardzo nas przekonują, zależy w dużej mierze od emocjonalnego nastawienia. Co więcej, samo pojęcie „dowodu" budzi zawsze tym więcej problemów, im dłużej się nad nim zastanawiamy. Obiekty astronomiczne nie są badane w laboratorium i w gruncie rzeczy wszelkie dowody na cokolwiek w odniesieniu do nich mają charakter pośredni. Gwiazdy neutronowe „widzimy" też tylko w pewnym sensie. Ich istnienie nie budzi jednak wątpliwości, ponieważ z jednej strony dobrze rozumiemy zagadnienie od strony teoretycznej, a z drugiej strony przewidywane w oparciu o tę wiedzę bardzo różnorodne zjawiska naprawdę obserwujemy; nie natrafiamy też na żadne problemy, których w ramach tej wiedzy z pewnością nie dałoby się wytłumaczyć.

Z czarnymi dziurami jest nieco trudniej, gdyż w odczuciu wielu astronomów są czymś egzotycznym i jako takie traktowane są z podwójną podejrzliwością. Prawdą jest, że istnienie czarnych dziur przewidywane jest przez ogólną teorię względności, która nie jest przetestowana w sytuacji silnego pola grawitacyjnego. Z drugiej strony jednak nie ma na razie najmniejszych powodów, aby ogólną teorię względności odrzucić, jako że jej przewidywania są dobrze potwierdzone w granicy słabego pola. Dobrym przykładem jest zmiana orbity podwójnego pulsara PSR 1913+16 na skutek emisji promieniowania grawitacyjnego. Co więcej, w pobliżu horyzontu czarnej dziury, szczególnie supermasywnej, pole grawitacyjne (w sensie działających sił przypływowych i przyspieszeń) wcale nie jest bardzo silne.

Natomiast problem konsekwencji obserwacyjnych istnienia czarnych dziur wymaga jeszcze wiele pracy. Ze względu na wspomnianą wyżej trudność w odróżnieniu czarnej dziury gwiazdowej od gwiazdy neutronowej ze słabym polem magnetycznym, supermasywne czarne dziury są znacznie bardzie obiecujące. Opis akrecji gazu na czarną dziurę poprzez dysk akrecyjny daje dobre przewidywania charakteru widma ciągłego aktywnych jąder galaktyk w zakresie optycznym, ultrafioletowym i ewentualnie miękkim promieniowaniu rentgenowskim. Bardziej szczegółowe i wszechstronne przewidywania są jednak potrzebne, aby rozwiać wszelkie wątpliwości. Inną ciekawą możliwością jest przewidywany efekt rozrywania gwiazd w pobliżu supermasywnej czarnej dziury ($M \leq 10^8 M_\odot$). Powinno to się objawić jako silny rozbłysk trwający około roku, który może zostać zaobserwowany w jakimś jądrze pobliskiej galaktyki.

Jeśli ta linia postępowania rozwinie się i odniesie sukces w interpretacji rzeczywistości, to role mogą się odwrócić i te właśnie zjawiska mogą zacząć stanowić argumenty za słusznością ogólnej teorii względności. Oczywiście konieczne

byłoby wtedy porównianie wyników z przewidywaniami innych, konkurencyjnych teorii grawitacji w odniesieniu do tych samych zjawisk.

Jak zatem odpowiedzieć na pytanie, czy odkryliśmy już czarne dziury, czy też nie? Dla mnie osobiście argumenty są całkowicie przekonywujące. Na bezsporne dowody trzeba będzie jednak jeszcze poczekać.

Bożena Czerny z Centrum Astronomicznego im. M. Kopernika w Warszawie jest specjalistką w dziedzinie aktywnych jąder galaktyk.

POCHODZENIE RENTGENOWSKIEGO TŁA

Na rentgenowskiej mapie nieba oprócz wyraźnych źródeł promieniowania X powinno być zaznaczone także tło nieba, podobne do mikrofalowego tła. O ile jednak jednorodne promieniowanie mikrofalowe ma prostą interpretację w modelu Wielkiego Wybuchu – jest reliktem wczesnej epoki, w której materia była gorąca, gęsta i nieprzezroczysta – to interpretacja rentgenowskiego promieniowania tła nadal stanowi problem do rozwiązania.

Hipotezy dotyczące pochodzenia rentgenowskiego tła dyskutuje w nieopublikowanej jeszcze pracy R.A. Daly z Joseph Henry Laboratories, Princeton University. Pomiary wykonane przez satelitę COBE wykluczyły możliwość produkowania rentgenowskiego tła przez jednoronie rozłożony gorący gaz międzygalaktyczny. Promieniowanie pochodzi zatem z poszczególnych źródeł, ale tak licznych i odległych, że będących poniżej zdolności rozdzielczych rentgenowskich satelitów.

Ograniczenia obserwacyjne na rodzaj źródeł odpowiedzialnych za to promieniowanie pochodzą z jasności tla, jego znacznej jednorodności (co najmniej 1000 źródeł na stopień kwadratowy, aby wyjaśnić brak wyraźnych fluktuacji) oraz kształtu widma.

Proponowano trzy typy obiektów: masywne rentgenowskie układy podwójne (złożone z gwiazdy $\sim 20\ M_\odot$ tracącej masę i mniej masywnej gwiazdy akreującej), wybuchy gwiazd supernowych i aktywne jądra galaktyk. Te pierwsze, na podstawie ocen statystycznych, wydają się jednak zbyt mało liczne, aby wyjaśnić obserwowaną jasność rentgenowskiego tła. Akceptowalność gwiazd supernowych zależy waraźnie od przyjętego modelu kosmologicznego (ze względu na przyjętą objętość obserwowanego Wszechświata) i wymaga znacznej liczby wybuchów silnie skoncentrowanych w jądrach galaktyk. Najbardziej obiecującym wyjaśnieniem jest aktywność jądrowa galaktyk związana z akrecją gazu na supermasywną czarną dziurę. Zjawisko kwazarów, jak się obecnie powszechnie przyjmuje, jest szczególnie silną formę takiej właśnie aktywności. Jasność tła rentgenowskiego może być łatwo wyjaśniona, jeśli przyjąć, że znaczna większość galaktyk posiada w swym jądrze czarną dziurę o masie ponad $5 \times 10^7 M_\odot$.

W testowaniu hipotezy, że aktywne jądra galaktyk są odpowiedzialne za rentgenowskie tło, pomoże głeboki przegląd nieba, jaki zostanie wykonany przez satelitę ROSAT. Przegląd ten powinien zaowocować odkryciem licznych słabych kwazarów, do tej pory niewykrywalnych jako pojedyncze źródła. Pozwoli to lepiej ocenić gęstość przestrzenną aktywnych jąder galaktyk o różnych jasnościach i porównać sumaryczne przewidywane tło z obserwacjami. Pewien problem stanowi kształt widma promieniowania tła, który nie jest taki sam, jak kształt widma jasnego kwazara. Rozwiązanie być może leży w efektach ewolucyjnych, do tej pory słabo zbadanych.

B. Czerny

MWC 560 NOWY TYP GWIAZDY ZMIENNEJ?

Kiedy nocą 12 stycznia 1990, jeden z nas (T.T.), dysponując czasem obserwacyjnym na spektrografie coudè 2m teleskopu obserwatorium na Rożenie w Rodopach, zastanawiał się nad wyborem gwiazdy do obserwacji, miał następującą alternatywę: BX Mon - stosunkowo dobrze znana, „klasyczna" gwiazda symbiotyczna lub ewentualnie MWC 560, obiekt praktycznie nieznany, o mrocznej i podejrzanej przeszłości, poza katalogiem (nazwa *MWC* pochodzi od *Mount Wilson Catalogue*, katalogu obiektów z liniami emisyjnymi, publikowanego we wczesnych latach czterdziestych) zaledwie wspomniany w kilku krótkich komunikatach. W styczniu nie można było obserwować naszej ulubionej gwiazdy, CH Cygni, była zbyt słaba i zbyt nisko nad horyzontem aby otrzymać widmo dostateczne wysokiej jakości. Niemniej jednak, właśnie CH Cygni odegrała kluczową rolę w podjęciu, jak się okazało, bardzo szczęśliwej decyzji.

Już kilka lat temu zwróciliśmy uwagę na krótką notatkę H.E.Bonda i jego współpracowników, sporządzoną po którymś z licznych spotkań Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego, w której autorzy zwracają uwagę na dziwne widmo tej gwiazdy w ultrafiolecie (satelita IUE) oraz szybką zmienność blasku (tzw. *flickering*) w niebieskim zakresie widma. Jednocześnie przypominają oni wcześniejszy przegląd nieba wykonany teleskopem Schmidta z pryzmatem obiektywowym w Obserwatorium *Cerro Tololo* w Chile, na początku lat siedemdziesiątych, przez N.Sanduleaka i C.Stephensona, którzy obserwowali widmo chłodnego olbrzyma M4.5 z nałożonymi emisyjnymi liniami serii Balmera.

Zwłaszcza flikering (spolszczenie świadome) nie dawał nam spokoju. Jest to zjawisko bardzo trudne do wyjaśnienia w szerokich układach podwójnych, takich, w których musi się zmieścić czerwony olbrzym i okresach orbitalnych rzędu co najmniej kilkuset dni. Flikering jest również charakterystyczny dla aktywnych faz CH Cygni i od kilku lat próbujemy to zinterpretować. Wszystkie „historyczne" notatki o MWC 560 zawierały również dość mętne informacje o silnie przemieszczonych w stronę fioletową liniach absorpcyjnych serii Balmera, sugerujących wypływ materii z prędkością rzędu co najmniej 1000 km/s. Obserwacje te widać były mało wiarygodne nawet dla samych autorów, skoro tak szybko zapominali o tej gwieździe. My też - CH Cygni wciąż była dostatecznie jasna - aż do 12 stycznia 1990 roku.

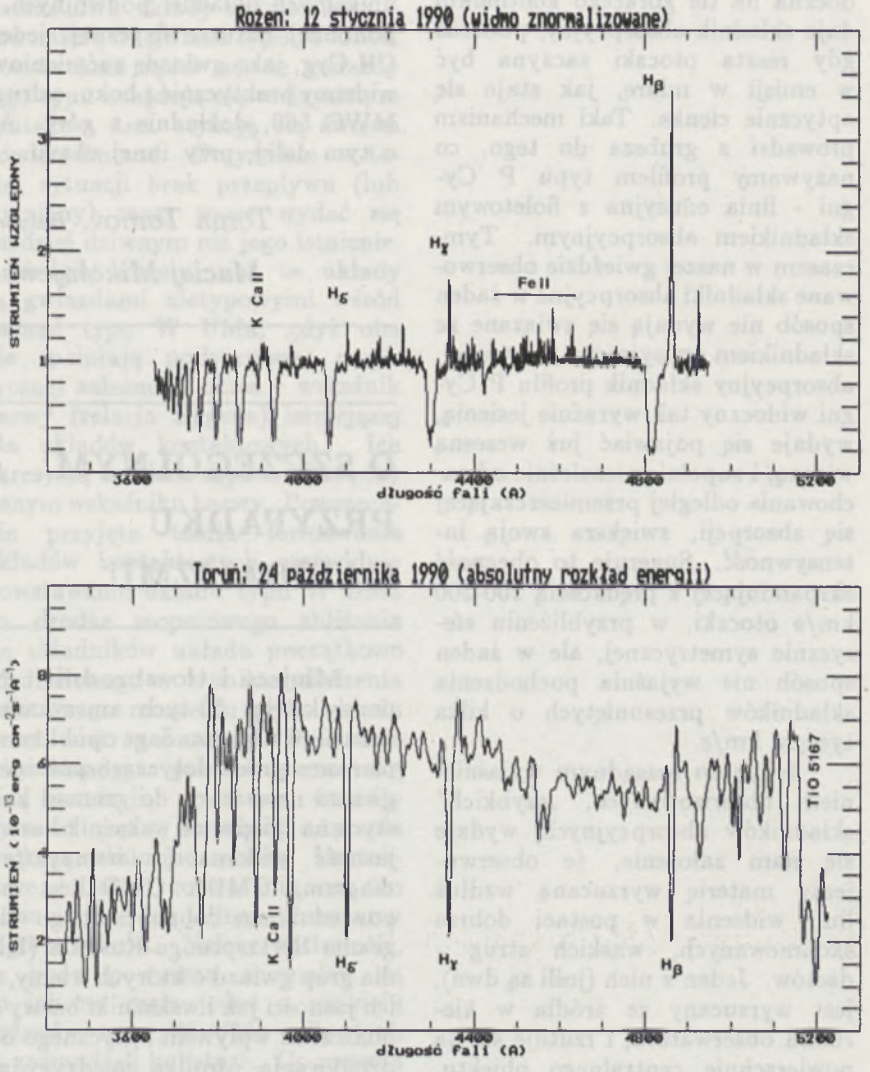
Tak więc decyzja została podjęta: pogoda wspaniała, obraz gwiazdy poniżej sekundy łuku - a zatem MWC 560!!! Zaraz potem objawił się pierwszy symptom bułgarskiego

kryzysu - w obserwatorium nie było wody i żeby wywołać kliszę trzeba było czekać trzy dni. Kiedy wreszcie została wywołana, zrobiła wrażenie przyprawiające o zawrót głowy: na tle jasnego kontinuum bez śladów absorpcyjnych struktur chłodnego olbrzyma typu M, ale za to z jasnymi liniami emisyjnymi wodoru z serii Balmera, były również widoczne bardzo silne i szerokie balmerowskie linie absorpcyjne, o przesunięciu w stronę fioletową tak dużym, że można je było zmierzyć na kliszy palcami, no powiedzmy linijką (rysunek), a nie jak to zwykle bywa w gwiazdach - na specjalnym precyzyjnym komparatorze. Oczywistą interpretacją takiego przesunięcia jest efekt Dopplera i oznacza to, że na tle gwiazdy (linie w absorpcji!) obserwujemy stosunkowo dużą ilość materii, która przybliża się do nas z prędkością kilku tysięcy kilometrów na sekundę względem centralnego obiektu. Jeszcze dziwniejsze okazało się, że absorpcje te zmieniają swoje położenie z dnia na dzień a czasem całkowicie znikają!

Stało się oczywiste, że mamy do czynienia z zupełnie wyjątkowym zjawiskiem, o którym należy jak najszybciej zawiadomić społeczność astronomiczną na świecie. Po opublikowaniu pierwszych, bułgarskich wyników w *Nature*, gwiazda ta znalazła się w centrum uwagi licznych ośrodków na świecie. Rozpoczęto w miarę systematyczne obserwacje fotometryczne i spektroskopowe, w tym i w ultrafiolecie przy użyciu satelity IUE. Gwiazda okazała się znacznie jaśniejsza niż odnotowywano w przeszłości (około 12.5^m w latach czterdziestych i siedemdziesiątych, i około 11^m we wczesnych latach osiemdziesiątych) i osiągnęła maksimum V~ 9.2^m w końcu marca 1990 roku. Obserwacje szybkiej zmienności potwierdziły obecność flikeringu w barwie U na poziomie 20 – 30% strumienia, w skali czasowej rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu minut. A.G. Michalitsianos z NASA *Goddard Space Flight Center* zauważył, że strumień w zakresie ultrafioletowym wzrósł czterokrotnie w porównaniu z obserwacjami grupy Bonda, oraz porównał widmo MWC 560 do widma osobliwej gwiazdy typu Be, XX Oph. W widmie absorpcyjnym obserwuje się liczne blendy linii nisko wzbudzonych metali: FeII, CrII, MnII etc., o podobnych przesunięciach jak dla serii Balmera.

Drugi z autorów niniejszego artykułu (M.M.) bardzo długo wzdragał się przed podjęciem obserwacji MWC 560 w swoim obserwatorium w Toruniu. Wreszcie jednak dał się namówić, a pierwsze obserwacje jesienią 1990 pokazały nową osobliwość: tak rozkład energii (toruński spektrograf daje możliwość absolutnej kalibracji - patrz artykuł w tym samym numerze) jak i widmo liniowe przypomina widmo nadolbrzyma typu F, nieco słabsze od poprzednio widocznego widma typu B, które maskuje wszystkie struktury gwiazdy M, poza najsilniejszym pasmem TiO 5167 (rysunek). Widać, że linie serii Balmera mają „normalne" profile typu P Cygni: silne absorpcje z niewielką emisją w długofalowym skrzydle. Jednocześnie obserwacje wykonane przez satelitę IUE pokazały dziesięciokrotne zmiejszenie strumienia energii w ultrafiolecie i widmo bardzo podobne do widm niektórych gwiazd nowych w bardzo wczesnych fazach wybuchu. Nasze jesienne obserwacje flikeringu wskazują na niewielki wzrost jego amplitudy i być może składową periodyczną o okresie około 40 minut.

Natura MWC 560 jest jak do tej pory całkowicie niejasna, poza tym z czym wszyscy się zgadzają, że mamy do czynienia z gwiazdą podwójną składającą się z czerwonego olbrzyma i jakiegoś gorącego, aktywnego składnika, podobnie jak wszystkie tzw. gwiazdy symbiotyczne (m. in. CH Cygni). Zarówno grupa Bonda jak i Micha-



Dwa widma MWC 560 uzyskane w dwóch różnych okresach i przy użyciu dwóch różnych technik: pierwsze, wykonane klasycznym spektrografem *coudè* w dyspersji 18 Å/mm zostało znormalizowane do średniego poziomu kontinuum; drugie - spektrografem z *image slicerem* Richardsona w dyspersji 160 Å/mm, pokazane w absolutnej kalibracji energetycznej (porównaj artykuł o Spektrografie Kanadyjskim w tym samym numerze). Pomimo różnicy zdolności rozdzielczej widać całkowity brak silnie przesuniętych składników absorpcyjnych w późniejszym widmie.

litsianosa próbuje wyjaśnić obserwowane zjawiska poprzez oddzielenie się gęstej, szybko ekspandującej otoczki z gorącego składnika wskutek intensywnej akrecji materii pochodzącej z chłodnego olbrzyma albo wskutek wybuchu termojądrowego na powierzchni białego karła, podobnie jak to się dzieje w gwiazdach nowych. Rzeczywiście, obserwowane prędkości są bardzo bliskie prędkości ucieczki z powierzchni białego karła i podobne do prędkości obserwowanych podczas wybuchów gwiazd nowych (maksymalna zaobserwowana przez nas prędkość wynosi około 6000 km/s). Jednakże każdy element ekspandujacej materii może być widoczny w absorpcji tylko na tle gorętszego kontinuum. W przypadku sferycznie-symetrycznej, ekspandującej otoczki tylko ta jej część, która jest widoczna na tle gorącego kontinuum daje składnik absorpcyjny, podczas gdy reszta otoczki zaczyna być w emisji w miarę, jak staje się optycznie cienka. Taki mechanizm prowadzi z grubsza do tego, co nazywamy profilem typu P Cygni - linia emisyjna z fioletowym składnikiem absorpcyjnym. Tymczasem w naszej gwieździe obserwowane składniki absorpcyjne w żaden sposób nie wydają się związane ze składnikiem emisyjnym. Co więcej, absorpcyjny składnik profilu P Cygni widoczny tak wyraźnie jesienią, wydaje się pojawiać już wczesną wiosną, i zupełnie niezależnie od zachowania odległej przemieszczającej się absorpcji, zwiększa swoją intensywność. Sugeruje to obecność ekspandującej z prędkością 200-300 km/s otoczki, w przybliżeniu sferycznie symetrycznej, ale w żaden sposób nie wyjaśnia pochodzenia składników przesuniętych o kilka tysięcy km/s.

Jedynym rozsądnym wyjaśnieniem obserwowanych, „szybkich" składników absorpcyjnych, wydaje się nam założenie, że obserwujemy materię wyrzucaną wzdłuż linii widzenia w postaci dobrze skolimowanych, wąskich strug - dżetów. Jeden z nich (jeśli są dwa), jest wyrzucany ze źródła w kierunku obserwatora, i rzutuje się na powierzchnię centralnego obiektu. Bardzo małe prawdopodobieństwo takiej konfiguracji wyjaśnia dlaczego obserwujemy tylko jeden taki obiekt. Niestabilność procesu generacji dżetów albo niewielkie zmiany geometryczne, na przykład wskutek rotacji lub precesji białego karła (co może sugerować ewentualna zmienność periodyczna) może odpowiadać za tak szybkie zmiany w prędkościach i profilach tych składników. Trzeba pamiętać, że przy tak dużych prędkościach materia ucieka od swojego źródła o kilkaset promieni Słońca (a więc odległość porównywalną z rozmiarami olbrzyma, a nawet układu jaki całości) w ciągu kilku godzin.

Niejasne na razie jest, w jaki sposób powstają dżety. Może to być nadkrytyczna akrecja i geometrycznie gruby dysk widoczny „z góry", lub skierowana w naszą stronę akrecyjna kolumna na biegunie magnetycznym silnie namagnesowanego białego karła. Niektóre podobieństwa cech MWC 560 i CH Cyg (dżety, flikering) sugerują raczej wyjaśnienie z polem magnetycznym. Mielibyśmy wtedy fantastyczną sytuację: z dwóch unikalnych układów podwójnych, o podobnej naturze fizycznej, jeden, CH Cyg, jako gwiazdę zaćmieniową widzimy praktycznie z boku, a drugi, MWC 560, dokładnie z góry. Ale o tym dalej, przy innej okazji...

Toma Tomov, *Bulgaria*

Maciej Mikołajewski

O SZCZEGÓLNYM PRZYPADKU KANIBALIZMU

Miejsce i tło zbrodni. Na początku lat 50-tych amerykański astronom Alan Sandage opublikował pierwsze prace dotyczące położenia gwiazd należących do gromad kulistych na diagramie wskaźnik barwy-jasność widoma (*color-magnitude diagram*, CMD). CMD jest odpowiednikiem dobrze znanego diagramu Hertzsprunga-Russella (HR) dla grup gwiazd o których wiemy, że ich jasności jak i wskaźniki barwy są obarczone wpływem optycznego oddziaływania ośrodka międzygwiazdowego w podobnym stopniu. Takimi grupami gwiazd są na przykład gromady gwiazd, tak otwarte jak i kuliste. Dlaczego jednak CMD jest szczególnie ważny w przypadku gromady gwiazd? Oczywiście można się spodziewać, że wszystkie gwiazdy należące do danej gromady powstały mniej więcej w tym samym momencie (podobny wiek) a budulcem poszczególnych gwiazd była materia o zbliżonym składzie chemicznym. Na CMD dla gwiazd należących do Galaktyki (lub jeszcze lepiej na diagramie HR dla gwiazd Galaktyki) gwiazdy skupiają się w swojej większości wzdłuż tak zwanego ciągu głównego. Przyczyna tego zjawiska jest mniej więcej następująca.

W trakcie swojego życia gwiazda produkuje energię na drodze przemian termojądrowych. Pierwotna materia z której zbudowana jest gwiazda składa się w większości z wodoru (ok. 70%), który w trakcie życia gwiazdy stopniowo zamieniany jest w hel. Proces ten trwa dopóty, dopóki ilość produkowanej w tym procesie energii jest wystarczająca do egzystencji gwiazdy w danej chwili. Po wyczerpaniu większości wodoru następują kolejne stadia ewolucji oparte o produkcję energii na drodze syntezy pierwiastków cięższych od helu. Palenie wodoru jest jednakże procesem trwającym najdłużej, stąd też, gwiazda przez długi okres czasu nie zmienia swoich cech fizycznych w sposób możliwy do zauważenia przez obserwatora (pozostaje na ciągu głównym). Czas życia gwiazdy jest uzależniony także od jej masy. Gwiazdy najbardziej masywne żyją znacznie krócej (typowo 10^7 lat) niż gwiazdy podobne do Słońca (czas życia około 10^{10} lat). Nasz CMD powinien być więc pusty w obszarze gdzie obserwuje się gwiazdy dla których czas życia jest krótszy niż wiek Galaktyki (rzędu 10^{10} lat). Rozumowanie to, skądinąd słuszne, nie jest zgodne z obserwacjami. Przyczyną jest fakt ustawicznego powstawania gwiazd w Galaktyce (od najbardziej po najmniej masywne).

W przypadku gromad sytuacja jest diametralnie inna. Jak już wiemy wszystkie gwiazdy są w podobnym wieku. Prócz tego, przeciwnie niż w Galaktyce, w gromadach nie obserwuje się powstawania gwiazd (ostatnie wyniki obserwacji wskazują jednak, że i w gromadach istnieją tzw. obłoki molekularne które, przynajmniej w Galaktyce, są kolebkami gwiazd). Z tego powodu CMD gromady wygląda całkiem inaczej niż CMD dla gwiazd Galaktyki. Co prawda gros gwiazd nadal koncentruje się wzdłuż ciągu głównego lecz gwiazdy masywne zakończyły już swoje życie – ciąg główny zakrzywia się począwszy od tzw. punktu odejścia ciągu głównego (*turn-off point*, TO)

i przechodzi w ciąg podolbrzymów i olbrzymów. Czasem jednak zdarza się, że kilka czy kilkanaście gwiazd pozostaje na CMD powyżej TO nie stając się olbrzymami jak inne gwiazdy gromady o podobnej masie. Właśnie ten efekt zauważył Sandage po raz pierwszy dla gromady kulistej M3 by w kilka lat potem, razem z Geoffreyem Burbidgem, określić te gwiazdy, dzięki ich zbyt niebieskiemu kolorowi i nietypowemu zachowaniu, mianem błękitnych uciekinierów (*blue stragglers*).

Geneza kanibalizmu. Z tego co wiemy na temat ewolucji gwiazd wynika, że błękitni uciekinierowie w jakiś sposób przedłużyli czas swojego pobytu (życia) na ciągu głównym. Spośród kilku możliwych mechanizmów pozwalających na zwiększenie czasu życia gwiazdy na ciągu głównym wymienię dwa, prawdopodobnie w tym przypadku najbardziej istotne.

Pierwszym z nich jest wydajne mieszanie materii we wnętrzu gwiazdy, na przykład z powodu jej nadmiernej rotacji, co wydatnie zmniejsza tempo ewolucji obiektu. Przyczyny dla których taka nadmierna rotacja miałaby obowiązywać błękitnych uciekinierów nie są jednak znane.

Bardziej obiecującym wydaje się być drugi z mechanizmów. Jak wiemy ze wcześniejszych rozważań gwiazda znajduje się w pobliżu ciągu głównego dopóty, dopóki nie wyczerpie w swoim wnętrzu zapasów wodoru. Gdybyśmy mogli do naszego Słońca co pewien czas dostarczać wodoru w odpowiednich ilościach nasza rodzima gwiazda nigdy by się nie zestarzała. Główną przeszkodą jest, co oczywiste, brak tak dużego zbiornika. Czyżby!? Oczywiście, że mamy. Same gwiazdy są takimi zbiornikami! Wystarczy więc umiejscowić dwie gwiazdy na tyle blisko siebie aby mogło dochodzić miedzy nimi do wymiany masy (ciasny układ podwójny) i już.

Hipoteza nasza wymaga jednak potwierdzenia obserwacyjnego. Jednym ze sposobów wykrywania podwójności gwiazd są obserwacje fotometryczne. Niekiedy zdarza się bowiem, że jedna z gwiazd przesłania nieco swojego towarzysza co obserwujemy jak zmienność blasku obiektu (gwiazdy podwójne zaćmieniowe). Metoda ta daje więc możliwość weryfikacji naszej hipotezy.

Mario Mateo wraz z kolegami dokonali w latach 1987–89 szeregu obserwacji błękitnych uciekinierów należących do gromady kulistej NGC 5466 w celu stwierdzenia, czy błękitni uciekinierowie wykazują jakąś zmienność blasku. Ich obserwacje zakończyły się sukcesem. Spośród dziewięciu błękitnych uciekinierów sześciu okazało się być krotkookresowymi cefeidami, a trzy gwiazdy układami zaćmieniowymi. Dzięki temu potwierdzenie związków pomiędzy ewolucją ciasnych, krótkookresowych układów podwójnych a błękitnymi uciekinierami wydaje się być coraz bliższym. Wśród układów zaćmieniowych należących do NGC 5466 jedna z gwiazd jest Algolem. Czy w układzie tym zachodzi przepływ masy pomiędzy składnikami na razie nie wiadomo – dowodem może być zaobserwowanie zmian okresu obiegu tej gwiazdy co wymaga systematycznych obserwacji fotometrycznych. Pozostały nam jeszcze dwa układy zaćmieniowe – oba należą do gwiazd typu W UMa. Powszechnie sądzi się, że gwiazdy tego typu znajdują się w fizycznym kontakcie, tzn. stykają się swoimi powierzchniami. Oczywiście w takiej sytuacji brak przepływu (lub wymiany) masy może wydać się bardziej dziwnym niż jego istnienie. Z drugiej strony, oba te układy są gwiazdami nietypowymi wśród gwiazd typu W UMa, gdyż oba nie spełniają podstawowej empirycznej zależności okres – wskaźnik barwy (relacja Eggena) istniejącej dla układów kontaktowych. Ich okresy są bowiem zbyt krótkie przy danym wskaźniku barwy. Powszechnie przyjęta teoria formowania układów kontaktowych przewiduje powstawanie układu typu W UMa na drodze stopniowego zbliżania się składników układu początkowo rozdzielonego w wyniku unoszenia orbitalnego momentu pędu układu przez wiatr gwiazdowy. Być może więc układy te przeszły przez taką fazę ewolucji, w której utraciły moment pędu na skalę znacznie większą niż inne układy kontaktowe. Dalsze rozważania na ten temat wychodzą jednak poza ramy tego artykułu. Należy nadmienić, że poza powyższą anomalią, są to jak na razie jedne z niewielu układów typu W UMa odkrytych w gromadach kulistych. Co prawda obserwuje się układy kontaktowe w kilku, przeważnie starych, gromadach otwartych (np. w NGC 188 siedem układów), lecz prawdopodobnie ewolucja dynamiczna gromad otwartych jest diametralnie różna od ewolucji gromad kulistych. Ponieważ w gromadach kulistych istnieje deficyt układów podwójnych gwiazd (czego powodem znów może być dynamika), brak jest więc progenitorów układów kontaktowych. Konsekwencji odkrycia dokonanego przez Mario Mateo i jego kolegów jest jeszcze przynajmniej kilka.

Czy gwiazdy rzeczywiście zjadają siebie nawzajem za swego życia? Być może. Wiele zdaje się na to wskazywać. Ufajmy i wierzmy, że żyją tacy którym będzie dane roztrzygnąć tę kwestię.

Tomasz Plewa

TEST WIEDZY ASTRONOMICZNEJ

OKREŚL PRAWDZIWOŚĆ PODANYCH NIŻEJ ZDAŃ:

TAK * NIE * NIE WIEM

1. *Księżyc świeci odbitym światłem słonecznym.*
2. *Gwiazdy to świecące kule gazowe.*
3. *Jowisz i Uran są otoczone pierścieniami.*
4. *Niektóre gwiazdy mają zmienną jasność.*
5. *Kiedyś cały Wszechświat był mniejszy niż główka szpilki.*
6. *Słońce znajduje się w środku Galaktyki.*
7. *Gwiazdy bezustannie przemieszczają się względem siebie.*
8. *Przestrzeń między gwiazdami jest wypełniona rozrzedzonym gazem i drobnym kurzem.*
9. *Prawie wszystkie pierwiastki, z jakich jesteśmy zbudowani, powstały w gwiazdach.*
10. *Galaktyki to zbiorowiska miliardów gwiazd.*
11. *W dzisiejszych czasach wciąż rodzą się nowe gwiazdy.*
12. *Słońce to gwiazda podobna do wielu innych, tyle, że bliska.*
13. *Jądra komet to bryły luźnego śniegu, zmieszanego z pyłem.*
14. *Najbliższe gwiazdy są od nas 10 razy bardziej odległe niż Słońce.*
15. *Źródłem energii większości gwiazd jest zamiana wodoru na hel.*
16. *Księżyc w pełni jest dalej od Słońca niż Ziemia.*
17. *Droga Mleczna to Galaktyka widziana od wewnątrz.*
18. *Słońce jest tak stare jak Wszechświat.*
19. *Wszystkie gwiazdy mają takie same temperatury na powierzchni.*
20. *Układ planet w momencie narodzin człowieka decyduje o jego przyszłych losach.*

Odpowiedzi można nadsyłać na adres Redakcji do 15 kwietnia 1991. Wśród Czytelników, którzy nadeślą prawidłowe odpowiedzi, rozlosujemy 5 bezpłatnych rocznych prenumerat naszego pisma. Test nie jest łatwy — patrz omówienie na str. 44!

W KRAJU... W KRAJU...

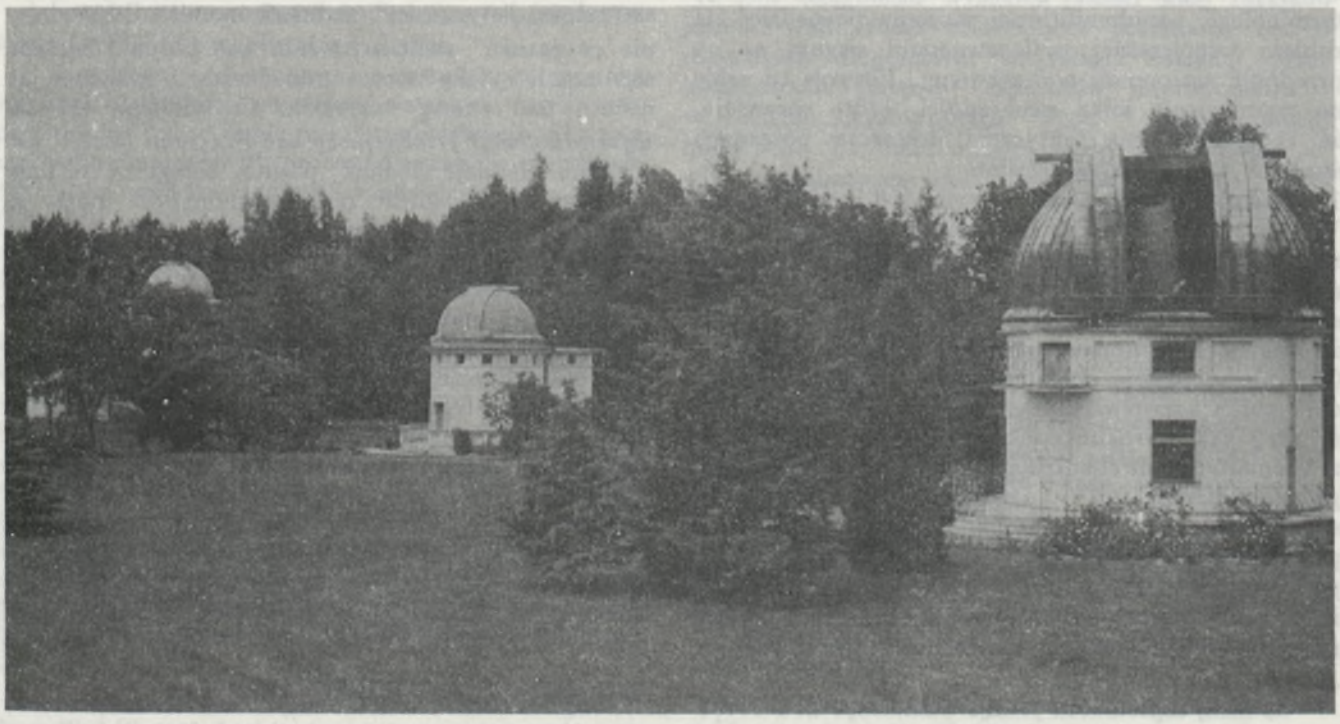
Obserwatorium Astronomiczne UMK w Piwnicach

Latem 1945 roku do Torunia przyjechali z Wilna pracownicy zlikwidowanego w grudniu 1939 roku Uniwersytetu Stefana Batorego. Było wśród nich czworo astronomów z prof. Władysławem Dziewulskim na czele. Postanowiono, aby w nowym uniwersytecie, któremu nadano imię Mikołaja Kopernika istniało obserwatorium astronomiczne. Wybrano na ten cel teren w przydzielonym Uniwersytetowi majątku Piwnice, położonym 15 km na północ od Torunia. To dość blisko, by łatwo było się tu dostać, a jednak miejsce to jest oddzielone od miasta pasem lasów. Przy tym jest to najwyższy punkt w okolicy (ok. 90 m n.p.m.).

Od tamtej pory upłynęło ponad 40 lat. W obserwatorium wyrósł piękny park i... kilka pokoleń astronomów. Toruńskie środowisko astronomiczne tworzy dziś prawie 40 osób, pracujących w trzech odrębnych komórkach: Instytucie Astronomii UMK, Katedrze Astronomii UMK i Pracowni Astrofizyki I Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN. Dwie ostatnie instytucje zostaną przedstawione przy innej okazji. W niniejszej notatce skupimy się na Instytucie Astronomii UMK, a zwłaszcza jego Obserwatorium Astronomicznym.

Podstawowym wyposażeniem każdego obserwatorium są teleskopy. W Piwnicach pracują obecnie: - teleskop Schmidta-Cassegraina 60/90/180 cm - teleskop Cassegraina 60 cm - astrograf Drapera 20 cm - refraktor, tzw. „szukacz komet", 20 cm. Największym naszym skarbem jest teleskop Schmidta. Pod względem rozmiarów (średnica lustra głównego – 90 cm, płyty korekcyjnej 60 cm, ogniskowa 180 cm) jest to instrument średniej wielkości w skali światowej, wśród teleskopów tego typu. W ciągu 10-minutowej ekspozycji uzyskuje się na kliszy obrazy gwiazd do 18^m.

Pod względem jakości optyki jest to jeden z najlepszych Schmidtów na świecie. Mogliśmy przekonać się o tym przy okazji przelotu komety Halleya. Kto żyw mierzył wówczas położenia Komety na niebie. Dało to szansę porównania wyników. Nasze były trzecie na świecie pod względem precyzji. Niestety, obserwacje w systemie Schmidta są bardzo kosztowne (cena jednej kliszy ok. 20$), dlatego często wykorzystujemy konfigurację Cassegraina (ogniskowa 13.5 m) tego teleskopu. Pracujemy wówczas pełną aperturą 90 cm, ale obserwujemy tylko jedną gwiazdę. Kierujemy jej skupione światło bądź do spektrografu (opisanego osobno), bądź do szybkiego fotometru. Może on wykonywać pomiary jasności gwiazd w tempie 10000 razy na sekundę, co umożliwia badanie bardzo szybkiej zmienności. Fotometr ten został wykonany w Obserwatorium w Piwnicach specjalnie w celu śledzenia pulsara w Krabie, o jasności ok. 16^m, zmieniającego się z okresem 33 ms. Oczywiście instrument ten może służyć również do zwykłej fotometrii wielobarwnej. Specjalnie do fotometrii przeznaczono teleskop 60 cm, zakupiony w 1989 roku. Zastąpił on w tej roli 20 cm refraktor, który przez wiele lat służył do tego celu z braku lepszego instrumentu. Obecnie ta mała luneta służy do pokazów nieba. Dzięki dużej światłosile (ogniskowa 102 cm, f/5) refraktor



ten znakomicie nadaje się do obserwacji wizualnych, zwłaszcza mgławic, komet, itd. Najstarszym teleskopem w Piwnicach jest 20 cm astrograf Drapera - własność Harvard College Observatory, wypożyczony nam w 1947 r. na 99 lat. To instrument niezwykle zasłużony dla astronomii. Przy jego pomocy wykonano w latach 1911-1915 katalog HD (Henry Draper Catalog). Przez wiele lat astrograf był głównym instrumentem naszego obserwatorium. Obecnie używany jest sporadycznie, ostatnio głównie do fotografii jasnych komet. Wciąż jednak jest technicznie sprawny.

Teleskopy to nie wszystko. Równie ważna jest aparatura do redukcji i analizy obserwacji. Jest to tym ważniejsze, że bardzo często astronomowie toruńscy opracowują obserwacje zebrane w ośrodkach zagranicznych. W dzisiejszych czasach głównym narzędziem pracy astronoma jest komputer. Obecnie mamy do dyspozycji kilkanaście komputerów typu IBM PC, klasy XT, AT i 386. W najbliższym czasie spodziewamy się uzyskać komputer o dużej mocy obliczeniowej. Dla instytutów uniwersyteckich charakterystyczny jest duży wachlarz zainteresowań naukowych pracowników. Nie inaczej jest i u nas.

Astrofizycy (11 osób) zajmują się badaniami komet, gwiazd osobliwych, podwójnych i zmiennych, materii międzygwiazdowej, gromad gwiazd, struktury naszej galaktyki i innych galaktyk. Obraz uzupełniają koledzy z zakładu mechaniki nieba (5 osób), których interesują zagadnienia stabilności orbit, dynamika ciał układu planetarnego i sztucznych satelitów Ziemi. Przyszłość ośrodka zależy od rozwoju kadry. Rokrocznie przyjmujemy 10 studentów na kierunek astronomii. Najlepsi z nich po uzyskaniu stopnia magistra kontynuują studia na szczeblu doktoranckim.

Marek Muciek

Z czego radioastronomowie mogą być dumni?

Na obecnym (1990r.) poziomie wiedzy i technologii astronomowie są w stanie rejestrować informacje niesione przez promieniowanie elektromagnetyczne (e.-m.) w zasadzie w dowolnym zakresie widma. Można by lapidarnie powiedziec, że we współczesnej astronomii odeszliśmy od modelu *mędrca szkiełka i oka* tak daleko, jak to tylko możliwe - oczywiście w tym jednym „wymiarze" jakim jest częstotliwość albo, jak kto woli, długość fali promieniowania, czy też energia jego kwantu. Nietrudno się domyślić, że radioastronomia jest tą dziedziną, która zajmuje się długofalową częścią widma e.-m., a dokładnie od częstotliwości najniższych do częstotliwości rzędu setek gigaherców (GHz). Ta druga liczba, jak łatwo policzyć, odpowiada falom o długościach rzędu milimetra. Odwołując się przeto do (jeszcze niedawno tak modnej) terminologii pseudomilitarnej możemy powiedzieć, iż rubieże współczesnej radioastronomii siegają aż na przedpola astronomii podczerwonej. Pozwolę tu sobie na wymienienie kilku okoliczności, które sprawiają, że radioastronomia faktycznie dostarcza potężnych środków badania Wszechświata:

1. „Radiowy" przedział widma e.-m. jest bardzo szeroki. W przypadku interferometrii radioastronomicznej za najniższą częstotliwość uznać należy 38 MHz*, a za najwyższą 300 GHz. Oznacza to, że przedział ten ma szerokość 13 oktaw. Dla porównania przypomnijmy, że klasycznie rozumiany przedział optyczny (0.38μm - 0.78μm) to prawie dokładnie jedna oktawa. Wynika stąd ważka konsekwencja astrofizyczna, ta mianowicie, że przy tak szerokim spektrum mamy do czynienia z rozmaitymi mechanizmami emisji obserwowanego promieniowania (np. termiczny, synchrotronowy, spontaniczna lub wymuszona emisja w molekułach przy przejściach pomiędzy stanami rotacyjnymi). W praktyce obserwacyjnej oznacza to niejedokrotnie tyle, że to samo radioźródło obserwowane na zdecydowanie różnych częstotliwościach jawi się zupełnie inaczej.
2. Wiele obiektów, jak np. wodór neutralny (emitujący fale o częstotliwości 1420.406 MHz jest uchwytnych głównie (jeśli nie wyłącznie) dzięki obserwacjom radiowym. Nie od rzeczy będzie tu przypomnieć, iż tak istotną astrofizycznie klasę obiektów jak pulsary odkryto właśnie na falach radiowych * i do dzisiaj są to prawie wyłącznie „obiekty radiowe".
3. Promieniowanie reliktowe (o temperaturze równoważnej 2.8 K) będące świadectwem „Wielkiego Wybuchu" to również odkrycie dokonane w zakresie radiowym**.
4. Centrum Galaktyki to miejsce, gdzie technikami radioastronomicznymi można dotrzeć najgłębiej.

Nie jest bynajmniej moim celem szerzenie tu jakiegokolwiek *szowinizmu częstotliwościowego* toteż, aby nie być posądzonym o takowy, nie będę dalej rozszerzał tej listy „zalet" radioastronomii. Udowadnianie „wyższości" radioastronomii nad innymi działami astronomii byłoby równie małoduszne i śmieszne jak debata nad znaną wszystkim Czytelnikom kwestią *wyższości Świąt Wielkiejnocy nad Świętami Bożego Narodzenia*. Istnieje jednak pewna kategoria technik obserwacyjnych, gdzie radioastronomowie mogą ze słusznym uczuciem dumy powiedzieć: „Tu jesteśmy najlepsi". Są to mianowicie techniki interferometryczne, które w radioastronomii doczekały się efektywnych realizacji przynoszących bardzo istotne odkrycia.

Próby wykorzystania zjawiska interferencji fal elektromagnetycznych w astronomii były czynione na początku tego stulecia przez Michelsona (tak, tak tego samego Michelsona, który wraz z Morleyem potwierdzili niezmienniczość prędkości światła względem transfomacji pomiędzy różnymi układami odnisienia) i doprowadziły do oszacowania średnic niektórych gwiazd. Metoda ta była jednak w praktyce niezwykle trudna i nie przyniosła obfitego plonu obserwacyjnego. Nieco lepiej wiodło się twórcom tzw. interferometrii natężeniowej (Hanbury Brown i Twiss), a obecnie

* na takiej częstotliwości pracuje *Cambridge Low Frequency Synthesis Telescope - CLFST* w Cambrige, Anglia

* nagroda Nobla w dziedzinie fizyki dla A. Hewisha

** Penzias i Wilson 1965 Nagroda Nobla 1978.

spore nadzieje wiąże się z interferometrią plamkową (ang. *speckle interferometry)*, która okazała się dość efektywną metodą pomiarów średnic gwiazd.

Na jakich podstawach opiera się inteferometria astronomiczna? Ujmując rzecz maksymalnie lapidarnie opiera się ona na dwóch filarach matematycznych: na twierdzeniu van Cittert'a - Zernike'go (vC-Z) i transformacie Fouriera. Twierdzenie vC-Z określa zależność stopnia spójności fal mierzonego pomiędzy dwoma punktami w przestrzeni, a rozkładem jasności ich źródła. Przy pewnych założeniach, które w przypadkach astronomicznych dają się spełnić, relacja ta, jak głosi tw. vC-Z, jest właśnie opisywana transformacją Fouriera. O tw. vC-Z bardzo przystępnie pisze A. H. Piekara w książce *Nowe oblicze optyki.* Czytelnik znajdzie tam definicję kluczowego pojęcia jakim jest stopień spójności, treść twierdzenia (nb. w postaci uproszczonej fomuły!) i ilustracje. Natomiast „ambitnego" Czytelnika zainteresowanego ścisłym sformułowaniem tw. vC-Z oraz pełnym dowodem tegoż odsyłam do monumentalnego podręcznika Borna i Wolfa.*

A zatem metodologia technik interferometrycznych jest następująca: należy pomierzyć stopień spójności koherentnie odbieranego promieniowania w funkcji pozycji interferometru w przestrzeni, a następnie pomiary te (dwuwymiarowo) przetransformować fourierowsko. Otrzymamy w ten sposób rozkład jasności źródła promieniowania. Okazało się, iż postulatowi owego „koherentnego" (czyli spójnego) odbioru, tj. takiego, który nie naruszałby fazy, tak trudnemu do spełnienia w optyce, daje się względnie łatwo zadośćuczynić w przypadku niższych, a więc „radiowych", częstotliwości. Stąd właśnie sukces interferometrii radioastronomicznej, która jest realizowana przy użyciu wielu instrumentów na świecie.

Do najważniejszych radiointereferometrów, które przysporzyły fundamentalnych odkryć i w większości nadal ich przysparzają należą:

- 1 milowy interferometr w Cambridge (Anglia),
- 5 kilometrowy interferometr w Cambridge (Anglia),
- Interferometr w Westerbork (Holandia),
- *Very Large Array* (VLA) koło Socorro, Nowy Meksyk (USA),
- *Multi Element Radio Linked Interferometry Network* (MERLIN) w centralnej Anglii.

Instrumenty tu wymienione zostały uszeregowane wg skali odległości pomiędzy antenami, czyli tzw. długości *baz* (od najmniejszej do największej). Skala ta ma istotne znaczenie dla procesu obserwacji: im większe bazy tym większa zdolność rozdzielcza instrumentu (kosztem wielkości pola widzenia). Przechodząc zatem od instumentów małych do coraz większych dokonujemy jakby najazdu kamery na obserwowany obiekt, który jawi się nam w coraz to większym „powiększeniu". Najbardziej pasjonujące jest jednak to, że nie ma żadnych formalnych ograniczeń na długość baz: rozciągając je w nieskończoność dostalibyśmy nieskończenie wysoką zdolność rozdzielczą!

Jak zatem oddalić od siebie radioteleskopy wchodzące w skład interferometrów? Przecież muszą one być połączne jakimiś kablami, aby stanowiły fizycznie połączony układ czyli interferometr. Otóż „problem kabli" można skutecznie obejść. W przypadku MERLIN-a zamiast kabli użyto mikrofalowych łączy radiowych, co pozwoliło zlokalizować jego anteny w odległościach od kilku do 132 km. (Ostatnio MERLIN został uzupełniony o teleskop w Cambridge co sprawia, że najdłuższa baza wynosi ok. 200 km). Ale to jeszcze nie jest szczyt tego, co można osiągnąć. Można bowiem w ogóle zrezygnować z wszelkich łączy realizujących interferometr w czasie rzeczywistym. Jak to zrobić?

Pomysł jest dość prosty: trzeba mieć wzorzec czasu o stabilności rzędu minimum 10^{-12} oraz magnetowid. Wzorzec jest z reguły wodorowy lub rubidowy, natomiast magnetowid może być w najprostszym przypadku nieco tylko przerobionym aparatem systemu VHS. Sygnał z anteny jest po koherentnej* przemianie częstotliwości rejestrowany na kasecie magnetowidowej. Tamże zapisuje się również precyzyjną informację o czasie. Zamiast prowadzić kable pomiędzy antenami wystarczy przewieźć kasety w jedno miejsce i synchronicznie odtworzyć je parami. Urządzenie odtwarzające (*korelator*) jest więc dopiero fizyczną realizacją interferometru. Proste?

Do tego jednak dochodzi jeszcze jeden niezwykle istotny atut: anteny mogą być przy tym podejściu dowolnie oddalone od siebie. Mogą się wręcz znajdować na różnych kontynentach, a tym samym odległości pomiędzy nimi mogą być rzędu rozmiarów Ziemi. Rozdzielczość wzrasta zatem kilkadziesiąt razy w porównaniu z MERLIN-em. Technika ta nosi nazwę interferometrii wielkobazowej (ang. *Very Long Baseline Interferometry* - VLBI). *Postępy Astronomii* poświęciły jej cykl artykułów autorstwa Kazimierza M. Borkowskiego i Andrzeja Kusa publikowanych w latach 1983-1987.

W tym momencie Czytelnik może się słusznie zapytać: no dobrze, ale dlaczego ten tekst ukazuje się w dziale *W kraju* ? Czas i na to odpowiedzieć. Otóż VLBI jest od 9 lat z powodzeniem uprawiana w Toruniu. 15 - metrowa antena paraboliczna Toruńskiego Obserwatorium Radioastronomicznego Uniwersytetu M. Kopernika (patrz fotografia na tylnej stronie okładki) jest częścią Europejskiej Sieci VLBI, a nasze obserwatorium jest członkiem stowarzyszonym tzw. Konsorcjum Europejskiej VLBI.**

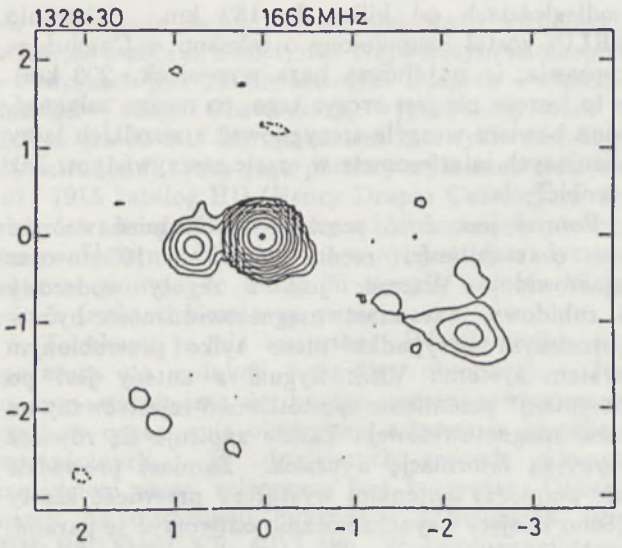
Dla osiągnięcia wysokiej jakości map rozkładu jasności radioźródeł celowe jest posiadanie baz o rozmaitych długościach, co można osiągnąć przez lokalizowanie anten - elementów interferometru - w różnych „egzotycznych" (tzn. odosobnionych) miejscach. Za takie miejsce może być uważane to, gdzie zlokalizowane jest nasze obserwatorium, wokół nas bowiem nie ma podobnych placówek (najbliższa jest w Szwecji koło Goeteborga, ok. 1000 km od Torunia). Można więc z przekąsem powiedzieć, że chociaż w tej dziedzinie nasze położenie w Europie jest zdecydowanie korzystne!

Jakie są zatem konkretnie zdolności rozdzielcze interferometrów radiowych? Oto garść liczb. Na „umiarkowanej", a przy tym rutynowo stosowanej w radioastronomii, częstotliwości 5 GHz (λ=6cm) 5-km radioteleskop w Cambridge osiąga rozdzielczość do 2" , VLA - 0."4, MERLIN - 0."05, Europejska VLBI - 0."005, a globalna VLBI 0."001. Takiej rozdzielczości nie jest w stanie, nawet teoretycznie,

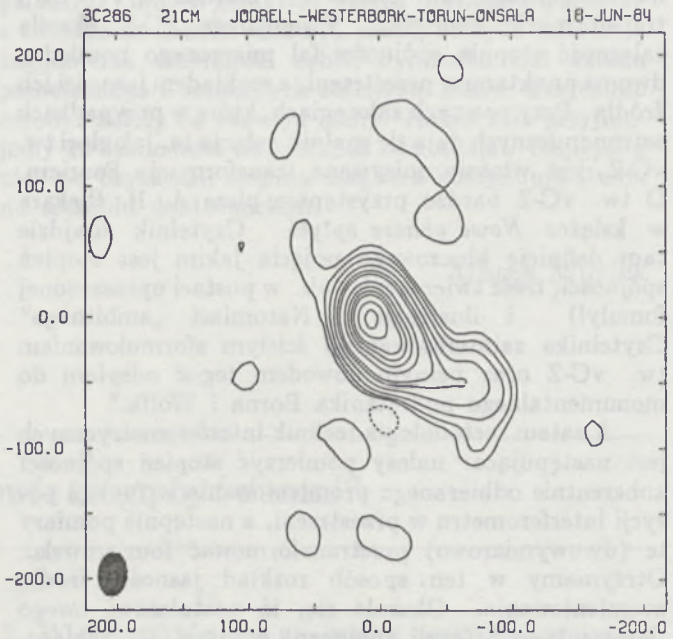
* Max Born, Emil Wolf, „Principles of Optics", Pergamon Press, Wyd VI, 1980. Istnieje również tłumaczenie rosyjskie.

* Lokalny oscylator odbiornka superheterodynowego jest sterowany wzorcem czasu.

** Międzynarodowe to ciało przyjmuje i ocenia projekty badań oraz koordynuje przebieg obserwacji.



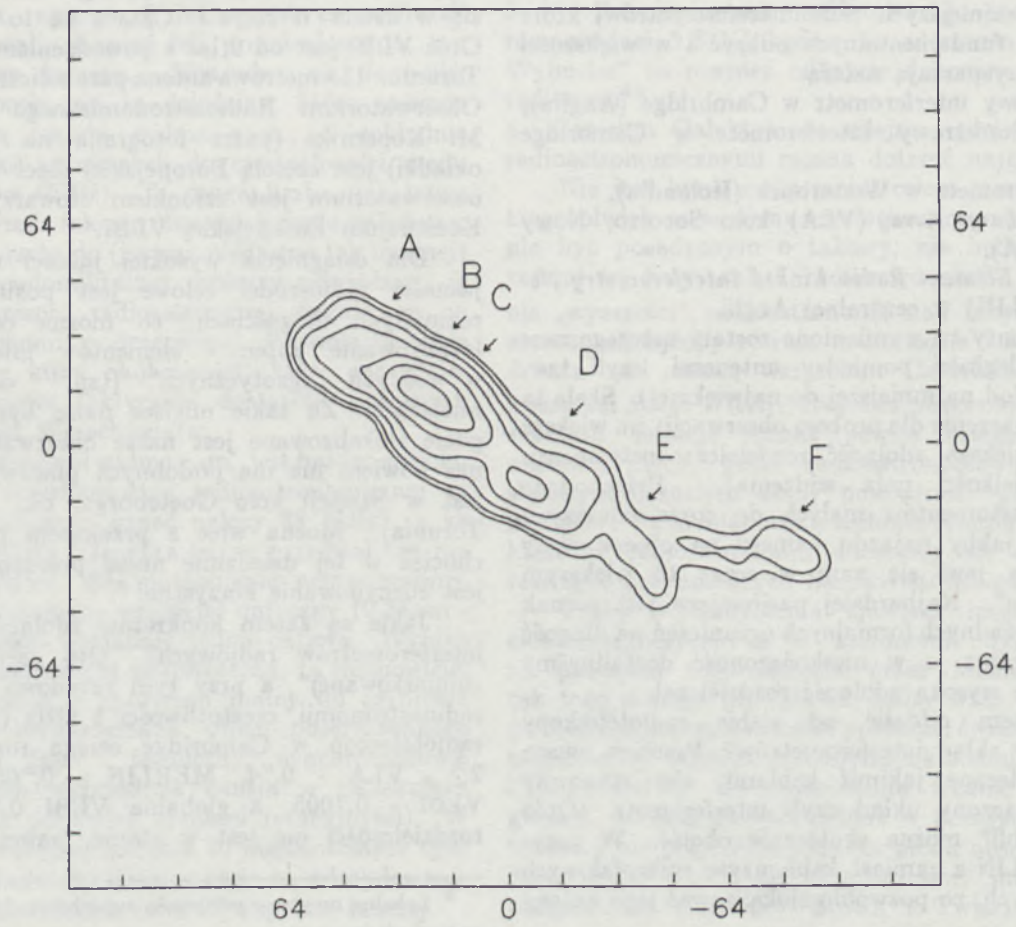
Rektascencja [min. łuku]



Rektascencja [sek. łuku]

Radiowa struktura kwazara 3C 286 obserwowanego przy pomocy trzech sieci o wzrastającej zdolności rozdzielczej: MERLIN, Europejskiej VLBI i Globalnej VLBI (a, b, c). Ostatni obraz pokazuje istnienie dżetu.

3C286 at 50cm Global VLBI Oct. 1986



Rektascencja [sek. łuku]

osiągnąć orbitalny teleskop Hubble'a*. Warto może sobie w tym miejscu uzmysłowić, że 1" to kąt pod jakim widzimy 1 mm z odległości 206 m. A zatem obserwacja globalną VLBI z rozdzielczością 1000 razy lepszą jest odpowiednikiem czytania tego tekstu na odległość, powiedzmy, Warszawa – Toruń. Ale to jeszcze nie koniec możliwości VLBI. Jeżeli powiększyć częstotliwość do 300 GHz, co ostanio jest już praktykowane w VLBI, to rozdzielczość sięga rzędu dziesiątków mikrosekund łuku. Dysponując „lunetą" o takiej rozdzielczości można by z centrum Polski zmierzyć grubość włosa każdemu obywatelowi!

Porzućmy jednak te przyziemne porównania i zastanówmy się, co to oznacza w odniesieniu do obiektów we Wszechświecie. Rodzielczość milisekundowa czy też mikrosekundowa to (z definicji) zdolność do rozróżniania szczegółów o rozmiarach rzędu jednostki astronomicznej z odległości odpowiednio kilo- i megaparseków. Możemy więc wreszcie zajrzeć w nieprzeniknione dotąd centrum Galaktyki! (I w zasadzie tylko tam, gdyż w naszym „galaktycznym domu" nie ma innych dostatecznie silnych źródeł, a czułość systemów VLBI jest wciąż ich piętą achillesową). Prawdziwym polem do popisu dla radioastronomów-interferometrystów jest zatem „reszta" Wszechświata, a zwłaszcza radiogalaktyki i kwazary. Śledzenie tych obiektów jest szczególnie pasjonujące z co najmniej dwóch powodów: po pierwsze mamy możność sięgania do obiektów odległych o miliony i miliardy lat świetlnych z rozdzielczością „parsekową" tj. typową np. dla odległości pomiędzy gwiazdami w galaktyce, a po drugie w obiektach tych zachodzą niesłychanie burzliwe procesy objawiające się chociażby ich zmiennością morfologiczną w skali pojedynczych lat! Sztandarowymi przykładami są galaktyka NGC 1275, czy też kwazary 3C 273 i 3C 345, o których „życiu" można by już złożyć paroklatkowe filmy animowane na podstawie obserwacji VLBI z ostatniego tylko dziesięciolecia. Ostatnie (kwiecień 1990) obserwacje 3C 273 z ekstremalną rozdzielczością rzędu ok. 50μsek łuku pokazały, że obiekt ten należałoby wręcz stale śledzić, bo wciąż w nim się „cosik rusa"! Cóż takiego? Ba, oto jest pytanie! Myślę, że do tego gorącego (w każdym sensie) tematu warto będzie powrócić na łamach PA.

A na razie pragnę przedstawić serię obrazów kwazara 3C 286 odległego o 1640 Mpc* dokonanych różnymi systemami interferometrycznymi.

Rysunek 1 przestawia całego kwazara widzianego przez sieć MERLIN na fali 18cm**. Podziałka na tej mapie jest w sekundach łuku. Rysunek 2 to centralny składnik widziany przez Europejską Sieć VLBI na fali 21 cm. I wreszcie rysunek 3 (Globalna Sieć VLBI, λ=50cm) pokazuje czym naprawdę jest ów „centralny składnik" kwazara 3C286. Jest to mianowicie, mówiąc żargonowo, *jet* (czytaj „dżet"), czyli wypływ materii, co do którego wiemy z pewnością przynajmniej to, że dokonuje się z prędkościami relatywistycznymi. Ostatnio 3C286 był obserwowany również na fali 2.3 cm, co pozwoliło na jeszcze głębszy najazd owej „radioastronomicznej kamery" i ujawnienie kolejnych szczegółów. I o tych szczegółach przyjdzie nam opowiedzieć „innym razem".

Zakończmy zatem sprawę „akcentem polskim". Jeszcze w tym pięcioleciu dumą radioastronomów w Polsce będzie mógł być nowy 32 metrowy radioteleskop w Toruńskim Obserwatorium. Jego budowa jest już rozpoczęta, a o jej kolejnych etapach będziemy informować Czytelników *Postępów Astronomii*. Po ukończeniu (w 1993 r.) będzie to największy radioteleskop w Europie na wschód od Renu.

Andrzej Marecki

* Czytelnik zechce sam sobie obliczyć stosunek λ/D (dł. fali do średnicy teleskopu) będący istotą tzw. kryterium Rayleigha dla HST

* przyzałożeniu stałej Hubble'a 100km/s/Mps

** R.E. Spencer i in. (1989), Month. Not. R. Astr. Soc. 240 ,657

Bujne życie Koninek

W Koninkach, niedaleko nowego Obserwatorium Astronomicznego mieszczącego się na górze o nazwie Suhora, odbyło się w dniach 9 – 12 października 1990 r. międzynarodowe sympozjum na temat „Relatywistyczne hadrony w zwartych obiektach kosmicznych". Na 47 uczestników, 12 przybyło z USA, 17 z Polski i 5 z ZSRR. Niewykluczone, że podsumowanie naukowych wyników tego sympozjum ukaże się w następnym numerze PA, o ile organizatorzy zdążą nieco wypocząć po trudach przygotowania konferencji i złożenia do publikacji tekstów wygłoszonych referatów.

Konferencja była niezwykle udana, o czym świadczy fakt, że już planuje się drugą konferencję w Koninkach. Odbędzie się jesienią, a tematyka będzie związana z otoczeniem aktywnych jąder galaktyk. Na razie sformował się, choć jeszcze nie ostatecznie, Naukowy Komitet Organizacyjny w osobach: M. Begelman, J. Krolik, L. Maraschi, B. Paczyński i A. Zdziarski. Do pokonania pozostają problemy organizacyjno – finansowe ...

Marek Sikora

XII Krakowska Letnia Szkoła Kosmologii

Problemy matematycznych metod opisu rozmieszczenia obiektów pozagalaktycznych

Kraków, 3 – 6 września 1990

Odbywające się co dwa lata Krakowskie Letnie Szkoły Kosmologii nabierały stopniowo rozpędu. Począwszy od szkoły V, w roku 1976, gdy po raz pierwszy uczestniczyli w niej wykładowcy zagraniczni, mimo załamania wywołanego stanem wojennym (w roku 1982 szkoła miała lokalny, krajowy charakter) na ogół kolejne szkoły cechowały się coraz większym rozmachem. Jeśli ze szkoły IX (1984) tylko wybrane wykłady mogły się ukazać w *Acta Cosmologica*, to ze szkoły X (1986) ukazało się już oficjalne sprawozdanie (specjalny zeszyt *Acta Cosmologica*) mieszczące na przeszło 200 stronicach teksty większości referatów i dyskusji. Zaś pełne sprawozdanie w postaci pięknie graficznie opracowanego 430-stronicowego tomu wydanego prez wydawnictwo Springera ukazało się ze szkoły XI (1988)*.

Że rozwój krakowskich szkół uległ ponownie załamaniu, tylko częściowo należy tłumaczyć obecnymi trudnościami gospodarczymi Polski. Decydującym był fakt, że dotychczasowy główny organizator szkół dr Piotr Flin został przez fakty zewnętrzne dość gruntownie zniechęcony do dalszego ich organizowania, zaś inne zmiany personalne zaszłe ostatnio w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego spowodowały, iż nie można było znaleźć jego zastępcy ani następcy. W tej sytuacji, kolejna XII Krakowska Szkoła Letnia znów została zorganizowana jako krajowa, z polskim językiem wykładowym, trwała tylko cztery dni i wzięło w niej udział zaledwie 8 osób (nie licząc tych, co wpadały do sali wykładowej na kilka czy kilkanaście minut). Była to więc szkoła prawie cztery razy mniej liczebna niż w roku 1968 pierwsza szkoła w Opolu. W tych warunkach impreza przemieniła się w skromną naradę roboczą.

Szkoła odbyła się pod egidą Polskiego Towarzystwa Astronomicznego oraz Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii, które jej użyczyło bezpłatnie sali wykładowej w samym śródmieściu Krakowa, w lokalu Zarządu Głównego. W ciągu czterech dni – od 3 do 6 września 1990 – omówiono współczesne zagadnienia opisu matematycznego rozmieszczenia obiektów pozagalaktycznych biorąc pod uwagę problemy podejścia trójwymiarowego, jak również na nowo zyskującego na aktualności – dwuwymiarowego. Sporo czasu poświęcono teorii i konkretnym zastosowaniom opisu fraktalnego. Uczestnicy przybyli z Krakowa, Łodzi, Opola i Wrocławia nie tylko nauczyli się nawzajem wielu rzeczy, ale – co ważniejsze – omówili możliwości współpracy we własnych badaniach naukowych.

Ważnym punktem programu szkoły była generalna narada poświęcona pytaniu, czy obecną XII szkołę należy traktować jako uroczysty pogrzeb ciągu krakowskich szkół kosmologicznych, czy też da się znaleźć sposób jego reanimacji i być może dalszego, zdrowego życia i rozwoju. Wbrew pesymistycznym opiniom wielu, w tym niżej podpisanego, znalazła się nowa grupa ludzi z kraju i zagranicy, która ze świeżą energią zamierza się podjąć zarówno wydania w postaci broszury materiałów szkoły XII, jak i kontynuowania organizacji Krakowskich Letnich Szkół Kosmologii. Ostateczne decyzje mają zapaść wkrótce i jest prawdopodobne, że w roku 1992 odbędzie się międzynarodowa XIII szkoła dorównująca poziomem poprzedniczkom o numerach VI, VII, IX, X i XI. Jeśli tak się stanie, będzie to chyba najważniejszy wynik tej skądinąd ciekawej, ale znikomo drobnej imprezy, odbytej w roku 1990 w Krakowie, a tylko dla utrzymania ciągłości noszącej nazwę Szkoły Letniej z kolejnym numerem XII.

Konrad Rudnicki

* Lecture Notes in Physics, tom 332, „Morphological Cosmology" – Proceedings of the XIth Cracow Cosmological School Held in Cracow, Poland, August 22 – 31, 1988, redaktorzy: P. Flin i H.W. Duerbeck, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, 1989.

Teleskop Horyzontalny

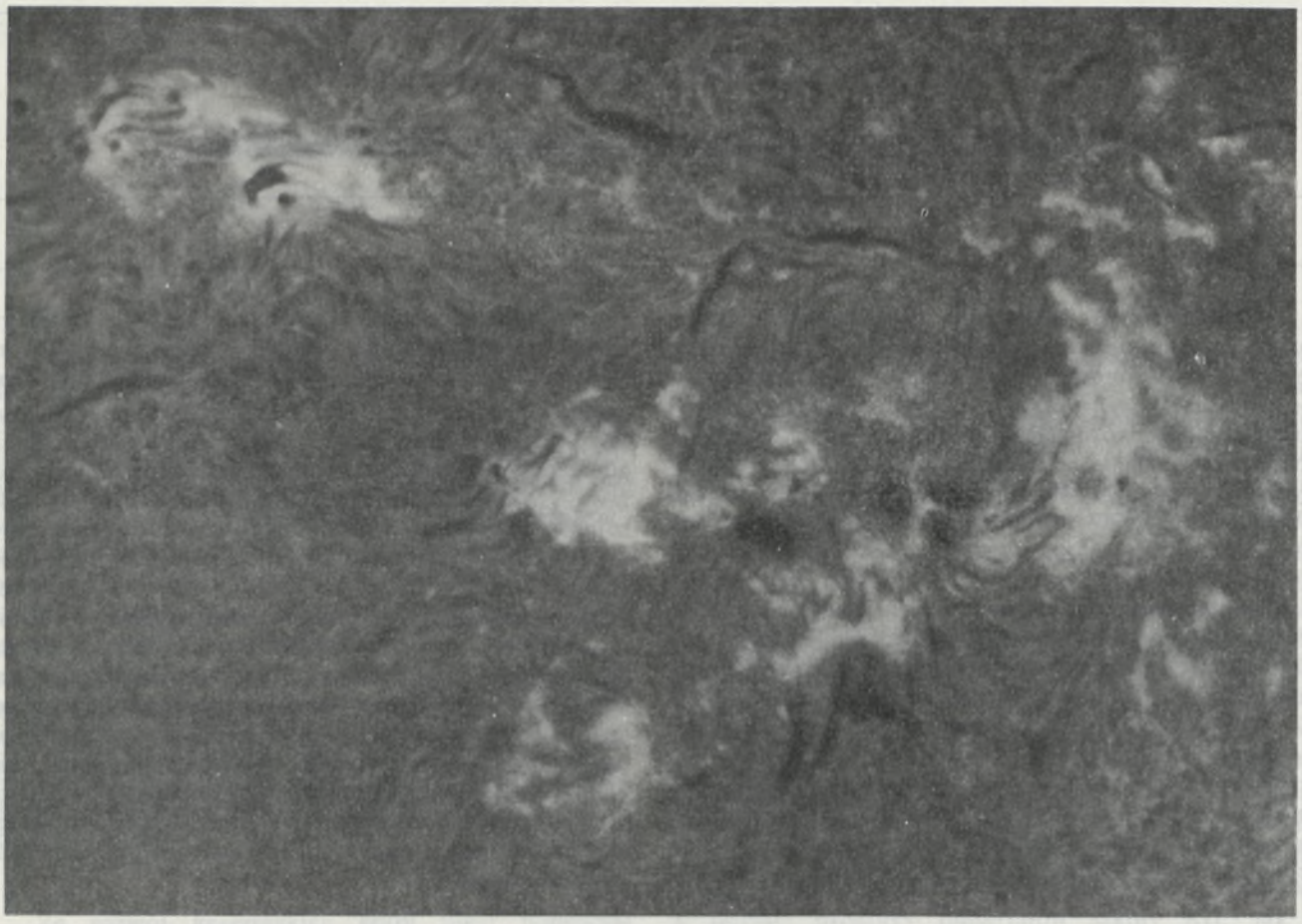
Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego

Podstawowym teleskopem heliofizycznym Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego jest 53-cm koronograf typu Lyota. Koronograf ten pozwala uzyskiwać obrazy o bardzo wysokiej jakości i dużej zdolności rozdzielczej, ma on jednak stosunkowo małe pole widzenia oraz niską prędkość ruchów korekcyjnych, wykorzystywanych do zmiany obserwowanego obszaru. Wiele obserwowanych koronografem na Słońcu zjawisk, jak na przykład erupcja protuberancji aktywnej czy rozwój rozbłysku, przebiega szybko i dla dokonania obserwacji wszystkich faz rozwoju niezbędne jest posiadanie małego teleskopu umożliwiającego jak najwcześniejsze ich wykrycie poprzez obserwacje zmian zachodzących poza polem obserwacji kronografu.

Warunki te spełnia teleskop horyzontalny, zbudowany pod kierunkiem doc. B. Rompolta. Jest to konstrukcja otwarta, z ogniskiem obrazowym znajdującym się w pomieszczeniu ogniska głównego koronografu, dzięki czemu jeden obserwator może wykorzystywać jednocześnie oba teleskopy.

Światło słoneczne kierowane jest na obiektyw główny teleskopu przy pomocy celostatu horyzontalnego typu Jenscha (produkcji firmy Carl Zeiss Jena). Średnica obu luster celostatu wynosi 300 mm, jako napęd dla ciągłego ruchu śledzącego w kącie godzinowym zastosowano mechanizm typu zegarowego, tzw. *Differential Uhrgan*, dla którego sygnały taktujące podawane są z kwarcowego generatora impulsów KZ509A (produkcji „Zopan", Warszawa). Możliwe jest wykonywanie lustrami celostatu ruchów skanujących z prędkością do 2.5°/min w rektascencji i 1°/min w deklinacji. W chwili obecnej ruchy celostatu sterowane są przez obserwatora, lecz budowany jest układ fotoelektrycznego korektora położenia luster celostatu, który oprócz korygowania błędów prowadzenia luster będzie mógł również realizować dowolne, zadane sekwencje zmian obserwowanych obszarów Słońca pod kontrolą mikrokomputera IBM PC/XT. Również automatycznie, w zadanych momentach, wykonywane będą filtrogramy.

Brzeg tarczy słonecznej z efektowną protuberancją



Rozbłyski chromosferyczne na tle tarczy słonecznej

Celostat ustawiony jest na ażurowym postumencie, wzorowanym na konstrukcji wieży teleskopu słonecznego Uniwersytetu w Utrechcie. Nogi postumentu, wykonane z rur stalowych, mają kształt odwróconej litery V i są połączone od góry sztywnym kratownicowym pomostem. Konstrukcja postumentu jest bardzo stabilna, szczególnie odporna na drgania skrętne, oraz posiada małą powierzchnię nagrzewaną przez Słońce, dzięki czemu ograniczone jest powstawanie turbulencji otaczającego powietrza. Wielokrotnie, podczas silnego wiatru uniemożliwiającego obserwacje koronografem, dokonywane były cenne obserwacje przy pomocy naszego teleskopu horyzontalnego.

Obiektyw główny jest tripletem achromatycznym o średnicy 150 mm i ogniskowej 5 m (światłosiła 1:33). Teoretyczna zdolność rozdzielcza teleskopu (0.9") odpowiada typowej, określonej przez *seeing*, zdolności rozdzielczej teleskopów ustawionych nisko nad poziomem morza. Wiązka światła z obiektywu głównego odbijana jest przez pomocnicze zwierciadło diagonalne do modułu kamery $H\alpha$, gdzie wykonywane są filtrogramy, lub też może być skierowana na szczelinę wejściową spektrografu 53-cm koronografu, gdyż teleskop został tak ustawiony, że jego oś optyczna leży w płaszczyźnie głównej spektrografu.

Moduł kamery $H\alpha$ składa się z filtru interferencyjno-polaryzacyjnego o paśmie przepuszczania 0.5 Å (produkcji firmy „DayStar", USA) oraz automatycznej kamery fotograficznej. Dzięki zasosowaniu filtru o tak wąskim paśmie przepuszczalności możliwe jest dokonywanie obserwacji zjawisk na tarczy słonecznej oraz nad brzegiem tarczy bez przesłaniania światła samej tarczy.

Obserwacje zjawisk nad brzegiem tarczy obejmują wyszukiwanie protuberancji aktywnych dla obserwacji koronografem oraz rejestrację zmian ich budowy i natężenia emisji, choć utrudnieniem jest to, że materia, której prędkość radialna przekracza ~ 12 km/s, staje się, w wyniku działania efektu Dopplera, niewidoczna. Zdjęcia zjawisk nad brzegiem tarczy wykonywane są z czasami ekspozycji 0.5 s i 1 s (fot. 1)

Obserwacje zjawisk na tarczy obejmują: wykrywanie oraz rejestrację zmian budowy i natężenia emisji rozbłysków chromosferycznych z jednoczesnym wskazaniem ich położenia dla obserwacji koronografem, selekcję obszarów o strukturze wskazującej na duże prawdopodobieństwo wystąpienia rozbłysku oraz rejestrację ogólnego wyglądu całej tarczy Słońca. Zjawiska na tarczy fotografowane są z czasami naświetlania 0.125 i 0.07 s (fot. 2).

Kalibracja filmów dokonywana jest poprzez fotografowanie rozogniskowanego obrazu środka tarczy Słońca osłabianego szeregiem filtrów neutralnych o wzrastającej gęstości.

Paweł Rudawy

ZA GRANICĄ... ZA GRANICĄ...

Nowe Towarzystwo

Szybkie zmiany polityczne zachodzące w ciągu ostatniego czasu na świecie znajdują swoje odbicie także w życiu społeczności astronomicznej. W dniach 6 – 8 kwietnia 1990 r. na Uniwersytecie Moskiewskim im. M.W. Lomonosowa odbył się założycielski zjazd Towarzystwa Astronomicznego ZSRR, a w najbliższym czasie ma zamiar rozpocząć działalność Europejskie Towarzystwo Astronomiczne, które swoim zasięgiem obejmie zarówno zachodnią, jak i wschodnią, Europę. Oczywiście trudno określić, jak duże znaczenie będzie miało powołanie tych dwóch organizacji. Jedno jest pewne: istniejące organizacje, takie jak Międzynarodowa Unia Astronomiczna czy Amerykańskie Towarzystwo Astronomiczne (zrzeszające blisko 5000 członków) mają znaczny, choć często pośredni, wpływ na kierunki rozwoju badań i na zakres ich finansowania.

Towarzystwo Astronomiczne ZSRR zostało założone z własnej inicjatywy astronomów (m.in. Yu.N. Efremova, N.G. Botchkarina, W.W. Ivanova), a przygotowania zajęły kilka lat. W zjeździe założycielskim wzięło udział 270 specjalistów z zakresu nauk astronomicznych, pedagogiki astronomii oraz konstrukcji instrumentów. Liczba ta, jakkolwiek znaczna, jest jeszcze niewielka w porównaniu z liczbą ponad 2000 osób czynnie zajmujących się astronomią w ZSRR. Towarzystwo jest organem niezależnym od Akademii Nauk ZSRR i nawiązuje w swej tradycji do założonego w 1878 r., a rozwiązanego w pamiętnym 1932 r., Rosyjskiego Towarzystwa Astronomicznego.

Przewodniczenie Towarzystwu i koordynację jego działań Zjazd powierzył trzyosobowej radzie. W wyniku głosowania, w skład jej weszli: N.G. Bochkarev, W.G. Gorbatski i A.A. Sapar.

Towarzystwo ma za zadanie wspieranie rozwoju badań astronomicznych oraz popularyzację tej dziedziny wiedzy. Między innymi planuje się wydawanie czasopisma publikującego prace naukowe w języku angielskim. Towarzystwo ma też zamiar zwrócić uwagę społeczną na rangę pracy naukowej; nie jest dopuszczalne, aby poziom życia (pensja) naukowca były niższe niż niewykwalifikowanego robotnika, czy wręcz pół–analfabety. Towarzystwo ma nadzieję, że uda mu się zapewnić astronomii uprawianej w ZSRR taką rolę w świecie, jaka odpowiada liczbie i kwalifikacjom działających astronomów.

Na podstawie materiałow dostarczonych „Postępom Astronomii" przez Evgenija M. Trunkovskiego

oprac. B. Czerny

TEST WIEDZY ASTRONOMICZNEJ

Jak to wygląda w szkołach...

Przedsięwzieliśmy program zmierzający do ilościowego zbadania poziomu wiedzy astronomicznej młodzieży szkół średnich. Nie interesuje nas przy tym stopeń opanowania informacji astronomicznych zawartych w programach szkolnych. Ciakawi nas, na ile młodzież świadoma jest Wszechświata – jego ogromu, rozmaitości i dynamiki.

W tym celu ułożyliśmy test składający się z 20 zdań (patrz str. 34). Zadaniem respondentów jest określenie ich prawidłowości (tak, nie, nie wiem). W 1989 roku zebraliśmy 994 odpowiedzi. Próbka nasza jest więc jeszcze niewielka. Jest również niereprezentatywna. Znaczna większość naszych respondentów uczy się w szkołach wielkomiejskich, istotna jest również przewaga dziewcząt (60% próbki). Mimo to dokonaliśmy wstępnej analizy zebranego materiału, a wybrane rezultaty prezentujemy poniżej.

W naszej analizie odpowiedź „nie wiem" traktowaliśmy zawsze jako błędną. Średnia liczba prawidłowych odpowiedzi wynosi 11.0. To bardzo niewiele, zważywszy łatwość testu. Uznaliśmy, że elementarną kulturę astronomiczną, jaką według nas powinien posiadać każdy człowiek ze średnim wykształceniem, mają ci respondenci, którzy udzielili co najmniej 15 prawidłowych odpowiedzi. Stanowią oni 13% całej próbki. Wiedza astronomiczna pozostałych (tzn. 87% młodzieży) jest według naszej oceny niedostateczna. Uderza zwłaszcza znaczna liczba (10% próbki) osób, które prawidłowo odpowiedziały na mniej niż 8 pytań. Jedna osoba określiła poprawnie prawdziwość tylko jednego zdania! Znalazły się tylko 3 osoby, które prawidłowo oceniły wszystkie 20 zdań!!!

Mała liczebność próbki nie pozwala na szukanie subtelniejszych różnic pomiędzy podgrupami badanej populacji. Można jednak pokusić się o pewne sugestie. Jest wyraźna różnica pomiędzy poziomem wiedzy dziewcząt i chłopców, na korzyść tych ostatnich. Dziewczyna udzielała średnio 10.1 prawidłowych odpowiedzi, zaś chłopiec 12.4. Zaledwie 5% dziewcząt posiada zadawalającą orientację w astronomii. Wśród chłopców liczba ta wynosi 23%.

Nie udało się stwierdzić istotnie wyższego poziomu wiedzy młodzieży o zadeklarowanych zainteresowaniach matematyczno–przyrodniczych, a więc z klas o profilu mat–fiz. Również nie widać wyraźnych różnic pomiędzy młodzieżą młodszą (I, II klasa) a starszą (klasy III – V).

Badania są kontynuowane. Zamierzamy powiększyć próbkę do co najmniej 3000 respondentów, oraz zapewnić jej wewnętrzne „zrównoważenie" pod względem płci, miesca zamieszkania, rodzaju szkoły itd.

Autorzy dziękują za współpracę panom Stanisławowi i Januszowi Rokitom, oraz wielu nie znanym nam z nazwiska nauczycielom szkół bydgoskich.

Marek Muciek

Jacek Papaj

Walter Wegner

SYLWETKI ASTRONOMÓW POLSKICH

Antoni Wilk i jego komety

Niewielu Polaków zostało odkrywcami komet. Pierwszym był Jan Heweliusz. Obserwował on wiele komet i trudno dziś z całą pewnością ustalić, które z nich dostrzegł jako pierwszy. Wydaje się jednak, że conajmniej dwie – widoczne w latach 1672 i 1677 – można uważać za komety Heweliusza. Współczesne katalogi komet nie łączą jednak nazwiska odkrywcy z nazwą komety dla obiektów tak dawnych. Pierwszą kometą, w której nazwie pojawiło się nazwisko Polaka, jest więc dopiero kometa Orkisza (1925 I). Została ona odkryta 3 kwietnia 1925 r. przez Lucjana Orkisza w górskiej stacji Obserwatorium Krakowskiego na Lubomirze. Tam też 17 lipca 1936 r. dostrzegł gołym okiem kometę 1936 III Władysław Lis, pracownik gospodarczy Obserwatorium, ale ponieważ był trzecim niezależnym jej odkrywcą, więc nosi ona nazwę komety Kaho–Kozika–Lisa. Warto dodać, że Stefan Kozik też był Polakiem, choć niemal całe życie spędził w Rosji i w literaturze naukowej figuruje jako astronom i geofizyk sowiecki *. Kolejnym odkrywcą, i to aż czterech komet (1925 XI, 1930 II, 1930 III, 1937 II), jest Antoni Wilk. Ostatnią jak dotąd kometę (1967 II) odkrył Konrad Rudnicki 15 października 1966 r. w obserwatorium na Mt. Palomar.

Kim był rekordzista wśród polskich poławiaczy komet? Z rozsianych po różnych publikacjach informacji biograficznych, które kilka lat temu skrupulatnie zebrał i przekazał Redakcji „Postępów Astronomii" Janusz Kaźmierowski z Kalisza, można się dowiedzieć, że Antoni Wilk urodził się 19 grudnia 1876 r. w Pławowicach, w dawnym powiecie miechowskim, jako syn Andrzeja Wilka i Franciszki, z domu Janowskiej, córki powstańca z 1863 r. W 1898 r. ukończył Gimnazjum im. Sobieskiego w Krakowie, w 1904 r. Uniwersytet Jagielloński, a w 1909 r. uzyskał na na Uniwersytecie Jana Kazimierza we Lwowie stopień naukowy doktora filozofii w zakresie matematyki na podstawie rozprawy „Zarys teorii całek Cauchyego". Pracował jako profesor gimnazjalny matematyki i fizyki najpierw w Kołomyi, Nowym Sączu i Tarnowie, a od 1912 r. w Krakowie. Ale największą pasją jego życia była astronomia. Jej poświęcał każdą wolną chwilę. Był w stałym kontakcie z kierowanym przez prof. Tadeusza Banachiewicza krakowskim Obserwatorium Astronomicznym, w którym doczekał się asystentury w 1927 r., a adiunktem został mianowany w 1934 r. Na krótko przed wojną prowadził też wykłady zlecone z astronomii ogólnej na Uniwersytecie Jagiellońskim. 6 listopada 1939 r. znalazł się w grupie podstępnie aresztowanych profesorów Uniwersytetu Jagiellońskiego i został wywieziony do obozu koncentracyjnego Sachsenhausen w Oranienburgu koło Berlina. Wycieńczony trzymiesięcznym tam pobytem zmarł w kilka dni po wypuszczeniu z obozu, 14 lutego 1940 r. Pochowany został na Cmentarzu Rakowickim w Krakowie.

Curriculum vitae Antoniego Wilka można uznać za poniekąd typowe dla polskiego inteligenta pierwszej połowy XX wieku: wychowanie w atmosferze tradycji popowstaniowych, zrozumienie potrzeby poświęcenia się pracy pedagogicznej, trudne wspinanie się po szczeblach kariery naukowej i wreszcie tragiczne jej przerwanie w następstwie wydarzeń wojennych. Ale w życiu A. Wilka pojawiły się też momenty wyraźnie wykraczające poza te ramy. W dzieciństwie był to kontakt z domem znanej rodziny ziemiańskiej Morstinów w Pławowicach, w którym znaleźli zajęcie rodzice młodego Antka. Jego znajomość, a może nawet przyjaźń z młodszym o kilka lat Ludwikiem Hieronimem Morstinem, przyszłym poetą, dramaturgiem i powieściopisarzem, zaowocowała zainteresowaniami astronomicznymi obu chłopców. Jeden został później astronomem, a drugi napisał książkę o Koperniku „Kłos Panny", w której *nota bene* wspomina towarzysza swych młodzieńczych pasji. W późniejszych latach niezwykłości życiu A. Wilka dostarczyły komety. Myliłby się ten, kto sądziłby, że odkrycie komety to po prostu łut szczęścia. Czasem rzeczywiście tak bywa. Ale najczęściej jest to wynik długotrwałych, upartych poszukiwań, wielu godzin poświęconych żmudnym obserwacjom nieba. I tak też było w przypadku Antoniego Wilka.

Warto tu zacytować słowa, którymi A. Wilk rozpoczyna opis odkrycia swej pierwszej komety (1925d = 1925 XI) w dniu 19 listopada 1925 r. (*Urania*,

* Autor spotkał S. Kozika w Taszkiencie w 1971 r. Ten siedemdziesięcioletni już wówczas mężczyzna posługiwał się piękną, czystą polszczyzną mimo, że od trzynastego roku życia nie był w Polsce.

nr 1/1926, str. 16): *„W ciągu kilku ostatnich miesięcy br. zajmowałem się głównie systematycznym przeszukiwaniem zachodniej strony nieba, posługując się silną lornetką pryzmatyczną Zeissa, zwaną „Binoctar", o 7-krotnym powiększeniu i o średnicy obiektywów 50 mm; od dwóch miesięcy używam także poszukiwacza komet Zeissa o średnicy obiektywu 80 mm i odległości ogniskowej 50 cm, z trzema okularami, dającymi powiększenia 12, 20 i 40-krotne. Ponieważ mieszkam na zachodnim krańcu miasta i posiadam balkon zwrócony na południo-zachód, więc warunki obserwacji zachodniej części nieba są znośne, chociaż częsta mgła i światła okolicznych lamp ulicznych niemało przeszkadzają subtelniejszym poszukiwaniom na niebie."*

Niezależnie od A. Wilka, kometę 1925 XI odkrył 14 listopada amerykański miłośnik astronomii Leslie C. Peltier w Delphos (Ohio). Nosi więc ona nazwę komety Wilka-Peltiera. Obserwowano ją do 31 grudnia 1925 r. Największą jasność, którą kometa osiągnęła na początku grudnia, oceniono na około 7 mag. Na podstawie 164 obserwacji Felicjan Kępiński wyznaczył jej orbitę. Ma ona kształt hiperboli o mimośrodzie równym 1.000505, ale – według obliczeń E. Everharta – jej barycentryczna orbita przed przejściem komety przez układ planetarny była elipsą. Przez peryhelium kometa przeszła 7 grudnia 1925 r. w odległości 0.76 j.a. od Słońca. Kąt nachylenia płaszczyzny jej orbity do płaszczyzny ekliptyki wynosi 145°, czyli okrążyła ona Słońce ruchem wstecznym.

Antoni Wilk z Rodziną – listopad 1910

Cztery lata później A.Wilk odkrył następne komety i to w odstępie zaledwie trzech miesięcy. 20 grudnia 1929 r. dostrzegł kometę 1929d = 1930 II jako obiekt 7 mag. w Lutni. Następnego dnia obserwował ją w Warszawie Maciej Bielicki. Pierwszą orbitę komety wyznaczył Tadeusz Banachiewicz, co umożliwiło A.C.D. Crommelinowi obliczenie jej efemerydy i wykonanie dalszych obserwacji. Śledzono ją do 29 stycznia 1930 r. Na podstawie 212 obserwacji Fryderyk Koebcke poprawił jej orbitę. Okazało się, że przez peryhelium przeszła 22 stycznia 1930 r. w odległości 0.67 j.a. od Słońca. Mimośród orbity jest równy 0.999028, a nachylenie płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki wynosi 124°. Kometę 1930c = 1930 III odkrył A. Wilk 21 marca 1930 r. również jako obiekt około 7 mag. w gwiazdozbiorze Ryb. Największą jasność kometa osiągnęła na przełomie marca i kwietnia, kiedy to oceniono ją na około 5.1 mag. Kometę obserwowano do 3 lipca 1930 r. Jako ciekawostkę dodajmy, że w Obserwatorium Warszawskim, oprócz obserwacji mikrometrycznych prowadzonych za pomocą 16 cm refraktora Merza, M. Bielicki i J. Wasiutyński wykonali jej zdjęcia za pomocą nowo nabytej astrokamery Zeissa zamontowanej na lunecie Heydego. Według słów L. Orkisza („Urania", nr 1-2/1930, str. 20) *„w ten sposób Kometa Wilka zapoczątkowała w Obserwatorium Warszawskim nową metodę badań astronomicznych – astrofotografię"*. Pierwszą, paraboliczną orbitę komety również wyznaczył T. Banachiewicz, a następnie poprawił ją G. Schrutka-Rechtenstamm na podstawie 260 obserwacji. Kometa przeszła przez peryhelium 28 marca 1930 r. w odległości 0.48 j.a. od Słońca. Mimośród jej orbity wynosi 0.992194, a kąt nachylenia płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki jest równy 67°. Dodajmy, że okres obiegu komety wokół Słońca jest szacowany na 485 lat.

Najciekawszą spośród komet Wilka wydaje się jednak ostatnia (1937c = 1937 II), którą A. Wilk odkrył 27 lutego 1937 r. jako obiekt 7 mag. w Rybach. Podobnie jak w przypadku komety 1925 XI, jej współodkrywcą stał się L.C. Peltier, który dostrzegł ją w kilka zaledwie godzin po A. Wilku. W dawniejszych katalogach komet figuruje więc ona pod nazwą komety Wilka-Peltiera. Przez peryhelium przeszła 21 lutego 1937 r., a więc śledzona już była tylko na poperyhelijnej części orbity. Obserwowano ją do 12 maja 1937 r. Pierwszą, paraboliczną orbitę tej komety wyznaczyli J. Febrerr oraz S. Ribot i ich elementy przez wiele lat były podawane w katalogach komet. Gdy w 1981 r. Werner Landgraf poprawił jej orbitę na podstawie 108 obserwacji, okazało się, że jest to kometa krótkookresowa obiegająca Słońce w okresie 187 lat (krótkookresowymi przyjęto traktować komety o okresach krótszych od 200 lat). Współczesne katalogi komet nazywają ją więc kometą P/Wilka. Jej odległości peryhelium i aphelium wynoszą odpowiednio 0.62 i 64 j.a., a mimośród orbity jest równy 0.981. Porusza się w płaszczyźnie nachylonej do płaszczyzny ekliptyki pod kątem 26°. 31 marca 1937 r. zbliżyła się do Ziemi na odległość 0.57 j.a., a jak obliczyli A.Carusi i G. Valsecchi, w okresie lat 1585-2406 nie zbliżyła się i nie zbliży do żadnej z planet na odległość mniejszą od 0.5 j.a. Wydaje się więc, że okrąża ona Słońce po stosunkowo stabilnej orbicie, z czego można wnosić, że należy do starych komet.

Podsumowaniem tych informacji o najznakomitszym polskim łowcy komet i jego osiągnięciach niech będą słowa zmarłego kilka miesięcy temu słynnego japońskiego odkrywcy 12 komet, Minoru Hondy, który proszącym go o radę, jak odkrywać komety, pisał: „Jeśli potrzebujesz odkrycia komety, natychmiast zaprzestań poszukiwań, w przeciwnym razie poszukiwania wytrwale prowadź dalej". Życie i dzieło Antoniego Wilka są słów tych potwierdzeniem.

Krzysztof Ziołkowski

Recenzje

„A BRIEF HISTORY OF TIME", S. Hawking, Bantam Press 1988

Autora tej książki* zapewne nikomu przedstawiać nie trzeba. Stephen Hawking jest jednym z najsłynniejszych żyjących fizyków. Wśród kosmologów i astronomów sławę przyniosły mu przede wszystkim twierdzenia o osobliwościach w ogólnej teorii względności oraz wykazanie, iż czarne dziury promieniują tak, jak czarne ciała. Wśród szerokiej publiczności sławę przyniosła mu recenzowana tutaj książka, która przez długi czas była światowym bestsellerem. W kampanii reklamowej wykorzystywano dość natrętnie chorobę Hawkinga - jest on przykutym to wózka, ciężko chorym człowiekiem, który z innymi porozumieć się może tylko za pomocą komputera. To umożliwiło uczynienie z Hawkinga postaci niemal legendarnej, mitycznego uczonego masowej kultury.

Rzadko się zdarza, by książka poświęcona tak ezoterycznym sprawom, jak koncepcje czasu i przestrzeni w fizyce współczesnej, osiągnęła taki sukces handlowy. Nie ulega wątpliwości, że było to ambicją Hawkinga. We wstępie cytuje radę jaką otrzymał – „każde równanie zmniejszy nakład o połowę" – zatem nie ma w książce żadnych równań ($E = mc^2$ to już tylko znaczek ze zbioru symboli kultury masowej). Kolejnym zabiegiem mającym na celu zdobycie czytelników było przyjęcie konwencji stylistycznej zapoczątkowanej przez Einsteina. Jak wiadomo, lubił on przypisywać Bogu różne poglądy, w szczególności te, dla których brak mu było uzasadnienia. Hawking również pisze co i rusz o tym, co Bóg mógł, a czego nie mógł, stwarzając wrażenie, iż fizyka ma rzeczywiście coś do powiedzenia na ten temat. Czy tak jest, to problem wart filozoficznej debaty i nie wypada załatwiać go po prostu zabiegiem stylistycznym.

Pierwszy rozdział poświęcony jest przedstawieniu historii naszych poglądów na czas i przestrzeń. Niestety, Hawking nie ma tu nic ciekawego do powiedzenia. Wiele z jego stwierdzeń jest mylących, wiele banalnych. Na przykład, stwierdza, iż nikt przed Galileuszem nie pofatygował się sprawdzić, czy prędkość spadku ciał zależy od ich masy. Nie jest to prawdą: eksperyment taki wykonał na przykład Joannes Philoponos o dziesięć wieków wcześniej.

Kolejne rozdziały stanowią najlepszą część książki. Hawking omawia kolejno standardowy model kosmologiczny, zasadę nieoznaczoności, oddziaływania elementarne i czarne dziury. Głównym celem Hawkinga jest wykazanie ścisłego związku między kosmologią a fizyką kwantową. Rzecz jasna, konieczność skwantowania teorii grawitacji najlepiej uzasadnić rozważając początkową osobliwość oraz osobliwości związane z czarnymi dziurami. Dyskusja tych zagadnień jest w miarę jasna i teza autora jest dobrze uzasadniona. Czytelnik niewątpliwe może się wiele nauczyć.

Następne rozdziały dotyczą problemów, których wciąż jeszcze nie rozumiemy: początków Wszechświata, pochodzenia strzałki czasu, jednolitego opisu wszystkich oddziaływań. Hawking szczególnie dużo miejsca poświęca dyskusji tzw. funkcji falowej Wszechświata oraz możliwości przejścia do metryki o sygnaturze euklidesowej w rozważaniach dotyczących kwantowej grawitacji. Dyskusja unifikacji opisu oddziaływań elementarnych jest skoncentrowana na teorii superstrun.

Nie ma oczywiście nic złego w popularnym przedstawieniu zagadnień, którymi para się współczesna fizyka. Do zarzucenia Hawkingowi mam tylko, że te wciąż bardzo spekulatywne teorie przedstawił tak, jakby ich status był równie pewny jak na przykład status standardowego modelu kosmologicznego. Może to tylko skłonić czytelnika do przekonania, iż cala nasza wiedza kosmologiczne jest równie słabo uzasadniona.

Warto również zauważyć, że Hawking docenia swój udział w rozwoju fizyki i nie stara się tego ukryć. W przypadku historii tzw. modelu inflacyjnego opis roli, jaką w jego powstaniu pełnił wydaje się zlekka przesadny.

Podsumowując: z książki Hawkinga można się wiele dowiedzieć na temat problemów współczesnej kosmologii, natomiast szansa zrozumienia przez czytelnika proponowanych rozwiązań wydaje się niewielka. Jeśli ktoś chciałby się dowiedzieć, jakie zagadnienia kosmologiczne zrozumieliśmy, dobrze zrobi sięgając raczej do znakomitej książki Weinberga „Pierwsze trzy minuty"; jeśli natomiast ktoś poszukuje zagadek – Hawking dostarcza ich wiele.

Piotr Amsterdamski

* Polskie tłumaczenie tej książki ukaże się wkrótce, wydane przez Wydawnictwo „Alfa", pod tytułem „Krótka historia czasu".

Polskie Towarzystwo Astronomiczne

W lutym 1993 roku minie 70 lat od powołania do życia organizacji zrzeszającej polskich astronomów - Polskiego Towarzystwa Astronomicznego. Okazją do utworzenia tej organizacji były obchody 450 rocznicy urodzin Mikołaja Kopernika, odbywające się w Toruniu. Towarzystwo za cel główny uznało rozwój astronomii uwzględniający potrzeby nauki polskiej w warunkach odzyskanej niepodległości. Chciano, opierając się na ofiarności społecznej, wznieść Narodowy Instytut Astronomiczny pomyślany jako placówka poświęcona wyłącznie pracy naukowej, a służąca całej astronomii polskiej. Uzbierane z darów sumy były jednak zbyt małe. Wykorzystano je więc na zakup i budowę prostych instrumentów obserwacyjnych.

Za najważniejsze osiągnięcie Polskiego Towarzystwa Astronomicznego należy uznać powołanie do życia i wydawanie od 1929 roku centralnego czasopisma naukowego astronomów polskich - „Acta Astronomica". Jego założycielem i redaktorem naczelnym był prof.T.Banachiewicz. Pismo to, wydawane w języku angielskim, jest jednym z kilkunastu pism na świecie publikujących prace naukowe z zakresu astronomii.

W okresie międzywojennym pracami Towarzystwa kierowało dwóch prezesów: prof. T.Banachiewicz a następnie prof. W.Dziewulski. Trzeba podkreślić, że w okresie między wojnami Towarzystwo było organizacją samodzielną - niezależną zarówno od Polskiej Akademii Umiejętności jak i Ministerstwa Wyznań Religijnych i Oświecenia (MWRiO). Działalność była finansowana ze składek członkowskich przy raczej symbolicznym wsparciu MWRiO.

Pierwszy po wojnie Wrocławski Zjazd Astronomów postanowił wznowić z dniem 11 października 1948 roku działalność Towarzystwa. Powołano nowy zarząd, z prezesem prof. E.Rybką, oraz podjęto niezbędne kroki celem rejestracji. Po siedmiu jednak latach, w lutym 1955 okazało się, że na skutek niedopełnienia pewnych (?!) formalności Towarzystwo *de jure* nie istnieje. Władze Polskiej Akademi Nauk, wdrażające sowiecki model kurateli nad nauką, odmówiły jakiegokolwiek popierania i dotowania działalności. Dopiero w marcu 1957, po ponownym „zarejestrowaniu" Towarzystwa w oparciu o zmieniony statut, sytuacja uległa zmianie.

Pracami Towarzystwa kierowało wielu znanych i cenionych astronomów m.in.: prof. W.Zonn, doc. J.Stodółkiewicz, czy prof. A.Opolski. Obecnym Prezesem PTA jest prof. R. Głębocki. Liczebność naszego Towarzystwa wzrastała powoli acz systematycznie - na zjeździe założycielskim w 1948 roku było 24 astronomów, dzisiaj jest 250.

Nowy statut za cel główny Towarzystwa uznał popieranie rozwoju nauk astronomicznych, ich dydaktyki oraz popularyzacji w społeczeństwie. Towarzystwo jest również określane jako zrzeszenie o charakterze naukowym, a więc jego członkami mogą być tylko osoby w sposób czynny uprawiające astronomię. Nie mają takiego wymogu dwa inne towarzystwa działające w kraju: Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii i Polskie Towarzystwo Astronautyczne.

Do jednej z zasadniczych form działalności można zaliczyć organizowane co dwa lata zjazdy referatowe. Prezentowane są na nich najnowsze osiagnięcia naukowe i dydaktyczne astronomów polskich.

Popieranie badań naukowych, szczególnie prowadzonych przez młodych naukowców, dało w roku 1959 początek tzw. „Nagrodzie Młodych". Nagroda jest przyznawana corocznie za najlepsze prace astronomiczne młodych autorów zgłaszane do publikacji w „Acta Astronomica".

Wszyscy zdajemy sobie sprawę jak ważna jest wymiana informacji naukowej między poszczególnymi ośrodkami. Z tych też względów Polskie Towarzystwo Astronomiczne organizuje i współfinansuje szkoły letnie (np: Krakowska Letnia Szkoła Kosmologiczna), tzw. „Wykłady PTA" dla studentów i młodych pracowników naukowych, a także referaty wygłaszane na seminariach naukowych w poszczególnych ośrodkach akademickich.

Nauka nie może działać w próżni - dlatego Towarzystwo dużą rolę przywiązuje do upowszechniania wiedzy astronomicznej w społeczeństwie.

Popierając i poszukując popularyzatorów od ośmiu już lat, w odstępach dwuletnich, przyznajemy Nagrodę im. prof. Włodzimierza Zonna za popularyzację wiedzy o Wszechświecie. Sprawujemy opiekę merytoryczną oraz redakcyjną, w części dotyczącej astronomii, nad miesięcznikiem „Delta".

Od 1953 roku wydajemy kwartalnik „Postępy Astronomii", którego pierwszy numer w zmienionej formie i w zwiększonym nakładzie proponujemy szanownym Czytelnikom.

Marek Sarna

Sekretarz PTA

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

zaprasza

na serie odczytów przeznaczonych dla wszystkich miłośników astronomii. Odczyty odbywają się w semestrze jesiennym i semestrze wiosennym.

Warszawa: *Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Bartycka 18, poniedziałki, godz. 17.00*

Toruń: *sala kinowa Ratusza Staromiejskiego, poniedziałki, godz. 18.00; po wykładzie herbatka w piwnicach domu Kopernika*

Dokładne terminy, tematy i nazwiska wykładowców podawane są na plakatach.

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

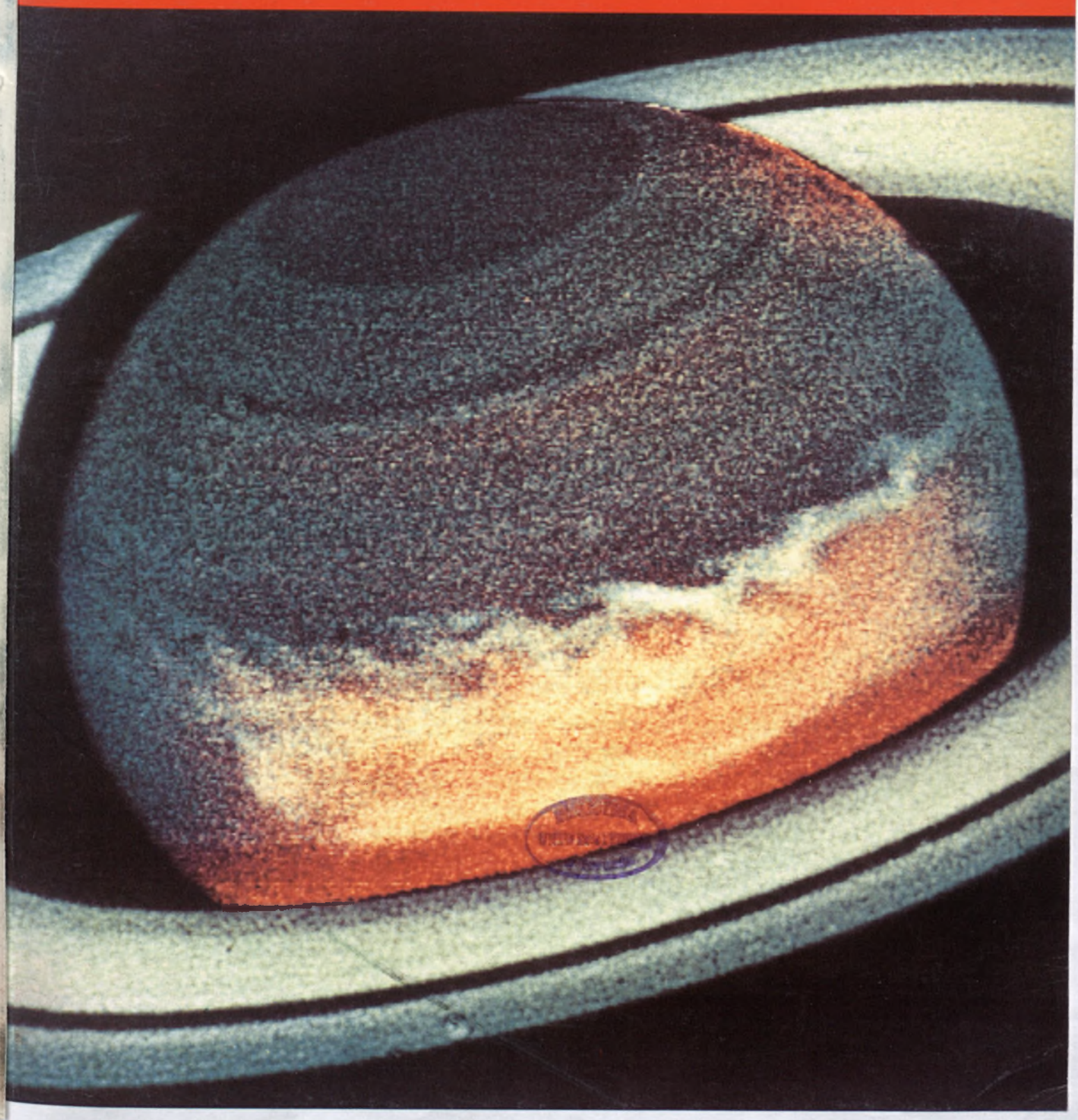
. . . 15-metrową antenę paraboliczną Toruńskiego Obserwatorium Radioastronomicznego Uniwersytetu Mikołaja Kopernika (patrz artykuł wewnątrz numeru).

---

postępy astronomi

TOM 39
ZESZYT 2
KWIECIEŃ – CZERWIEC
1991

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE



POSTĘPY ASTRONOMII

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. Warunki nabywania i warunki prenumeraty – wewnątrz numeru.

Kolegium Redakcyjne:
Bożena Czerny
Joanna Mikołajewska

Projekt okładki:
Tadeusz Jodłowski

Skład komputerowy:
Maciej Mikołajewski
Joanna Mikołajewska

Adres Redakcji:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Materiałów nie zamówionych
Redakcja nie zwraca.

Druk:
Józef Nadworski
Zakład Usług Poligraficznych
Warszawa, Obornicka 22

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . białą plamę, czyli ogromny jasny obłok w atmosferze Saturna, uchwyconą za pomocą jednej z kamer Teleskopu Kosmicznego Hubble'a (patrz notatka wewnątrz numeru). Prezentowane zdjęcie, powstało z połączenia obrazów uzyskanych w dwóch barwach – filtrach, w niebieskim i podczerwonym zakresie widma. Wybór filtrów był podyktowany możliwością prześledzenia ruchów obłoku na tle tarczy Saturna oraz jego rozwoju w kierunku wertykalnym. Dolne części obłoku są zabarwione na niebiesko, podczas gdy wysokie partie na czerwono.

Więcej na temat pierwszych wyników, w tym zdjęcia, z Teleskopu Kosmicznego wewnątrz numeru.

A więc pierwsze koty za ploty... Pierwszy numer POSTĘPÓW ASTRONOMII dotarł, z różnym skutkiem, do Czytelników. Z dostępnością do naszego pisma niestety nie jest jeszcze najlepiej i prenumerata pozostaje najpewniejszym sposobem na kontakt z nami. O warunkach prenumeraty piszemy w innym miejscu. Opinie zbieramy na ogół pochlebne, aczkolwiek zdajemy sobie sprawę, że to na zachętę i dobry początek. Tych krytycznych nie wyrzucamy do kosza, ale będziemy się starali uwzględnić w naszej dalszej pracy.

Przede wszystkim spróbujemy jak najbardziej urozmaicić tematykę i zróżnicować poziom, do nieomal dziennikarskiego włącznie. Problemy trudniejsze, dla Czytelników bardziej zaawansowanych, będziemy się starali wyodrębniać z treści artykułów, tak by z jednej strony nie zaburzyć toku rozumowania, a z drugiej, umożliwić zapoznanie się z nimi nawet mniej wytrawnym miłośnikom astronomii. Rzecz jasna nie chcielibyśmy ulec zupełnej komercjalizacji i pragniemy pozostać interesującą lekturą również dla naszych Kolegów, astronomów. Czy się nam to uda? Czytelnicy ocenią, my zaś postaramy się zamieścić w każdym numerze choć jeden artykuł trudniejszy. Ale nie powiemy który! Przeczytajcie wszystkie i zgadnijcie sami!

Numer drugi, który właśnie oddajemy Czytelnikowi do rąk, jest zdominowany przez dwa tematy. Pierwszy, to Teleskop Kosmiczny Hubble'a, związane z nim kłopoty i pewne rozczarowania, ale też pierwsze uzyskane nim, jak się okazuje jednak rewelacyjne, wyniki. Drugim tematem są gwiazdy. Wszelakie, zwłaszcza kurioza: gwiazdy Wolfa-Rayeta, symbiotyczne, pulsary etc. Powracamy do poszukiwanych w poprzednim numerze czarnych dziur, ale znowu tych malomasywnych, a więc gwiazdowego pochodzenia i stowarzyszonych z gwiazdą w układzie podwójnym. Mamy nadzieję, że niezwykłość prezentowanych obiektów i aktualność związanych z nimi problemów z nawiązką zrekompensuje Czytelnikowi chwilowy brak galaktyk i kwazarów. W rubryce „Z kraju..." prezentujemy kolejny ośrodek astronomiczny, tym razem nie uniwersytecki, Olsztyńskie Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne. Koledzy olsztyńscy chyba zbyt skromnie przedstawiają swoje możliwości i sukcesy. Nim będzie okazja tam powrócić na łamach naszego pisma, radzimy Czytelnikom umieścić Olsztyn na trasie swoich wakacyjnych wędrówek. Numer zamykamy bardzo smutnym, refleksyjnym felietonem wieńczącym próbę napisania recenzji jednej z pseudonaukowych książek, których coraz więcej, niestety, pojawia się na rynku. W przyszlości będziemy starali się częściej korzystać z takich, nietypowych dla tego typu czasopism form, jak felieton, reportaż, odrobina humoru.

Czynimy wysiłek uatrakcyjnienia formy graficznej. Zdajemy sobie sprawę, że z każdym numerem coraz mniej będziemy mogli liczyć na taryfę ulgową. Mamy jednak nadzieję, że również drugi numer sprosta oczekiwaniom.

REDAKCJA

PRZYJMUJEMY

OGŁOSZENIA I REKLAMY

Szczególnie zapraszamy

FIRMY KOMPUTEROWE

oraz

FIRMY PRODUKUJĄCE
SPRZĘT DLA MIŁOŚNIKÓW
ASTRONOMII

W NUMERZE:

53 **Teleskop Kosmiczny Hubble'a** *Tadeusz Jarzębowski*

Długo oczekiwany Teleskop Kosmiczny Hubble'a wreszcie na orbicie! Po pierwszych testach, konsternacja! Teleskop nie daje się zogniskować! Jaki błąd popełniono? Jak temu zaradzić? Czy wystarczy tylko komputerowe „rasowanie" obserwacji? Jakiż jednak to wspaniały instrument skoro uzyskane obrazy i tak są lepsze niż jakiekolwiek otrzymane do tej pory.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A – PIERWSZY ROK NA ORBICIE

Pierwsze wyniki z Teleskopu Kosmicznego: Pluton i Charon – podwójna planeta (55); Pierwsze udane spektroskopowe obserwacje kwazara UM675 (60); Mars (72); Mgławica Oriona (72); Pierścień wokół SN 1987A i nowa ocena odległości do Wielkiego Obłoku Magellana (73); R 136 – młoda gromada gwiazd (78); Wielka Biała Plama na Saturnie (79); R Aquari (80)

57 **Ile pulsarów zawierają gromady kuliste?** *Michał Czerny*

W gromadach kulistych obserwujemy 10 malomasywnych układów rentgenowskich, prawdopodobnie wszystkie, ale tylko niektóre pulsary, około 20. Ile ich jest naprawdę? Czy rzeczywiście miały rentgenowską przeszłość? Czy odpowiedzi na to pytanie mamy szukać na niebie czy raczej w ... piekle?

61 **Kosmiczna menażeria – najdziwniejsze gwiazdy na niebie:**

Czarna dziura w Monocerosie X-1 – zagadka rozwiązana? *Maciej Mikołajewski*

Fascynująca historia ciasnego układu podwójnego Monoceros X-1, od odkrycia w 1975 roku, kiedy był najjaśniejszym rentgenowskim źródłem na niebie, do dzisiaj, kiedy właściwie na pewno wiemy, że zawiera czarną dziurę. Jak ją odkryto ? Skąd się wzięła? I dokąd zmierza ?

74 **Gwiazdy, które parują** *Andrzej Niedzielski*

Z gwiazdami nazywanymi od nazwisk ich odkrywców gwiazdami Wolfa-Rayeta, lub w skrócie WR, wiąże się wiele zagadek. Ich niezwykłe własności sprawiają, że bardziej szczegółowe badania nad nimi pozwalają lepiej zrozumieć budowę i ewolucję gwiazd, strukturę Drogi Mlecznej oraz własności innych galaktyk.

81 **Gwiazdy symbiotyczne** *Joanna Mikołajewska*

Niezwykłość gwiazd symbiotycznych bierze się przede wszystkim stąd, że są to oddziałujące układy podwójne o najdłuższych okresach orbitalnych. W praktyce spotykamy różne kombinacje składników gwiazdowych i oddziaływań między nimi. Cechą wspólną jest obecność chłodnego olbrzyma reprezentującego bardzo zaawansowane stadium ewolucji, bezpośrednio przed ostateczną utratą zewnętrznych warstw i przejściem w stadium białego karła.

87 **W kraju...**

Olsztyńskie Planetarium (87) i Obserwarorium Astronomiczne (88); 33-letnia seria krakowskich obserwacji radiowych Słońca (90); PTMA (91)

92 ***Recenzja?***

94 ***Polskie Towarzystwo Astronomiczne***

95 ***Gdzie i jak kupić POSTĘPY ASTRONOMII?***

oraz krótkie nowinki z różnych dziedzin astronomii

Funkcja mas SS 433 (67); Masywny nadolbrzym, czy obiekt post-AGB (68); Jak zmierzyć stałą grawitacji (69); Astronomiczne Obserwatorium ISO (70)

Listy Czytelników

Czytelnicy odpowiedzieli na nasz apel! Fragmeny (z konieczności) pierwszych listów jakie otrzymaliśmy publikujemy poniżej. Wszystkie listy starannie czytamy. Prosimy o następne. Tę stronę w dalszym ciągu rezerwujemy dla Was. Chcemy, aby przepływ informacji nie był wyłączne jednostronny. Astronomia jest nauką, która od swego zarania po dzień dzisiejszy obchodzi wszystkich, nasuwa wątpliwości, wzbudza emocje. Prosimy więc o listy – krótkie pytania i refleksje. Na pytania, zawarte w listach, postaramy się w paru słowach odpowiadać listownie. Na ciekawsze, również i na naszych łamach. Dalej ciekawi nas opinia Czytelników na temat popularyzacji astronomii oraz jej sposobu nauczania w szkołach. Być może listy takie jak Ani Radziwoniuk nie tylko zdołają wywołać szerszą dyskusję na ten temat, ale poruszą sumienia nauczycieli Ani i Jej koleżanek i kolegów w całej Polsce, skłonią do refleksji naszych Kolegów, nauczycieli akademickich, którzy przecież kiedyś kształcili (o ile lepiej, gdyby można było powiedzieć kształtowali) właśnie tychże nauczycieli. Wreszcie, będziemy wdzięczni za uwagi dotyczące sposobu redagowania naszego pisma. Odpowiedzią na liczne prośby o zamieszczanie kalendarzyka astronomicznego na razie niech będzie zamieszczony wewnątrz numeru Konkurs Fotograficzny oraz informacja o Uranii, tradycyjnie od lat publikującej taki kalendarzyk. Niemniej jednak rozważamy taką możliwość (np. zawsze w ostatnim numerze, na następny rok) i będziemy wdzięczni za dalsze opinie na ten temat.

REDAKCJA

Od kilku lat interesuję się astronomią, ale po raz pierwszy zdobyłem egzemplarz pisma POSTĘPY ASTRONOMII. Bardzo mnie on zaciekawił, przeczytałem go z wielkim zaineresowaniem i entuzjazmem. Takiego właśnie pisma astronomicznego poszukiwałem od dawna – posiadającego formę „Problemów" i zajmującego się interesującymi mnie problemami. Bardzo odpowiada mi tematyka i opracowanie zamieszczonych w piśmie artykułów, w sposob rzeczowy a zarazem przejrzysty wyjaśniają one omawiane zagadnienia. Mam nadzieję, że taki poziom i forma POSTĘPÓW ASTRONOMII zostanie zachowana w przyszłości. Sądzę, że pismu dobrze by zrobiły zamieszczane kolorowe zdjęcia obiektów astronomicznych. Proponowałbym też zamieszczanie przynajmniej skróconych kalendarzyków astronomicznych, które są raczej trudne do zdobycia, a pożytek z nich ogromny. Jestem zaszokowany artykułem „Jak to wygląda w szkołach...". Jeżeli poprzedni test *(to był ten sam test, który publikujemy na str. 34 – przyp. Red.)* był równie banalny jak obecny, to poziom wiedzy astronomicznej jest katastrofalny. Jeżeli ktoś deklaruje swoje zainteresowanie astronomią i odpowiada na kilka z dwudziestu prostych pytań, to według mnie tylko się ośmiesza. Taki poziom wiedzy astronomicznej uczniów nawet piątej klasy tecnikum jest, jak się wydaje, skutkiem niedostatecznej popularyzacji tej wspaniałej nauki. Astronomią w Polsce zajmują się jednostki, lecz to właśnie dla nich, dla tych naprawdę zainteresowanych, powinno się tworzyć dobrze zorganizowane, profesjonalne stowarzyszenia, wydawać czasopisma, organizować sympozja i odczyty z udziałem wybitnych astronomów. Ażeby polska astronomia w przyszłości nie zginęła trzeba to wszystko właśnie uczynić. Dziękuję serdecznie za Wasze pismo, które naprawdę jest wspaniałe.

Paweł Rutkowski – Lublin

Proszę bardzo nie pisać w tym piśmie o Bogu, czy bogach, bo to odstręcza od poważnego traktowania pisma. A, że jesteście niepoważni to fakt, że $E = mc^2$ wg pana Piotra Amsterdamskiego to jakieś głupstwa i nie warto tym sobie zawracać głowy, i że współpracujecie z Czeczotem, a mi osobiście jako człowiekowi wesolemu nie trzeba jeszcze dodatkowych kawałów, żeby mnie uszczęśliwić na siłę, rozweselać, kiedy chcę sobie coś konkretnego poczytać. Po prostu panowie *(w Redakcji jak do tej pory są same panie – przyp. Red.)*, no, nakład wam się zmniejszy. Mam dość milicji. Sam zostałem pobity.

Emil Pakulnicki – Ustka

Jestem uczniem szkoły średniej. Stosunkowo niedawno zaczęła mnie interesować astronomia. Jestem jeszcze na etapie poznawania podstaw tej nauki. Czytam wszystko co mi wpadnie w ręce. Słyszałem o Waszym piśmie, jako o organie przeznaczonym głównie dla specjalistów. Kupując pierwszy zeszyt pozytywnie się rozczarowałem. Większość artykułów napisane zostało w taki sposób, że nawet mnie, młodemu laikowi, który ledwo liznął astronomii, wydały się zupełnie zrozumiałe.

Tomasz Ochryniuk – Białystok

Jestem 14.5-latką. Astronomią interesuję się od około 4 lat. I choć jest to sporo czasu, moje wiadomości nie są duże. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest brak źródeł na ten temat. W bibliotekach można znaleźć ledwie kilka publikacji sprzed 10 i więcej lat. W księgarniach książki astronomiczne są rzadkością. W szkołach podstawowych, gdzie astronomii jest ledwie garstka w fizyce kl. VII, jest ona przez nauczycieli lekceważona. Jak jest w szkołach średnich, mogę się jedynie domyślać, choć z opowiadań siostry wynika, że jest identycznie. Moi rówieśnicy o astronomii w zasadzie nie wiedzą nic. Przykładowo stwierdzenie, że Słońce to najbliższa gwiazda zadziwia ich, cóż więc mówić o kwazarach, czarnych dziurach czy teorii rozszerzania się Wszechświata.

Anna Radziwoniuk – Kojły Os., Nowoberezowo, woj. białostockie

Otrzymałam kwartalnik POSTĘPY ASTRONOMII z wielkim wzruszeniem, gdyż tylko redakcja POSTĘPÓW ASTRONOMII po raz pierwszy po wojnie *(w latach czterdziestych pisała też Urania, ale i tak nam bardzo miło – Red.)* przypomniała o kometach dra A. Wilka, mego Ojca, dla którego pasją całego życia młodzieńczego i dorosłego oraz największą miłością było niebo i gwiazdy. Pamiętam wspaniałe atlasy nieba, lornety różnej wielkości i mapy, potem własne lunety, poszukiwacz komet Zeissa i taras w naszym mieszkaniu, na którym prawie w każdą pogodną noc poszukiwał sam na sam z roziskrzonym niebem tego, o czym marzył całe życie, pracowite i skromne.

Irena Wilk–Kosińska – Koszalin

Bezpłatną prnumeratę POSTĘPÓW ASTRONOMII wylosował Tomasz Ochryniuk z Białegostoku –

Redakcja.

Teleskop Kosmiczny Hubble'a

Tadeusz Jarzębowski

Długo oczekiwany Teleskop Kosmiczny Hubble'a wreszcie na orbicie! Po pierwszych testach, konsternacja! Teleskop nie daje się zogniskować! Jaki błąd popełniono? Jak temu zaradzić? Czy wystarczy tylko komputerowe „rasowanie" obserwacji? Jakiż jednak to wspaniały instrument skoro uzyskane obrazy i tak są lepsze niż jakiekolwiek otrzymane do tej pory.

Dnia 24 kwietnia ubiegłego roku wahadłowiec Discovery umieścił na okołoziemskiej orbicie teleskop nazwany imieniem Edwina Hubble'a. Mówiło się, że rok 1990 zapisze się tym samym do przełomowych w historii astronomii; to miałby być początek nowej ery – ery Teleskopu Kosmicznego, ery HST (od *Hubble Space Telescope* – red.). Jako że jednak *errare humanum est*, nie będzie to niestety ów *annus mirabilis* dla astronomii. Trzeba jeszcze trochę poczekać.

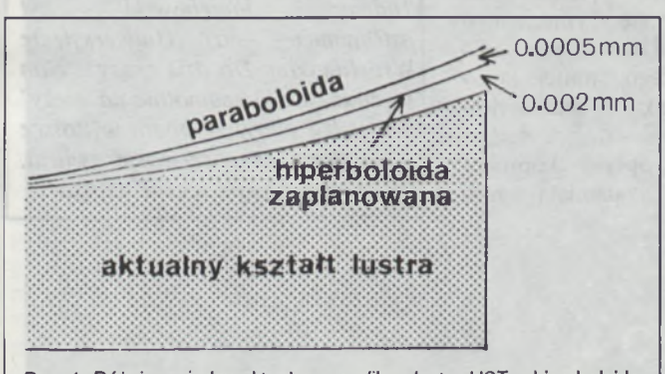
Zasadniczym czynnikiem, który miał tak radykalnie wyróżnić HST od teleskopów naziemnych, miała być nie osiągalna z powierzchni Ziemi wysoka zdolność rozdzielcza. Oko ludzkie może dostrzec oddzielnie dwie gwiazdy, gdy ich odległość na sferze niebieskiej wynosi przynajmniej 100"; przy pomocy większych teleskopów rozdzielimy gwiazdy odległe o jedną sekundę łuku; natomiast zdolność rozdzielcza umieszczonego ponad atmosferą ziemską Teleskopu Kosmicznego miała wynosić 0".1 – 0".05.

I oto, po ubiegłorocznej kwietniowo–majowej euforii, od czerwca wielka konsternacja. Wprowadzony na orbitę teleskop nie przekazywał ostrych obrazów! W amerykańskiej telewizji zaczęły pojawiać się złośliwe dowcipy na jego temat, w *Sky & Telescope* zamieszczono artykuł pod sparodiowanym tytułem „The Hobbled Space Telescope" - i wielu astronomów wyrażało obawy, że tyluletni wysiłek włożony w budowę teleskopu może być zmarnowany.

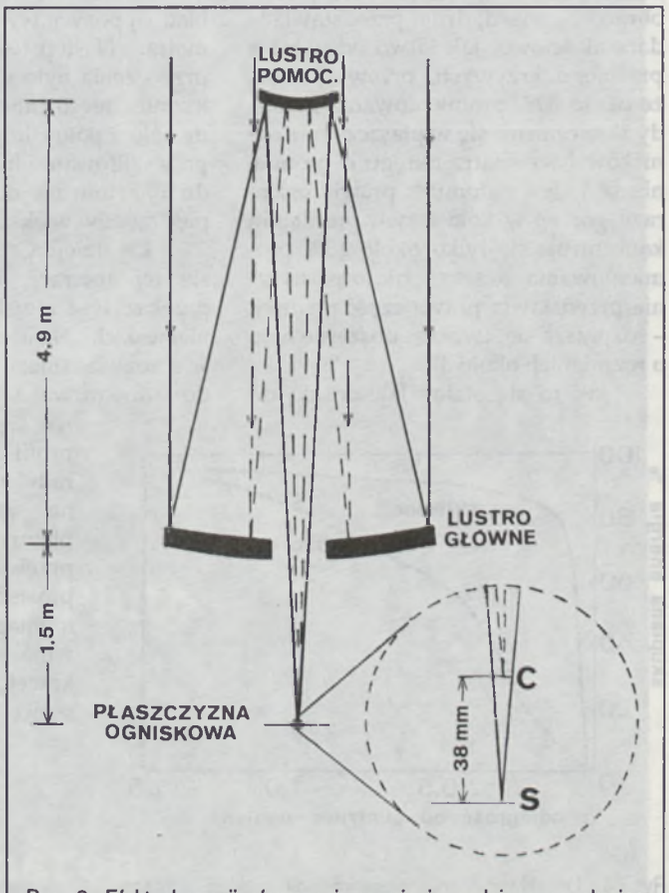
Dziś już dobrze wiadomo co się stało: główne lustro (o średnicy 2.4 m) ma kształt nieco inny od zaplanowanego. W zestawieniu z profilem przewidzianym w obliczeniach, przekrój powierzchni lustra odpowiada hiperboli nieco bardziej rozwartej. Występuje zatem rozbieżność, która wzrasta w miarę oddalania się od środka lustra, dochodząc na skraju do wartości 0.002 mm (rys.1).

Dwie tysięczne milimetra – czyli 2000 nanometrów. Zestawiając tę wartość z długościami fal świetlnych, widzimy, że jest to liczba czterokrotnie większa niż długość fali promieniowania widzialnego. A to już niedobrze! Jak bowiem wiadomo, w urządzeniach optycznych nierówności powierzchni nie powinny przekraczać $\lambda/10$. W teleskopie Hubble'a to kryterium miało być nawet zaostrzone: zakładano, że odstępstwa nie powinny przekroczyć $\lambda/20$.

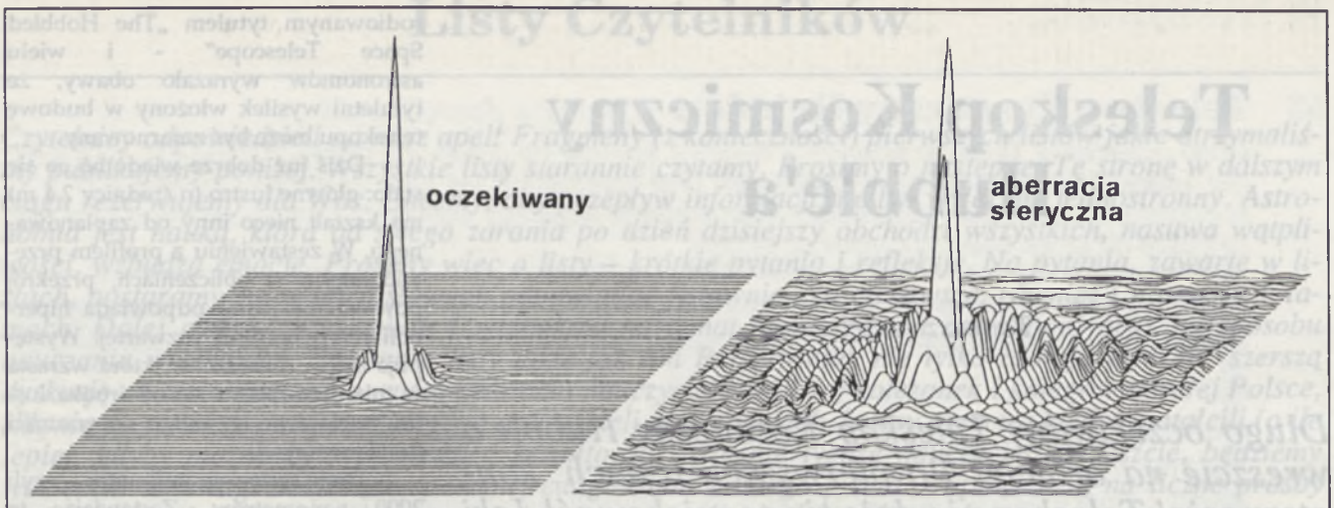
Konsekwencją tego błędu jest znane dobrze w optyce zjawisko aberracji sferycznej. Polega ono na tym, że światło padające na centralne części lustra ogniskuje się w innym miejscu



Rys. 1. Różnica między aktualnym profilem lustra HST a hiperboloidą zaplanowaną. Naszkicowano też dla porównania przebieg profilu paraboloidy.



Rys. 2. Efekt aberracji sferycznej: promienie padające na skrajne części lustra ogniskują się w punkcie S, zaś promienie padające na części centralne - w punkcie C.



Rys. 3. Z lewej strony oczekiwany dla HST rozkład energii w obrazie gwiazdy, z prawej - to samo przy występowaniu aberracji. (W obydwu profilach zawarta jest ta sama ilość energii; są znormalizowane tak, by centralne jasności szczytowe były równe.)

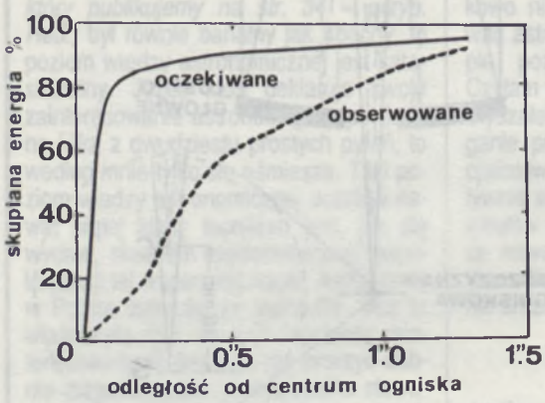
niż promienie padające na lustro bliżej jego krawędzi. W tym konkretnym przypadku promieniowanie ze skraju lustra ogniskuje się o 38 milimetrów dalej niż to, które pada na centralne części lustra. Tę rozbieżność w położeniu ognisk ilustruje rysunek 2.

W następstwie aberracji jakość przekazywanych obrazów winna być oczywiście znacznie gorsza. Zagadnienie ilustrują rysunki 3 i 4. Na pierwszym z nich zestawiono przewidywane i zdeformowane aberracją profile obrazów gwiazd; drugi przedstawia te dane ilościowo. Jak łatwo odczytać z przebiegu krzywych, przewidywano, że około 80% promieniowania gwiazdy skoncentruje się w płaszczyźnie ogniskowej wewnątrz okręgu o promieniu 0".1. Jest natomiast prawie osiem razy gorzej: w kole o tym promieniu koncentruje się tylko około 10% promieniowania. Reszta – jak to plastycznie przedstawia prawa część rysunku – rozprasza się, tworząc obszerne halo o rozmiarach około 3".

Jak to się stało? Jak doszło do popełnienia tak wielkiego błędu? Winowajca został już zlokalizowany; już wiadomo, „gdzie był pies pogrzebany". Prace nad lustrem trwały w latach 1977-81. W końcowej fazie obróbki kształt powierzchni kontrolowano za pośrednictwem specjalnie do tego celu wykonanej aparatury, umieszczonej jedenaście metrów ponad szlifowanym lustrem. Otóż w trakcie konstruowania tego urządzenia jedna z soczewek zamontowana została w niewłaściwej odległości; błąd jej pozycji wynosił około 1.3 milimetra. Następstwem tego właśnie przeoczenia było nadanie zwierciadłu kształtu nieco innego niż zaplanowany. No i pomyślmy, co za paradoks: przy szlifowaniu lustra z dokładnością do 10^{-5} mm nie dostrzeżono błędu o pięć rzędów większego!

Co dalej? Co zrobić, by pozbyć się tej aberracji, by teleskop mógł przekazywać nie skażone obrazy ciał niebieskich? Najidealniejszym oczywiście rozwiązaniem byłoby włożyć go do ładowni wahadłowca, sprowadzić na Ziemię i skorygować profil lustra. Tak radykalnego rozwiązania na razie jednak nie planuje się. Tymczasowo przewidziane jest coś prostszego, mniej kosztownego, a mianowicie wmontowanie dodatkowej optyki kompensującej zaistniałą rozbieżność w profilu lustra. Najbliższe rendez-vous wahadłowca z Teleskopem Kosmicznym przewidziane jest na rok 1993, na kiedy to zaplanowano wyposażenie go w tę korygującą aparaturę.

Tymczasem co każde 97 minut HST obiega naszą staruszkę Ziemię, pracując na miarę swych obecnych możliwości. Wszystko w nim funkcjonuje dobrze, a np. żądany kierunek w przestrzeni utrzymywany jest z dokładnością do 0".007 lub nawet lepszą. Mimo aberracji, jakość obrazów ciał niebieskich jest wyższa w porównaniu z tym co można uzyskać z powierzchni Ziemi (widać to np. dobitnie na wizerunku Plutona z Charonem, str. 55 tegoż numeru). Dane z HST można też udoskonalać w drodze obróbki komputerowej; przykład takiego procesu mamy w zamieszczonym na str. 78 artykule dotyczącym gromady gwiazd R136.



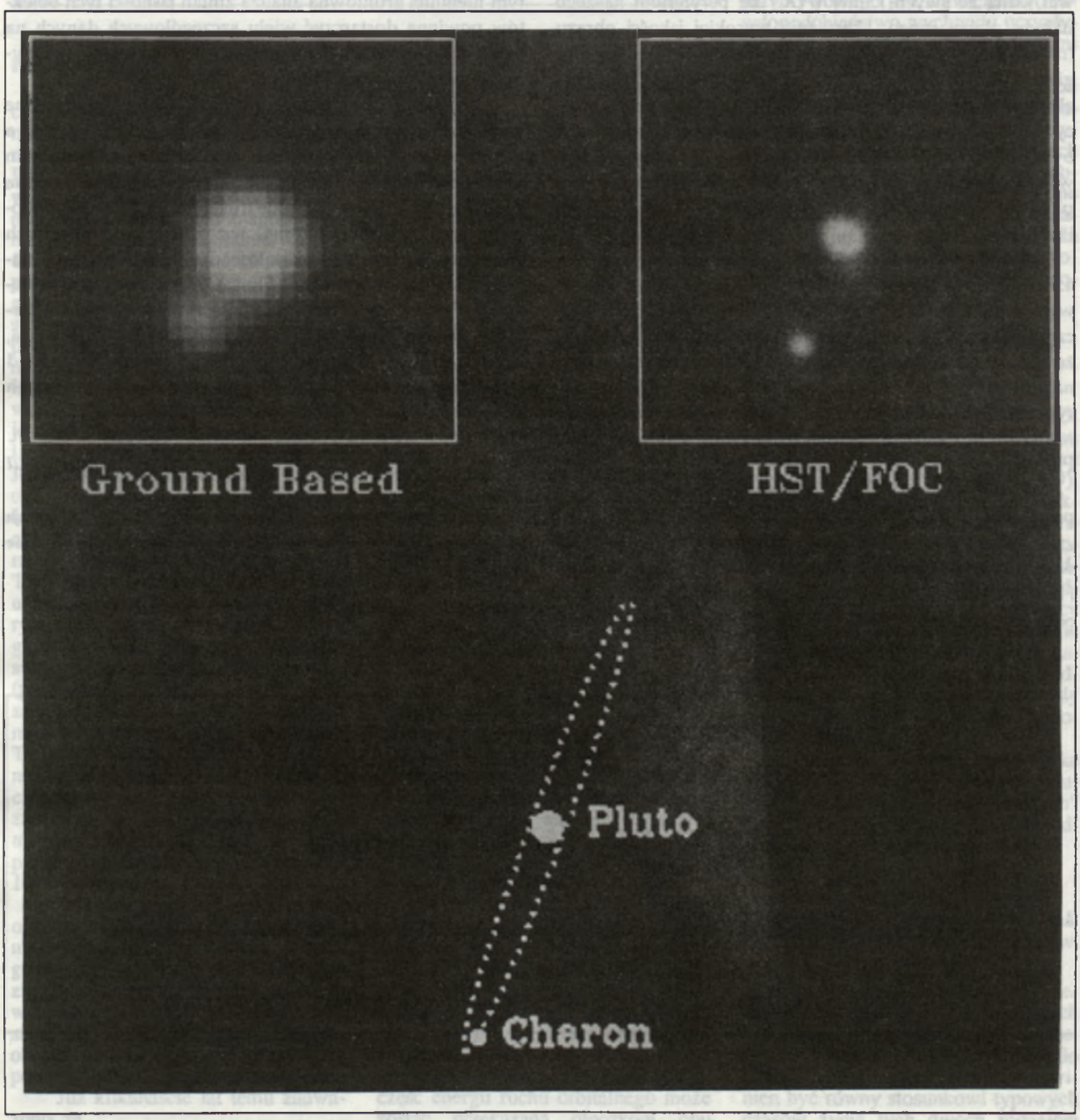
Rys. 4. Oczekiwany oraz obserwowany rozkład natężenia promieniowania w płaszczyźnie ogniskowej teleskopu. Pozycja 0.0 odpowiada centralnemu punktowi ogniska. Dane dla długości fali około 500 nm.

Pierwszy raz korzystamy z pióra Kolegi o pokolenie starszego od pozostałych autorów. Ale za to z najbardziej gorącym tematem! Tadeusz Jarzębowski był astronomem na Uniwersytecie Wrocławskim. Do dziś krąży o Nim legenda, jak to „samotnie na wieży" prowadził pierwsze bodaj w Polsce fotoelektryczne obserwacje gwiazd. Może kiedyś o tym zechce napisać...

PLUTON I CHARON – PODWÓJNA PLANETA

Pluton, dziewiąta i najdalsza planeta w układzie słonecznym, została odkryta 61 lat temu, w Obserwatorium Lowella w Arizonie, przez Amerykanina Clyde'a Tombaugh, po bardzo długich poszukiwaniach. Jej istnienie zostało przewidziane na początku tego stulecia, przez Percivala Lowella, na podstawie nieregularności zaobserwowanych w ruchach orbitalnych Urana i Neptuna. Odkrycie Plutona, który okazał się bardzo niewielką planetą, nie wyjaśniło tych nieregularności. W związku z tym rozpoczęto poszukiwania dziesiątej planety - niestety bez powodzenia. Szczęśliwy odkrywca Plutona uważa, że o ile dziesiąta planeta, nazywana zazwyczaj Transplutonem lub planetą X, rzeczywiście istnieje, musi być ona obiektem słabszym niż około 15^m. Prawdopodobieństwo odkrycia tak słabej planety, jest bardzo niewielkie. Pluton jest jedyną planetą, w pobliże której nie dotarła jeszcze żadna wysłana z Ziemi sonda kosmiczna.

Orbita Plutona jest ze wszech miar osobliwa, o rekordowym nachyleniu, $i \approx 17°$, oraz eliptyczności, $e \approx 0.25$*. Tak wydłużona orbita powoduje, że w ciągu każdego 249-letnie-



go cyklu orbitalnego, przez około 20 lat, Pluton znajduje się bliżej Słońca niż Neptun**. Planeta również w nietypowy sposób, „do góry nogami", wiruje wokół swej osi.

Pluton jest mniejszy niż Księżyc, a jego gęstość, ponad 2 g/cm^3, przewyższa gęstość sąsiadujących z nim planet zewnętrznych. Oznacza to, że planeta nie jest olbrzymią metanową kulą śnieżną i sporą jej część stanowią skały. Największą jednak osobliwością, jest odkryty zaledwie 12 lat temu satelita Plutona – Charon. Średnica Charona stanowi aż połowę średnicy macierzystej planety. Żadna z planet układu słonecznego nie posiada satelity o tak znacznych względnych rozmiarach. Z tego powodu, układ Pluton-Charon przypomina raczej podwójną planetę rotującą z okresem około 6 dni.

Jesienią ubiegłego roku, Teleskop Kosmiczny skierował jedną ze swych kamer (*FOC*) ku peryferiom naszego układu planetarnego. Uzyskanie wysokiej jakości obrazu (na zdjęciu) układu Pluton-Charon wymagało bardzo długiego czasu ekspozycji. Jest to jak dotąd pierwsza tak długa ekspozycja poruszającego się obiektu, uzyskana przy pomocy tego teleskopu. Aby uniknąć rozmycia obrazu niezbędne było opracowanie specjalnego programu, precyzyjnie prowadzącego teleskop za obiektem, uwzględniającego skomplikowane względne ruchy orbitalne Plutona, Ziemi i teleskopu.

Planeta jest obecnie blisko peryhelium, odległa o około 4.5 miliardów kilometrów. Jasny obiekt w ramce, w prawym rogu zdjęcia, to oczywiście Pluton, podczas gdy znacznie słabszy Charon jest widoczny poniżej. Charon jest dużo słabszy niż Pluton, ponieważ ma mniejsze rozmiary oraz najprawdopodobniej dlatego, że jego powierzchnia jest pokryta zwykłym lodem, który mniej efektywnie odbija światło niż szron lub śnieg metanowy pokrywający powierzchnię Plutona.

Orbita Charona (dolna część zdjęcia) jest okręgiem o promieniu około 20000 km, widocznym z Ziemi niemal „z boku". W momencie obserwacji, pozorna odległość kątowa Plutona i Charona wynosiła około 0.9 sekundy łuku i była bliska swojej maksymalnej wartości. Co trzy dni, ta odległość spada poniżej 0.1 sekundy łuku. Wskutek fizycznej bliskości planety i jej satelity, oraz dużej odległości układu, bardzo rzadko udaje się rozdzielić obydwa składniki używając naziemnych teleskopów. Najlepszy jak dotąd obraz (prawa ramka) został uzyskany w bliskiej podczerwieni, z rozdzielczością 0.48 sekundy łuku, przy pomocy nowej kamery CCD 3.6-metrowego teleskopu umieszczonego na Hawajach, w maju 1990. Wyższość obrazu z Teleskopu Kosmicznego jest ewidentna.

Dalsze obserwacje powinny przynieść dużo interesujących szczegółów dotyczących warunków fizycznych panujących na peryferiach układu słonecznego, gdzie średnia temperatura spada do zaledwie 58 stopni powyżej zera bezwzględnego. Wprawdzie rozmycie obrazu spowodowanego aberracją sferyczną głównego zwierciadła teleskopu uniemożliwia uchwycenie szczegółów na powierzchni planet, tym niemniej gruntowna analiza zmian jasności tych obiektów powinna dostarczyć wielu szczegółowych danych na temat ich powierzchni i atmosfer, nieosiągalnych w przypadku teleskopów naziemnych.

Teleskop Kosmiczny umożliwi również precyzyjne wyznaczenie parametrów orbity układu Pluton-Charon, a w konsekwencji, mas i gęstości - wielkości które mogą nam wiele powiedzieć o początkach układu słonecznego. Jedną z możliwości jest powstawanie dużej liczby obiektów podobnych do Plutona i Charona, w zewnętrznych obszarach pierwotnej mgławicy (pozostałości dysku akrecyjnego?) otaczającej świeżo uformowane Słońce. Większość tych „planetarnych embrionów" następnie połączyła się w większe formacje tworząc zaczątki jąder planet-olbrzymów, Jowisza, Saturna, Urana i Neptuna, lub opuściła wewnętrzny układ słoneczny, jedynie Pluton i Charon przetrwały do naszych czasów.

J. Mikołajewska

* Pozostałe planety, wyjąwszy Merkurego ($i \approx 7°$, $e \approx 0.21$), mają praktycznie kołowe orbity ($e < 0.1$), położone w płaszczyźnie ekliptyki ($i < 3°.5$).

** Ostatnio, w latach 1979-1999.

Wszystkie materiały dotyczące pierwszych wyników z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a zawdzięczamy uprzejmości

Dr F. Duccio Macchetto

przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (*ESA*) w Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA. W imieniu Czytelników – serdeczne dzięki!

Ile pulsarów zawierają gromady kuliste?

Michał Czerny

W gromadach kulistych obserwujemy 10 małomasywnych układów rentgenowskich, prawdopodobnie wszystkie, ale tylko niektóre pulsary, około 20. Ile ich jest naprawdę? Czy rzeczywiście miały rentgenowską przeszłość? Czy odpowiedzi na to pytanie mamy szukać na niebie czy raczej w ... piekle?

Pulsary radiowe,

czyli szybko rotujące gwiazdy neutronowe obdarzone polem magnetycznym, można podzielić na dwie grupy. Jedną stanowią obiekty młode (ich wiek nie przekracza typowo 10 milionów lat), których pola magnetyczne mają natężenia z przedziału 10^{11} – 10^{13} gausów. Ewolucja tych pulsarów przebiega w następujący sposób: gwiazda neutronowa zwalnia tempo swojej rotacji, jednocześnie dysypując pole magnetyczne. Gdy pewna kombinacja okresu rotacji i natężenia pola magnetycznego osiągnie określoną wartość, gwiazda neutronowa przestaje emitować promieniowanie radiowe i nie może być wykryta jako pulsar. Jedyną szansą „przywrócenia jej życia" jest ponowne jej rozkręcenie do krótkich okresów skutkiem procesu akrecji (czyli spadania) materii obdarzonej znacznym momentem pędu. Taki proces może zajść w ciasnym układzie podwójnym gwiazd, w którym towarzysz – gwiazda ciągu głównego lub olbrzym – „przelewa" swoją materię na gwiazdę neutronową (por. notatkę o zaćmieniowych pulsarach milisekundowych zamieszczoną w poprzednim numerze na str. 17). Te „ponownie narodzone" pulsary stanowią drugą grupę. Wiek niektórych członków tej grupy może być znaczny, a ich zmierzone pola magnetyczne są słabsze niż pola pulsarów pierwszej grupy i wynoszą 10^{8} – 10^{10} gausów.

W czasie trwania procesu akrecji opadająca na gwiazdę neutronową materia emituje promieniowanie rentgenowskie (o ile ten proces nie jest zbyt gwałtowny). Tak więc obserwowane obecnie źródła rentgenowskie staną się kiedyś pulsarami. Z kolei obecne pulsary z drugiej grupy były poprzednio źródłami rentgenowskimi.

Już kilkanaście lat temu zauważono, że

szczególnie dużo źródeł rentgenowskich znajduje się w gromadach kulistych

– bardzo starych, gęstych skupiskach gwiazd w naszej Galaktyce. Typowa gromada kulista zawiera w przybliżeniu milion gwiazd, a w Galaktyce jest około dwustu gromad, skąd wynika, że zaledwie coś koło jednej tysięcznej gwiazd Galaktyki rezyduje w gromadach kulistych. Z drugiej strony spośród około 50 znanych tzw. małomasywnych układów rentgenowskich aż 10 (czyli jedna piąta) znajduje się w gromadach kulistych. Wydaje się, że różne mechanizmy są odpowiedzialne za powstawanie układów rentgenowskich w gromadach kulistych i poza nimi. Układy rentgenowskie spoza gromad kulistych (tzw. źródła rentgenowskie pola) urodziły się jako układy podwójne. Jak wiadomo bardzo znaczny procent gwiazd Galaktyki znajduje się w układach podwójnych, jednak tylko znikomy ułamek tych układów miał warunki, aby stać się źródłami rentgenowskimi.

Inaczej sprawa wygląda z gromadami kulistymi. Poszukiwania układów podwójnych w gromadach kulistych przeprowadzone w latach siedemdziesiątych dały wynik negatywny, np. w gromadzie M3 spośród ponad 100 przebadanych olbrzymów żaden nie okazał się być członkiem układu podwójnego. Dlatego powszechnie uważa się, że w gromadach kulistych pierwotne (tzn. powstałe w momencie formowania się gwiazd gromady) układy podwójne są bardzo nieliczne. Z drugiej strony, w jądrach najbardziej gęstych gromad kulistych może zachodzić powstawanie układów podwójnych poprzez tzw. wychwyt przypływowy. Polega on na tym, że jeżeli dwie gwiazdy zbliżą się do siebie na dostatecznie małą odległość, część energii ruchu orbitalnego może zostać przekazana otoczkom obu gwiazd (lub tylko jednej z nich). W efekcie dwie gwiazdy początkowo nie związane ze sobą (tzn. o dodatniej energii ruchu orbitalnego) mogą utworzyć związany układ podwójny (o ujemnej energii orbitalnej). Jeżeli jedną z tych dwu gwiazd jest gwiazda neutronowa, a drugą - gwiazda ciągu głównego lub olbrzym, otrzymamy układ podwójny, w którym gwiazda neutronowa zacznie akreować materię dostarczaną przez towarzysza, czyli powstanie źródło rentgenowskie. Ocenia się, że wychwyty przypływowe zachodzą raczej rzadko, jednak wystarczająco często, by wytłumaczyć istnienie 10 źródeł rentgenowskich w gromadach kulistych. Potwierdzeniem tego scenariusza jest fakt, iż źródła rentgenowskie znajdują się w tych gromadach, w których teoretyczne prawdopodobieństwo wychwytu przypływowego jest największe. (Prawdopodobieństwo wychwytu przypływowego poza gromadami kulistymi jest praktycznie równe zeru.)

Teoretycy zauważyli, że jeżeli proponowany mechanizm powstawania pulsarów o słabym polu magnetycznym jest poprawny, to w gromadach kulistych powinna znajdować się spora liczba takich obiektów. Byłyby one pozostałością tych układów, które zakończyły już swój żywot jako źródła rentgenowskie. Dlatego w drugiej połowie lat osiemdziesiątych radioastronomowie rozpoczęli

przegląd gromad kulistych w celu znalezienia pulsarów.

Jako pierwsi sukces odnieśli A.G. Lyne i współpracownicy w 1987 roku odkrywając milisekundowego pulsara w gromadzie M28 (*Nature*, 328, 399). Odkrycie to należy uznać za duży sukces teorii, jako że udało się przewidzieć zjawisko przed jego zaobserwowaniem. (Zwykle jest przecież na odwrót: najpierw obserwatorzy coś odkrywają, a dopiero potem teoretycy starają się to wytłumaczyć.) Obecnie znamy ponad 20 pulsarów w gromadach kulistych; dokładną liczbę trudno jest podać, gdyż praktycznie każdy miesiąc przynosi informacje o nowych odkryciach.

Zachodzi istotne pytanie: jaka jest całkowita liczba pulsarów znajdujących się w gromadach kulistych? Pytanie to jest dlatego ważne, że odpowiedź na nie stanowi

test teorii powstawania i ewolucji zarówno źródeł rentgenowskich, jak i słabo namagnesowanych pulsarów.

Jeśli wszystkie pulsary powstają rzeczywiście z układów rentgenowskich i proces ten przebiega w miarę jednostajnie, to stosunek liczby pulsarów do liczby źródeł rentgenowskich powinien być równy stosunkowi typowych czasów życia tych dwóch rodzajów

obiektów. Czas życia małomasywnego układu rentgenowskiego można otrzymać dzieląc masę początkową towarzysza gwiazdy neutronowej (ok. 1 $M_\odot$) przez typowe tempo przepływu materii (ok. 10^{-9} $M_\odot$/rok); tak otrzymany wynik wynosi miliard lat. Z kolei czas życia pulsarów z całą pewnością nie może być większy niż czas istnienia gromad kulistych, który ocenia się na kilkanaście miliardów lat. Jak napisałem wyżej, znamy 10 układów rentgenowskich w gromadach kulistych. Jest to prawdopodobnie ich całkowita liczba, gdyż skonstruowane dotychczas detektory promieniowania rentgenowskiego są w stanie wykrywać źródła o jasności 10^{36}-10^{38} erg/s (jest to typowa jasność małomasywnego układu rentgenowskiego) znajdujące się w odległościach przekraczających rozmiary Galaktyki, a ponieważ promieniowanie rentgenowskie jest słabo pochłaniane przez materię międzygwiazdową, więc efekt selekcji obserwacyjnej jest nieistotny. Biorąc to wszystko pod uwagę wydaje się, że we wszystkich gromadach kulistych nie powinno znajdować się w sumie więcej niż jakieś 100-150 pulsarów.

Na pierwszy rzut oka mogłoby wyglądać, że te dwadzieścia kilka pulsarów odkrytych do tej pory w gromadach kulistych jest zgodne z powyższym oszacowaniem. Trzeba jednak pamiętać, iż ze względu na znaczne odległości do gromad kulistych (kilka do kilkunastu kiloparseków) współczesne radioteleskopy są w stanie wykrywać jedynie najjaśniejsze obiekty. Większość znanych pulsarów z okolic Słońca nie mogłaby być zaobserwowana, gdyby znajdowały się w gromadach kulistych! Tak więc pulsary odkrywane w gromadach stanowią jedynie „wierzchołek góry lodowej". Aby ocenić prawdziwą liczbę pulsarów w gromadach kulistych, trzeba zastosować

metody statystyczne.

Problem ten zaatakowali S.R. Kulkarni, R. Narayan i R.W. Romani. Ich praca ukazała się w 1990 roku w *The Astrophysical Journal* (356, 174). Autorzy skonstruowali teoretyczny model rozkładu radiowych jasności pulsarów w gromadach kulistych. Przyjęli mianowicie, że jasności pulsarów w gromadach zależą od ich pola magnetycznego i okresu rotacji w taki sam sposób, jak to ma miejsce dla pulsarów pola (warto wspomnieć, że tę obserwacyjną zależność zaproponowali polscy astronomowie M. Prószyński i D. Przybycień), z pewnym – również obserwacyjnie wyznaczonym – rozrzutem. Dalej autorzy założyli, że rozkład logarytmów pól magnetycznych jest stały w przedziale $8 \leq \log B \leq 10$, a rozkład momentów narodzin pulsarów był stały w czasie. Przyjęli też, że tempo powstawania pulsarów w konkretnej gromadzie jest proporcjonalne do wyliczonego prawdopodobieństwa zajścia wychwytu przypływowego.

Kulkarni i współpracownicy starali się ocenić też dodatkowe efekty selekcji obserwacyjnej. Jeden z nich polega na tym, iż pulsary emitują promieniowanie radiowe tylko wewnątrz stożka, którego oś pokrywa się z osią magnetyczną gwiazdy neutronowej. Stożek ten musi trafiać na Ziemię, aby pulsar mógłbyć odkryty. Standardowo uważa się, że kąt rozwarcia takiego stożka jest na tyle mały, iż tylko jedna piąta pulsarów może zostać wykryta. Ostatnio pojawiły się jednak sugestie, że kąty rozwarcia stożków radiowych pulsarów milisekundowych są znacznie większe, i konsekwentnie istotnie większy ich ułamek emituje promieniowanie w kierunku Ziemi. Inny efekt selekcji polega na tym, że trudno jest odkryć pulsara w układzie podwójnym o bardzo ciasnej orbicie (o okresie orbitalnym krótszym niż ok. 10 godzin). Wynika to z faktu, iż w takim układzie skutkiem efektu Dopplera pulsy radiowe nie docierają do nas jednostajnie, i programy komputerowe analizujące zebrane przez radioteleskop dane pod kątem wyszukiwania pulsarów stają się zawodne. Efekt Dopplera działa oczywiście w każdym układzie podwójnym, gdyż gwiazda neutronowa to zbliża się do nas, to oddala; jednak w układach o dłuższych okresach orbitalnych jego wpływ jest mniej istotny. Warto zauważyć, że obecnie znane są już techniki numeryczne, wymagające co prawda wielu godzin czasu na największych komputerach, ale mogące radzić sobie z tym problemem. Techniki te nie były jednak w powszechnym użyciu w momencie powstawania omawianej pracy.

Te wszystkie wyżej opisane założenia i rozważania posłużyły Kulkarniemu i kolegom do znalezienia przewidywanego kształtu rozkładu pulsarów w gromadach kulistych, natomiast znane (w momencie pisania pracy) pulsary posłużyły do wyznaczenia normalizacji. Dzięki temu mogli ocenić całkowitą liczbę pulsarów w gromadach. Ich wynik był następujący: cały system galaktyczny gromad kulistych zawiera około 10 tysięcy pulsarów. Liczba ta jest o dwa rzędy wielkości większa od przewidywanej. Autorzy konkludowali, że wobec tego należy krytycznie przejrzeć wszystkie założenia dotyczące powstawania i ewolucji źródeł rentgenowskich i pulsarów, i zaproponowali kilka możliwości rozwiązania problemu.

Inne podejście zastosowali A.S. Fruchter i W.M. Goss w pracy opublikowanej pod koniec 1990 roku w *The Astrophysical Journal* (*Letters*) (365, L63): nie szukali pojedyńczych pulsarów, lecz badali całkowitą emisję radiową gromad kulistych. Jeśli przyjąć, iż tylko pulsary są odpowiedzialne za emisję radiową gromad, tzn. kontrybucja innych obiektów jest zaniedbywalna (jest to chyba dosyć realistyczne założenie, gdyż widma emisji radiowej z gromad wyglądają jak widma typowych pulsarów), można ocenić ich liczbę. Metoda ta ma szereg

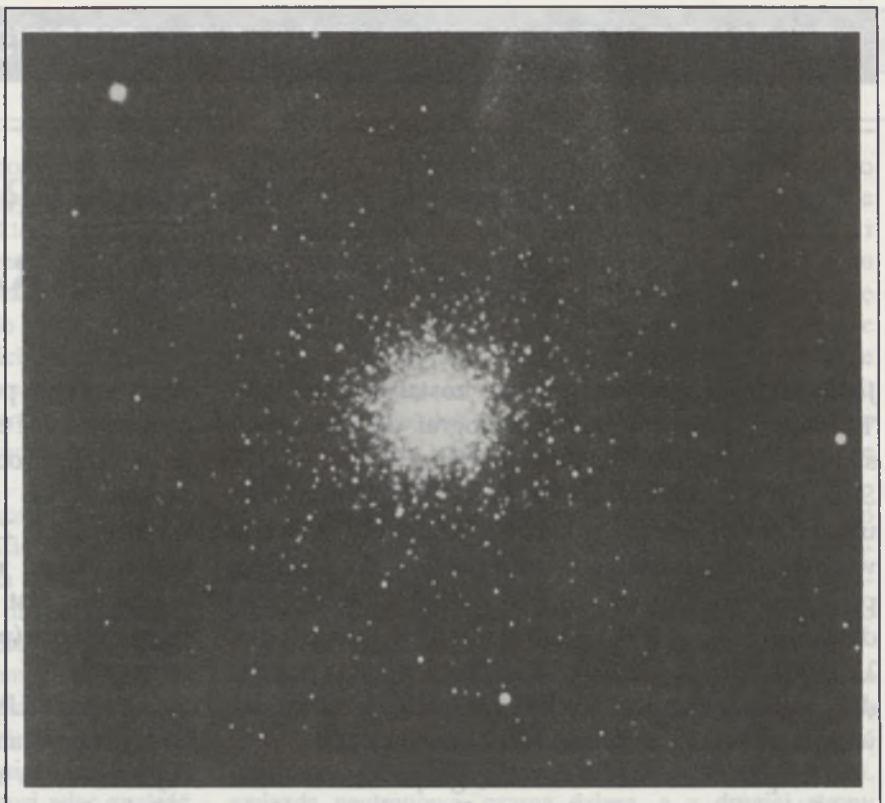
Gromady kuliste liczą do miliona gwiazd. A ilu doliczy się Czytelnik? Może kilkuset?

zalet: jest wolna od efektu selekcji wywołanego efektem Dopplera, nie trzeba też zakładać zależności liczby pulsarów od teoretycznego prawdopodobieństwa ich powstawania. Fruchter i Goss odkryli promieniowanie radiowe z 6 spośród 17 przebadanych gromad kulistych, dla pozostałych znajdując górne ograniczenia na strumień. W celu oceny liczby pulsarów autorzy założyli dosyć uproszczony rozkład ilości pulsarów w funkcji jasności. Przyjęli też, iż minimalna jasność pulsarów jest równa najmniejszej zmierzonej jasności dla pulsarów pola. W ten sposób w szczególności stwierdzili, że gromady Terzan 5 i NGC 6440 zawierają po około 50 pulsarów ze stożkami promieniowania omiatającymi Ziemię.

Aby oszacować całkowitą liczbę pulsarów w całym systemie gromad kulistych w Galaktyce, Fruchter i Goss posłużyli się metodą symulacji komputerowej typu Monte Carlo. Wynik tej procedury sugeruje, iż we wszystkich gromadach istnieje coś między 500 a 2000 pulsarów z wiązkami promieniowania skierowanymi na Ziemię. Ten rezultat, aczkolwiek raczej mniejszy niż Kulkarniego i współpracowników (zgodny tylko wtedy, gdy przyjmiemy górną liczbę Fruchtera i Gossa i mały kąt rozwarcia stożka radiowego), również wyraźnie przewyższa ocenę teoretyczną.

Fruchter i Goss porównali też ilości pulsarów w gromadach o małym i dużym teoretycznym prawdopodobieństwie wychwytu przypływowego. Ich wniosek jest zastanawiający: co prawda w gromadach o dużym prawdopodobieństwie wychwytu pulsarów jest nieco więcej, jednak nie na tyle, by można było powstanie wszystkich pulsarów wytłumaczyć wychwytem przypływowym. Ta konkluzja znalazła swego rodzaju potwierdzenie w odkryciu opublikowanym w tym roku w *Nature* (**349**, 47) przez S.R. Kulkarniego i innych (wśród tych „innych" znowu znajduje się polski astronom A. Wolszczan), poszczególnych pulsarów w gromadach M13 i M53, dla których prawdopodobieństwo wychwytu przypływowego jest bardzo małe.

Jeszcze inaczej problem potraktowali R.A.M.J. Wijers i J. van Paradijs w pracy, która ukazała się w tym roku w *Astronomy and Astrophysics* (**241**, L37). Skorzystali oni z danych Fruchtera i Gossa dla trzech gromad: NGC 6440, NGC 6539 i Terzan 5. Autorzy wykorzystali fakt, że w gromadach tych odkryto poszczególne pulsary. Wijers i van Paradijs stwierdzili, iż są to prawdopodobnie najjaśniejsze obiekty i w ten sposób stanowią górny pułap rozkładu jasności pulsarów w danej gromadzie. Zakładając dolną granicę tego rozkładu (3 razy mniejszą niż Fruchter i Goss) oraz wariując jego kształt autorzy tej pracy dostali, że w tych trzech gromadach *w sumie* musi być mniej niż 40 pulsarów z wiązkami radiowymi skierowanymi na nas. Przeprowadzili oni też ekstrapolację na cały galaktyczny system gromad kulistych stosując dwa różne modele powstawania pulsarów, i w obu przypadkach otrzymali podobny wynik, a mianowicie, że wszystkie gromady zawierają 300–700 pulsarów (ten rezultat uwzględnia już ograniczone rozmiary kątowe stożków radiowych).



Pulsarów we wszystkich gromadach kulistych doliczono się około 20. Ilu zatem się nie doliczono? 10 tysięcy, tysiąca czy stu? Astrofizycy mają trudniejsze zadanie niż Czytelnik przy poprzednim zdjęciu.

Czyli – trzy różne podejścia, trzy różne wyniki. Cała ta historia potwierdza znaną prawdę, że – stosując odpowiednie założenia – statystycznie można otrzymać wszystko... (No, *prawie* wszystko.) Wydaje się jednak, że

rzeczywiście pulsarów w gromadach kulistych jest więcej, niż wynikałoby z najprostszego oszacowania.

Jak wybrnąć z tego problemu? Jest kilka możliwości. Być może czas życia źródeł rentgenowskich jest krótszy – w końcu nie wiemy, jaka jest typowa masa początkowa gwiazdy przelewającej materię na gwiazdę neutronową, a i tempa akrecji wyznaczane są w sposób niepewny. Jeśli czas życia układu rentgenowskiego jest 100 milionów lat, to zmieścimy się w oszacowaniu Wijersa i van Paradijsa, a może i Fruchtera i Gossa. Może być też tak, że część pulsarów powstała poprzez kolaps białych karłów, nie przechodząc wcale przez fazę układu rentgenowskiego. Co prawda teoria mówi, że aby taki kolaps nastąpił muszą być spełnione bardzo specyficzne warunki, ale może takie warunki panują w gromadach kulistych? Wreszcie może okazać się jednak, iż w gromadach kulistych istnieje – wbrew utartemu mniemaniu – spora populacja pierwotnych układów podwójnych, które to układy są odpowiedzialne za powstanie części pulsarów. Ta ostatnia hipoteza tłumaczyłaby także fakt istnienia pulsarów w gromadach, w których prawdopodobieństwo zajścia wychwytu przypływowego jest malutkie. Wszystkie te możliwości należy dokładnie przeegzaminować. Jest masa rzeczy do zrobienia... No i oczywiście warto by poszukać – choć to może być trudne – metody oceny ilości pulsarów w gromadach, która nie zależałaby tak bardzo od przyjętych założeń, jak te wyżej opisane... Bo na razie wydaje się, że jedyna rzetelna odpowiedź na pytanie postawione w tytule brzmi: diabli wiedzą.

Michał Czerny jest astrofizykiem w Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie. Rentgenowskie układy podwójne i... Redakcja, to jego życiowa pasja.

PIERWSZE UDANE SPEKTROSKOPOWE OBSERWACJE KWAZARA UM675

Jednym z przyrządów, w które został wyposażony Teleskop Kosmiczny jest spektrograf do obserwacji słabych obiektów (*FOS*, czyli *FAINT-OBJECT SPECTROGRAPH*). Spektrograf ten, umożliwi uzyskiwanie widm w bardzo szerokim zakresie widma, od dalekiego ultrafioletu do bliskiej podczerwieni. Oprócz widm o niskiej zdolności rozdzielczej, $\lambda/\delta\lambda$ = 250, w jednym z dwóch zakresów, $\lambda\lambda$ 1150 – 5500 A lub $\lambda\lambda$ 1700 - 8500 A, można będzie, dla wybranych, węższych przedziałów, otrzymać widma o średniej zdolności rozdzielczej 1300.

28 października 1990 roku, grupa astronomów pod kierownictwem F. Margaret Burbridge, uzyskała pierwsze widma przy pomocy spektrografu FOS. Obserwowanym obiektem był kwazar UM675, położony w odległości kilku miliardów lat świetlnych od naszej Galaktyki, oddalający się od niej z ogromną prędkością 240,000 km/s (80% prędkości światła!). Celem tych obserwacji było uzyskanie informacji dotyczącej składu chemicznego w bardzo wczesnych etapach rozwoju Wszechświata, a zwłaszcza ocena obfitości helu – drugiego, po wodorze, głównego budulca we Wszechświecie (25 – 30 % masy). Obfitość helu stanowi jednak pewną zagadkę dla astrofizyków. Otóż w przeciwieństwie do cięższych pierwiastków (węgla, azotu, tlenu i pozostałych), które powstały w wyniku reakcji termonuklearnych we wnętrzach gwiazd*, nie więcej niż około 10 % obserwowanej ilości helu pochodzi z gwiazd. A zatem praktycznie cały hel występujący we Wszechświecie powstał poza gwiazdami, zdaniem większości astronomów - w ciągu pierwszych kilku minut po Wielkim Wybuchu, który był początkiem Wszechświata. Nic więc dziwnego, że obserwacje odległych kwazarów (a więc takich jak UM675), pozwalające na ocenę zawartości helu w bardzo wczesnym Wszechświecie (światło obecnie docierające do Ziemi zostało wyemitowane kilka miliardów lat temu!) budzą ogromne nadzieje i emocje wśród astronomów.

Kwazary są ponadto same w sobie bardzo intrygującymi obiektami, generującymi tak ogromne ilości energii promienistej, że bez trudu można je zaobserwować z odległości kosmologicznych. Aczkolwiek od ich odkrycia minęło prawie 30 lat, wiele aspektów ich niesamowitej aktywności czeka na wyjaśnienie. Zdaniem przeważającej większości astrofizyków, najlepszym wyjaśnieniem zjawiska kwazarów jest akrecja materii na supermasywną czarną dziurę (patrz artykuł B. Czerny w poprzednim numerze).

Kwazar UM675, w świetle widzialnym jawi się jako bardzo słaby punktowy obiekt o jasności ~ 18^m, czyli około 6 milionów razy słabszy niż Vega – najjaśniejsza gwiazda letniego nieba. Ponieważ kwazar oddala się od nas z ogromną prędkością, wskutek efektu Dopplera, jego widmo jest silnie przesunięte ku czerwieni. Pozwala to obserwować promieniowanie wysyłane przez UM675 w bliskim ultrafiolecie za pomocą dużych naziemnych teleskopów. Jednakże promieniowanie wysyłane w dalekim ultrafiolecie, a właśnie ten zakres widma obejmuje główne linie produkowane przez hel, jest pochłaniane przez ozon zawarty w atmosferze i dla naziemnych teleskopów niedostępne. Co więcej kwazar jest zbyt słaby aby mógł być obserwowany przy pomocy satelity ultrafioletowego *IUE* (zwierciadło jego teleskopu ma średnicę zaledwie 40 cm!). Kwazar był obserwowany w czasie trzech 33–minutowych sesji, przypadających na trzy różne 90-minutowe obroty teleskopu wokół Ziemi. Uzyskane w ten sposób dane zostały następnie dodane punkt po punkcie w komputerze, co poprawia stosunek sygnału do szumu, w ostatecznym widmie. Na razie wiadomo jedynie, że obserwacje się udały – na wnioski trzeba jednak będzie trochę poczekać.

J. Mikołajewska

* Uważny Czytelnik może znaleźć informację na ten temat w artykule A. Niedzielskiego, w tym samych numerze.

Kosmiczna menażeria – najdziwniejsze gwiazdy na niebie

Poczynając od niniejszego numerzu, proponujemy Czytelnikowi cykl, w którym chcemy prezentować najbardziej dziwaczne obiekty na niebie, obiekty które dostarczają najbardziej spektakularnych i różnorakich zjawisk, wciąż nowych zagadek i niespodzianek. Obiekty, w których wciąż nie wszystko przecież rozumiemy do końca, a jednak to co już wiemy w pełni usprawiedliwia ich wysoką pozycję na firmamencie zainteresowań astronomów. Co to są za obiekty? Nim zaczniemy o nich pisać, zatrzymajmy się na chwilę i uświadommy, czym są gwiazdy „normalne".

Z danej ilości materii o określonym składzie chemicznym może powstać właściwie tylko jeden, ściśle określony rodzaj gwiazdy, dokładnie taki żeby mogła istnieć! Będzie istnieć, jeśli zrównoważy grawitacyjny nacisk ogromnej masy swojej własnej materii. Gaz (doskonały!), z którego zbudowana jest gwiazda utrzyma tak ogromne ciśnienie jeśli posiada odpowiednią do tego nacisku temperaturę. Trochę pomoże mu ciśnienie promieniowania. Jednakże, gwiazda gdzieś się kończy, wypromieniowuje energię, świeci (!), więc się chłodzi. By istnieć musi więc znaleźć źródło energii, które zapewni ciągłe utrzymanie odpowiedniej temperatury dla zachowania właściwego dla danej masy ciśnienia i zrównoważy jednocześnie straty skutkiem promieniowania. Takie źródło energii znajdzie w postaci reakcji syntezy jądrowej, cięższych pierwiastków z lżejszych, z których najbardziej wydajna jest zamiana wodoru na hel i najdłużej pozwoli trwać gwieździe w niezmienionej postaci. Wśród milionów gwiazd dostępnych obserwatorom, większość to właśnie takie, jak nasze Słońce, „normalne" gwiazdy, które znalazły genialny kompromis pomiędzy własną grawitacją i tempem reakcji termojądrowych w swoim jądrze. Astrofizycy nazywają je *gwiazdami ciągu głównego*. Ponieważ materia we Wszechświecie składa się głównie z wodoru i helu i to w proporcjach określonych jeszcze podczas Wielkiego Wybuchu, wszelkie obserwowane parametry tych gwiazd (temperatury, promienie, moce promieniowania, *etc.*) będą zależały właściwie tylko od masy, i na wykresach dowolnych zależności tych parametrów będą układały się wzdłuż jednej linii, skąd nazwa. Gwiazdy te mogą służyć do wyznaczania standardów „normalności" własnej społeczności, do określania struktury Galaktyki, dzięki jednej z nich, Słońcu, żyjemy i możemy o nich rozprawiać. Można je polubić, ale czy można się zakochać ? Można jeszcze poczekać ... kilka milionów lub kilka miliardów lat (to znowu zależy od masy!). W jądrze gwiazdy wyczerpie się wodór (zamieniony na hel), jeszcze trochę wydzierży paląc cienką warstwę na jego powierzchni ale już musi szukać nowych źródeł energii, musi zmienić swoją strukturę. Gwiazda zaczyna ewoluować. Coraz szybciej i coraz bardziej nerwowo: synteza cięższych pierwiastków nie jest już tak wydajna energetycznie. Perspektywa wszak nie wesoła: zgasnąć lub zginąć. Przemienia się więc z karła w czerwonego olbrzyma. Robi się ciekawiej: na szczęście gwiazdy nie powstały jednocześnie i możemy obserwować mnóstwo gwiazd na bardzo różnych etapach ewolucji. Te masywne potrzebują więcej energii do utrzymania własnego ciężaru i ewoluują znacznie szybciej. Pojawiają się różnego typu niestabilności, zaczynają drgać, pulsować, tracą masę wskutek silnych wiatrów gwiazdowych, bywają ogromne chłodne plamy na powierzchni, etc., etc. Ciągle jednak nie odbiega to jakby od naszego schematu „normalności", wszak wszystko, lub nieomal wszystko zależy jednego parametru, masy początkowej. Jednakże pojawiają się zjawiska tak szybkie i przejściowe, że ich nawet przewidziany teoretycznie przebieg możemy obserwować tylko dla pojedyńczych obiektów, czasem jednej, jedynej gwiazdy. Wreszcie, niektóre, zwłaszcza najmasywniejsze, utraciwszy wszelkie możliwości utrzymania ciśnienia utrzymującego ją w równowadze, giną w wybuchu supernowej. Ostatnie takie zjawisko w pobliżu naszej Galaktyki obserwowaliśmy w 1987 roku, ale poprzednią supernową widoczną gołym okiem, miał wielkie szczęście oglądać Johannes Kepler! To co pozostanie po takim wybuchu, gwiazda neutronowa, czarna dziura, a z drugiej strony gwałtownie ekspandująca mgławica w silnym polu magnetycznym, jeśli tylko mogą być obserwowane, stanowią najbardziej unikalne laboratorium fizyczne dla badania ekstremalnych stanów materii. Inną sytuacją która pozwola gwiazdom odejść od opisanego powyżej standardu „normalności" są gwiazdy podwójne. Wprawdzie około połowy gwiazd w Galaktyce wchodzi w skład układów podwójnych, jednakże te w których może zachodzić wymiana masy między składnikami mogą tworzyć najprzeróżniejsze konfiguracje zważywszy zupełną dowolność okresów orbitalnych (odległości) i stosunków mas, a uwzględniając ewolucję, poza setkami klasycznych układów różnego typu, doczekamy się obiektów unikalnych. Tu właśnie spodziewamy się odkryć nowe zjawiska i mechanizmy odziaływania. O różnorodności tych zjawisk i typów zmienności Czytelnik może się przekonać choćby z artykułu o gwiazdach symbiotycznych na innej stronie tego samego numeru. Biorąc pod uwagę, że nie reakcje jądrowe, ale akrecja, przy braku antymaterii we Wszechświecie, jest najpotężniejszym źródłem energii, podczas wymiany masy między członkami układu podwójnego możemy oczekiwać zjawisk najbardziej efektownych.

Tak więc, właśnie gwiazdy w najpóźniejszych stadiach ewolucji i unikalne układy podwójne będą bohaterami naszego cyklu. Takich unikalnych obiektów jest najwyżej kilkadziesiąt. Znaczna część, być może większość, prac z dziedziny astrofizyki gwiazd, dotyczy ich właśnie. Bezustannie śledzone przez teleskopy, często wciąż pozostają zagadką. Ich nazwy, takie jak ε Aur, SS 433, pulsar w Krabie czy Cygnus X-1 zna każdy astronom. Od dzisiaj będziemy się starali dać również szansę naszym Czytelnikom.

M. M.

Czarna dziura w Monocerosie X-1 – zagadka rozwiązana ?

Maciej Mikołajewski

Fascynująca historia ciasnego układu podwójnego Monoceros X-1, od odkrycia w 1975 roku, kiedy był najjaśniejszym rentgenowskim źródłem na niebie, do dzisiaj, kiedy właściwie na pewno wiemy, że zawiera czarną dziurę. Jak ją odkryto ? Skąd się wzięła? I dokąd zmierza ?

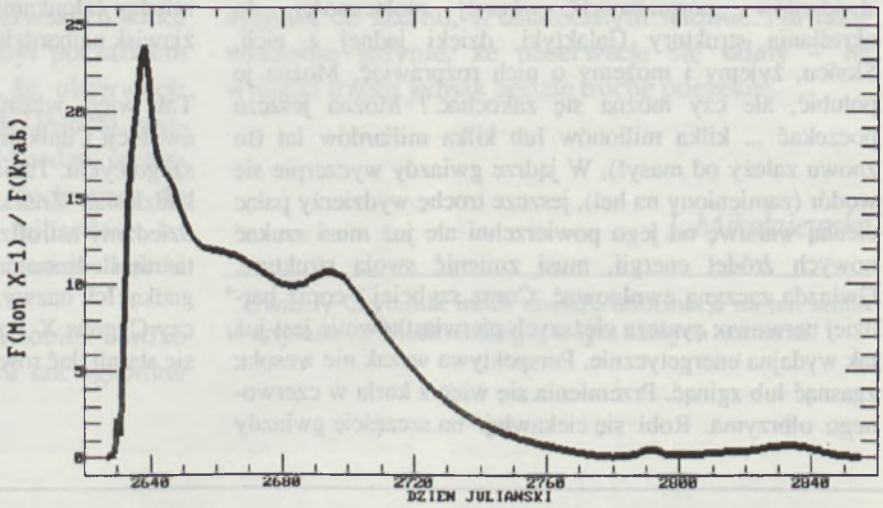
Wybuch

Pierwsza moja przygoda z Monocerosem X-1 miała miejsce latem 1975 roku, kiedy będąc jeszcze studentem spędzałem, wraz z kolegami, obserwacyjne wakacje w Ostrowiku, obserwatorium Uniwersytetu Warszawskiego. Szczęście mieliśmy niebywałe, bo w tym właśnie czasie wybuchła najjaśniejsza gwiazda nowa w ostatnich dziesięcioleciach, Nova Cygni 1975. Obserwowaliśmy ją namiętnie przy użyciu nowiutkiego wówczas teleskopu 60cm z fotometrem fotoelektrycznym. Tak jasna nowa, która czyniła z Łabędzia krzyż równoramienny monstrualnie przedłużając jego ogon, to wielka gratka dla młodego astronoma i być może dlatego zbywaliśmy pogardliwym spojrzeniem sugestie, żeby obserwować również inną nową, w Jednorożcu. Gdzież jej było do naszej! W maksimum osiągnęła zaledwie 12-tą wielkość gwiazdową, a więc była od niej 10 tysięcy razy słabsza. Nie obudziła naszej czujności nawet wiadomość, że właśnie ta druga nowa, stała się na kilkanaście dni najjaśniejszym źródłem rentgenowskim na całym niebie! Do promieni Roentgena mieliśmy wówczas wysoce ambiwalentny stosunek, poprzez walki toczone z Uniwersytetem, który z dużą lubością, poza kolokwiami i egzaminami, trapił nas strzelaniem promieniami X w nasze niewinne płuca, zapewne siedlisko wielu groźnych chorób. Do dziś pamiętam zachwyconą minę Dziekana Zakrzewskiego nad przebiegłością swoich pań w Dziekanacie, które dzięki systemowi tajnie wstawianych parafek potrafiły wykryć podmienioną kartkę w Książeczce Zdrowia Studenta. W ten sposób zawiódł odwieczny sposób unikania szkodliwych promieni, w którym to tylko jeden z kolegów na roku poddawał się owemu eksperymentowi medycznemu, ja zaś trafiłem na dziekański dywanik.

Szczęśliwie żyjemy na planecie bardziej łaskawej dla naszych płuc, której atmosfera nie przepuszcza promieniowania rentgenowskiego i mimo pojawienia się tak jasnego źródła nic nikomu się nie stało. Co więcej, obserwacje możliwe były tylko z kosmosu. 3 sierpnia 1975 roku satelita *Ariel V* na poziomie 15-tu zliczeń na sekundę odkrył źródło rentgenowskie w Drodze Mlecznej, na granicy gwiazdozbiorów Jednorożca i Oriona. W ciągu dziesięciu dni obserwowano już 10 tysięcy zliczeń i obiekt około 25-krotnie przewyższył rentgenowską jasność mgławicy Krab (Rys. 1). Z rozbłyskiem tym skorelowany jest słaby, szybko malejący sygnał radiowy oraz pojawienie się wspomnianego zjawiska gwiazdy nowej: Nova Monoceroti 1975. Po kilku miesiącach gwiazda szybko gaśnie w rentgenie, a nieco później również i w zakresie optycznym osiąga przedwybuchową jasność około $18\text{-}20^{m}$ i trafia do katalogu gwiazd zmiennych jako V 616 Mon. Jednocześnie odkryto na archiwalnych kliszach harvardskich, że ta sama gwiazda wybuchła również już kilkadziesiąt lat temu, w roku 1917 (oczywiście można stwierdzić tylko wybuch optyczny). Z pozoru mogłoby się wydawać jakoby mielibyśmy do czynienia z klasyczną nową powrotną. Nic z tych rzeczy!

Pierwsze podejrzenia

Już ekipa odkrywców, obsługująca eksperyment *Ariel*, zdaje sobie sprawę z niezbyt wielkiej odległości do obiektu, około 600-900 parseków. Prowadzi to do natychmiastowego wniosku, że obiekt w maksimum świecił z jasnością rzędu 10^{38} erg/sek, bliską jasności Eddingtona (dla obiektu o masie typowej dla gwiazdowych), przy której ciśnienie promieniowania równoważy siłę grawitacji. Tak potężnym źródłem samoregulującego się poprzez własne ciśnienie promieniowania rentgenowskiego (a więc wymagającego bardzo wysokich temperatur emitującej powierzchni) może być tylko akrecja na bardzo zwarty obiekt. Teoretycznie, w przypadku akrecji na czarną dziurę, może ona osiągnąć blisko 50% wartości



Rys. 1. Rentgenowska krzywa blasku Monocerosa X-1 względem strumienia mgławicy Krab, wykonana z satelity *Ariel V*.

masy spoczynkowej akreowanej materii (mc^2) nieporównywalnie więcej od maksymalnie kilkuprocentowej wydajności syntezy termonuklearnej. Największa możliwa jasność, jasność Eddingtona, może więc oznaczać możliwie najbardziej zwarty obiekt, a więc czarną dziurę! Podobnego charakteru odważna konkluzja, wymsknęła się rentgenowskim odkrywcom gwiazdy, w przedostatnim zdaniu ich pionierskiego artykułu w *Nature* z 23-go października, blisko trzy miesiące po wybuchu.

Stara znajoma czy stary znajomy?

Jeżeli Monoceros X-1, to *on*. Jeżeli Nova Monoceroti 1975 lub V 616 Mon, to *ona*. A co zrobić z A0620-00 ? No właśnie, to wszystko nazwy tego samego obiektu! Zostawmy jednak problem gramatyczny i spróbujmy rozszyfrować tę ostatnią, nieszczęsną (jakże ją zapamiętać !?), nazwę. „A", pochodzi od *Ariel V*, satelity odkrywcy. Cyfry to współrzędne astronomiczne, pierwsze cztery rektascencja, godziny i minuty, dwie ostatnie deklinacja w stopniach. Być może jednak Czytelnik poprzedniego numeru (artykuł Bożeny Czerny na str. 24) poznaje ten obiekt? Tak, to przecież najlepszy kandydat naszej sympatycznej Redaktorki! Jeśli chodzi o nomenklaturę pozostańmy jednak przy wdzięcznej łacińskiej nazwie Jednorożca, Monoceros X-1. Nie powtarzajmy już tej nie do zapamiętania nazwy pochodzącej od *Ariela*, przy której niebo w zależności od ilości przeczytanych artykułów wydaje się naszpikowane czarnymi dziurami, podczas gdy chodzi wciąż o ten sam obiekt. Można by jeszcze wymienić jego trzy inne oznaczenia według *Ariela*, jako że ten mało rozdzielczy satelita mierzył współrzędne dość po omacku. Lepiej powtórzmy parę podstawowych wiadomości.

Powtórka z czarnych dziur

Normalna gwiazda, zbudowana z gazu doskonałego utrzymuje równowagę dzięki wysokiej temperaturze podtrzymywanej w jej wnętrzu poprzez reakcje syntezy jądrowej. Jeśli jednak wyczerpią się źródła energii, gaz kurczy się, ulega *degeneracji* i równowaga utrzymywana jest dzięki ciśnieniu podlegających zakazowi Pauliego elektronów (które są fermionami). Ponieważ ciśnienie to jest wynikiem zjawisk kwantowych, w równaniu stanu takiej materii praktycznie nie zależy ono od temperatury i w konsekwencji nie może być zrównoważony wzrost masy obiektu, białego karła. Typowy promień białego karła równy promieniowi Ziemi (dla masy około 1 $M_\odot$) maleje do zera dla masy około 1.44 $M_\odot$, czyli jądro gwiazdy o większej masie musi szukać źródeł ciśnienia przy znacznie wyższych gęstościach. Może je znaleźć przy gęstościach bliskich gęstości jądrowej, korzystając z faktu, że tym razem neutrony są fermionami. Taki obiekt, gwiazda neutronowa, o promieniu rzędu kilku kilometrów

PROMIEŃ SCHWARZSCHILDA

prędkość ucieczki z pola grawitacyjnego:

$$V_p = (2GM / R)^{1/2}$$

Zmniejszanie promienia R przy stałej masie M (zwiększanie gęstości) prowadzi do wzrostu prędkości ucieczki aż osiągnie wartość prędkości światła: $V_p=c$

Wówczas już nic, nawet światło nie może z takiego obiektu „uciec" !

Wartość promienia, przy której to zachodzi jest miarą rozmiarów czarnej dziury:

$$R_{Sch} = \frac{2GM}{c^2}$$

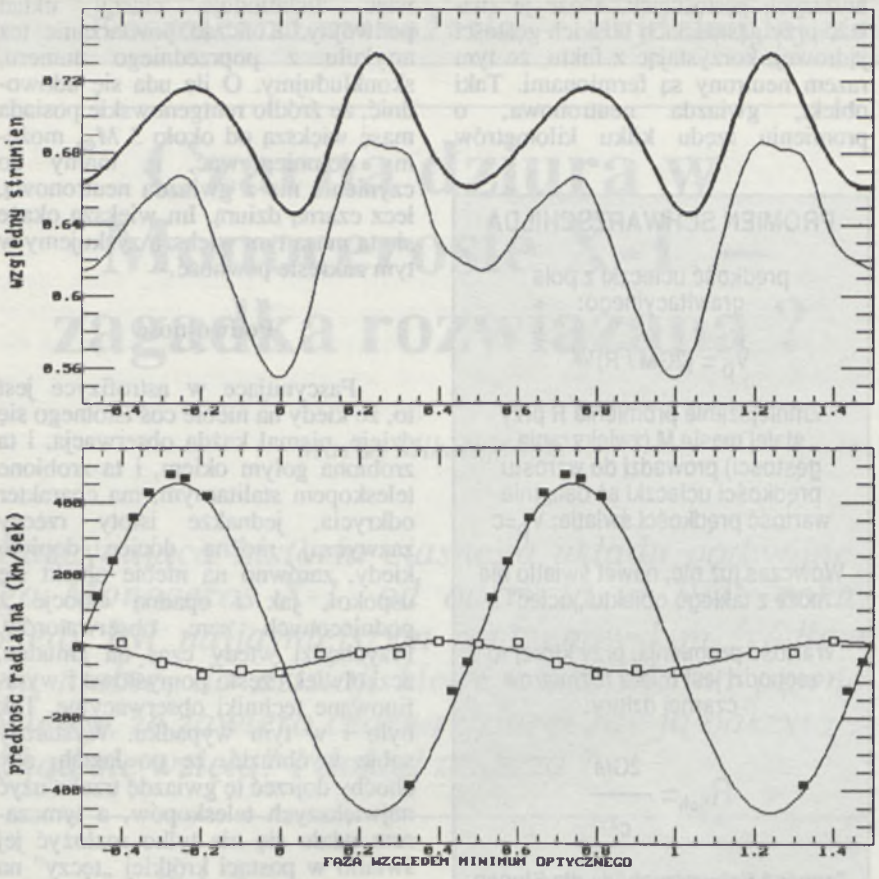
Promień Schwarzschilda dla Słońca wynosi około 3 km, a dla Ziemi około 1 cm.

(przy masie o bliskiej słonecznej) podobnie jak biały karzeł przy pewnej masie musi tracić stabilność. Ta graniczna wartość masy dla gwiazdy neutronowej wynosi nie więcej niż około 3 $M_\odot$ (patrz artykuł w poprzednim numerze, str. 25) to znaczy jeszcze bardziej masywne jądro gwiazdy musi skolapsować do czarnej dziury. Jest oczywiste, że taki niepohamowany, gwałtowny kolaps wyzwala niemal całą zmagazynowaną w gwieździe energię potencjalną pola grawitacyjnego i tworzeniu się gwiazdy neutronowej bądź czarnej dziury towarzyszy wybuch supernowej. Promień Schwarzschilda (patrz ramka), charakteryzujący czarną dziurę, jest bliski promieniowi gwiazdy neutronowej, dlatego nie jest łatwe odróżnić jedne od drugich tylko po poziomie strumienia rentgenowskiego. Przesłanką wskazującą na obecność czarnej dziury jest jednoskładnikowe, pochodzące od dysku, widmo rentgenowskie (takież było obserwowane w Monocerosie X-1). Brak twardej powierzchni powoduje brak krótkofalowej składowej rentgenowskiej, która powinna pochodzić od warstwy granicznej na styku dysku i akretora, i z której powinna pochodzić około połowa wyzwalanej energii. Z drugiej strony, samo pojawienie się widma rentgenowskiego wskazuje obecność makroskopowego źródła materii w pobliżu zwartego obiektu, a więc znamionuje ciasny układ podwójny. Kończąc powtarzanie tez artykułu z poprzedniego numeru, skonkludujmy. O ile uda się udowodnić, że źródło rentgenowskie posiada masę większą od około 3 $M_\odot$, możemy domniemywać, iż mamy do czynienia nie z gwiazdą neutronową, lecz czarną dziurą. Im większa okaże się ta masa tym większą zyskujemy w tym zakresie pewność.

Podwójność

Fascynujące w astrofizyce jest to, że kiedy na niebie coś istotnego się dzieje, niemal każda obserwacja, i ta zrobiona gołym okiem, i ta zrobione teleskopem stalitarnym, ma charakter odkrycia, jednakże istoty rzeczy zazwyczaj można dociec dopiero kiedy, zarówno na niebie obiekt się uspokoi, jak i opadną emocje z podnieconych serc obserwatorów. Przychodzi wtedy czas na żmudne, aczkolwiek często pomysłowe i wyrafinowane techniki obserwacyjne. Tak było i w tym wypadku. Wystarczy sobie wyobrazić, że po latach, aby choćby dojrzeć tę gwiazdę trzeba użyć największych teleskopów, a tymczasem udało się nie tylko rozłożyć jej światło w postaci krótkiej „tęczy" na powierzchni superczułego detektora, ale uzyskane w ten sposób widmo, zarejestrować i zmierzyć. Ale po kolei.

Nim rozpoczęto śledztwo w sprawie obecności czarnej dziury istotne było znalezienie potwierdzenia przesłanek o podwójności źródła. Niestety brak zaćmień rentgenowskich w okresie aktywnym zmusił do żmudnych badań w zakresie optycznym. Już pierwsze widma po maksimum i dalej, podczas spadku blasku, pokazały charakterystyczne dla dysku akrecyjnego płaskie kontinuum z charakterystycznymi, rozdwojonymi profilami linii emisyjnych wodoru (seria Balmera), słabnącymi liniami zjonizowanego helu (HeII) i dwukrotnie zjonizowanego azotu (NIII). Rozdwojenie linii H_α i H_β odpowiadające różnicy prędkości około 900 km/sek charakteryzuje prędkość rotacji dysku w zewnętrznych jego obszarach i oczywiście odpowiada połowie tego rozdwojenia. W miarę słabnięcia dysku zaczęły być widoczne struktury absorbcyjne gwiazdy-towarzysza, karła typu widmowego K (tzn. 1000-1500 K chłodniejszego od Słońca). Wskutek podobnej głębokości minimów (zwłaszcza w zakresie czerwonym) stosunkowo późno uzyskano pewność co do wartości okresu orbitalnego, około 7.8 godzin, podejrzewając początkowo, że może on być dwa razy krótszy. Schematyczny wygląd średniej krzywej blasku w zakresie widzialnym i czerwonym widma pokazuje górna część rysunku 2. Ponieważ widmo w zakresie widzialnym, zawiera również pewien



Rys. 2. *Powyżej*: Krzywe blasku w świetle czerwonym (karzeł typu K - gruba kreska) i w świetle widzialnym (karzeł typu K + dysk akrecyjny - cienka kreska). *Poniżej*: Krzywe prędkości radialnych (*orbity spektroskopowe*) dla składnika wtórnego (karła typu K - wypełnione kwadraty) i składnika głównego (dysku akrecyjnego wokół czarnej dziury - puste kwadraty).

wkład od dysku akrecyjnego, głębsze minimum odpowiada sytuacji kiedy dysk akrecyjny znajduje się między towarzyszem a obserwatorem i odpowiada najgorszej widoczności gorącej plamy na dysku, powstałej skutkiem zderzenia strugi materii wypływającej z towarzysza z krawędzią dysku. Kształt krzywej blasku w zakresie czerwonym w zasadzie jest zdeterminowany przez zniekształcenie (elipsoidalność) wypełniającego, lub prawie wypełniającego powierzchnię Roche'a towarzysza, karła typu K. Autorzy powyższych obserwacji (J. E. McClintock ze współpracownikami) mają nadzieję odtworzyć na tej podstawie dokładny kształt, a raczej zniekształcenie towarzysza (stopień wypełnienia powierzchni Roche'a) i co okaże się bardzo ważne, kąt nachylenia osi układu do promienia widzenia (brak zaćmień wskazuje, że jest on różny od 90° i raczej mniejszy od 80°). Ale co do jednego przynajmniej możemy być pewni. Ciasny układ podwójny!

Najlepszy kandydat

Sensacyjność i waga opublikowanego w 1986 roku artykułu Jeffrey'a McClintock'a i Ronalda Remillarda (Astrophys. J., 308, 110) nie sprowadziła się jednak tylko do ugruntowania fotometrycznych parametrów układu. Korzystając z 4-metrowego teleskopu w obserwatorium Kitt Peak, uzyskali szereg obrazów widmowych. Udało się dokładniej określić typ widmowy towarzysza na K5V i co naważniejsze, używając wyrafinowanych metod, jego orbitę spektroskopową. Autorzy nie mierzyli przesunięć widmowych poszczególnych linii lecz porównywali globalne przesunięcie całego widma względem widm gwiazd standardowych, o typach widmowych od K2 do K7, znajdując najlepsze dopasowanie do obserwowanych struktur absorbcyjnych *(cross-correlation)*. Ponieważ uzyskany w ten sposób wynik (aczkolwiek rewelacyjny) nie w pełni jeszcze zadowolił autorów, na podstawie uzyskanych przesunięć sprowadzili wszystkie widma Monocerosa X-1 do jednej prędkości radialnej (uwzględniając znalezione wcześniej przesunięcia) i uśredniając je uzyskali jedno widmo referencyjne o oryginalnych dla tej gwiazdy liniach absorbcyjnych i średnim kształcie continuum. Teraz ponownie szukano najlepszej korelacji przesuwanego widma referencyjnego względem oryginałów. Uzyskane w wyniku prędkości radialne prezentowane są w dolnej części rysunku 2 (wypełnione kwadraty). Zdaje się jednak, że autorom podczas tych kolejnych przesunięć zgubił się nieco punkt zerowy. Na rysunku zaznaczono zarówno oryginalne obserwacje jak i określone przez autorów najlepsze dopasowanie (sinusoida o wysokiej amplitudzie), która przebiega jakieś 10-20 km/sek poniżej obserwacji (oznacza to złe dopasowanie prędkości środka masy układu). Nie jest jednak celem niniejszego artykułu śledzenie drobnych pomyłek, a zapewne skutków działania chochlika drukarskiego w fundamentalnych pracach naukowych.

Na rysunku 2 można łatwo prześledzić zgodność krzywej prędkości radialnej (orbity spektroskopowej) z krzywą blasku. W fazie 0.0 (minimum fotometryczne) karzeł typu K znajduje się poza składnikiem rentgenowskim i w ruchu orbitalnym porusza się prostopadle do linii widzenia, stąd jej wkład do krzywej wynosi zero i prędkość obserwowana prędkość odpowiada prędkości środka masy układu. W fazie 0.25 gwiazdę widzimy z boku (maksimum blasku skutkiem elipsoidalności) i porusza się ona dokładnie w naszym kierunku (za odchylenie od kierunku radialnego odpowiada wyłącznie nachylenie osi rotacji układu). Obserwujemy więc maksymalnie ujemną wartość prędkości. W fazie 0.50, karzeł widoczny od tyłu (przed źródłem rentgenowskim) w minimalnym przekroju, znów daje minimum blasku i zerowy wkład do prędkości radialnej (ruch prostopadły do linii widzenia). W fazie 0.75 sytuacja symetryczna do fazy 0.25: maksimum widocznego z boku karła i najwyższa prędkość oddalania się od obserwatora. Amplituda prędkości radialnych wynosi $K_2 = 457$ km/sek.

Sytuacja w której można określić krzywą prędkości radialnych tylko jednego składnika układu podwójnego jest niestety bardzo powszechna. Wynika to najczęściej ze znacznej różnicy jasności składników, natomiast w układach z wymianą masy najczęściej widmo centralnego obiektu jest zawoalowane poprzez widmo emisyjne akreującej materii: otoczki, dyski, pierścienie i strugi gazowe. Powstające w tym gazie linie emisyjne mają zazwyczaj bardzo złożone i szerokie profile wskutek skomplikowanych i silnych pól prędkości wewnątrz i wokół układu. W takiej sytuacji określenie mas składników układu wymaga jakichś założeń co do masy jednego z nich i co do kąta nachylenia orbity. Z najprostszych zależności wiążących wielkie półosie orbit składników z okresem i prędkością orbitalną, trzeciego prawa Keplera oraz z faktu, że składniki krążą wokół wspólnego środka mas, można wyprowadzić parametr nazywany *funkcją mas* (patrz ramka). Genialność parametru polega na tym, że będąc jedynie funkcją wartości mas obydwu składników (i kąta nachylenia orbity) można go

obliczyć wyłącznie z podstawowych elementów orbity spektroskopowej jednego składnika: okresu orbitalnego i amplitudy prędkości radialnych (dla orbity kołowej). Największą jego zaletą jest to, że daje absolutne dolne ograniczenie na masę tej drugiej, nieobserwowanej gwiazdy. I właśnie funkcja mas wyznaczona z krzywej prędkości radialnej karła typu K (Rys. 2) w układzie Monoceros X-1, $f(m_2) = 3.2\ M_\odot$ stała się źródłem sporej sensacji. Oto całkiem niespodziewanie małomasywny układ rentgenowski z karłem późnego typu widmowego (w przeciwieństwie do masywnych, np. Cygnusa X-1) awansował do miana najlepszego, nieomal pewnego kandydata na czarną dziurę.

Rozstrzygnięcie problemu ?

Wyznaczona z funkcji mas minimalna masa zwartego obiektu mogła by być przez sceptyków marginalnie akceptowalna dla gwiazdy neutronowej. Wprawdzie różne, bardzo zresztą rozsądne, dodatkowe założenia co do masy towarzysza lub/i geometrii układu (stopień wypełnienia powierzchni Roche'a) prowadzą do podniesienia dolnej granicy do 4-7 $M_\odot$ (patrz również artykuł w poprzednim numerze, str. 25), niemniej jednak przydałoby się mieć bezpośredni, obserwacyjny dowód. Z tym problemem wiąże się moja druga przygoda z Monocerosem X-1. Pod koniec ubiegłego roku miałem jak zwykle ogromną frajdę z wysłuchania jednego z „nieśmiertelnych" seminariów Janusza Ziółkowskiego z Warszawy, w swojej treści przypominającego pierwszą część wciąż polecanego Czytelnikowi artykułu Bożeny Czerny. Nie mogło tam zabraknąć rzecz jasna i Monocerosa X-1. Po raz kolejny ze zdziwieniem odkryłem, że Mon X-1, Nova Mon 1975, V 616 Mon i A0620-00 to ten sam obiekt! A co najważniejsze, mając świeżo przed oczyma tę ostatnią, przeklętą, nazwę, natychmiast po wyjściu z seminarium natknąłem się w bibliotece na ciepły jeszcze tom Astrophysical Journal (259, L47) z pracą Carole A. Haswell i Allen W. Shafer z obserwatorium McDonalda, który zdaje się roztrzygać wszystkie wątpliwości nie tylko entuzjastycznie nastawionych do czarnych dziur J. Ziółkowskiego i B. Czerny, ale i nieliczne rzesze wspomnianych wyżej sceptyków. Natomiast moralna konieczność omówienia tych wyników na łamach naszego pisma doprowadziła mnie do napisania niniejszego artykułu.

Cóż więc takiego udało się odkryć przy pomocy 2.7-metrowego teleskopu w McDonald? Jak się wydaje, udało się zarejestrować ruch orbitalny głównego składnika układu, a dokładniej, dysku akrecyjnego wokół (nazywajmy już sprawę po imieniu) czarnej dziury. Jak już wspomniałem badania takie są niezmiernie problematyczne i opierają się na pomiarach złożonych profili linii emisyjnych powstających w skomplikowanym polu prędkości materii krążącej wewnątrz układu, niestety, nie tylko w dysku. Nic dziwnego, że i tym razem autorzy musieli się uciec do wyrafinowanych metod, zwłaszcza że amplituda zmian prędkości radialnych okazała się około dziesięciokrotnie mniejsza od amplitudy zmian prędkości radialnych towarzysza (Rys.2), co odpowiada zresztą znalezionemu w ten sposób stosunkowi mas (sic!). W pierwszym kroku autorzy uznając, że główne piki rozdwojonego profilu niewątpliwie charakteryzują emisję z dysku akrecyjnego i dopasowując dwa rozseparowane o 900 km/sek profile gaussowskie do obserwowanej linii H_α znajdowali środkowe położenie między pikami jako charakteryzyjące ruch obiektu centralnego. W wyniku, otrzymali wyraźną zmienność w antyfazie do ruchu orbitalnego towarzysza. Zadowoleni z efektu, ale kręcąc nosem na jakość dopasowania próbowli następnie powtarzać całą procedurę dla różnych separacji pików (do 3000 km/sek) uznając za najlepszy wynik, dla którego otrzymano dopasowanie orbity spektroskopowej (sinusoidy!) z najmniejszymi błędami. Ten wynik (K_1 = 43 km/sek) jest prezentowany w dolnej części rysunku 2 (otwarte kwadraty i sinusoida o niższej amplitudzie.

Jak było powiedziane stosunek amplitud krzywych pręd-kości radialnych oznacza, że składnik główny jest około 11 ± 2 razy masywniejszy od karła-towarzysza. Jedyną niewiadomą pozostającą do określenia mas składników pozostaje nachylenie orbity. Nie mniej jednak nawet dla nachylenia i=90° (a przecież zaćmień brak więc jest mniejsze!) otrzymujemy uwzględniając również błąd wyznaczenia stosunku mas, absolutne minimum dla masy czarnej dziury (!), około 3.8 $M_\odot$, co odpowiada masie

FUNKCJA MAS

NAJWAŻNIEJSZE – DLA KAŻDEGO !
(jednostajny ruch kołowy i wnioski)

WAŻNE – DLA ZAAWANSOWANYCH !
(dwie masy)

„PRAWIE" NIEWAŻNE – DLA ZNAWCÓW !
(nachylenie „i" i ekscentryczność „e" orbit; niektóre stałe)

promień orbity kołowej a_2 składnika widocznego (suma wielkich półosi) **w zależności od okresu orbitalnego P i prędkości orbitalnej K_2** *(rzutów maksmalnych prędkości orbitalnych na kierunek radialny)*:

$$a_1+a_2 = \frac{P(K_1+K_2)}{2\pi \sin i}\sqrt{1-e^2}$$

III prawo Keplera:
$$\frac{(a_1+a_2)^3}{P^2} = \frac{G}{4\pi^2}(m_1+m_2) = \text{const}$$

z definicji środka masy:
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} = \frac{K_2}{K_1}$$

kombinacja tych równań daje funkcję mas (dla orbity składnika widocznego):

$$f_2(m) = \frac{m_1^3 \sin^3 i}{(m_1+m_2)^2} = \frac{m_1 \sin^3 i}{(1+m_2/m_1)^2} = \frac{(1-e^2)^{3/2}}{2\pi G} P K_2^3$$

ponieważ stosunek mas $m_2/m_1 > 0$ *oraz nachylenie orbity* $\sin i \leq 1$, więc:

$$\frac{\sin^3 i}{(1+m_2/m_1)^2} \leq 1 \quad \Rightarrow \quad m_1 \geq f_2(m)$$

tak więc orbita spektroskopowa widocznego składnika (P, K_2, e) wyznacza absolutne minimum masy składnika niewidocznego

oczywiście znając nachylenie orbity i funkcje masy obydwu składników można określić ich masy, co jest wciąż podstawowym sposobem bezpośrednich pomiaów mas gwiazdowych

0.36 $M_\odot$ towarzysza. Z drugiej strony, maksymalna masa nieodewoluowanego karła mieszczącego się jeszcze w określonej przez stosunek mas powierzchni Roche'a wynosi około 0.85 $M_\odot$, co daje maksymalną wartość masy czarnej dziury około 11 $M_\odot$ (uwzględniając błąd stosunku mas). Stąd mamy też dolne ogranicze-nie na nachylenie orbity $i \geq 45°$. Z drugiej strony brak zaćmień wskazuje daje drugie ograniczenie: $i \leq 80°$. I właśnie te 35 stopni określa to co jeszcze tak naprawdę jest tu do zrobienia. Miejmy nadzieję, że się to uda w oparciu o czerwoną, lub podczerwoną krzywą blasku towarzysza. Hej, rozwiązywacze orbit fotometrycznych! Kto będzie pierwszy? Ten wyścig się już zaczął! Idę w zakład, że wynik będzie $i \approx 55°$, gdyż wówczas będziemy mieli *kanoniczną* wartość masy karła K5, $m_2 \approx 0.65\ M_\odot$.

Wątpliwości

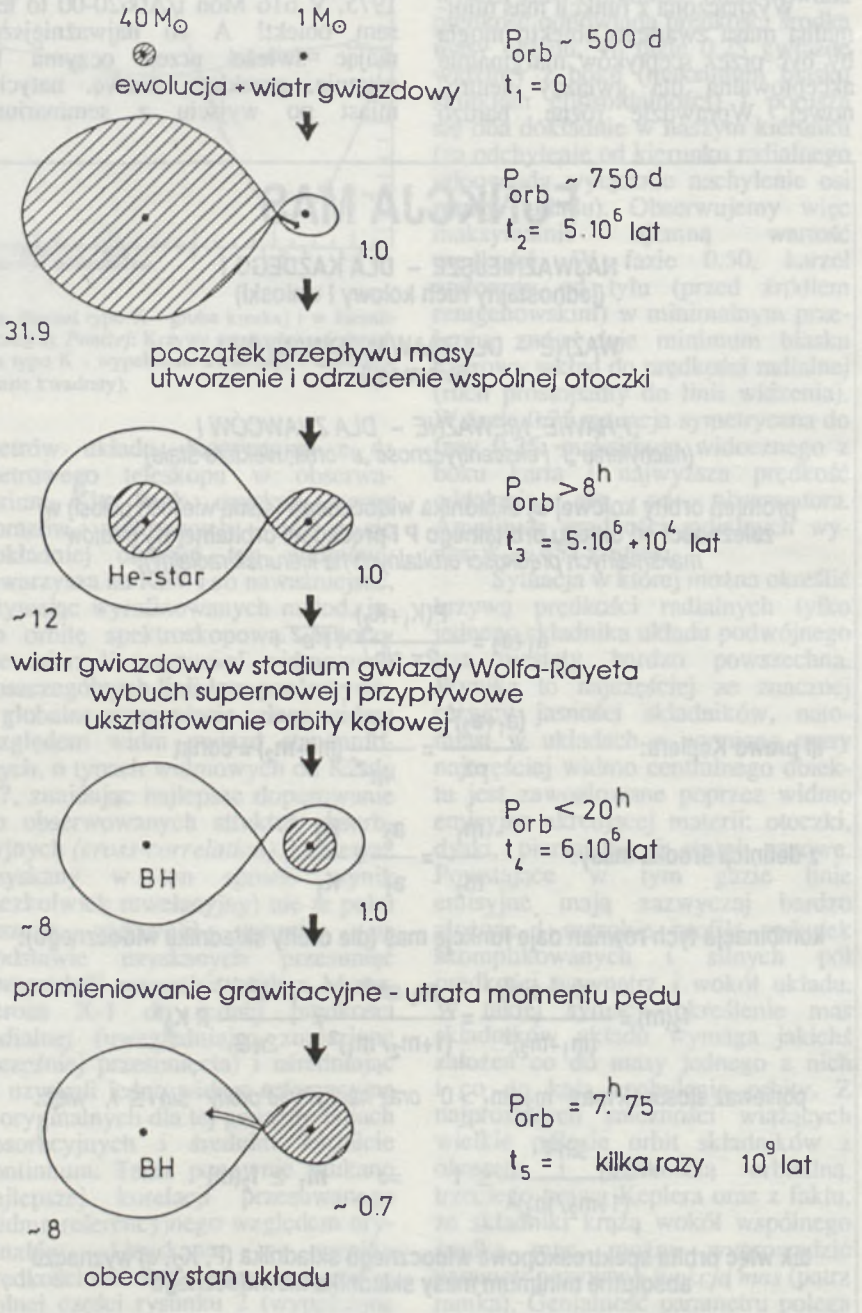
Główne źródło wątpliwości uważny Czytelnik zauważy natychmiast na rysunku z krzywymi prędkości radialnych (Rys.2), i pochodzi stąd, że krzywe te nie są dokładnie w antyfazie. Autorzy orbity spektroskopowej czarnej dziury bardzo się martwią, że przesunięcie to wynosi aż 0.16 fazy. Jak wiadomo profile linii z których wyznaczano te prędkości są bardzo skomplikowane i nie zawsze doskonałej jakości – wszak wymagają bardzo krótkich ekspozycji przy okresie orbitalnym krótszym od ośmiu godzin. Nie tak łatwo więc zyskać pewność że znaleziona zależność fazowa rzeczywiście charakteryzuje ruch orbitalny centralnego (względem dysku) obiektu. Bardzo silnym argumentem, że jednak amplitudę K_1 = 43 km/sek, można jednak uznać za wiarygodną dla ruchu orbitalnego jest dosyć dobra zgodność średniej prędkości (prędkości środka masy) obu krzywych. Z praktyki mogę stwierdzić, że bardzo rzadko udaje się uzyskać równie klarowny wynik dla innych, tak *pokręconych* gwiazd.

Skąd to się wzięło

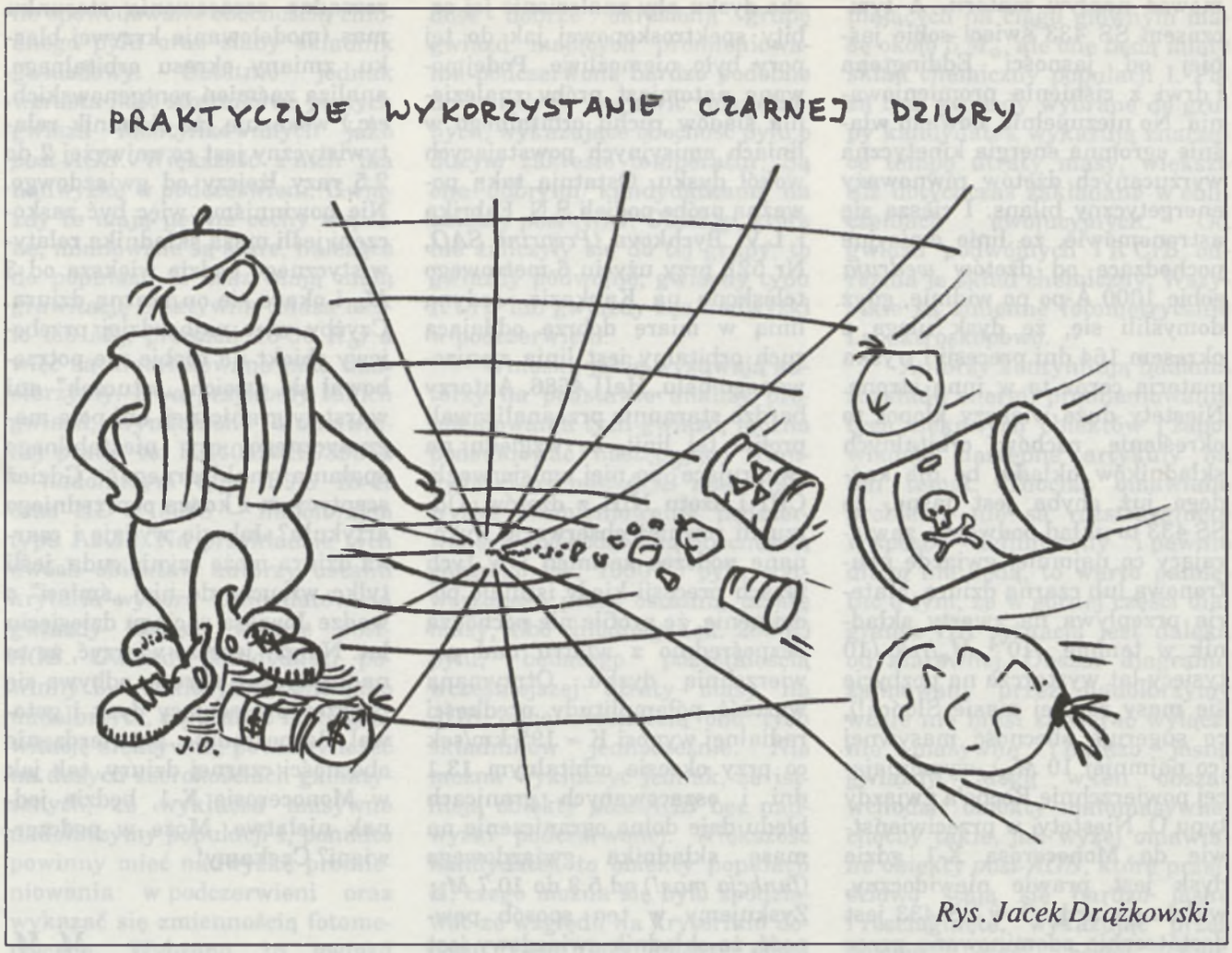
Jeszcze przed ukazaniem się w druku pracy dającej tak rewelacyjny wynik na wartość funkcji mas (dobre wiadomości na szczęście szybko rozchodzą się przy pomocy *preprintów* i słyszy się je na konferencjach), zaczęły się ukazywać prace określające status ewolucyjny takiego układu. Scenariusz może w szczegółach nie najbardziej przekonujący, ale za to poparty pięknym i sugestywnym rysunkiem, opublikował (*Astron. Astrophys.* 183, 47) Martijn de Kool ze współpracownikami (Rys. 3). W tym scenariuszu gwiazda jest obecnie w drugiej fazie wymiany masy *(w przeciwną stronę)* i pochodzi z układu z bardzo masywną gwiazdą, dużym stosunkiem mas i długim okresem orbitalnym. Układ utracił większość momentu pędu poprzez hamowanie *sputnika* w atmosferze odewoluowanego nadolbrzyma. Po wybuchu supernowej i powstaniu czarnej dziury dalsza ewolucja (zacieśnianie orbity) jest wywołane utratą energii poprzez emisję fal grawitacyjnych (powinien to być szybszy proces niż nuklearna ewolucja karła). Nie wiem czy sprawię przyjemność Martijnowi de Kool, jeśli zwrócę uwagę Czytelnika, że końcowy produkt jego scenariusza, zarówno co do stosunku mas, jak i najprawdopodobniej ich dokładnych wartości nie różni się prawie od tych wyznaczonych z obserwacji 3 lata później!

I co dalej?

A więc (chyba?) jednak mamy czarną dziurę! Sensacja?! Ale co z tego? W artykule tym chciałem przede wszystkim przybliżyć Czytelnikowi w jaki sposób przy pomocy prymitywnych w istocie rzeczy informacji, ale uzyskanych przy pomocy żmudnych obserwacji i sprytnego ich opracowania, można rozwiązywać tego typu zagadki. Natomiast muszę przyznać, że po tym wszystkim mam jakby do Monocerosa X-1 stosunek bardziej obojętny. No cóż, za jakiś czas znowu w dysku nazbiera się dostatecznie dużo materii aby pojawiła się w nim niestabilność wywołująca szybką akrecję lub nagle wzrośnie transport masy z towarzysza (ten problem ostatecznie nie jest



Rys. 3. Schemat ewolucyjny układu Monoceros X-1 według Martijna de Koola i spółki.



Rys. Jacek Drążkowski

rozwiązany). Obiekt znowu efektownie błyśnie na kilkanaście tygodni rentgenowsko, zarejestrujemy kolejny powrót zjawiska nowej, coś tam odkryjemy radiowo. I to wszystko! *Łysa* czarna dziura, pozbawiona twardej powierzchni i pola magnetycznego nie może dostarczyć tak różnorodnych, nieprzewidywalnych zjawisk i mechanizmów odziaływania jak namagnesowane gwiazdy neutronowe czy białe karły. Ileż to rodzajów jakże pięknych obiektów natura tworzy przy pomocy akrecji i pola magnetycznego. Jakie wspaniałe efekty może dawać nuklearne spalanie zaakreowanej materii na powierzchni białych karłów czy gwiazd neutronowych. A czarna dziura? *Łysa* jest, i nikt kto szanuje prędkość światła nie zajrzy jej pod spódnicę, przepraszam, pod czaszkę, przepraszam, pod horyzont! Być może jednak się mylę i nasza czarna dziura ma jeszcze do spełnienia jakąś inną rolę niż gigantycznego kosza na śmieci, jak w karykaturze Jacka Drążkowkiego ?

Maciej Mikołajewski znany już jest Czytelnikowi, jako autor artykułu o Spektrografie Kanadyjskim, w poprzednim numerze. Obecny i poprzedni artykuł określają jego główne zaineresowania naukowe: spektroskopię, mniej chętnie i fotometrię, osobliwych układów podwójnych, zwłaszcza gwiazd symbiotycznch.

Funkcja mas SS 433

Znany obiekt SS 433, „zagadka i szlagier stulecia", jest również popularnym kandydatem na czarną dziurę. Dokonuje on jednak tak nieprawdopodobnych sztuczek, że wielu badaczy wciąż wątpi, czy jest to możliwe w przypadku pozbawionej twardej powierzchni i pola magnetycznego czarnej dziury. Wśród tych bulwersujących zjawisk, największe wrażenie robią ekspediowane z relatywistyczną prędkością, bliską 1/3 prędkości światła, dżety. Dżety rozpędzane są w „tunelach" biegunowych geometrycznie grubego dysku akrecyjnego. Gruby dysk akrecyjny z zewnątrz rozkładem temperatury i kształtem przypomina fotosferę gwiazdy, aczkolwiek dzięki bardzo szybkiej rotacji posiada „dziury" wokół osi rotacji, właśnie owe wyrzutnie dżetów. W ten sposób natura radzi sobie z nadkrytyczną akrecją, tzn. taką przy której ciśnienie promieniowania wyzwolonego z akrecji powinno zaha-

mować napływ materii. A tymczasem SS 433 świeci sobie jaśniej od jasności Eddingtona i drwi z ciśnienia promieniowania. No niezupełnie, bowiem właśnie ogromna energia kinetyczna wyrzucanych dżetów równoważy energetyczny bilans. I cieszą się astronomowie, że linie emisyjne pochodzące od dżetów *wędrują* sobie 1000 Å po po widmie, gdyż domyślili się, że dysk ulega z okresem 164 dni precesji i tryska materią coraz to w inną stronę. Niestety dużo większy kłopot to określenie ruchów orbitalnych składników układu, bo dla każdego już chyba jest jasne, że SS 433 to układ podwójny, zawierający co najmniej gwiazdę neutronową lub czarną dziurę. Materia przepływa na zwarty składnik w tempie ~10^{-4} $M_\odot$/rok (10 tysięcy lat wystarcza na pozbycie się masy równej masie Słońca!), co sugeruje obecność masywnej (co najmniej 10 $M_\odot$), wypełniającej powierzchnię Roche'a gwiazdy typu O. Niestety, w przeciwieństwie do Monocerosa X-1 gdzie dysk jest prawie niewidoczny, widmo gwiazdy O w SS 433 jest dostatecznie zdominowane przez widmo świecącego eddingtonowsko dysku aby znalezienie jej orbity spektroskopowej jak do tej pory było niemożliwe. Podejmowano natomiast próby znalezienia śladów ruchu orbitalnego w liniach emisyjnych powstających wokół dysku. Ostatnią taką poważną próbę podjęli S.N. Fabrika i L.V. Bychkova (*Preprint SAO*, Nr 52), przy użyciu 6-metrowego teleskopu na Kaukazie. Jedyną linią w miarę dobrze oddającą ruch orbitalny jest linia zjonizowanego helu, HeII 4686. Autorzy bardzo starannie przeanalizowali profile tej linii, ze względu na „wędrujące" po niej emisje węgla CIII i azotu NIII z dżetów. Odrzucili również obserwacje wykonane podczas zaćmień i w tych fazach precesji kiedy istniało podejrzenie, że profile nie pochodzą bezpośrednio z wiatru nad powierzchnią dysku. Otrzymana wartość półamplitudy prędkości radialnej wynosi K ≈ 195 km/sek co przy okresie orbitalnym 13.1 dni i oszacowanych granicach błędu daje dolne ograniczenie na masę składnika gwiazdowego (*funkcja mas!*) od 5.3 do 10.7 $M_\odot$. Zyskujemy w ten sposób pewność, że składnik gwiazdowy jest rzeczywiście masywny. Wszelkie rozsądne oszacowania stosunku mas (modelowanie krzywej blasku, zmiany okresu orbitalnego, analiza zaćmień rentgenowskich, *etc.*) wskazują, że składnik relatywistyczny jest co najwyżej 2 do 2.5 razy lżejszy od gwiazdowgo. Nie powinniśmy więc być zaskoczeni jeśli masa składnika relatywistycznego będzie większa od 3 $M_\odot$ i okaże się on czarną dziurą. Czyżby więc najbardziej przebojowy obiekt na niebie nie potrzebował do swoich „sztuczek" ani warstwy granicznej, ani pola magnetycznego czy niestabilnego spalania nuklearnego? Gdzież sceptycyzm z końca poprzedniego artykułu? Jak się wydaje i czarna dziura może czynić cuda, jeśli tylko wrzucać do niej „śmieci" o wadze Jowisza w ciągu dziesięciu lat. Należy jeszcze wierzyć, że ta nadkrytyczna akrecja odbywa się poprzez precesujący dysk i gotowe! Bezpośrednie potwierdzenie obecności czarnej dziury, tak jak w Monocerosie X-1, będzie jednak niełatwe. Może w podczerwieni? Czekamy!

M. M.

Masywny nadolbrzym, czy obiekt post – AGB?

W górnej części diagramu HR znajdują się obiekty o dużej jasności absolutnej, klasyfikowane jako nadolbrzymy. Główną cechą, na podstawie której gwiazda zaliczana jest do nadolbrzymów, jest jednak nie jej jasność, ale mała grawitacja na powierzchni. Właściwie należy tu mówić o tak zwanej grawitacji efektywnej, która jest odpowiednikiem zwykłego przyciągania grawitacyjnego, ale zredukowanego o działającą w przeciwnym kierunku siłę wywieraną przez ciśnienie promieniowania oraz ruchy turbulentne. Na taką grawitację efektywną czułe są pewne cechy widmowe, na podstawie których obiekt klasyfikowany jest jako nadolbrzym. Klasycznym przykładem nadolbrzyma jest gwiazda bardzo masywna (na przykład dziesięć razy masywniejsza od Słońca), produkująca duże ilości energii, co powoduje, że jej atmosfera zostaje rozciągnięta na dużą odległość od jądra. Ale można sobie wyobrazić gwiazdę małomasywną, o rozciągniętej atmosferze i taki obiekt będzie również miał cechy typowe dla nadolbrzyma. Pewnej klasie takich obiektów poświęcona jest praca „Post AGB candidates: selection and IR properties" autorstwa Tramsa, Watersa, Lamersa, Waelkensa, Geballe'a i The, opublikowana w *Astr. Astrophys. Suppl.* 87, 361-382, 1991. Na kilka wniosków wynikających z tego artykułu chciałbym zwrócić uwagę Czytelnika.

Sądzi się obecnie, że gwiazdy, które na ciągu głównym miały masę mniejszą niż 8 $M_\odot$, w trakcie ewolucji, przedstawianej zwykle jako pewien tor na diagramie HR, osiągają tak zwaną asymptotyczną gałąź olbrzymów (w skrócie angielskim *AGB*), a później wędrują przez diagram HR od *AGB* do miejsca mgławic planetarnych. Obiekty, które właśnie opuściły *AGB*, nazywane *post-AGB*, powinny mieć silne promieniowanie podczerwo-

ne spowodowane obecnością chłodnego pyłu oraz słaby składnik gwiazdowy. Ostatnio jednak wzrasta ilość stosunkowo jasnych gwiazd identyfikowanych jako *post-AGB*. Większość z nich ma nadwyżkę w podczerwieni. Gwiazdy te mają pewne cechy wspólne, mianowicie są stare, należące do populacji II oraz mają małą grawitację efektywną (masa około 0.6 $M_\odot$, promień 10-50 $R_\odot$) a więc są klasyfikowane jako nadolbrzymy. Dwa przykłady takich gwiazd, wymienione w omawianej pracy, to: HR4049≡HD89353 – nadolbrzym typu B9.5 Ib–II oraz HD 213985 – nadolbrzym typu A2 Ia. Na przykładzie tych dwóch obiektów autorzy ustalili kryteria wyboru kandydatów na gwiazdy będące w fazie *post-AGB*. Gwiazdy kandydatki powinny być zaklasyfikowane jako nadolbrzym, czyli mieć małą grawitację efektywną, powinny leżeć na dużych szerokościach galaktycznych, co wyklucza masywne nadolbrzymy populacji I, ponadto powinny mieć nadwyżkę promieniowania w podczerwieni oraz wykazać się zmiennością fotometryczną. Wybrano 25 gwiazd spełniających na ogół trzy spośród czterech wymienionych kryteriów. Przeanalizowano dla nich promieniowanie w szerokim zakresie widma. Okazało się, że można spośród nich wyodrębnić dość dobrze określoną grupę gwiazd mających promieniowanie podczerwone bardzo podobne do młodych mgławic planetarnych, wykazujące obecność pyłu o dużym zakresie temperatur. Są one dobrymi kandydatkami na obiekty *post-AGB*. Obiekty, które nie zaliczyły się do tej grupy, to gwiazdy podwójne, gwiazdy typu R CrB lub gwiazdy bez nadwyżki w podczerwieni.

Wnioski, jakie wysuwają autorzy na podstawie analizy promieniowania tych gwiazd, można podsumować następująco. Kandydatki na *post-AGB* mają nadwyżkę promieniowania podczerwonego spowodowaną obecnością gorącego (ok. 1000 K) pyłu wytworzonego przez ostatnią utratę masy, albo chłodnego (ok. 200 K) pyłu, będącego pozostałością wcześniejszej utraty masy na *AGB*, albo obecnością obu tych składników jednocześnie. Nie można wykluczyć jednak, że istnieją obiekty *post-AGB* bez nadwyżki podczerwonej. Większość kandydatek to obiekty populacji II, czego można się było spodziewać ze względu na kryterium doboru. Tego typu obiekty mogą mieć skład chemiczny populacji II, jeśli pochodzą z małomasywnych (ok. 1 $M_\odot$) gwiazd ciągu głównego. Oczywiście mogą istnieć gwiazdy *post-AGB* bardziej masywne, pochodzące od gwiazd mających na ciągu głównym masę około 5 $M_\odot$, ale one będą miały skład chemiczny populacji I. Poza tym gwiazdy wybrane do grupy kandydatek wykazują znaczące tempo utraty masy, większe niż dotychczas zakładane w obliczeniach ewolucyjnych. Od gwiazd podwójnych i R CrB odróżnia je skład chemiczny. Wszystkie są zmienne fotometrycznie i spektroskopowo.

Autorzy kontynuują badania rozkładu energii promieniowania tych ciekawych obiektów i zapowiadają następne artykuły na ten temat. Chociaż omawiane problemy nie są rozstrzygnięte w sposób definitywny i pewnie długo nie będą, to warto pamiętać o tym, że w górnej części diagramu HR sytuacja jest daleka od klarownej. Obszar diagramu zajmowany przez nadolbrzymy wcale nie musi zawierać wyłącznie masywne i bardzo jasne gwiazdy. Mogą w ten obszar wchodzić obiekty małomasywne, choćby takie, jak wyżej omawiane obiekty *post-AGB*, które przejściowo stają się bardzo jasne i rozciągnięte, wykazując przez pewien czas cechy nadolbrzymów.

K. Gęsicki

Jak zmierzyć stałą grawitacji

Wśród wielu propozycji eksperymentów, które zgłoszono ostatnio do Europejskiej Agencji Kosmicznej (*ESA*) znaczne zainteresowanie wywołał projekt pomiaru stałej grawitacji nazwany „Newton". Przewiduje on umieszczenie na orbicie geostacjonarnej dwóch niewielkich kul o dużej gęstości i obserwację tego miniaturowego układu planetarnego przez czas jednego roku w celu pomiaru średniego okresu obiegu ciał i średniej ich odległości. Trzecie prawo Keplera, przy znanych masach obu ciał, pozwala takie pomiary zredukować do stałej grawitacji, G, z oczekiwaną względną dokładnością rzędu 10^{-5}, tj. o około dwa rzędy wielkości lepiej niż uzyskuje się na Ziemi.

Astronomowie potrafią bardzo dokładnie zmierzyć parametry ruchu ciał niebieskich, jednak pomiarów takich nie można wykorzystać do wyznaczenia uniwersalnej stałej ciążenia powszechnego, bowiem wchodzi ona do prawa Keplera iloczynie z sumą mas dwóch ciał. Np., w nieco innym kontekście, laserowe pomiary satelity Lageos pozwalają wyznaczyć $GM_\oplus$ ($M_\oplus$ jest masą Ziemi) z dokładnością kilku części w 10^8, lecz aby obliczyć stąd G z porównywalną dokładnością, należałoby wpierw zmierzyć masę Ziemi tak samo dokładnie . A tego nie da się zrobić.

Mimo jej uniwersalnego charakteru, stała grawitacji, pośród fundamentalnych stałych fizycznych, po 200 latach usilnych starań wciąż pozostaje najgorzej wyznaczona. I chociaż wartość G

według *CODATA* (komitetu d/s danych naukowo – technicznych) z 1986 roku podano z dokładnością około 1 części na 10^4, [(6.67259 0.0008)×10^{-11} $m^3kg^{-1}s^{-2}$], to wyniki ostatnich pomiarów laboratoryjnych są między sobą zgodne jedynie na poziomie kilku części na 10^4.

Trzeba również pamiętać, że wszystkie wyznaczenia mas ciał niebieskich mają dokładność co najwyżej taką jak stała *G*. Masy te, z kolei, wchodzą w wiele innych modeli astronomii, astrofizyki i geofizyki. W szczególności występują one m.in. w teoriach precesji, nutacji, oscylacji Słońca i w obliczeniach jasności absolutnych niektórych gwiazd.

Proponowane doświadczenie odbywałoby się w statku (o masie około 400 kg) w kształcie cylindra o wymiarach 3×3.5 m. Ów cylinder byłby stabilizowany przez nadanie ruchu wirowego (1 obrót na minutę) i stanowiłby rodzaj puszki Faradaya ekranującej wpływy zewnętrznych pól elektrycznych. Szczegółowa analiza pokazuje, że w przypadku sztucznego układu planetarnego na orbicie głównym składnikiem perturbacji ruchu keplerowskiego byłoby ciśnienie promieniowania. Masy testowe osłonięte przez cylinder oczywiście nie podlegają temu efektowi, dlatego możliwe jest impulsowe korygowanie ruchu statku tak, by miniatura układu planetarnego znajdowała się średnio stale w tym samym miejscu. Oznaczałoby to prawie całkowite wyeliminowanie wpływu ciśnienia promieniowania, a zatem ruch całego statku prawie wyłącznie pod wpływem pola grawitacyjnego Ziemi (obserwacje tego satelity z Ziemi dostarczyłyby zatem jakościowo nowych danych interesujących szczególnie geofizyków).

Pomiary położeń mas testowych odbywałyby się za pomocą kamery (np. typu *CCD*) umieszczonej nad płaszczyzną ich orbity, w końcu cylindra i na jego osi, poprzez rejestrację jasnych znaków (fluoryzujących lub odblaskowych punktów) specjalnie rozmieszczonych na obu kulach.

Z teoretycznej analizy stabilności samego modelu układu planetarnego wynika, że kule powinny być zrobione z możliwie najgęstszej substancji, najlepiej z wolframu (inne czynniki eliminują złoto, uran i iryd), mieć wagi 75 i 2 kg (średnice, odpowiednio, 10 i 3 cm) i krążyć wokół wspólnego środka z okresem około 2.2 godziny przy wzajemnej odległości 20 cm.

Niełatwym problemem jest umieszczenie kul na przewidzianych dla nich orbitach bez wprowadzenia niezamierzonych ruchów liniowych lub rotacji. Projekt przewiduje w tym celu specjalną platformę o ściśle kontrolowanej, niezależnej od całego cylindra, małej rotacji względem przestrzeni inercjalnej.

Pełne szczegóły projektu „Newton" można znaleźć w *ESA Journal* 14 (1990), s. 389.

Kazimierz M. Borkowski

Astronomiczne Obserwatorium Orbitalne ISO

Obserwatorium orbitalne *ISO* (*Infrared Space Observatory*) ma szansę stać się najlepszym, jak dotąd, zespołem instrumentów przystosowanym do odbioru docierającego z kosmosu promieniowania podczerwonego. Rozpoczęcie pracy tego obserwatorium planuje się na rok 1993, a termin nadsyłania propozycji programów obserwacyjnych rozpocznie się najprawdopodobniej już w tym roku. Czy *ISO* spełni wielkie oczekiwania jakie zrodziły się w efekcie misji jego udanego poprzednika, *IRAS*'a?

Atmosfera ziemska przepuszcza promieniowanie podczerwone w słabym stopniu i tylko dla pewnych zakresów długości fal. Jest to jedną z przyczyn budowania teleskopów pozaatmosferycznych. Drugą przyczyną, chyba jeszcze ważniejszą, jest wysoki poziom szumów dla obserwacji naziemnych. Na szumy te składa się promieniowanie samej aparatury odbiorczej oraz promieniowanie przedmiotów otoczenia i atmosfery. Naziemne obserwacje w podczerwieni tak ważnej formy materii jaką stanowią chłodne obłoki gazowo–pyłowe, wobec powyższych ograniczeń nie są możliwe.

Podczerwony satelita astronomiczny *IRAS* (*Infrared Astronomical Satellite*) przyczynił się do gwałtownego rozwoju astronomii podczerwieni. Swą udaną misję zakończył *IRAS* pod koniec 1983 roku. w efekcie jego wielomiesięcznej pracy dostępne są dziś dla całej społeczności astronomicznej następujące dane (obejmujące około 96 % całego nieba, w czterech długościach fali: 12, 25, 60 i 100 μm):

1. Katalog 250000 źródeł punktowych
2. Katalog 20000 małych źródeł rozciągłych
3. Mapy jasności nieba o rozdzielczości 4-6 minut łuku
4. Widma o małej rozdzielczości jasnych źródeł punktowych w zakresie 8-22 μm.

(Same dane jak i konieczne informacje można uzyskać np. w Obserwatorium Astronomicznym w Leiden, Holandia).

Nieporównywalnie zasobniejszym źródłem informacji o promieniowaniu podczerwonym w zakresie 3-200 μm ma być efekt pracy *ISO*. Projekt zbudowania tego obserwatorium został przedłożony w 1979 roku do Europejskiej Agencji Przestrzeni

Kosmicznej *ESA* (*European Space Agency*). *ESA* przyjęła projekt i podjęła się jego finansowania (ponad 300 mln. US $). Na rok 1993 przewiduje się rozpoczęcie pracy obserwatorium, a jego efektywny czas życia ma być przynajmniej 18 miesięcy.

ISO będzie krążyć po orbicie okołoziemskiej z okresem pełnego obiegu równym 12 godzin. Orbita będzie nachylona do równika niebieskiego pod kątem 7 stopni. Odległości w perygeum i apogeum będą odpowiednio 1000 i 39400 kilometrów.

Głównym urządzeniem obserwatorium będzie chłodzony ciekłym helem 60-centymetrowy teleskop o ogniskowej 9 metrów, zbudowany w systemie Cassegraina. W płaszczyźnie ogniskowej tego teleskopu zostaną zainstalowane cztery urządzenia odbiorcze:

1. Kamera podczerwona o zakresie 3–17 μm (z szerokopasmowymi i wąskopasmowymi filtrami), o polach widzenia 1, 3, 6 i 12 sekund łuku.
2. Fotopolarymetr pracujący w zakresie 2-200 μm z szeroko- i wąskopasmowymi filtrami. Dla bliskiej podczerwieni spektrometr o mocy rozdzielczej 100. Rozdzielczośc kątowa urządzenia będzie zmienna, począwszy od maksymalnej tj. ograniczonej dyfrakcją
3. Spektrometr krótkofalowy (3-45 μm) z rozdzielczością kątową 14-20 sekund łuku. Rozdzielczość spektralna będzie wynosić 1000 dla całego zakresu 3-45 μm oraz 30000 dla zakresu 15-30 μm
4. Spektrometr długofalowy (45-180 μm) o rozdzielczości kątowej 1.65 minuty łuku i rozdzielczością spektralną 200 i 10000 w pełnym przedziale od 45 do 180 μm.

W porównaniu z *IRAS*'em, *ISO* będzie miało dłuższy czas życia, szerszy zakres długości fali, lepszą rozdzielczość kątową, oraz poszerzone możliwości obserwacyjne, głównie w zakresie polarymetrii i spektroskopii. Przede wszystkim jednak *ISO*, w związku z ulepszeniem detektorów i wydłużeniem czasu integracji, będzie mieć lepszą o wiele rzędów wielkości czułość pomiarów. Dla zobrazowania czułości *IRAS*'a wspomnę, że pozwala ona na detekcję, na poziomie powyżej 3σ, doskonale czarnego ziarenka pyłu o średnicy 100 μm i temperaturze 200 K jeśli znajdowało się ono w odległości 18 km.

Część widma mająca być odbierana przez *ISO* jest bardzo ważna z naukowego punktu widzenia, a to nie tylko ze względu na możliwość detekcji bardzo chłodnych obiektów (od kilku stopni w skali Kelwina wzwyż), ale też ze względu na ogromną różnorodność cech widmowych w tym zakresie długości fali. Pomiary spektroskopowe pozwolą na określenie takich parametrów fizycznych jak temperatura, gęstość, prędkość oraz skład ilościowy emitującej materii (atomy, cząsteczki i ziarna pyłu). Ze względu na małą ekstynkcję, zwłaszcza dla dalekiej podczerwieni, obserwacje *ISO* będą bardzo użyteczne m.in. do badania obiektów, których optyczna część widma jest całkowicie pochłaniana przez materię wokół– lub międzygwiazdową.

Oczekuje się, że bardzo czułe obserwacje w tak mało dotychczas zbadanym zakresie widma, znajdą owocne wykorzystanie we wszystkich niemalże istotnych problemach astronomii.

Z uwagi na to, że 2/3 czasu obserwacyjnego *ISO* będzie udostępnione szerokiej społeczności astronomicznej, udział w obserwacjach i opracowaniu danych z pewnością przypadnie i polskim astronomom. Propozycje programów obserwacyjnych mają być przyjmowane 18 miesięcy przed planowanym wyniesieniem *ISO* na orbitę, czyli już niebawem.

Bogdan Wszołek

ZŁĄCZENIE WENUS I JOWISZA Z KSIĘŻYCEM

konkurs fotograficzny

15 czerwca, zaraz po zachodzie Słońca, nisko nad zachodnim horyzontem można będzie zobaczyć niezwykle efektowną konfigurację bardzo młodego 3-dniowego Księżyca oraz dwóch jasnych planet Wenus i Jowisza. Dwa dni wcześniej Wenus znajdzie się w maksymalnej odległości kątowej od Słońca, a dwa dni później Wenus z Jowiszem będą w złączeniu, w odległości 1.2 stopnia.
Zachęcamy naszych Czytelników do próby sfotografowania tych zjawisk i przysyłania (najlepiej slajdów) na adres Redakcji.

Najpiękniejsze zdjęcia opublikujemy.

MARS

zdjęcie obok

Ten piękny barwny obraz Marsa jest wynikiem obserwacji wykonanych 13 grudnia 1990, przy pomocy kamery planetarnej Teleskopu Kosmicznego. Tego dnia czerwona planeta znajdowała się w odległości 85 milionów kilometrów od Ziemi. Osiągnięta zdolność rozdzielcza 0.2 sekundy łuku, pozwala dostrzec na powierzchni Marsa struktury o rozmiarach nie przekraczających 50 kilometrów. Prezentowany obraz jest wynikiem złożenia trzech kolejnych ekspozycji przez czerwony, zielony i niebieski filtr. Ponieważ od pierwszej do ostatniej ekspozycji upłynęło około 20 minut, wskutek rotacji planety, wschodnia krawędź tarczy jest zielono-niebieska podczas gdy zachodnia - ciemnoczerwona. Obraz został ponadto skorygowany na efekt aberracji sferycznej głównego lustra teleskopu.

Na zdjęciu, warstwa gęstych niebieskawych obłoków pokrywa zlodowaciałe obszary wokół północnego bieguna planety. Jest to typowe dla marsjańskiej jesieni i zimy. Podobnie jak na Ziemi, obrzeża czapy polarnej są siedliskiem silnych sztormów, które mogą się przemieszczać do strefy umiarkowanej (międzyzwrotnikowej). Rozległe rozrzedzone obłoki nad południową półkulą są prawdopodobnie zwiastunami południowej czapy polarnej, która będzie się rozwijać w miarę zbliżania się jesieni na południowej półkuli. W chwili obserwacji, na półkuli północnej panowała marsjańska zima, podczas gdy na południe od równika był środek lata.

Ogromna ciemna plama w kształcie płetwy rekina, w środku tarczy to *Syrtis Major Planitia*. Była to pierwsza struktura na powierzchni planety, którą udało się zidentifikować już w XVII wieku. Christian Huygens wykorzystał ją do wyznaczenia prędkości rotacji Marsa - marsjański dzień trwa około 24 godzin i 37 minut.

Jasny obszar na zachód od *Syrtis* to *Arabia Planita* – swą jasność zawdzięcza prawdopodobnie cienkiej (przypuszczalnie dochodzącej do kilku metrów) warstwie pyłu pokrywającej powierzchnię. W tym rejonie znajduje się szczególnie dużo kraterów – niektóre daje dostrzec na prezentowanym zdjęciu. Jasna plama na wschodzie to *Isidis Planitia*, szeroki na około 1000 km basen pochodzenia meteorytowego, który powstał ponad 2 miliardy lat temu. Podobnie jak *Arabia*, obszar ten jest pokryty bardzo drobnym pyłem. Jeszcze większa niecka, o średnicy około 1800 kilometrów i głębokości około 8 kilometrów, powstała wskutek upadku dużego asteroidu około 3.5 miliarda lat temu, *Hellas Planitia*, jest widoczna na południe od *Syrtis*. *Hellas* jest bardzo rzadko widoczna, zazwyczaj albo nieckę wypełniają mgły i obłoki, albo trwają tam niezwykle silne burze pyłowe. Tym razem jednak udało się trafić na jeden z rzadkich okresów „pięknej pogody" i powierzchnia *Hellas Planitia* jest dobrze widoczna.

Warto wrócić jeszcze na chwilę do *Syrtis Major*. Obszar ten jest nachylony od *Arabii* w dół do *Isidis*, różnica wysokości dochodzi do około 6 kilometrów. Bardzo ciemny kolor pochodzi przypuszczalnie od złoży grubego, ciemnego piasku. Stosunkowo silne wiatry, wiejące wzdłuż pochyłości ze wschodu na zachód (czyli ku górze), usuwają drobny pył z powierzchni, przenosząc go do *Arabii*. Obrazy uzyskane przez sondy kosmiczne Viking w latach 1976-1980, ujawniły obecność co najmniej jednego wygasłego krateru wulkanicznego w tym rejonie. Aktywność wulkaniczna na tym obszarze wygasła przypuszczalnie około 2.5 miliarda lat temu, a ciemny piasek pokrywający *Syrtis Major* powstaje w wyniku wietrzenia bazaltów, czarnych skał pochodzenia wulkanicznego.

Grudniowe obserwacje Marsa są częścią obszernego programu monitorowania zmian sezonowych, i nie tylko, na powierzchni i w atmosferze Marsa, rozpoczętego przez grupę amerykańskich planetologów pod kierunkiem P. Jamesa. Wprawdzie Mars był bardzo szczegółowo badany przez lądowniki Viking, które przez kilka lat prowadziły obserwacje bezpośrednio z jego powierzchni, czerwona planeta wciąż jednak kryje w sobie wiele tajemnic. Świat marsjański jest bardzo dynamiczny, ponieważ, podobnie jak Ziemia, planeta posiada bardzo aktywną atmosferę, która zmienia wygląd jej powierzchni w bardzo różnych skalach czasowych, od dni do wielu lat. Warto również przypomnieć, że przebieg marsjańskich pór roku również przypomina Ziemię, wszak osie rotacji obydwu planet są nachylone pod niemal tym samym kątem (23.5 stopnia w przypadku Ziemi i 25.2 stopnia - Marsa), rok marsjański jest jednak dłuższy, licząc sobie około 687 dni. Aby pojąć złożoną marsjańską meteorologię oraz klimat, planeta powinna być praktycznie stale monitorowana. Biorąc pod uwagę możliwości rozdzielcze Teleskopu Kosmicznego (w czasie maksymalnego oddalenia Marsa od Ziemi, można będzie dostrzec struktury o rozmiarach ~ 150 km), jest to wręcz idealny przyrząd do tego celu. Wreszcie, możliwość obserwacji w szerokim zakresie widma, a zwłaszcza w niedostępnym z powierzchni Ziemi ultrafiolecie, pozwoli między innymi śledzić zawartość ozonu i wody w marsjańskiej atmosferze. Autorzy programu uważają również, że uzyskane wyniki przyśpieszą dzień, w którym specjaliści będą w stanie choć w grubym przybliżeniu przewidywać marsjańską kapryśną pogodę. Nie trzeba chyba nikogo przekonywać jakie to ma znaczenie przy planowaniu przyszłych załogowych i bezzałogowych eksploracji czerwonej planety.

J. Mikołajewska

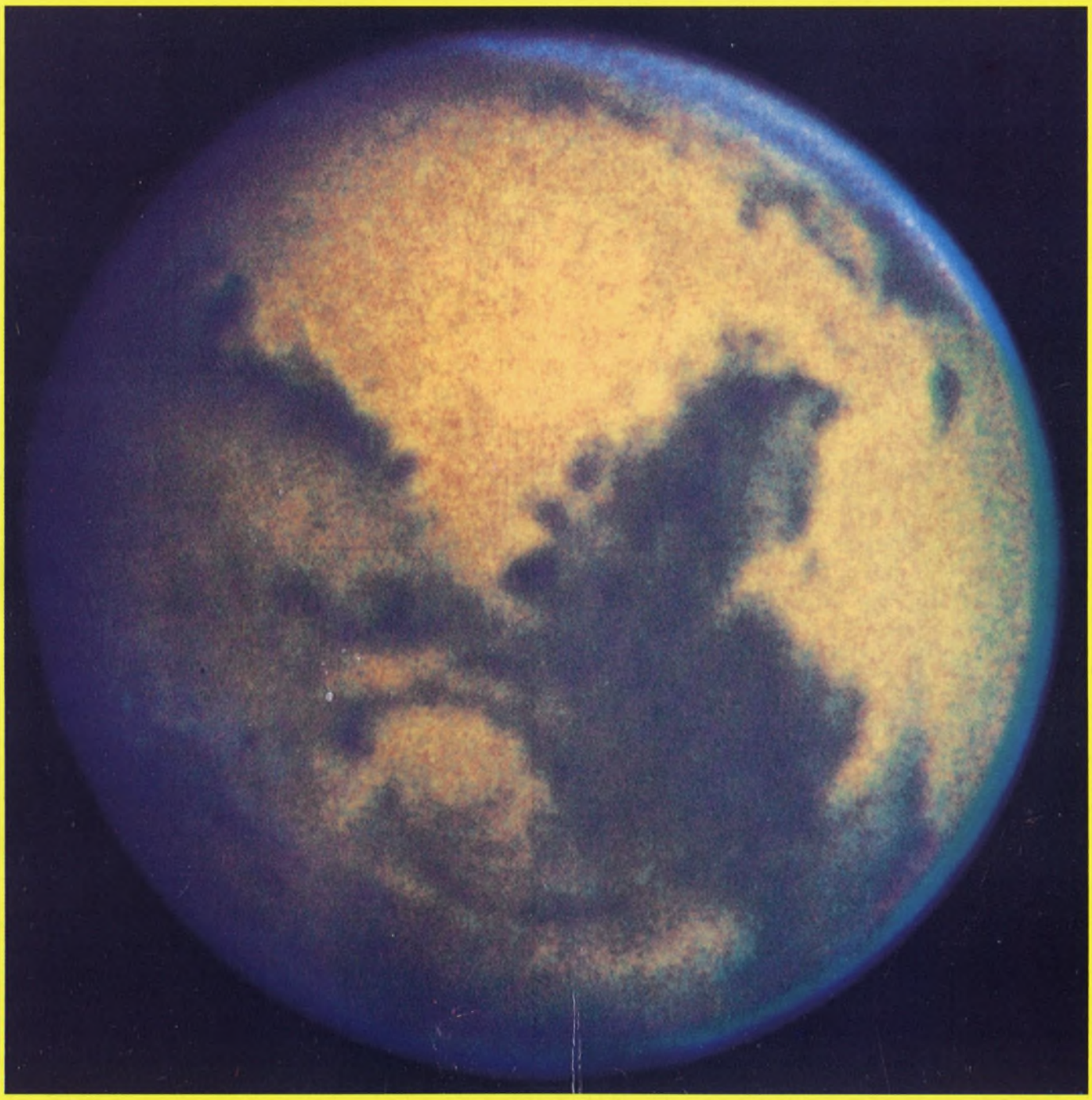
MGŁAWICA ORIONA

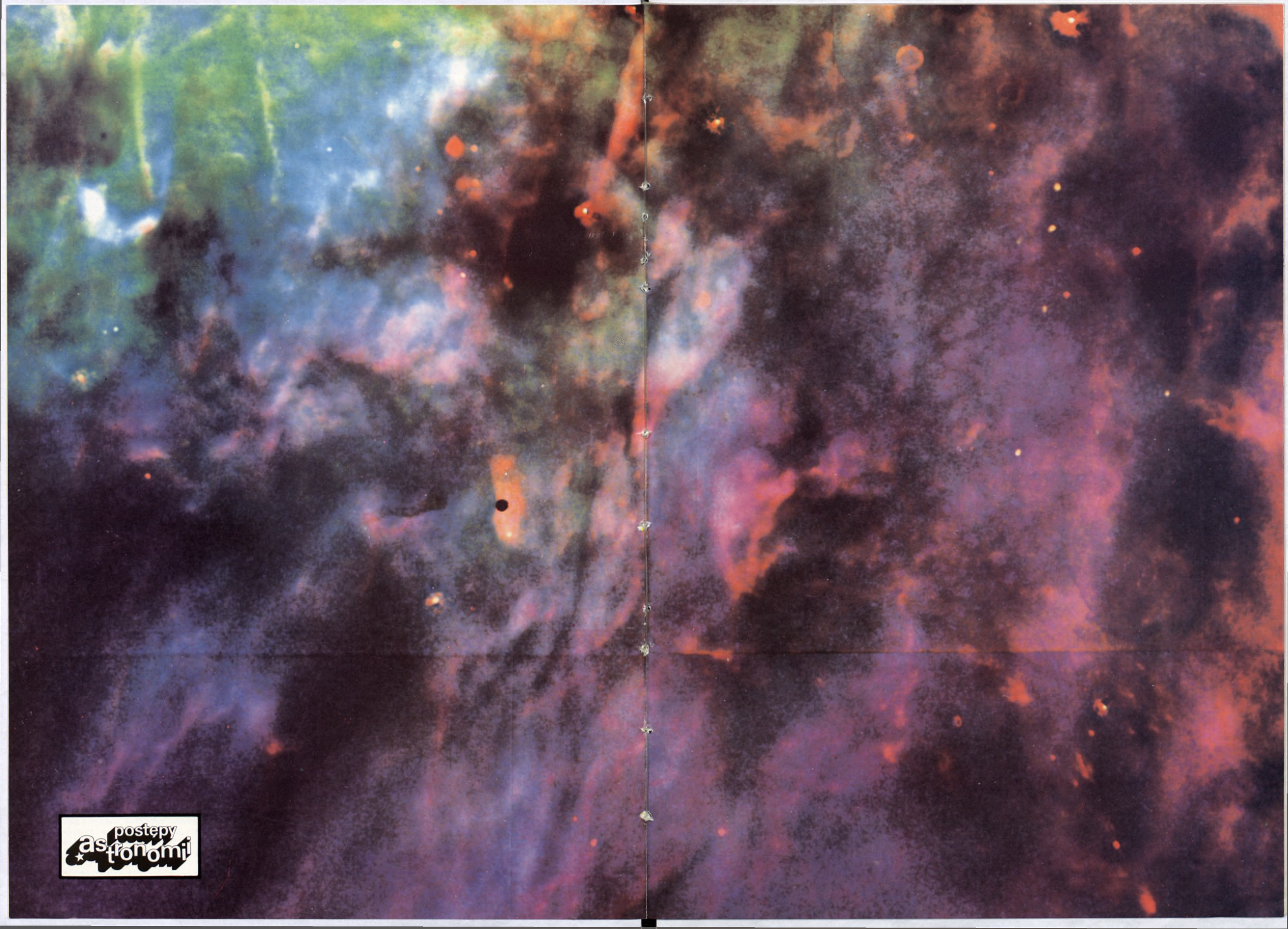
zdjęcie na rozkładówce

Pośród zestawu zdjęć uzyskanych Teleskopem Kosmicznym (*HST*) na początku jego eksploatacji znalazły się obrazy Mgławicy Oriona. Ten dosyć pobliski (500 pc) region formowania się gwiazd jawi nam się jako niezmiernie skomplikowana mieszanina gwiazd z nieskondensowaną materią bądź to świecącą, bądź to ciemną. Ogromna złożoność struktury mgławicy świadczy o jej fragmentacji (być może obserwujemy tu na bieżąco proces rozpadu bardzo dużego obłoku na mniejsze fragmenty, dające początek pojedyńczym gwiazdom). Jakość zdjęcia znacznie przewyższa możliwości obserwacji naziemnych. Czerwone plamy i smugi odpowiadają emisjom atomów siarki; niebieskie i zielone struktury ujawniają linie emisyjne tlenu i wodoru. Świecenie emisyjne odbywa się na koszt energii młodych i masywnych gwiazd, niedawno uformowanych w obrębie Mgławicy. Na zdjęciu (w środku górnej części) widoczny jest „dżet" w liniach siarki, najwyraźniej związany z jedną z gwiazd. Stanowi to przekonującą ilustrację faktu dość burzliwego procesu powstawania gwiazd.

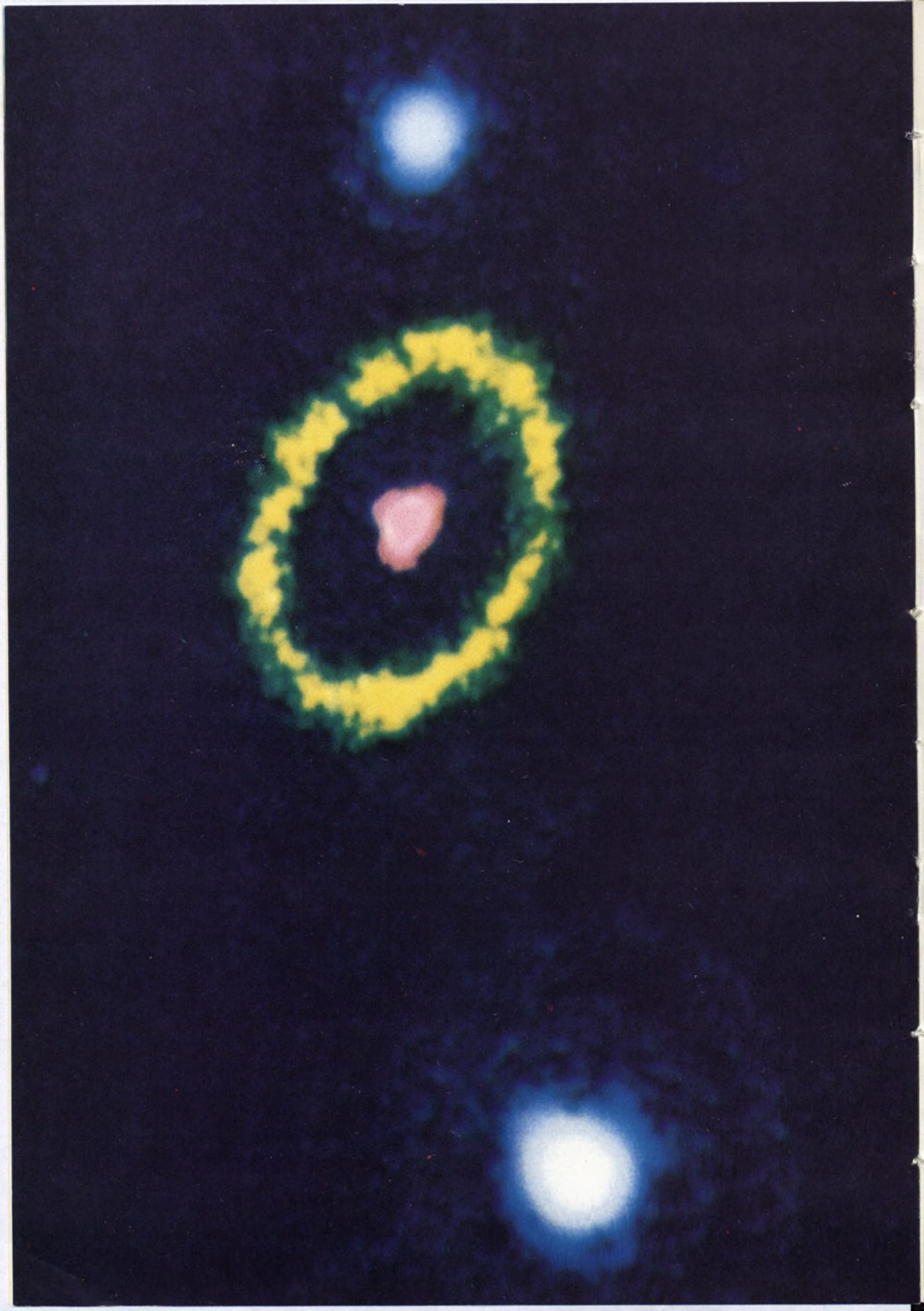
Struktura, w której dokonują się właśnie procesy gromadnego powstawania gwiazd musi być, jak widać, bardzo złożona. Mnóstwo tu fragmentów macierzystego obłoku *poszukujących swej tożsamości*, wiele też pozostałości, które nigdy już nie ulegną kondensacji (materia zjonizowana).

Ostatnie badania prowadzone w obrębie mgławicy Oriona przeze mnie we współpracy z Ignazio Porceddu i Piero Benvenutim z Uniwersytetu w Cagliari (Sardynia) pozwoliły natrafić na przykład jeszcze jednego, niezmiernie interesującego zjawiska, które zdjęcia z *HST* mogą przekonywająco ilustrować. Okazało się mianowicie, że widma gwiazd Mgławicy Oriona (HD37022, HD37023) zawierają tylko jedną z dwu sąsiadujących ze sobą znanych międzygwiazdowych linii rozmytych*: 5780 i 5797, mianowi-





postępy astronomii



cie tę pierwszą. Zjawisko to jest obserwowane niezmiernie rzadko, spotkałem je już wraz z Bengtem Westerlundem w gwieździe γ Ara i jeszcze w 3 innych przypadkach w czasie pracy w Cagliari. W Mgławicy Oriona dochodzi wszakże jeszcze jeden czynnik. O ile we wszystkich pozostałych przypadkach profil obserwowanej linii 5780 jest identyczny ze „swoistym" (powstającym w pojedyńczym obłoku, bez śladów rozszczepienia dopplerowskiego), wyznaczonym przed trzema laty we wspólnej pracy Bengta Westerlunda i mojej, o tyle profil ten jest wyraźnie szerszy w gwiazdach Mgławicy Oriona. Obserwacje Hobbsa, który wyznaczał w bardzo dużej zdolności rozdzielczej profile międzygwiazdowych linii sodu wskazują na obecność bardzo złożonych struktur Dopplerowskich w kierunkach interesujących nas gwiazd. Każda z nich wydaje się być przesłonięta przez co najmniej 4 obłoki o różnych prędkościach radialnych. Wszystkie te obłoki muszą mieć zatem bardzo podobne własności optyczne, skoro żaden z nich nie produkuje linii rozmytej 5797. Dodajmy, że krzywe ekstynkcji międzygwiazdowej dla gwiazd Mgławicy Oriona, opublikowane ostatnio przez Fitzpatricka i Massę wykazują także pokaźne osobliwości (tzn. odbiegają dalece od „podręcznikowego" standardu). Wynikałoby stąd, że środowisko nawet bardzo dużego obłoku międzygwiazdowego (macierzystego dla asocjacji OB) jest całkiem jednorodne - poszczególne fragmenty zachowują te same własności nawet po rozpadzie na małe fragmenty i napromieniowaniu przez pobliskie, gorące gwiazdy. Tak więc stan fizyczny fragmentów reprezentowanych przez ciemne plamy na zdjęciach HST jest bardzo podobny pomimo, że znajdują się one w ogromnie niespokojnym otoczeniu gorących gwiazd, „dżetów" i obłoków wodoru zjonizowanego.

Jacek Krełowski

* Jest to zbiór około 60 niezidentyfikowanych linii (lub pasm) powstających w ciemnych obłokach materii międzygwiazdowej.

PIERŚCIEŃ WOKÓŁ SN1987A I NOWA OCENA ODLEGŁOŚCI DO WIELKIEGO OBŁOKU MAGELLANA

zdjęcie obok

Wybuch supernowej SN1987A w Wielkim Obłoku Magellana, 23 lutego 1987, był niewątpliwie jednym z najbardziej spektakularnych zjawisk astronomicznych XX wieku. Nic więc dziwnego, że supernowa ta, a raczej to co po niej pozostało, znalazła się wśród pierwszych obiektów obserwowanych przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a.

23-24 sierpnia 1990, obserwacje SN1987A wykonane kamerą *FOC* (*Faint Object Camera*) w świetle widzialnym, ujawniły, z bezprecedensową zdolnością rozdzielczą 0.1 sekundy łuku, obraz pozostałości po wybuchu supernowej i otaczającego ją pierścienia gazu o rozmiarach około 1.3 roku świetlnego (patrz wkładka). Obecność tego pierścienia astronomowie podejrzewali już wcześniej. Wskazywały na to obserwacje naziemne oraz z satelity ultrafioletowego *IUE* (*International Ultraviolet Explorer*).

Pierścień ten, powstał z materii wyrzuconej w postaci intensywnego wiatru gwiazdowego z czerwonego nadolbrzyma, jakim była presupernowa mniej więcej 10,000 lat przed wybuchem. Początkowo gwiazda była zanurzona w rozrzedzonej, powoli ekspandującej otoczce. W miarę utraty zewnętrznych warstw, czerwony nadolbrzym stawał coraz gorętszy, a wiatr z jego powierzchni coraz szybszy. Po pewnym czasie, bardzo szybki wiatr z błękitnego teraz już olbrzyma, dogonił i sprężył pierwotną otoczkę. Sprężanie to było z jakichś powodów bardziej efektywne w płaszczyźnie równikowej i w efekcie powstał pierścień. Ponieważ zaś pierścień jest nachylony względem linii widzenia, jego obserwowany kształt jest eliptyczny. Niektórzy astronomowie uważają, że presupernowa była ciasnym układem podwójnym gwiazd, co w naturalny sposób tłumaczy powstanie pierścienia i fakt bardzo dużej utraty masy na długo przed wybuchem. Po wybuchu supernowej, w ciągu paru godzin, gaz tworzący pierścień został ogrzany i zjonizowany przez silny strumień promieniowania ultrafioletowego emitowanego przez supernową. Trzy i pół roku później, pierścień pozostaje bardzo jasny, a jego temperatura przekracza 20,000 K. W ciągu najbliższych kilku lat, pozostałość po wybuchu (różowa plama o nieregularnych kształtach w centrum pierścienia) ekspandująca z prędkością kilkudziesięciu km/sek, dotrze do pierścienia i rozerwie go na kawałki.

Średnicę kątową pierścienia oceniono na 1.66 sek łuku*. Następnie, dzięki informacjom na temat zmian jasności poszczególnych linii emisyjnych powstających w pierścieniu, uzyskanym w wyniku 3-letnich obserwacji prowadzonych w obserwatoriach naziemnych i przy pomocy satelity *IUE*, można było pokusić się o określenie liniowych rozmiarów pierścienia, a dalej, jego rzeczywistej odległości. Płaszczyzna pierścienia jest nachylona pod kątem 43° do linii widzenia, wskutek czego promieniowanie z poszczególnych jego części nie dociera do obserwatora w tym samym czasie. W szczególności, światło z brzegu nachylonego w naszym kierunku, zostało zarejestrowane przez *IUE* 80 dni po wybuchu, podczas gdy promieniowanie z najbardziej odległej od nas części pierścienia potrzebowało na to aż 420 dni. Zatem rzeczywista średnica pierścienia wynosi 1.37, a jego odległość 169,000 lat świetlnych.

Obserwacje pozostałości po SN1987A przyniosły więc jeszcze jeden wspaniały i nieoczekiwany rezultat - precyzyjny pomiar odległości do Wielkiego Obłoku Magellana. Wcześniejsze oceny tej odległości, oparte głównie na obserwacjach Cefeid**, zawierały się w granicach od 143,000 do 179,000 lat świetlnych. Uzyskany obecnie wynik, 169,000 lat świetlnych, ma dokładność około 5%. Nie sposób przecenić znaczenie tego osiągnięcia. Można śmiało powiedzieć, że jest to kamień milowy na drodze ku precyzyjnej kalibracji kosmologicznej skali odległości. Znając odległość do sąsiedniej galaktyki z precyzją 5%, można będzie niebawem ocenić wartość stałej Hubble'a (a więc skali odległości we Wszechświecie) z dokładnością 10-15%, a tym samym i wieku Wszechświata z porównywalną precyzją. Obecnie, różnice w ocenie stałej Hubble'a przez różnych autorów dochodzą do 100%.

Pierścień wokół SN1987A daje również bezpośredni wgląd w ewolucję masywnych gwiazd. Porównując jego obecne rozmiary i prędkość ekspansji (ocenioną dzięki obserwacjom naziemnym oraz z *IUE*), Nino Panagia i jego współpracownicy, autorzy prezentowanych tu wyników, stwierdzili, że mniej więcej 5,000 lat przed wybuchem, presupernowa stała się błękitnym nadolbrzymem, będąc wcześniej przez przeszło pół miliona lat czerwonym nadolbrzymem. Jest to pierwsze bezpośrednie oszacowanie skali czasowej ewolucji konkretnej gwiazdy (!) i ma ogromne znaczenie dla zrozumienia i modelowania ewolucji gwiazd w ogóle, a zwłaszcza jej końcowych stadiów.

J. Mikołajewska

* Odpowiada to separacji między światłami typowego samochodu osobowego oglądanego z odległości około 180 km!

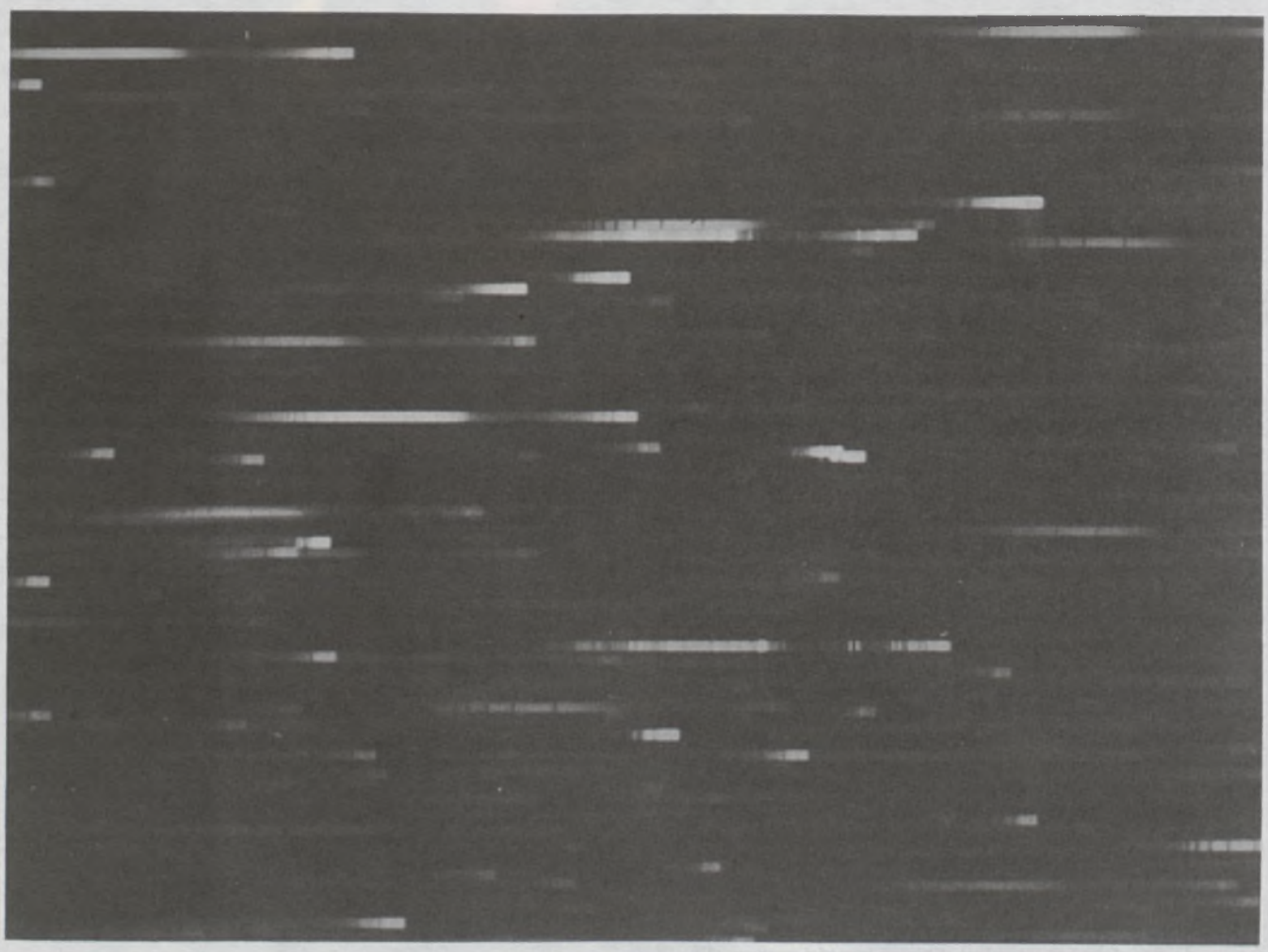
**Okresy pulsacji Cefeid są funkcja ich średniej jasności absolutnej, a zatem świetnie nadają się one, jako tzw. świece standardowe, do oceny odległości zawierających je gromad gwiazd oraz bliskich galaktyk.

Gwiazdy które parują

Andrzej Niedzielski

W roku 1867 dwaj astronomowie francuscy: Charles Josepf Etienne Wolf i Georges Antoine Pons Rayet, obserwując niebo teleskopem o średnicy 40 cm z pryzmatem obiektywowym, odkryli trzy gwiazdy, które posiadały w widmach „serie jasnych linii". Mimo, że było to ponad sto lat temu, do dzisiaj z gwiazdami nazywanymi od nazwisk ich odkrywców gwiazdami Wolfa-Rayeta, lub w skrócie WR, wiąże się wiele zagadek. Ich niezwykłe własności sprawiają, że bardziej szczegółowe badania nad nimi pozwalają lepiej zrozumieć budowę i ewolucję gwiazd, strukturę Drogi Mlecznej oraz własności innych galaktyk.

Pionierem spektroskopii gwiazdowej jest Fraunhofer, który już w roku 1814, używając teleskopu o średnicy 2.5 cm zaobserwował widmo Syriusza, a dziewięć lat poźniej Kastora, Polluksa, Kapelli, Betelgeuse i Procjona. Jego odkrycia poszły jednak w zapomnienie i dopiero w roku 1863 pojawiły się pierwsze prace innych autorów w tej dziedzinie - rozpoczęła się era spektroskopii. Początkowo spodziewano się, że wszystkie gwiazdy mają widma tego samego typu: na tle jasnego widma ciągłego serie ciemnych linii, tymczasem już w pierwszej dekadzie badań spektroskopowych okazało się, że tak nie jest. W roku 1866 Secchi, który zaobserwował widma kilkuset gwiazd zwrócił uwagę na ß Lyr i γ Cas - pierwsze gwiazdy z „jasnymi pasmami" w widmach. Widma odkrytych w 1867 roku gwiazd WR opisał dokładniej w roku 1883 Vogel, który jako pierwszy podał długości fal odpowiadające najsilniejszym liniom emisyjnym. W latach następnych ilość nowo odkrytych gwiazd WR szybko rosła dzięki odkryciom Respighiego (który znalazł najjaśniejszą gwiazdę WR – γ^2 Vel),



Okolice gromady otwartej NGC 6871 sfotografowane teleskopem Schmidta z pryzmatem obiektywowym w Obserwatorium Astronomicznym UMK w Piwnicach koło Torunia, przez J. Mikołajewską. Wyraźnie widoczne są dwie gwiazdy WR, oraz kilka gwiazd „normalnych". Różnice w wyglądzie widma są widoczne gołym okiem – silne „jasne pasma" zamiast „serii ciemnych linii" (ciemniejszy fragment w środkowej części widm wszystkich gwiazd spowodowany jest małą czułością kliszy w tym zakresie).

Pickeringa i Copelanda. Dzisiaj

znamy 158 gwiazd WR w naszej Galaktyce,

101 w Wielkim Obłoku Magellana, 8 w Małym Obłoku Magellana, oraz ponad 200 w innych pobliskich galaktykach. Ich widma znane są obecnie dość dobrze w szerokim zakresie od ultrafioletu (dzięki obserwacjom satelitarnym) poprzez obszar widzialny i podczerwień aż do zakresu radiowego. Mimo, że obecnie znanych jest wiele typów gwiazd z liniami emisyjnymi, gwiazdy WR nie przestają zadziwiać. Ich widma składają się praktycznie wyłącznie z linii emisyjnych, przy czym są to linie niezwykle silne i szerokie, często typu P Cygni. Gwiazdy WR nie tworzą jednorodnej grupy - na podstawie wyglądu ich widm w zakresie optycznym można podzielić je na trzy grupy: WN i WC (mniej więcej równoliczne) oraz WO, których znamy tylko kilka. Widma gwiazd WN zdominowane są przez linie helu i azotu, w WC najsilniejsze są linie węgla, tlenu i helu, natomiast w gwiazdach WO tlenu, węgla i helu. Interesujące jest, że w gwiazdach WN obserwuje się pewne linie węgla i tlenu podczas, gdy w gwiazdach WC i WO nie znaleziono dotąd żadnej linii azotu. Linie emisyjne wymienionych pierwiastków występują w szerokim zakresie jonizacji: N III–N VI, C II–C IV, O III–O VI i He I–He II, zatem konieczny okazał się dalszy podział wymienionych grup na WN od 2 do 9, WC 4-9 i WO 1-4, zgodnie z malejącym stopniem jonizacji najsilniejszych linii (Rys. 1). Taka klasyfikacja jakkolwiek bardzo użyteczna jest czysto fenomenologiczna i w przeciwieństwie do klasyfikacji MK, niewiele ma wspólnego z fizycznymi własnościami tych gwiazd oraz ich ewolucją. Sam kształt widm tych gwiazd pozwala wyznaczyć ich temperatury - są one rzędu 50 tysięcy stopni, co w znacznym stopniu odróżnia je od innych, natomiast najbardziej

intrygujący jest brak w widmach gwiazd WR linii wodoru

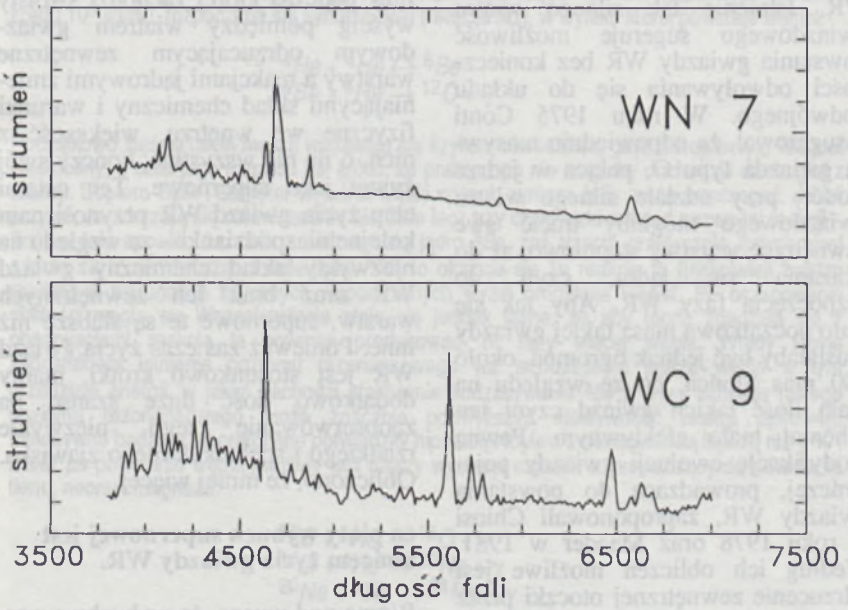
– najbardziej powszechnego we Wszechświecie pierwiastka. W roku 1943 Gamow zauważył, że węgiel, azot i tlen, pierwiastki prawdopodobnie najobficiej występujące w gwiazdach WR, są także pierwiastkami, które biorą (jako katalizatory) udział w reakcjach spalania wodoru w gwiazdach według cyklu odkrytego w 1938 roku przez Bethego i von Weizsackera. Co więcej, hel i azot - wyraźnie widoczne w widmach gwiazd WN są również podstawowymi produktami reakcji spalania wodoru. Nieco później zauważono, że węgiel i tlen - tak silnie manifestujące swoją obecność w widmach gwiazd WC są pierwiastkami powstającymi w wyniku spalania helu w jądrach gwiazd. Współcześnie wiadomo, że skład chemiczny gwiazd WR jest rzeczywiście tak odmienny od średniego, jak i wygląd ich widm. Najbardziej obficie występują w nich właśnie te pierwiastki, których silne linie obserwujemy, czyli hel i azot w gwiazdach WN, oraz węgiel, hel i tlen w gwiazdach WC i WO.

Gwiazdy są reaktorami jądrowymi

i jak wszystkie reaktory produkują poza energią odpady. W olbrzymiej większości gwiazd odpady te pozostają na zawsze ukryte głęboko pod powierzchnią gdzie mogą być ewentualnie dalej używane w reakcjach spalania helu, węgla itd. Inaczej jest w wypadku gwiazd WR, które dają nam wyjątkową możliwość bezpośredniej obserwacji „odpadów" reakcji spalania wodoru i helu. Jaka jest przyczyna tej zadziwiającej własności gwiazd WR? Jakie procesy mogą powodować że gwiazda traci swą zewnętrzną warstwę ukazując obserwatorowi niedostępne normalnie wnętrze? Na początku lat siedemdziesiątych Paczyński jako pierwszy wyjaśnił mechanizm powstawania gwiazd WR, analizując ewolucję ciasnego układu podwójnego złożonego z masywnych gwiazd typu O. W układzie takim gwiazda bardziej masywna ewoluuje szybciej niż jej towarzyszka i zaczyna w pewnym momencie „puchnąć". Jej zewnętrzna warstwa zaczyna „przelewać się" na gwiazdę mniej masywną i po pewnym czasie otaczająca jądro materia całkowicie przedostaje się na powierzchnię gwiazdy początkowo mniej masywnej odsłaniając wewnętrzne obszary, które obserwujemy jako gwiazdę WR. Mechanizm ten dobrze opisuje powstawanie około połowy gwiazd WR – druga połowa to gwiazdy pojedyńcze. Czy można wyobrazić sobie proces, w wyniku którego powstałaby pojedyńcza gwiazda WR? Jak już wspomnieliśmy linie widmowe w gwiazdach WR często posiadają charakterystyczny

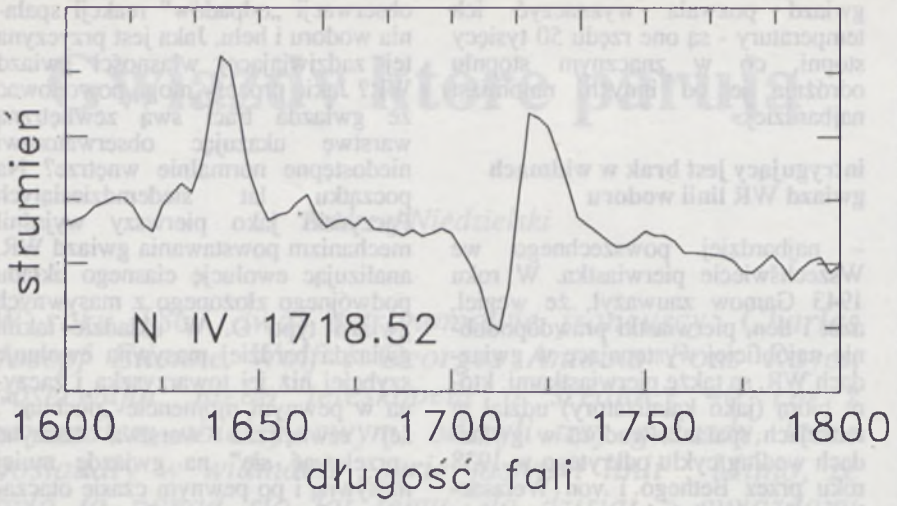
profil typu P Cygni

(nazwa pochodzi od gwiazdy, w której widmie zaobserwowano go po raz pierwszy). Profil ten jest złożeniem emisji i przesunietej w stronę fal



Rys. 1. Widma gwiazd WR w zakresie widzialnym. Najsilniejsze linie w widmie gwiazdy WN 7 pochodzą od helu i azotu. Widmo gwiazdy WC 9 zdominowane jest przez linie różnych jonów węgla i tlenu.

Jak sugeruje rysunek obok widmo gwiazdy WC jest znacznie bogatsze niż WN. Okazuje się, że jest to regułą w całym znanym zakresie widmowym. Systematyczne badania praktycznie wszystkich galaktycznych gwiazd WR wykazują dodatkowo, że są one grupą niezwykle niejednorodną. Nawet dla danego typu i podtypu (np. WN 6) natężenia linii (poza używanymi do klasyfikacji) potrafią zmieniać się o czynnik 5 - 10! Celują w tym gwiazdy WN. Najbardziej jednorodną grupę stanowią natomiast gwiazdy WC 9. Przy okazji warto wspomnieć, że poza „klasycznymi" gwiazdami WR podobny kształt widma obserwuje się również w niektórych gwiazdach leżących w centrum mgławicy planetarnej. Wiadomo też, że gwiazdy nowe mogą mieć na pewnym etapie ewolucji widmo podobne do gwiazdy WR. Fakty te wydają się wskazywać na istnienie *zjawiska Wolfa-Rayeta*, przejawiającego się intensywnym, szybkim i gęstym wiatrem gwiazdowym, zaś klasyczne gwiazdy WR są prawdopodobnie sztandarowym jego przykładem.



Rys. 2. Fragment widma gwiazdy WN w zakresie ultrafioletowym (IUE). Wyraźnie widoczny jest profil P Cygni linii azotu N IV 1718.52.

krótszych absorbcji. Profil taki powstaje wtedy gdy promieniowanie z powierzchni gwiazdy dochodzi do obserwatora poprzez rozległą, ekspandującą otoczkę wokółgwiazdową. Część otoczki, która znajduje się między gwiazda a obserwatorem, zbliża się do niego, a promieniowanie gwiazdy, przechodząc przez otoczkę ulega absorpcji. Ruch otoczki powoduje dodatkowo przesunięcie tak powstałej linii absorpcyjnej w stronę fal krótszych, przy czym przesunięcie to jest tym większe im szybciej ekspanduje otoczka (zgodnie z efektem Dopplera). Promieniowanie gwiazdy rozchodzące się w kierunku prostopadłym do kierunku gwiazda – obserwator nie ulega absorpcji, daje ono wkład do profilu P Cygni w postaci emisji. Jako, że ekspansja otoczki jest symetryczna, składowa emisyjna nie ulega przesunięciu Dopplera (Rys. 2). Gwiazdy WR posiadają zatem ekspandujące otoczki. Analizując linie P Cygni w ich widmach można oszacować zarówno prędkość ekspansji takiej otoczki jak i ilość materii wyrzucanej z powierzchni gwiazdy. Wyniki takich pomiarów okazały się zaskakujące –

gwiazdy WR dosłownie parują

wyrzucając ze swej powierzchni masę rzędu 10^{-4} – 10^{-5} masy Słońca rocznie z prędkością rzędu 2-3 tysięcy kilometrów na sekundę! Zjawisko to nazywane wiatrem gwiazdowym nie jest czymś niezwykłym w świecie gwiazd. Słońce również wyrzuca materię w postaci wiatru gwiazdowego, wywołując zorze polarne, jednak skala tego zjawiska w przypadku ogromnej większości gwiazd jest miliardy razy mniejsza (Słońce traci w wyniku wiatru około 10^{-14} swej masy rocznie). Nawet gwiazdy o podobnej do WR jasności tracą masę setki razy wolniej. Wiatr gwiazd WR jest zjawiskiem tak spektakularnym, że może być porównywany jedynie z wybuchami gwiazd supernowych. Przyczyną powstawania tak silnego wiatru gwiazdowego jest prawdopodobnie niezwykła moc promieniowania tych gwiazd, nie jest jednak jasne dlaczego właśnie w gwiazdach WR zjawisko to jest tak intensywne. Innym możliwym mechanizmem powstawania tak silnego wiatru może być niestabilność wewnętrznych obszarów gwiazdy, która prowadzi do wyrzutu otoczki poprzez pulsacje. Biorąc pod uwagę, że ewolucja gwiazd o masach rzędu 20 mas Słońca (takie są masy gwiazd WR wyznaczone z obserwacji układów podwójnych) odbywa się w czasie rzędu setek tysięcy lat dochodzimy do zadziwiającego wniosku: gwiazdy WR w czasie swej ewolucji potrafią wyrzucić w przestrzeń masę równą kilku masom Słońca! Tak wielka utrata masy nie może pozostać bez wpływu na ewolucję gwiazdy WR. Istnienie tak silnego wiatru gwiazdowego sugeruje możliwość powstania gwiazdy WR bez konieczności odwoływania się do układu podwójnego. W roku 1975 Conti zasugerował, że odpowiednio masywna gwiazda typu O, paląca w jądrze wodór, przy udziale silnego wiatru gwiazdowego mogłaby tracić swe zewnętrzne warstwy stopniowo, aż do ukazania się jądra, czyli do rozpoczęcia fazy WR. Aby tak się stało początkowa masa takiej gwiazdy musiałaby być jednak ogromna, około 100 mas Słońca, co ze względu na małą ilość takich gwiazd czyni ten schemat mało efektywnym. Pewną modyfikację ewolucji gwiazdy pojedyńczej, prowadzacą do powstania gwiazdy WR, zaproponowali Chiosi w roku 1978 oraz Maeder w 1981. Według ich obliczeń możliwe jest odrzucenie zewnętrznej otoczki przez gwiazdę typu czerwonego nadolbrzyma (palącą hel w jądrze i wodór w koncentrycznej sferze wokół niego) przy realistycznych założeniach co do wielkości wiatru gwiazdowego i początkowej masy gwiazdy. Ten proces jest oczywiście znacznie bardziej rozciągnięty w czasie. Nowsze obliczenia potwierdzają taką możliwość. Oszacowano, że efektywność trzech przedstawionych procesów powstawania gwiazd WR jest następująca: około 50% z nich powstaje w wyniku ewolucji w ciasnym układzie podwójnym, 35% w wyniku wiatru gwiazdowego odsłaniającego wnętrze gwiazdy poprzez wszystkie etapy ewolucji aż do czerwonego nadolbrzyma, 15% w wyniku ewolucji bardzo masywnych gwiazd O. Należy w tym miejscu dodać, że pewną, być może istotną rolę w powstawaniu gwiazd WR grają także mechanizmy powodujące mieszanie materii wewnatrz gwiazdy, jednak są one jak dotąd wciąż za mało znane, by można było ocenić ich efektywność. Modele teoretyczne sugerują, że gwiazdą WR może zostać gwiazda masywna jeśli jej masa początkowo przewyższa 30-40 mas Słońca.

Faza WR w ewolucji gwiazd masywnych trwa około 400 tysięcy lat

podczas gdy ich całkowity wiek, czyli czas mierzony od momentu rozpoczęcia reakcji jądrowych zamieniających wodór w hel, wynosi około 5 milionów lat. Modele teoretyczne, jak i obserwacyjnie wyznaczone różnice składu chemicznego tych gwiazd sugerują, że początkowo gwiazda WR ma typ WN a nastepnie WC, jednak zbyt wiele jest jeszcze niejasności by można było przedstawić pełny obraz ewolucji gwiazdy podczas fazy WR (nie wiadomo na przykład czy każda gwiazda WN musi stać się WC). Nie jest także do końca jasne co dzieje się dalej z gwiazdami WR. Wszystko wskazuje na to, że po przejściu niezwyle interesującej choć krótkiej fazy podczas której zachodzi swoisty wyścig pomiędzy wiatrem gwiazdowym odrzucającym zewnętrzne warstwy a reakcjami jądrowymi zmieniającymi skład chemiczny i warunki fizyczne we wnętrzu, większość z nich, o ile nie wszystkie, kończy swój żywot jako supernowe. Ten ostatni etap życia gwiazd WR przynosi nam kolejne niespodzianki – ze wzgledu na niezwykły skład chemiczny gwiazd WR oraz brak ich zewnętrznych warstw, supernowe te są słabsze niż inne. Ponieważ zaś czas życia gwiazd WR jest stosunkowo krótki, mamy dodatkowo dość duże szanse na zaobserwowanie tego niezwykle rzadkiego i spektakularnego zjawiska. Obliczono, że mniej więcej

co piąty wybuch supernowej jest końcem życia gwiazdy WR.

Biorąc pod uwagę, że wybuchy supernowych nastepują średnio co 70 lat możemy oszacować, że wybuch

supernowej kończący fazę WR następuje średnio co 350 lat. Szanse są tym wieksze, że ostatni wybuch supernowej, bedącej prawdopodobnie poprzednio gwiazdą WR, miał miejsce około roku 1660 (Cassiopea A)! Ogromna ilość wyrzucanej z wielką prędkością, w przestrzeń międzygwiazdową, materii ma znaczny wpływ na dynamikę ośrodka międzygwiazdowego i jego skład chemiczny. Gwiazdy WR podobnie jak supernowe potrafią emitować w przestrzeń ogromne ilości energi mechanicznej, porównywalne z energią wysyłaną z ich powierzchni w postaci promieniowania. Wyrzucając w przestrzeń międzygwiazdową materię, która przeszła już przez reakcje jądrowe, gwiazdy WR mają znaczny udział we wzbogacaniu Galaktyki w takie pierwiastki jak ^4He, ^{12}C, ^{17}O, oraz ^{22}Ne. Poza tym gwiazdy WC wyrzucające w postaci wiatru gwiazdowego ogromne ilości węgla odpowiedzialne są za dostarczanie ziaren grafitu, powodujących ekstynkcję międzygwiazdową. Przypuszcza się także, że z każdych 60 cząsteczek promieniowania kosmicznego – jedna powstaje w gwieździe WR. Obserwowane wokół niektórych gwiazd WR mgławice są doskonałą ilustracją ich silnego wpływu na otoczenie (najlepiej znana z nich jest NGC 6888). Oddziaływanie tych gwiazd z materią międzygwiazdową nie jest jednak jednostronne. Wiadomo mianowicie, że natężenie wiatru gwiazdowego jest powiązane z zawartością ciężkich pierwiastków (dla astrofizyka wszystkie pierwiastki cieższe od wodoru i helu są pierwiastkami ciężkimi, często nazywanymi metalami, zatem zawartość pierwiastków ciężkich astrofizyk nazywa metalicznością) w materii, z której gwiazda powstała. Wiadomo także, że w Galaktyce zawartość tych pierwiastków zmienia się odwrotnie proporcjonalnie do odległości od jej centrum. Ponieważ silny wiatr gwiazdowy jest niezbędny do powstania gwiazdy WR możemy spodziewać się, że gwiazdy te będą się najefektywniej tworzyć właśnie w obszarach centralnych Galaktyki. Obserwacje rozkładu gwiazd WR w Galaktyce potwierdzają to spostrzeżenie. Różnice w natężeniu wiatru gwiazdowego w różnych obszarach Galaktyki dobrze korelują się z częstością pojawiania się gwiazd WR w stosunku do gwiazd innych typów, jak i ze stosunkiem ilości gwiazd WN do WC. Gwiazdy WR dają nam zatem możliwość wyznaczania metaliczności oraz liczebności innych gwiazd w różnych obszarach galaktyk. Metodę tę przetestowano na Obłokach Magellana, w których obserwujemy zarówno gwiazdy WR jak i inne gwiazdy, co daje możliwość wyznaczenia metaliczności na dwa sposoby. Zgodność okazała się bardzo dobra. Dzięki temu, że gwiazdy WR są obiektami niezwykle jasnymi i bardzo charakterystycznymi możemy je stosunkowo łatwo odnajdywać w innych galaktykach, gdzie obserwacje gwiazd pozostałych typów są niezwykle trudne, a najczęściej niemożliwe. Znając ich własności możemy wnioskować o składzie chemicznym tych galaktyk a także o ilości gwiazd innych typow. Dodatkowo, pamiętając o tym, że gwiazdy WR jako masywne ewoluują bardzo szybko, możemy, obserwując je w innych galaktykach, wskazać obszary gdzie rodzą się gwiazdy.

Gwiazdy powstają w wyniku zagęszczania się obłoków materii międzygwiazdowej. Obłok taki (protogwiazda), początkowo niezwykle rzadki, zagęszcza się dzięki silom grawitacji tak bardzo, że w jego centrum powstają warunki umożliwiające rozpoczęcie reakcji jądrowego spalania wodoru (temperatura osiąga 15 mln stopni) – rodzi się gwiazda. Jeżeli materia, z której ona powstała nie zawiera znaczących domieszek pierwiastków cięższych niż hel to pierwszą reakcję jaka zapala się w jej wnętrzu możemy schematycznie zapisać:

$$4\,^1H \rightarrow {}^4He + 2e^+ + 2\nu$$

jednak jest to cykl kilku reakcji, nazywany protonowo-protonowym (p-p). Cykl ten przebiega na kilka sposobów, w zależności od temperatury jaka panuje w centrum gwiazdy dając trzy możliwości: tzw. gałąź główną i dwie boczne. Każda z nich produkuje dokładnie tyle samo energii (26.73 MeV), różnią się one ilością energii unoszonej na zewnątrz gwiazdy przez neutrina: 2% w gałęzi głównej, 4% w pierwszej bocznej i aż 28% w drugiej bocznej. Jeśli materia tworząca gwiazdę zawiera pewne ilości pierwiastków ciężkich (w szczególności węgiel, tlen i azot) oraz jeśli powstanie z niej gwiazda masywna (oba te warunki spełnione są w wypadku gwiazd WR) to z całą pewnością zamiast cyklu (p-p) rozpali się w niej o wiele bardziej efektywny cykl palenia wodoru - tzw. cykl CNO. W cyklu tym jądra węgla, azotu i tlenu (wystarczy aby było ich około 2% aby cykl ten mógł zadziałać) pełnią rolę „katalizatorów". Reakcje tego cyklu polegają na przyłączaniu jąder wodoru (protonów) do węgla, azotu lub tlenu co powoduje w efekcie powstanie helu w reakcji:

$$\begin{aligned}
&^{12}C + {}^1H \rightarrow {}^{13}N + \gamma\\
&^{13}N \rightarrow {}^{13}C + e^+ + \nu_e\\
&^{13}C + {}^1H \rightarrow {}^{14}N + \gamma\\
&^{14}N + {}^1H \rightarrow {}^{15}O + \gamma\\
&^{15}O \rightarrow {}^{15}N + e^+ + \nu_e\\
&^{15}N + {}^1H \rightarrow {}^{12}C + {}^4He
\end{aligned}$$

W tym cyklu także występuje, w zależności od temperatury kilka gałęzi. W jego wyniku wodór zamienia się w hel, natomiast między ilością „katalizatorow" ustala się pewna proporcja tak, że ponad 90% ich początkowej ilości stanowi azot ^{14}N. Tak więc po wypaleniu wodoru w jądrze gwiazdy mamy głównie hel i azot - otrzymaliśmy skład chemiczny taki jak w gwieździe WN.

Po wyczerpaniu wodoru w jądrze, gwiazda traci na pewien czas źródło energii pozwalające powstrzymać siłę grawitacji i wewnętrzne jej obszary zaczynają się kurczyć a ich temperatura rosnąć. Gdy w centrum gwiazdy zapanuje temperatura rzędu 100 mln stopni oraz ciśnienie rzędu 10^8 kg/m^3, rozpoczyna się synteza helu (reakcja 3α), w wyniku której powstaje węgiel:

$$\begin{aligned}
&^4He + {}^4He \leftrightarrow {}^8Be\\
&^8Be + {}^4He \rightarrow {}^{12}C + \gamma
\end{aligned}$$

Początkowo zajście takiej reakcji wydawało się fizykom niemożliwe, gdyż izotop berylu ^8Be jest niestabilny, a czas jego rozpadu tak krótki, że praktycznie nie mogłoby dochodzić do drugiej z reakcji. Dopiero Opik i Salpeter wyjaśnili w jaki sposob synteza helu może przebiegać. Jeżeli przyjąć, że zderzają się równocześnie nie dwie lecz trzy czasteczki α (stąd nazwa tej reakcji – 3α), w taki sposób, że dwie z nich tworzą jądro ^8Be, zaś trzecia praktycznie natychmiast zderza się z nim tworząc trwałe jądro ^{12}C, to okazuje się że reakcje ta (jakkolwiek bardzo rzadka) w warunakch fizycznych wspomnianych wyżej produkuje węgiel. Po oszacowaniu obfitości węgla we Wszechświecie stało się jednak jasne, że aby teoria zgadzała się z obserwacjami reakcja ta powinna produkowac 10 razy więcej węgla. Wtedy Hoyle zapostulował istnienie poziomu rezonansowego we wzbudzonym jądrze węgla w tym przedziale energii, w jakim zachodzi efektywnie oddziaływanie ^8Be z ^4He (istnienie takiego poziomu rezonansowego może znacznie podwyższyć efektywność reakcji jądrowej). Intensywne badania laboratoryjne potwiedziły hipotezę Hoyle'a z dokładnością lepszą niż 1 % ! Zaraz po powstaniu węgla możliwy jest dalszy wychwyt czastek α prowadzący do powstania tlenu, neonu i magnezu:

$$\begin{aligned}
&^{12}C + {}^4He \rightarrow {}^{16}O + \gamma\\
&^{16}O + {}^4He \rightarrow {}^{20}Ne + \gamma\\
&^{20}Ne + {}^4He \rightarrow {}^{24}Mg + \gamma
\end{aligned}$$

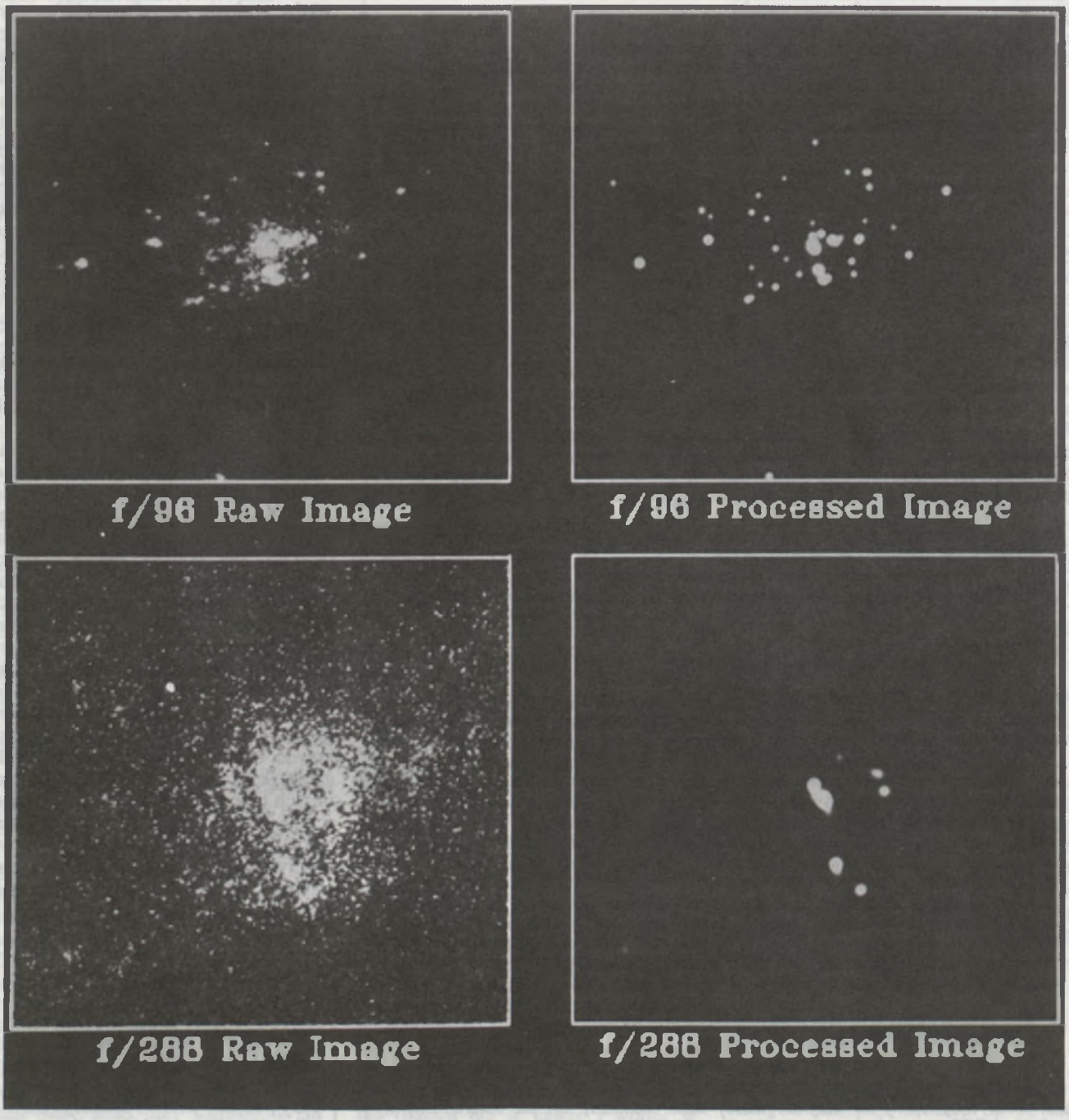
Jak widać otrzymujemy we wnętrzu gwiazdy skład chemiczny taki jak obserwowany w gwiazdach WC!

Andrzej Niedzielski jest studentem Studium Doktoranckiego na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu. Jak widać, skład chemiczny gwiazd Wolfa-Rayeta to nie tylko temat jego badań (głównie przy pomocy widm z satelity IUE), ale i prawdziwa pasja.

R136 – MŁODA GROMADA GWIAZD

Gromada gwiazd R136 leży w centrum mgławicy 30 Doradus (Złota Ryba) w Wielkim Obłoku Magellana, odległym o 169,000 lat świetlnych. Aczkolwiek wiadomo było, że gromada zawiera wiele bardzo młodych, masywnych, a zatem i bardzo gorących gwiazd, tym niemniej próby uzyskania obrazów poszczególnych składników w centralnych obszarach gromady przy pomocy najlepszych naziemnych teleskopów i bardzo skomplikowanych technik obserwacyjnych, nie dały zbyt wiele.

Poniżej prezentujemy pierwsze obrazy tej gromady uzyskane przy pomocy kamery *FOC* Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, w ultrafioletowym zakresie widma. Zdjęcie w górnym lewym rogu wykonano przy średnim powiększeniu. Mgiełka otaczająca obrazy poszczególnych gwiazd, jest wynikiem aberracji sferycznej lustra głównego, dającej w efekcie częściowe rozogniskowanie obrazu. Po prawej stronie, ten sam obraz, ale po dodatkowej obróbce komputerowej, usuwającej wpływ wadliwej optyki teleskopu. Niestety, tego typu obróbka jest możliwa jedynie w przypadku nieskomplikowanych obiektów takich jak na przykład gro-



mady gwiazd.

W dolnym lewym rogu, obraz tego samego obszaru, ale przy trzykrotnie wyższym powiększeniu. Mgiełka spowodowana aberracją sferyczną jest dużo wyraźniejsza, ale i w tym wypadku komputer potrafi sobie z nią poradzić. Przetworzony obraz (w prawym dolnym rogu) pozwala stwierdzić, że najjaśniejszy obiekt w gromadzie R136, to w rzeczywistości dwie bardzo jasne gwiazdy, położone w odległości zaledwie 0.06 sekundy łuku - wielkości bliskiej teoretycznej zdolności rozdzielczej teleskopu! Obrazy, górny i dolny, różnią się nie tylko powiększeniem, ale również czasem ekspozycji i użytymi filtrami, dlatego jasności poszczególnych gwiazd na tych zdjęciach nie są jednakowe.

Poznanie struktury młodych gromad, do których należy R136, jest bardzo istotne ze względu na rolę jaką pełnią tworzące je masywne gwiazdy w ewolucji galaktyk i ponieważ właśnie w takich gromadach, niemal na naszych oczach rodzą się nowe gwiazdy. R136 jest gromadą niezwykłą również dlatego, że zawiera najmasywniejsze gwiazdy jakie dotąd zaobserwowano - masy niektórych z nich stokrotnie przewyższają masę Słońca, a generowana w nich energia jest miliony razy większa. Zgodnie z aktualnymi teoriami powstawania gwiazd, tak ogromne masy są bliskie maksymalnej masy, przy której gwiazda jest w stanie zachować stabilność.

Masywne gwiazdy mają również ogromny wpływ na powstawanie przyszłych generacji gwiazd, wzbogacając gaz międzygwiazdowy w różne pierwiastki oraz dostarczając mu ogromnych ilości energii. Praktycznie wszystkie pierwiastki, poza wodorem i helem, powstają w reakcjach termonuklearnych we wnętrzach gwiazd. Im większa jest masa gwiazdy, tym cięższe pierwiastki mogą być wyprodukowane w jej wnętrzu, do żelaza i niklu włącznie. Jeszcze cięższe pierwiastki powstają w czasie wybuchów supernowych. Kiedy masywna gwiazda kończy swój żywot wybuchem supernowej, pierwiastki te wydostają się na zewnątrz i w końcu trafiają do ośrodka międzygwiazdowego.

J. Mikołajewska

WIELKA BIAŁA PLAMA NA SATURNIE

zdjęcie na okładce

Plama została odkryta przez amerykańskich astronomów amatorów pod koniec września 1990 roku. W parę dni później astronomowie, między innymi z obserwatorium Uniwersytetu Stanowego w Nowym Meksyku, zauważyli, że obłok szybko rozrasta się, opasując niemal cały równik, wznosząc się jednocześnie do coraz wyższych warstw atmosfery. 9 września 1990, to niezwykle rzadkie i spektakularne zjawisko zostało zarejestrowane przy pomocy Planetarnej Kamery Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, w niebieskim i podczerwonym zakresie widma.

Podobne, *ogromne białe plamy*, obserwowano już w przeszłości czterokrotnie, w 1876, 1903, 1933 i 1960. Za każdym razem plama pojawiała się na północnej półkuli Saturna. Uderza regularność w pojawianiu się plam – niemal dokładnie co 30 lat, czyli z okresem obiegu planety wokół Słońca (równym 29.3 lat!). Co więcej plamy zawsze rozwijały się w samym środku saturniańskiego lata na północnej półkuli, czyli wtedy gdy nasłonecznienie jest najintensywniejsze. Jest więc rzeczą oczywistą, że zjawisko wiąże się z silnym nagrzewaniem atmosfery planety.

To co widzimy jako powierzchnię Saturna, nie jest stałą powierzchnią w naszym ziemskim rozumieniu, lecz odpowiada górnym nieprzeźroczystym warstwom jego atmosfery, składającej się głównie z wodoru i helu oraz pewnych ilości metanu, amoniaku i być może innych substancji organicznych. Astronomowie sądzą, że plamy są ogromnymi obłokami powstającymi wskutek parowania w najniższych warstwach atmosfery planety, które następnie unoszą się ku górze i stają się widoczne penetrując najwyższe, rozrzedzone warstwy. Obłoki te przypominają ziemskie kłębiaste *cumulonimbusy*, potężne, ciemne chmury w kształcie góry lub wieży, z reguły zwiastujące burze. Nie jest jasne jaki mechanizm odpowiada za wznoszenie się obłoków. Być może ma to związek z uwalnianiem się ciepła wskutek kondensacji pary, co prowadzi do pojawienia się silnych ciągów ku górze unoszących sublimujące kryształki (ziarenka) amoniaku. Plamy wydłużają się, stopniowo zajmując niemal cały obwód planety, w miarę jak obłoki są unoszone przez bardzo silne wiatry wiejące wzdłuż równoleżników. Dodatkowo pojawiają się zawirowania wskutek różnej prędkości wiatrów w zależności od szerokości planetograficznej. Tak więc białe plamy są najprawdopodobniej centrami burzowymi - okami cyklonu, przypominającymi *wielką czerwoną plamę* na Jowiszu obserwowaną od kilkuset lat. Jednym z powodów, dla których atmosfera Saturna jest zazwyczaj stosunkowo spokojna, ujawniając niewiele pasm i zawirowań, może być znacznie wyższa niż w atmosferze Jowisza zawartość aerozoli (zanieczyszczeń – stałych cząstek o małych rozmiarach) i mgły (kropelek cieczy), które przesłaniają głębsze warstwy turbulentne.

J. Mikołajewska

R AQUARII

R Aqr jest jedną z najbliższych gwiazd symbiotycznych, odległą o około 650 lat świetlnych. Jest to obiekt ze wszech miar osobliwy. Układ składający się z czerwonego olbrzyma typu Miry, o okresie pulsacji 387 dni i prawdopodobnie białego karła, otacza rozległa mgławica o rozmiarach kątowych około 2 minut łuku, ekspandująca z prędkością od kilkudziesięciu (zewnętrzne obszary) do kilkuset km/s (wewnętrzne części). W japońskich kronikach znajduje się wzmianka o pojawieniu się w 930 roku jasnej nowej w pobliżu R Aqr (±5°). Prawdopodobieństwo pojawienia się przypadkowej, innej niż R Aqr, nowej ocenia się poniżej 2%. Rozległa mgławica jest prawdopodobnie pozostałością po tym wybuchu. Na tym jednak osobliwości R Aqr się nie kończą. Obiekt bowiem pozostaje przez cały czas bardzo aktywny, a do najbardziej spektakularnych przejawów tej aktywności należy pojawianie się dżetów, ostatnio najprawdopodobniej w latach 70-tych.

Nic więc dziwnego, że R Aqr znalazła się wśród obiektów ku którym skierował się Teleskop Kosmiczny w pierwszych miesiącach swojej misji. Fotografia obok przedstawia obraz centralnego obiektu w mgławicy R Aqr. Na zdjęciu widać wyraźnie jego strukturę – dwa ciemne (wskutek saturacji, ponieważ obiekt jest w rzeczywistości bardzo jasny) „węzły" w centrum są odległe o zaledwie 0.8 sekundy łuku, otoczone mgiełką (to skutek aberracji sferycznej głównego zwierciadła teleskopu), i prawdopodobnie kryją składniki układu podwójnego. Najciekawsze są jednak włókniste struktury wychodzące z centrum – jedna, jaśniejsza skierowana ku górze i druga, słabsza, widoczna poniżej. Są to najprawdopodobniej strugi materii wyrzucane z powierzchni białego karła. Skala tego zjawiska jest niezwykła nawet w kategoriach astronomicznych, strugi materii są widoczne na przestrzeni co najmniej 400 miliardów kilometrów, lub jak kto woli 2,500 jedostek astronomicznych, od centralnego obiektu. Niewątpliwie, obiekt ten będzie nieraz jeszcze obserwowany przy pomocy tego teleskopu.

Jako ciekawostkę warto jeszcze dodać, że w latach 40-tych nie kto inny a sam Edwin Hubble obserwował R Aqr, poszukując odpowiedzi na pytanie jaki mechanizm powoduje ekspansję mgławicy.

J. Mikołajewska

Gwiazdy symbiotyczne

Joanna Mikołajewska

Niezwykłość gwiazd symbiotycznych bierze się przede wszystkim stąd, że są to oddziałujące układy podwójne o najdłuższych okresach orbitalnych. W praktyce spotykamy różne kombinacje składników gwiazdowych i oddziaływań między nimi. Cechą wspólną jest obecność chłodnego olbrzyma reprezentującego bardzo zaawansowane stadium ewolucji, bezpośrednio przed ostateczną utratą zewnętrznych warstw i przejściem w stadium białego karła.

Trochę historii

Widma większości gwiazd na pierwszy rzut oka są podobne: na tle jasnego widma ciągłego występują liczne ciemne linie absorpcyjne. Jednakże już na początku XIX wieku zauważono, że na tym to podobieństwo się kończy, widma gwiazd wykazują ogromną różnorodność, będącą odbiciem zróżnicowania warunków fizycznych w gwiazdach, a zwłaszcza temperatury zewnętrznych warstw. Zanim jednak przystąpiono do interpretacji fizycznej widm gwiazdowych i odkryto jakie czynniki są odpowiedzialne za taki a nie inny ich wygląd, podjęto ogromny trud ich sklasyfikowania. W 1886 roku, a więc 10 lat po tym jak amerykański astronom H. Draper po raz pierwszy sfotografował widmo gwiazdy, E.C. Pickering zainicjował w obserwatorium Harvard College, którego był wówczas dyrektorem, regularny przegląd nieba przy pomocy astrografu z pryzmatem obiektywowym. Stworzyło to Annie Jump Cannon z tego samego obserwatorium podstawę do opracowania ostatecznych kryteriów tzw. harvardzkiej klasyfikacji widmowej i sklasyfikowania widm ponad 250 tysięcy gwiazd, opublikowanych w *Henry Draper Catalogue*, w latach 1918-1924. Praca nad tym katalogiem zajęła pani Canon 40 lat.

Zdecydowana większość gwiazd w katalogu HD ma „normalne", absorpcyjne widma liniowe. Jednakże w widmach niektórych gwiazd, są widoczne dodatkowo (lub czasem w miejsce linii absorpcyjnych) jasne linie emisyjne. W 1912 roku, Williamina P. Fleming – pierwsza kobieta formalnie zatrudniona jako astronom w obserwatorium Harvard College – opublikowała listę takich obiektów, czyli *gwiazd o osobliwych widmach*, dzieląc je na cztery kategorie: (1) gwiazdy nowe, (2) gwiazdy typu *O*, (3) gwiazdy z liniami emisyjnymi serii Balmera, oraz (4) zmienne długookresowe. W tej ostatniej grupie, znalazły się *m. in.* R Aqr i RW Hya. Później, A. Cannon wyróżniła grupę czerwonych gwiazd z jasnymi emisjami HI (seria Balmera) oraz He II, zawierającą Z And, CI Cyg, SY Mus i AG Peg.

Na odkrycia W. Fleming i A. Cannon nikt jednak nie zwrócił uwagi[1]. Dopiero w 1932, P.W. Merrill i M.L. Humason[2] z obserwatorium Mt. Wilson ponownie „odkryli" CI Cyg, SY Mus i AX Per jako osobliwe gwiazdy typu M z silnymi liniami emisyjnymi H I i He II. Fakt, że w tej samej gwieździe, obserwowano jednocześnie widmo absorpcyjne sugerujące bardzo niską temperaturę (pasma molekularne TiO, linie pochodzące od niezjonizowanych metali) i linie emisyjne typowe dla najgorętszych obiektów, był w tamtych czasach tak niezwykły, że nowo odkryte *gwiazdy o złożonych widmach*, stały się atrakcyjnym tematem dla wielu astronomów. Niemal natychmiast zbadano, w oparciu o bardzo bogatą kolekcję klisz harvardzkich, fotometryczną przeszłość m.in. Z And, CI Cyg i AX Per, stwierdzając, że oprócz bardziej lub mniej regularnych zmian jasności z okresami rzędu 600-900 dni, od czasu do czasu obserwuje się pojaśnienia (tzw. wybuchy) o 2-3 magnitudo. Jednocześnie, dzięki obserwacjom spektroskopowym powadzonym przez P.W. Merrilla w obserwatorium na Mt. Wilson, P. Swingsa i O. Struve w obserwatoriach Yerkesa i McDonalda i wielu innych astronomów, zauważono i opisano dramatyczne zmiany w widmach tych gwiazd w czasie wybuchów, przypominające zachowanie niektórych gwiazd nowych.

Niemal natychmiast po doniesieniu Merrilla i Humasona, pojawiły się sugestie L. Bermana w 1933 i niezależnie Hogga w 1934, że najbardziej naturalnym wyjaśnieniem *gwiazd o złożonych widmach* jest podwójność. Nawiązując do takiej właśnie interpretacji, P.W. Merrill, w 1941 roku w czasie spotkania Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego, zaproponował dla tych obiektów nazwę *gwiazdy symbiotyczne*. Nazwa miała w ten sposób podkreślić to, że dwa zestawy ekstremalnie różnych cech spektroskopowych – z jednej strony typowych dla bardzo chłodnych gwiazd, a z drugiej linie emisyjne wymagające bardzo wysokich temperatur – zgodnie (no może niezupełnie, wszak w niektórych obiektach zaobserwowano wybuchy!) koegzystują w widmie pojedyńczego obiektu. W ten sposób, Merrill sformułował też, po raz pierwszy, kryterium przynależności do tej grupy gwiazd.

Do końca lat sześćdziesiątych, astronomowie zgromadzili ogromną ilość danych obserwacyjnych, a pomimo to natura fizyczna gwiazd symbiotycznych pozostawała równie nieuchwytna, jak w momencie ich odkrycia. Nie rozstrzygnięto nawet tak podstawowej sprawy jak to czy mamy do czynienia rzeczywiście z układami podwójnymi! Co więcej, opublikowano dziesiątki prac, w których widma gwiazd symbiotycznych interpretowano jako efekt osobliwej aktywności gwiazd pojedyńczych.

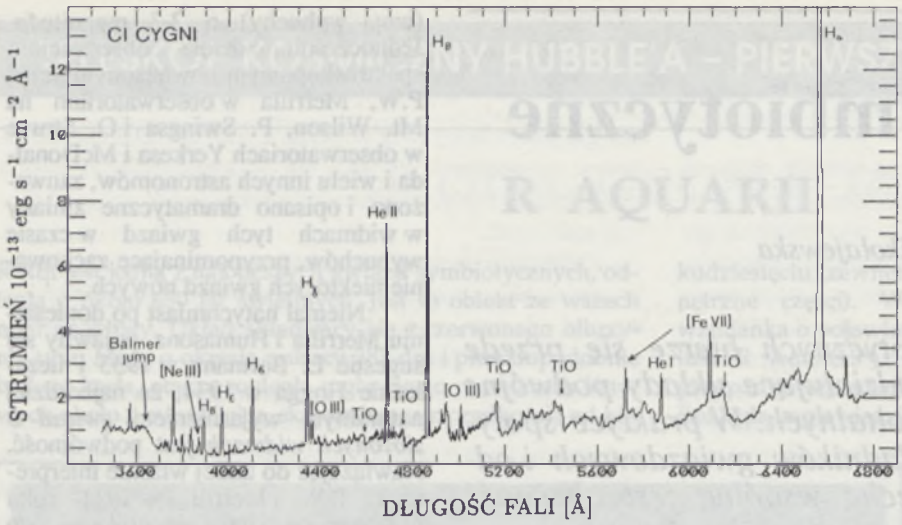
W latach osiemdziesiątych gwiazdy symbiotyczne znalazły się ponownie wśród najczęściej obserwowanych obiektów gwiazdowych. Ogromny postęp technologiczny w technikach obserwacji astronomicznych, umożliwiający pomiary w całym zakresie widma elektromagnetycznego, od najdłuższych fal radiowych do twardego promieniowania X i gamma, przyniósł znaczący postęp w zrozumieniu bardzo skomplikowanych procesów zachodzących w gwiazdach symbiotycznych. Okazało się również, że gwiazdy te są bardzo atrakcyjnymi obiektami nie tylko dla teleskopów optycznych. Obecnie znamy około 150 gwiazd symbiotycznych, z tego kilka w Obłokach Magellana.

Podstawowe fakty obserwacyjne

Ponieważ gwiazdy symbiotyczne zostały wyróżnione w oparciu o cechy obserwowane w optycznym zakresie

[1] Być może dlatego, że jako kobiety nie były one zbyt serio traktowane przez swoich kolegów astronomów. Zresztą taką postawę spotyka się do dzisiaj, w bardzo wielu dziedzinach nauki i nie tylko. Wystarczy spojrzeć ile jest w naszym kraju kobiet parlamentarzystek, ministrów, dyrektorów, itd.

[2] Tym razem, na szczęście dla gwiazd symbiotycznych, już panowie.



Rys. 1. Widmo optyczne CI Cygni.

widma, wypada zacząć od pokazania widma typowej gwiazdy symbiotycznej. Takie widmo, uzyskane przez autorkę niniejszego artykułu przy pomocy 1.82–metrowego telescopu w obserwatorium na Cima Ekar we Włoszech przedstawia rysunek 1.

Widmo to zostało zarejestrowane za pomocą urządzenia zwanego *reticonem*, dającego możliwość absolutnej kalibracji energetycznej. Widoczne są zarówno pasma TiO, świadczące o obecności bardzo chłodnego (o temperaturze ~3000 – 3500 K) czerwonego olbrzyma oraz liczne linie emisyjne i skok Balmera w emisji, zwykle obserwowane np. w mgławicach planetarnych, świadczące o obecności źródła promieniowania jonizującego o bardzo wysokiej temperaturze (> 60,000 K).

W czasie wybuchu widmo zmienia się, w maksimum blasku przypominając widmo nadolbrzyma typu A–F ($T \approx$ 7,000 K – 10,000 K). Z linii emisyjnych pozostają tylko linie serii Balmera oraz linie He I i zjonizowanych metali, głównie Fe II (rys. 2). Znikają również pasma TiO i inne struktury odpowiadające gwieździe typu M. Obserwacje w podczerwieni ujawniają jednak, że chłodny olbrzym pozostaje niezmieniony, a zniknięcie pasm TiO w optycznej części widma jest spowodowane silnym pojaśnieniem aktywnego towarzysza (rys. 2).

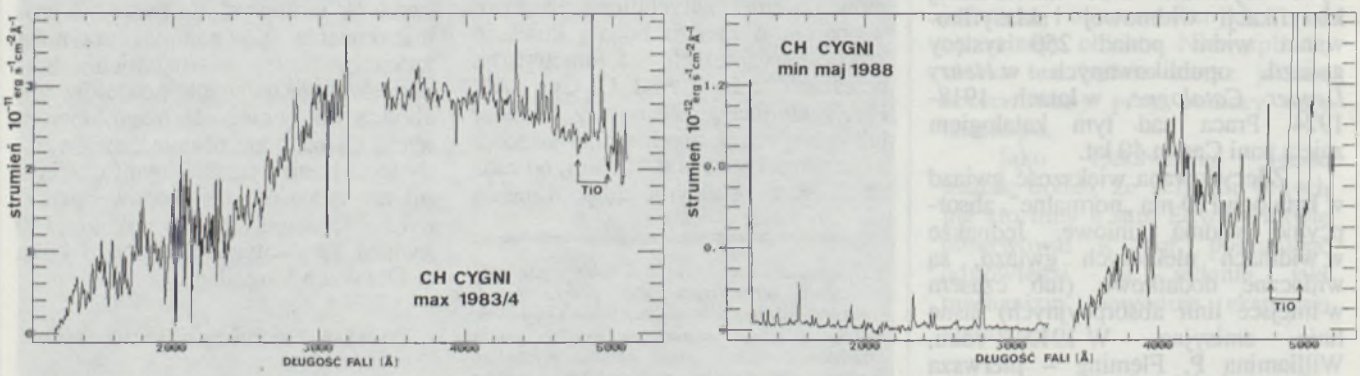
Wprawdzie optyczne widma gwiazd symbiotycznych wskazują, że możemy mieć do czynienia z układami podwójnymi, ale nie wyklucza to, niestety, możliwości, że są to gwiazdy pojedyńcze, na przykład chłodne olbrzymy z rozległymi gorącymi otoczkami (obserwowane linie emisyjne mogą powstawać w takiej otoczce). Najlepszym dowodem podwójności są zaćmienia lub zmiany wywołane zjawiskiem refleksu, zmiany okresowe prędkości radialnych składników lub po prostu obserwacja widma gorącego składnika w ultrafiolecie.

Krzywe blasku niektórych gwiazd symbiotycznych, ujawniają zmiany z okresami rzędu 200 – 1000 dni, przy czym amplitudy tych zmian rosną w miarę przechodzenia do coraz krótszych fal. To świadczy o tym, że za zmiany odpowiada gorące źródło promieniowania. Są dwie możliwe przyczyny takich zmian, zaćmienia gorącego źródła przez chłodnego olbrzyma lub nierównomierny rozkład jasności na powierzchni chłodnego olbrzyma wskutek ogrzania jednej półkuli przez gorącego towarzysza, albo pojawienia się gorącej plamy. W tym drugim wypadku, zmiany okresowe nie są wystarczającym dowodem podwójności (niektórzy, bardzo nieliczni, astronomowie sugerują, że gwiazdy symbiotyczne to pojedyńcze chłodne olbrzymy z bardzo gorącymi plamami na powierzchni) i konieczne są dodatkowe dane, na przykład krzywa prędkości radialnych lub obserwacje ultrafioletowe.

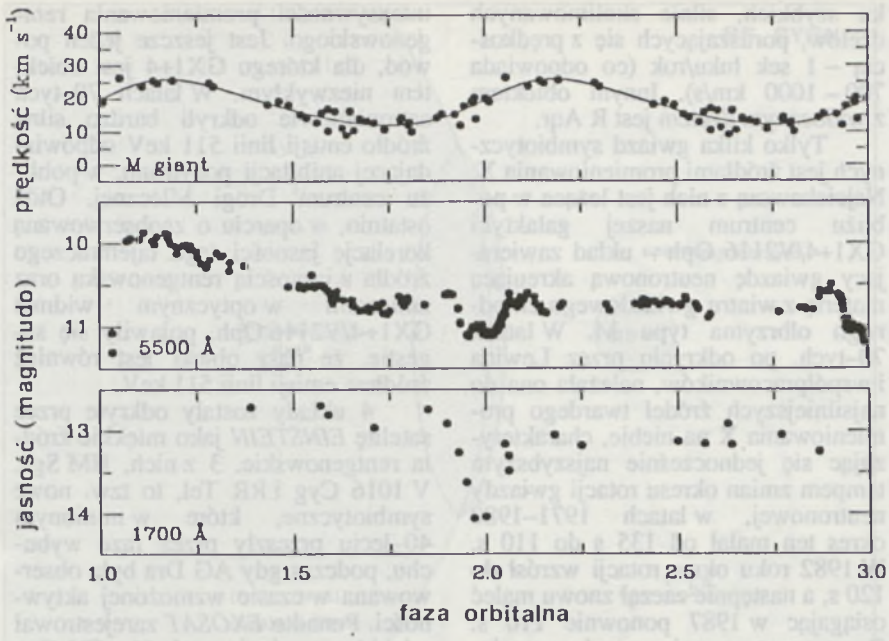
Do niedawna tylko 2 obiekty, były znane jako zaćmieniowe. W oparciu o analizę fotograficznych krzywych blasku, w 1937 M.W. Mayall odkryła zaćmienia w AR Pav, a w 1968 D. Hoffleit – w CI Cyg. Ostatnio udało się tę listę poszerzyć o dalsze obiekty. W 1985 roku, S.J. Kenyon z kolegami odkrył zaćmienia w SY Mus; w 1987 M. Mikołajewski z kolegami – w CH Cyg; w 1989 autorce tego artykułu i jej współpracownikom udało się potwierdzić zaćmieniowy charakter BF Cyg i AX Per. Trzeba przy tym podkreślić, że odkrycie zaćmień w ostatnich 4 obiektach byłoby niemożliwe bez kilkuletnich serii obserwacji w ultrafiolecie prowadzonych przez satelitę *IUE*. Analiza krzywych blasku w połączeniu z danymi z *IUE*, pozwoliła określić okresy orbitalne dla dalszych 15 obiektów (Pełną listę podaje S. J. Kenyon w książce pt. *The Symbiotic Stars*, wydaną przez Cambridge University Press w 1986).

Jeszcze gorzej przedstawia się sytuacja z prędkościami radialnymi i orbitami spektroskopowymi. Ponieważ spodziewane amplitudy zmian prędkości radialnych chłodnego olbrzyma wskutek ruchu orbitalnego są niewielkie (5–10 km/s), a okresy orbitalne duże (2–3 lata), dopiero w drugiej połowie lat osiemdziesiątych uzyskano pierwsze wiarygodne orbity spektroskopowe. Stało się to możliwe dzięki zastosowaniu spektrografu *echelle* z *reticonem*, pozwalającego uzyskać widma o dużej rozdzielczości, i zastosowaniu specjalnej metody obróbki tych danych, polegającej na korelacji danego widma z widmem standardowym. Wstępne wyniki obserwacji prowadzonych m.in. przez S J. Kenyona w obserwatorium F. Wipple w USA, pokazały, że wszystkie jasne (do około 12^m w V) są małomasywnymi, $M_1 + M_2 \approx$ 2–3 $M_\odot$, układami podwójnymi.

Niezwykle interesujące okazały się obserwacje w podczerwieni, a więc w tej części widma, w której dominujący udział ma chłodny olbrzym.



Rys. 2. Ultrafioletowe (IUE) + optyczne widmo CH Cyg podczas wybuchu oraz w minimum aktywności gorącego składnika (prawdopodobnie namagnesowanego białego karła akreującego materię z wiatru gwiazdowego chłodnego olbrzyma). Skala strumienia na obydwu rysunkach różni się 25–krotnie. Na widmach zaznaczone zostało położenie 2 najsilniejszych pasm TiO. W maksimum, całkowita moc promieniowania gorącego składnika 500–krotnie przewyższała moc promieniowania Słońca ($L_\odot$), podczas gdy w 1988 spadła do zaledwie 5% $L_\odot$.

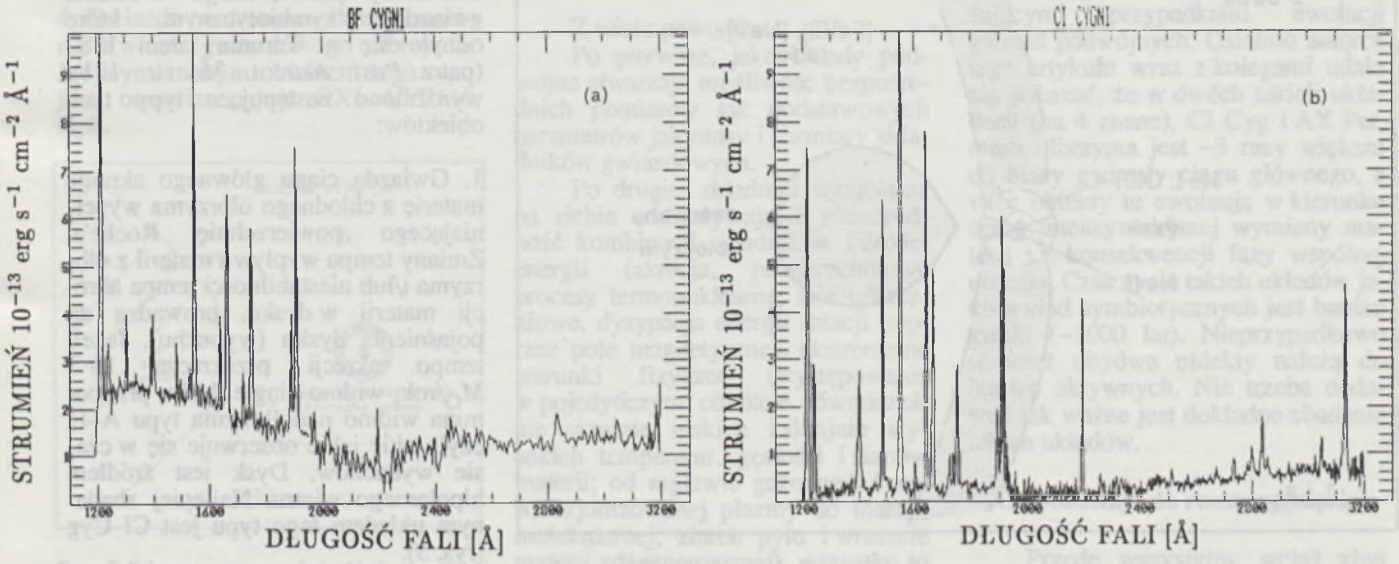


Rys. 3. Prędkości radialne oraz optyczna i ultrafioletowa krzywa blasku CI Cyg. Faza jest liczona od głównego minimum, w czasie którego chłodny olbrzym zasłania towarzysza – gwiazdę ciągu głównego otoczoną rozległym dyskiem akrecyjnym (dane pochodzą z pracy S.J. Kenyona z kolegami – w tym autorki tego artykułu).

Otóż wszystkie gwiazdy symbiotyczne można podzielić na 2 klasy:
– S (*stellar*) – czyli obiekty o widmach typowych dla chłodnych gwiazd ($T \sim 3000$ K)
– D (*dusty*) – obiekty, których widma podczerwone są zdominowane przez termiczną emisję gorącego pyłu ($T \sim 1000$ K).
Regularne obserwacje fotometryczne pokazały, że chłodne olbrzymy w układach typu D, są długookresowymi zmiennymi typu Mira, a obserwacje z satelity *IRAS* (*Infrared Astronomical Satellite*) pozwoliły stwierdzić, że są one zanurzone w rozległych otoczkach pyłowych. Dane z satelity *IRAS*, dla ponad połowy wszystkich gwiazd symbiotycznych, wykorzystano również dla oceny tempa utraty materii wskutek wiatru gwiazdowego z chłodnego olbrzyma – tempa te wynoszą średnio $\sim 10^{-7}$ $M_\odot$/rok – dla typu S, i $\sim 10^{-5}$ $M_\odot$/rok – dla typu D, czyli są nieco wyższe niż dla pojedyńczych gwiazd podobnego typu widmowego. Układy typu D są również silniejszymi źródłami radiowymi, niż gwiazdy typu S, a mgławice otaczające te układy mają z reguły niższe gęstości elektronowe i znacznie większe rozmiary. Z kolei układy typu S mają „mierzalne" okresy orbitalne, ~200 – 1000 dni. Wydaje się rozsądne przyjąć, że podstawową cechą różniącą te dwie klasy jest separacja między składnikami – w układach typu D jest ona bardzo duża, ~ 100 j.a., a zatem jest wystarczająco dużo miejsca, aby w toku ewolucji chłodny olbrzym osiągnął stadium Miry, charakteryzujące się silnym wiatrem gwiazdowym i wysoką produkcją pyłu. W układach typu S, separacja jest na tyle mała, że olbrzym wypełnia swoją powierzchnię Roche'a zanim osiągnie stadium Miry.

Obserwacje prowadzone w ultrafiolecie przez satelitę *IUE*, zrewolucjonizowały badania gwiazd symbiotycznych i dostarczyły bezpośrednich dowodów na ich podwójność. Większość gwiazd symbiotycznych ma widma ciągłe typowe dla bardzo gorących obiektów ($T > 30{,}000$ K, rys.4a). Kilka obiektów, jednak, ma widma stosunkowo płaskie typowe dla chłodniejszych gwiazd typu A lub B ($T \sim 10{,}000$ K, rys. 4b). Oczywiście, gwiazda o tak niskiej temperaturze nie jest w stanie dostarczyć wysokoenergetycznych fotonów, niezbędnych do zjonizowania mgławicy i wyprodukowania silnych linii emisyjnych. S. J. Kenyon i R.F. Webbink wykazali, że takie płaskie widma mogą powstawać w dysku akrecyjnym o ile centralnym obiektem jest gwiazda ciągu głównego. W takim wypadku, źródłem wysokoenergetycznych fotonów mogłaby być warstwa graniczna, w miejscu gdzie dysk styka się z gwiazdą centralną, oraz wewnętrzne części dysku. Jeżeli dodatkowo, układ widzimy pod dość dużym kątem, sama warstwa graniczna byłaby niewidoczna. Nieprzypadkowo, aż trzy spośród czterech obiektów w tej grupie, to układy zaćmieniowe (CI Cyg, AX Per i AR Pav), a chłodne składniki w tych układach prawdopodobnie wypełniają powierzchnię Roche'a, zapewniając w ten sposób wymagane wysokie tempo akrecji w dysku, $\sim 10^{-5} - 10^{-4}$ $M_\odot$/rok.

Ultrafioletowe widma charakteryzują się również bogactwem linii emisyjnych, zarówno o niskich potencjałach wzbudzenia (np. Fe II, Mg II) jak i bardzo wysokich (np. He II, C IV, N V). Pomiary stosunków natężeń wybranych linii, pozwoliły ocenić warunki fizyczne w mgławicach gwiazd symbiotycznych. W większości obiektów linie powstają w procesie fotojonizacji ($T_e \sim 10{,}000 - 20{,}000$ K). Aczkolwiek, ostatnie wyniki uzyskane, m.in. przez autorkę tego artykułu, dla CI Cyg i AX Per sugerują, że nie-



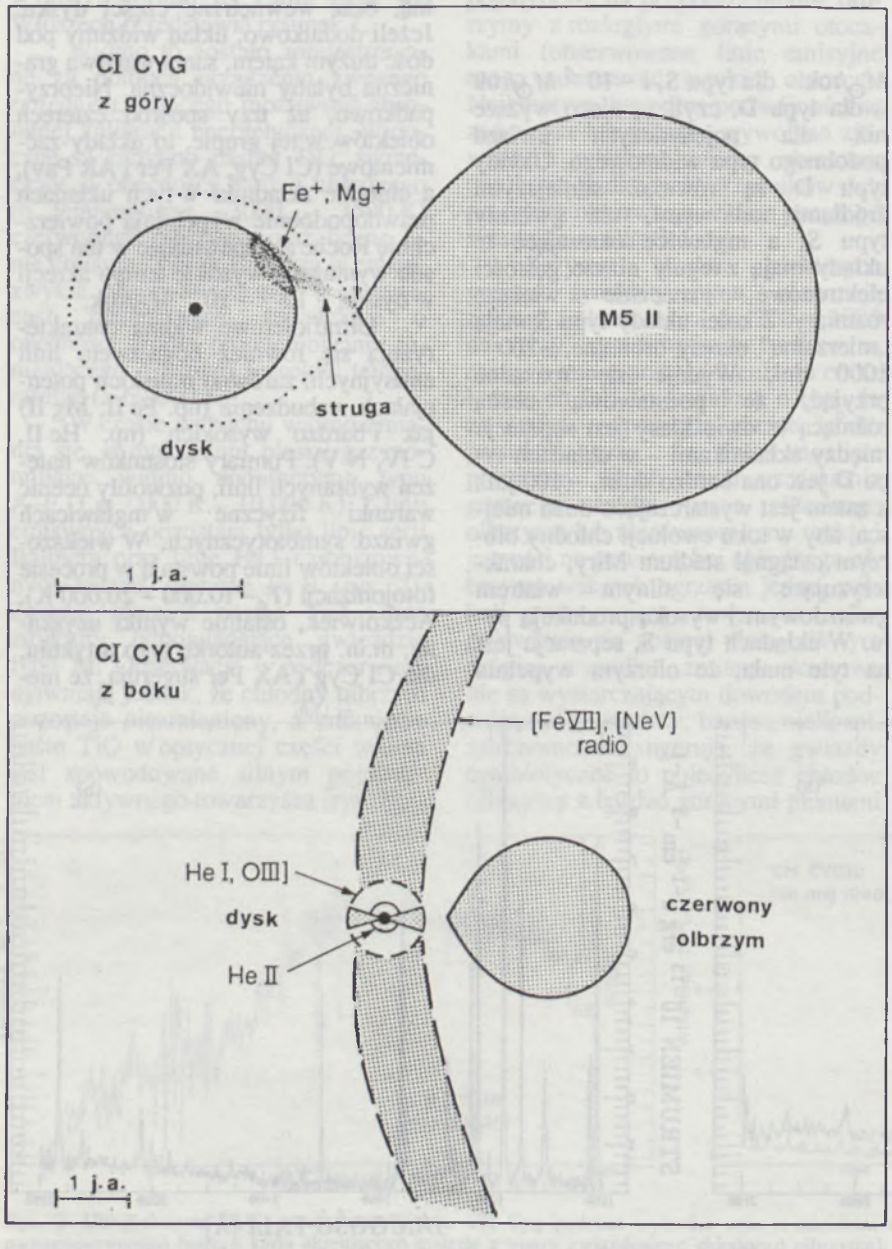
Rys. 4. Widma ultrafioletowe (*IUE*) gwiazd symbiotycznych. Skale strumieni są identyczne, a różnice natężeń są spowodowane rzeczywistymi różnicami jasności ultrafioletowych BF Cyg i CI Cyg – obydwie gwiazdy są niemal tak samo odległe od Ziemi o około 5 tysięcy lat świetlnych.

które linie (np. [Fe VII], [Ne V], [Mg V]) są produkowane przez fale uderzeniowe. Gęstości elektronowe, $n_e \sim 10^6 - 10^{10}$ cm^{-3}, są znacznie wyższe niż w mgławicach planetarnych i obszarach H II ($n_e \sim 10^4$ cm^{-3}).

Jeżeli mgławica otaczająca układ symbiotyczny jest dostatecznie duża, możemy się spodziewać emisji radiowej. Większość układów typu D jest źródłami emisji radiowej, podczas gdy tylko niektóre układy typu S. Niektóre spośród najsilniejszych źródeł mają bardzo złożoną strukturę w skali ułamków sek łuku. Można je podzielić na 2 kategorie: wiatry gwiazdowe i wyrzuty. W tej drugiej grupie, obserwuje się charakterystyczną strukturę bipolarną. Warto zauważyć, że w obiektach z tej grupy obserwuje się również dość szerokie linie emisyjne (> 500 km/s) świadczące o występowaniu wiatrów z gorącego składnika. Jednym z najciekawszych obiektów jest niewątpliwie CH Cyg, w której zaobserwowano pojawienie się w 1985 roku szybkich, silnie skolimowanych dżetów, poruszających się z prędkością ~ 1 sek łuku/rok (co odpowiada 700 – 1000 km/s). Innym obiektem z widocznym dżetem jest R Aqr.

Tylko kilka gwiazd symbiotycznych jest źródłami promieniowania X. Najciekawszą z nich jest leżąca w pobliżu centrum naszej galaktyki GX1+4/V2116 Oph – układ zawierający gwiazdę neutronową akreującą materię z wiatru gwiazdowego chłodnego olbrzyma typu M. W latach 70–tych, po odkryciu przez Lewina i współpracowników, należała ona do najsilniejszych źródeł twardego promieniowania X na niebie, charakteryzując się jednocześnie najszybszym tempem zmian okresu rotacji gwiazdy neutronowej, w latach 1971–1980 okres ten malał od 135 s do 110 s. W 1982 roku okres rotacji wzrósł do 120 s, a następnie zaczął znowu maleć osiągając w 1987 ponownie 110 s. Dramatycznym zmianom okresu w latach 1980–1982, towarzyszył spadek intensywności promieniowania rentgenowskiego. Jest jeszcze jeden powód, dla którego GX1+4 jest obiektem niezwykłym. W latach 70–tych astronomowie odkryli bardzo silne źródło emisji linii 511 keV odpowiadającej anihilacji pozytronu, w pobliżu centrum Drogi Mlecznej. Otóż ostatnio, w oparciu o zaobserwowaną korelację jasności tego tajemniczego źródła z jasnością rentgenowską oraz zmianami w optycznym widmie GX1+4/V2116 Oph, pojawiły się sugestie, że nasz obiekt jest również źródłem emisji linii 511 keV.

4 układy zostały odkryte przez satelitę *EINSTEIN* jako miękkie źródła rentgenowskie. 3 z nich, HM Sge, V 1016 Cyg i RR Tel, to tzw. nowe symbiotyczne, które w minionym 40–leciu przeszły przez fazę wybuchu, podczas gdy AG Dra była obserwowana w czasie wzmożonej aktywności. Ponadto *EXOSAT* zarejestrował miękkie promieniowanie X z CH Cyg i R Aqr, prawdopodobnie pochodzące z dżetów. Większość gwiazd symbiotycznych (~70%) była obserwowana przez *EINSTEIN*a i *EXOSAT*a, nie wykryto jednak w nich emisji rentgenowskiej, prawdopodobnie wskutek dużej lokalnej absorpcji takiego promieniowania w otaczającej je mgławicy.

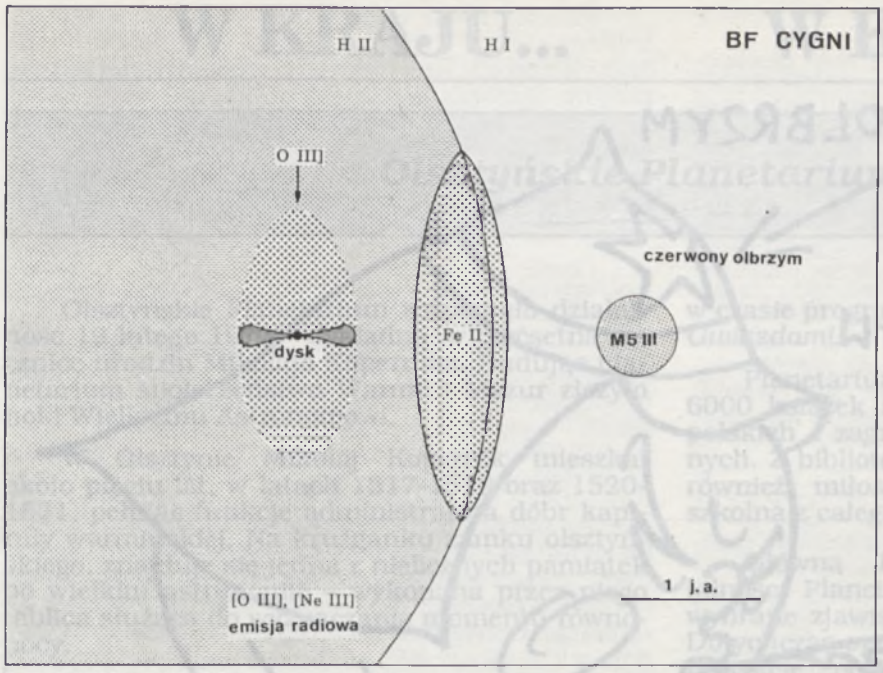


Rys. 5 Oto jak najprawdopodobniej wygląda układ CI Cygni oglądany z góry i z boku.

Przykłady obiektów zaliczanych do gwiazd symbiotycznych

W oparciu o podstawowe fakty obserwacyjne omówione w poprzednim rozdziale, rozstrzygnięto, że gwiazdy symbiotyczne są *długookresowymi układami podwójnymi wzajemnie na siebie oddziaływających gwiazd*. W praktyce istnieje kilka kombinacji składników gwiazdowych i oddziaływań między nimi dających w efekcie obiekt dający się sklasyfikować jako symbiotyczny. Cechą wspólną jest obecność chłodnego olbrzyma typu M. W czasie 103 kolokwium Międzynarodowej Unii Astronomicznej poświęconego w całości gwiazdom symbiotycznym, które odbyło się w Toruniu latem 1987 (patrz *Post. Astr.* t. 36, str. 121), wyróżniono następujące typy tych obiektów:

1. Gwiazda ciągu głównego akreuje materię z chłodnego olbrzyma wypełniającego powierzchnię Roche'a. Zmiany tempa wypływu materii z olbrzyma i/lub niestabilności tempa akrecji materii w dysku, prowadzą do pojaśnienia dysku (wybuchu). Jeżeli tempo akrecji przekracza 10^{-4} $M_\odot$/rok, widmo ciągłe dysku przypomina widmo nadolbrzyma typu A–F, czyli takie jakie obserwuje się w czasie wybuchów. Dysk jest źródłem bipolarnego wiatru. Najlepiej zbadanym układem tego typu jest CI Cyg (rys. 5).

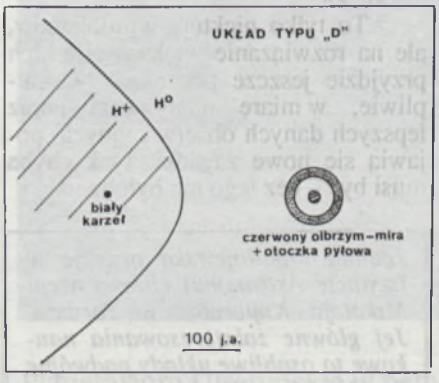


Rys. 6. A tak wygląda BF Cyg.

2. Biały karzeł akreuje bogatą w wodór materię z intensywnego wiatru gwiazdowego olbrzyma typu M. Głównym źródłem energii w UV jest quasi–stabilne spalanie termonuklearne na powierzchni białego karła, który może być również źródłem szybkiego, gorącego wiatru. Niewykluczone jest okazjonalne tworzenie się dysku akrecyjnego. Niewielkie zmiany parametrów wiatru powodują zmiany w otoczce białego karła, obserwowane jako wybuch w zakresie optycznym i bliskim UV. Przykład: BF Cyg (rys. 6).

3. Biały karzeł akreujący materię z normalnego chłodnego olbrzyma (układ typu S) lub typu Miry (układ typu D – rys. 7). W momencie nagromadzenia się dostatecznie dużej ilości materii następuje wybuch termonuklearny i mamy symbiotyczną nową. Przykłady: AG Peg (wybuch miał miejsce około 1850 roku), V 1016 Cyg (wybuch w 1965).

4. Gwiazda neutronowa akreuje materię z wiatru gwiazdowego olbrzyma. Jedynym znanym obiektem tego typu jest omawiana już GX1+4/V2116 Oph.



Rys. 7 Schematyczny wygląd układu symbiotycznego typu D.

Wzajemne odziaływania składników układu może dodatkowo komplikować obecność pól magnetycznych. Ostatnio M. Mikołajewski z kolegami zasugerował obecność magnetycznego białego karła w CH Cyg, jako wytłumaczenie wielu osobliwości tego układu, takich jak wyrzut dżetów, szybka zmienność gorącego kontinuum (flikering) z okresowością około 500 s, duża aktywność nie dająca się wytłumaczyć powierzchniowymi reakcjami termonuklearnymi, *etc.*

Wreszcie może się i tak zdarzyć, że obserwujemy świeżo utworzoną mgławicę planetarną w układzie podwójnym z chłodnym olbrzymem. Biorąc jednak pod uwagę typowy czas życia czerwonego olbrzyma i mgławicy planetarnej, powinniśmy obserwować zaledwie kilka obiektów tego typu.

Dlaczego astronomowie zajmują się gwiazdami symbiotycznymi

Z wielu powodów.

Po pierwsze, jako układy podwójne stwarzają możliwość bezpośrednich pomiarów tak podstawowych parametrów jak masy i rozmiary składników gwiazdowych.

Po drugie, składniki wzajemnie na siebie oddziaływają, a różnorodność kombinacji składników i źródeł energii (akrecja, powierzchniowe procesy termonuklearne, fale uderzeniowe, dysypacja energii rotacji poprzez pole magnetyczne), ekstremalne warunki fizyczne (występowanie w pojedyńczym obiekcie równocześnie skrajnie niskich i skrajnie wysokich temperatur, gęstości i stanów materii; od mgławic gazowych i wysokozjonizowanej plazmy do materii molekularnej, ziaren pyłu i wreszcie materii zdegenerowanej), wszystko to sprawia, że gwiazdy symbiotyczne są bardzo atrakcyjnymi laboratoriami do studiowania tych procesów.

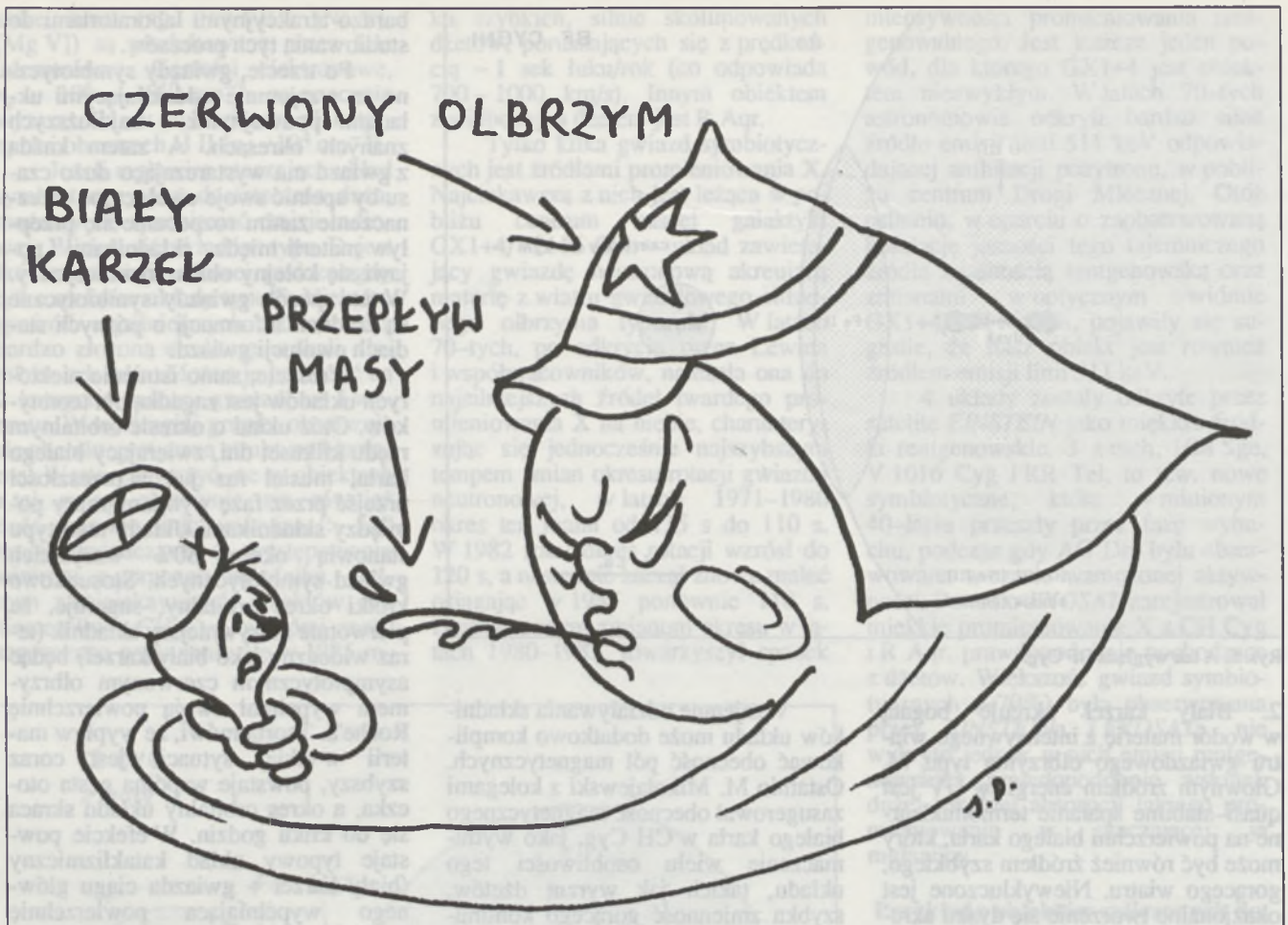
Po trzecie, gwiazdy symbiotyczne są wzajemnie oddziałującymi układami podwójnymi o najdłuższych znanych okresach. A zatem każda z gwiazd ma wystarczająco dużo czasu by spełnić swoje ewolucyjne przeznaczenie zanim rozpocznie się przepływ materii między składnikami i pojawi się kolejny obiekt symbiotyczny. W ten sposób gwiazdy symbiotyczne są źródłem informacji o późnych stadiach ewolucji gwiazd.

Wreszcie, samo istnienie niektórych układów jest zagadką dla teoretyków. Otóż układ o okresie orbitalnym rzędu kilkuset dni, zwierający białego karła, musiał raz już w przeszłości przejść przez fazę wymiany masy pomiędzy składnikami.Układy tego typu stanowią około 80% wszystkich gwiazd symbiotycznych. Stosunkowo krótki okres orbitalny, sugeruje, że pierwotnie masywniejszy składnik (teraz widoczny jako biały karzeł) będąc asymptotycznym czerwonym olbrzymem wypełniał swoją powierzchnię Roche'a. Teoria mówi, że wypływ materii w takiej sytuacji jest coraz szybszy, powstaje wspólna gęsta otoczka, a okres orbitalny układu skraca się do kilku godzin. W efekcie powstaje typowy układ kataklizmiczny (biały karzeł + gwiazda ciągu głównego wypełniająca powierzchnię Roche'a). Gwiazdy symbiotyczne zdołały jednak jakoś uniknąć tego losu. Proponuje się, że progenitorami takich układów symbiotycznych są układy małomasywnych gwiazd o niemal identycznych masach, lub, że pierwotnie masywniejszy składnik utracił znaczną część swojej otoczki poprzez wiatr gwiazdowy znacznie silniejszy niż w przypadku pojedyńczych czerwonych olbrzymów. W obydwu wypadkach nie dochodzi do powstania wspólnej otoczki i skrócenia okresu.

Układy zawierające gwiazdę ciągu głównego akreującą materię z olbrzyma wypełniajacego powierzchnię Roche'a, są również niezwykle interesującymi przypadkami ewolucji gwiazd podwójnych. Ostatnio autorce tego artykułu wraz z kolegami udało się pokazać, że w dwóch takich układach (na 4 znane), CI Cyg i AX Per, masa olbrzyma jest ~3 razy większa od masy gwiazdy ciągu głównego, a więc obiekty te ewoluują w kierunku coraz intensywniejszej wymiany materii i w konsekwencji fazy wspólnej otoczki. Czas życia takich układów jako gwiad symbiotycznych jest bardzo krótki (~1000 lat). Nieprzypadkowo również obydwa obiekty należą do bardzo aktywnych. Nie trzeba dodawać jak ważne jest dokładne zbadanie takich układów.

Co pozostaje do rozstrzygnięcia

Przede wszystkim, wciąż zbyt mało wiemy o tak podstawowych



Rys. Jacek Drążkowski

parametrach jak okresy orbitalne, masy i rozmiary składników. Niezbędne są systematyczne obserwacje zmian blasku w możliwie najszerszym zakresie widma (fotometra wielobarwna, spektrofotometria) i pomiary prędkości radialnych. Zagadnienie jest trudne, ponieważ okresy orbitalne są często porównywalne ze skalami fizycznej aktywności składników, co poważnie komplikuje interpretację danych obserwacyjnych. Gwiazdy symbiotyczne należą do najbardziej zmiennych gwiazd na niebie, a wśród możliwych rodzajów zmienności występują:

– zmiany geometryczne wywołane ruchem orbitalnym – np. zaćmienia lub zjawisko refleksu – z okresem rzędu kilkuset dni (obiekty typu S) lub od kilkunastu do kilkuset lat (typ D);

– wybuchy pojawiające się w różnych odstępach czasu, trwające od kilku miesięcy do kilkudziesięciu lat;

– pulsacje, lub półregularne zmiany, chłodnego olbrzyma z okresami od kilkudziesięciu do kilkuset dni;

– cykle aktywności magnetycznej chłodnych olbrzymów, przypominające cykl słoneczny (np. AR Pav, RR Tel), trwające od kilku do kilkudziesięciu lat;

– zmienna ekstynkcja wokółgwiazdowa (np. R Aqr, większość układów typu D);

– szybka zmienność, w skali czasowej sekund lub minut (flikering).

Aktualnie, zaledwie 15% układów ma określone okresy orbitalne, tylko dla kilkunastu olbrzymów poznano okresy pulsacji. Jeszcze gorzej wygląda sprawa orbit i mas składników: właściwie tylko dla kilku okładów istnieją wiarygodne oceny.

Nadal niezidentyfikowane pozostają mechanizmy wybuchów w większości układów. Nawet tam, gdzie określono rodzaj układu (typ składników, ewentualna separacja) mechanizm wybuchów pozostaje nierozstrzygnięty. Wciąż nie wiemy co jest przyczyną aktywności CI Cyg – należącej do najlepiej zbadanych obiektów – niestabilności wypływu materii z chłodnego olbrzyma, czy też niestabilności w dysku.

Bardzo wiele kontrowersji wzbudza również określenie klasy dzielności promieniowania chłodnych olbrzymów, a tym samym ich status ewolucyjny. Nie dysponujemy, niestety, niezależnymi ocenami odległości nawet do najjaśniejszych gwiazd symbiotycznych. Wprawdzie udało się zidentyfikować kilka obiektów w Obłokach Magellana, ale niestety, chłodne składniki są we wszystkich, z jednym wyjątkiem, przypadkach gwiazdami węglowymi, różniącymi się od bogatych w tlen olbrzymów w gwiazdach symbiotycznych należących do naszej Galaktyki.

Niezmiernie ważne są również wszelkie próby określenia struktury mgławic symbiotycznych. Brakuje zarówno wysokiej jakości danych obserwacyjnych (niewątpliwie pomocny tutaj będzie Teleskop Kosmiczny Hubble'a), jak i modeli, nawet tych najprostszych. Na razie jesteśmy na etapie odkrywania ogromnej złożoności tych mgławic, wywołanej jednoczesnym występowaniem wiatrów z obydwu składników, chłodnego i powolnego z olbrzyma, oraz gorącego i szybkiego z dysku lub białego karła, które na dodatek mogą ze sobą oddziaływać, generować fale uderzeniowe, *etc.*

To tylko niektóre z problemów, ale na rozwiązanie większości z nich przyjdzie jeszcze poczekać. Niewątpliwie, w miarę napływania coraz lepszych danych obserwacyjnych, pojawią się nowe zagadki. I tak chyba musi być – bez tego nie byłoby nauki.

Joanna Mikołajewska pracuje w Istytucie Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Jej główne zainteresowania naukowe to osobliwe układy podwójne a zwłaszcza gwiazdy symbiotyczne.

Olsztyńskie Planetarium ...

Olsztyńskie Planetarium rozpoczęło działalność 19 lutego 1973 - dokładnie w pięćsetną rocznicę urodzin Mikołaja Kopernika. Budując planetarium społeczeństwo Warmii i Mazur złożyło hołd Wielkiemu Astronomowi.

W Olsztynie Mikołaj Kopernik mieszkał około pięciu lat, w latach 1517-1519 oraz 1520-1521, pełniąc funkcję administratora dóbr kapituły warmińskiej. Na krużganku zamku olsztyńskiego, znajduje się jedna z nielicznych pamiątek po wielkim astronomie – wykonana przez niego tablica służąca do wyznaczania momentu równonocy.

Główny projektor planetarium, wyprodukowany w zakładach „Carl Zeiss" w Jenie, należy do planetariów średniej wielkości typu *Planetarium Lotów Kosmicznych*. Kopuła ma średnicę 15 metrów. W sali projekcyjnej mieści się 200 foteli. Projektor może być sterowany ręcznie lub automatycznie. Obecnie, dodatkowo konstruuje się nowocześniejsze, równoległe sterowanie komputerowe.

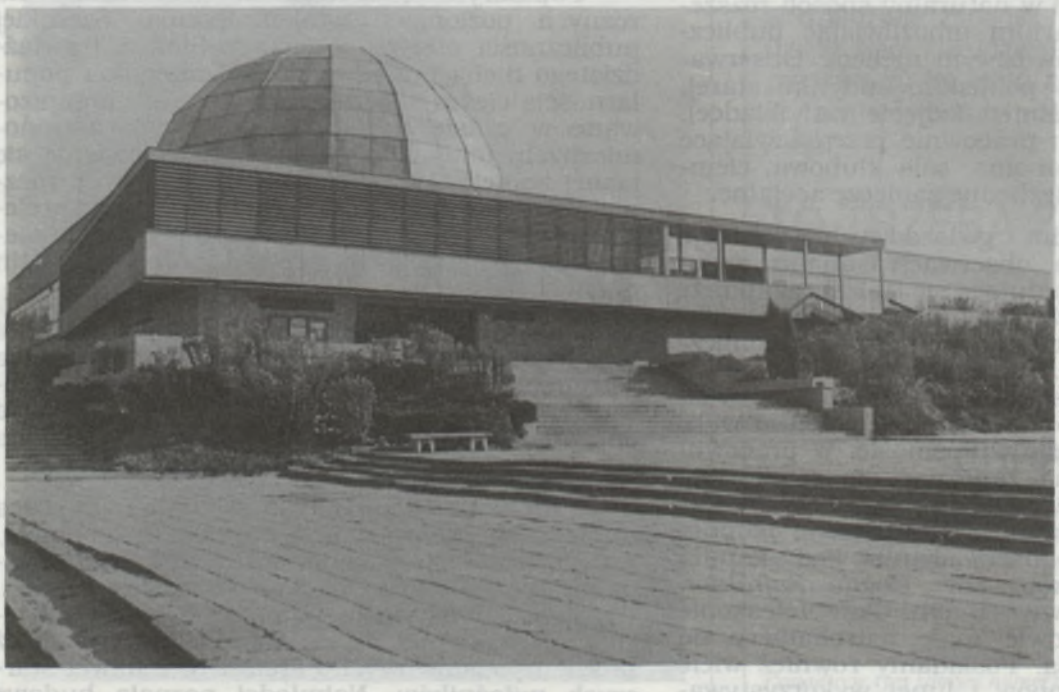
W sali projekcyjnej zainstalowano dodatkowe rzutniki przeźroczy, laser z układami optycznymi do efektów specjalnych i inne urządzenia wzbogacające możliwości demonstracyjne aparatury planetarium.

Małe studio nagrań umożliwia nagrywanie tekstów i muzyki projekcji oraz diaporam, a także odtwarzanie muzyki z płyt kompaktowych w czasie programów zatytułowanych *Muzyka pod Gwiazdami*.

Planetarium posiada bibliotekę licząca około 6000 książek i kilkadziesiąt tytułów czasopism polskich i zagranicznych, głównie astronomicznych. Z biblioteki korzystają poza pracownikami również miłośnicy astronomii oraz młodzież szkolna z całego prawie województwa.

Główną forma popularyzatorskiej działalności Planetarium są projekcje prezentujące wybrane zjawiska i zagadnienia astronomiczne. Dotychczas opracowano 20 takich projekcji. Trzy projekcje posiadają obcojęzyczne wersje, co umożliwia gościom zagranicznym wysłuchanie tekstów projekcji w wybranym języku. W sezonie turystycznym jest 6-7 projekcji dziennie, a poza sezonem turystycznym 2. Z tej formy działalności korzysta najwięcej osób. Przeciętnie Planetarium odwiedza około 100 tysięcy widzów rocznie.

Od października do marca Planetarium prowadzi *Studium Wiedzy o Wszechświecie*, czyli odczyty popularnonaukowe poświęcone wybranym zagadnieniom astronomii, astronautyki i nauk pokrewnych. Odczyty i wykłady uzupełniane są kalendarzami astronomicznymi przedstawiającymi ciekawe zjawiska astronomiczne na sztucznym niebie planetarium, przeglądami książek i czasopism, monografiami gwiazdozbiorów omawiającymi poszczególne gwiazdozbiory i ciekawe obiekty widoczne w ich obrębie oraz



Planetarium Olsztyńskie w pełnej krasie

fot. arch. Plan.

ZAPRASZAMY
DO
PLANETARIUM
OLSZTYŃSKIEGO
TUTAJ
KUPISZ
POSTĘPY
ASTRONOMII

projekcjami filmów.

W Planetarium eksponowane są okolicznościowe wystawy o tematyce astronomicznej i astronautycznej. W stałej ekspozycji znajdują się model *Sputnika-1*, portret Mikołaja Kopernika i kompozycja w atrium wykonane przez Stefana Knappa oraz malowidło ścienne *Mgławica Koński Łeb* wykonane przez Zygmunta Drońskiego. Największe zainteresowanie zwiedzających budzą jednak okruchy gruntu księżycowego przywiezione przez astronautów za statku *Apollo-11*.

W sytuacji, gdy szkołom brak odpowiednich pomocy naukowych, a nauczyciele są źle przygotowani do nauczania elementów astronomii, wzrasta rola Planetarium w edukacji astronomicznej młodzieży.

Główną formą działalności dydaktycznej Planetarium są projekcje ilustrujące zagadnienia astronomiczne występujące w programach nauczania fizyki i geografii w szkołach podstawowych i średnich. W roku szkolnym odbywa się ponad 200 takich pokazów. Nasze projekcje zmieniają się wraz ze zmianami programów szkolnych. Obecnie mamy 10 pokazów dydaktycznych. Korzystają z nich uczniowie od czwartej klasy szkoły podstawowej do ostatnich klas szkół średnich. Obecnie chcemy rozszerzyć naszą ofertę o dydaktyczne programy komputerowe, pomocne w nauczaniu elementów astronomii w szkołach wyposażonych w komputery.

Planetarium organizuje testowy konkurs astronomiczny dla dzieci ze szkół podstawowych oraz konkurs na referat i młodzieżowe seminarium astronomiczne dla młodzieży szkół średnich. Pracownicy planetarium współorganizują seminarium ogólnopolskie oraz seminaria w innych województwach. Dla czytelników *Gazety Olsztyńskiej* prowadzimy stały konkurs *Astronomiczne pytanie miesiąca*.

Oprócz popularyzacji i dydaktyki, pracownicy planetarium zajmują się również badaniami naukowymi we współpracy z profesjonalnymi ośrodkami astronomicznymi. Własna praca naukowa umożliwia im żywy kontakt z astronomią. W połączeniu z udziałem w seminariach, zjazdach, wykładach oraz innych formach podnoszenia kwalifikacji, zapewnia to wysoki poziom popularyzacji i dydaktyki.

Po blisko dwudziestu latach działalności Olsztyńskiego Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego potwierdziło się, że jego wybudowanie było bardzo udaną formą godnego uczczenia Mikołaja Kopernika. Tradycje astronomiczne zapoczątkowane w XVI wieku są nadal w Olsztynie kontynuowane.

Jadwiga Biała

... i Obserwatorium Astronomiczne

Olsztyńskie Obserwatorium Astronomiczne to właściwie dzieło życia Zbyszka Gałęckiego. To jego upór, cierpliwość i wytrwałość sprawiły, iż mimo wielu przeciwności losu i ludzi Olsztyn posiada tak unikalną placówkę popularyzacji astronomii. Obserwatorium rozpoczęło swoją działalność w 1979 i w naturalny sposób rozszerzyło ofertę planetarium umożliwiając publiczności kontakt z prawdziwym niebem. Obserwatorium mieści się w pobliskim budynku starej, 100-letniej wieży ciśnień (zdjęcie na okładce). Znajduja się w nim pracownie przedstawiające warsztat pracy astronoma, sala klubowa, ciemnia fotograficzna i niezbędne zaplecze socjalne.

Pracownia widm gwiazdowych ilustruje proces powstawania, obserwacji i analizy widm ciał niebieskich. Znajdujące się tu mikrofotometr i komparator umożliwiają dokonywanie pomiarów widm uzyskanych przy pomocy astronomicznych spektrografów. Zainstalowany w pracowni promieniowania kosmicznego detektor pozwala śledzić tory przelotu cząstek elementarnych, mających swoje źródło w kosmosie. W pracowni służby czasu można zapoznać się ze starymi i nowymi metodami pomiaru czasu. Szczyt 24-metrowej wieży zajmuje 3-metrowa kopuła i taras widokowo-obserwacyjny. Pod kopułą znajduje się teleskop, tzw. *Coude Refraktor*, o średnicy obiektywu 15 cm. Przy teleskopie zainstalowane są dwie małe astrokamery do fotografowania nieba. Posiadamy również wiele przenośnych teleskopów i lunet wykorzystywanych do prowadzenia obserwacji i publicznych pokazów nieba z tarasu, na obozach i ekspedycjach astronomicznych.

Znajdujące się w obserwatorium mikrokomputery wykorzystujemy do opracowywania obserwacji, dokonywania obliczeń teoretycznych i nauki programowania. Niektóre sterują aparaturą pomiarową.

Popularyzację astronomii prowadzimy na różnych poziomach wtajemniczenia. Szerokiej publiczności oferujemy pokazy Słońca i gwiaździstego nieba przez teleskop. Szczególną popularnością cieszą się „wieczory otwarte", organizowane w czasie wyjątkowych zjawisk astronomicznych, takich jak naprzykład pojawienie się jasnej komety, i ważnych astronomicznych rocznic. Spotkania te, połączone z interesującą prelekcją, zwiedzaniem obserwatorium i pokazem nieba, nieraz przeciągają się do późnych godzin nocnych.

Zorganizowane grupy szkolne odwiedzają nasze obserwatorium, aby zapoznać się z pracą astronomów. Poznają instrumenty, sposoby prowadzenia i opracowywania obserwacji. Często dopiero tu, przekonują się jak długa i żmudna jest droga do poznania budowy Wszechświata.

Jednak najwięcej satysfakcji daje nam praca z młodzieżą głębiej zainteresowaną astronomią. Zajęcia w kołach astronomicznych dają im możliwość poznania tej pięknej dziedziny nauki. W zależności od wieku i stopnia astronomicznego wtajemniczenia, nasze koła grupują młodzież ze szkół podstawowych i średnich, a nawet starszych miłośników. Najmłodsi poznają budowę układu słonecznego, gwiazd i galaktyk, uczą się orientacji na niebie. Starsi, bardziej szczegółowo poznają naturę obiektów astronomicznych, pra-

wa fizyki leżące u postaw ich budowy i ruchów. Zapoznają się z budową i działaniem różnych instrumentów astronomicznych. Fotografują ciekawe obiekty i zjawiska astronomiczne, obserwują Słońce, gwiazdy zmienne i zakrycia gwiazd przez tarczę Księżyca. Swoje zainteresowania rozwijają na obozach i ekspedycjach obserwacyjnych, w czasie których sprawujemy „fachowy" nadzór. Dla niektórych astronomia staje się przedmiotem studiów uniwersyteckich.

Wykorzystując aparaturę obserwatorium i we współpracy z profesjonalnymi ośrodkami, staramy się prowadzić pracę naukowo-badawczą. Od 4 lat jesteśmy w posiadaniu małego fotometru fotoelektrycznego użyczonego nam przez Obserwatorium Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, który zainstalowany w ognisku *Coude Refraktora* umożliwia precyzyjne pomiary blasku gwiazd w dwóch standardowych barwach *B* i *V* (niebieskiej i żółtej). Fotometr pracuje w reżimie *licznika fotonów*, zliczając impulsy generowane przez padające z nieba fotony. Jego pracą steruje mikrokomputer *Spectrum*. Prowadzimy obserwacje zmian blasku gwiazd zaćmieniowych i pulsujących, w tym ciekawej grupy gwiazd symbiotycznych. Obserwacje niektórych z nich prowadzimy we ramach wspólnego programu badań z obserwatoriami w Polsce i za granicą (Toruń, Rożen w Bułgarii, Tartu-Toeravere w Estonii).

Układ sterujący pracą fotometru umożliwia prowadzenie obserwacji zjawisk zachodzących w bardzo krótkiej skali czasowej. Do takich należą zakrycia gwiazd przez Księżyc i planetoidy. Fotometryczne obserwacje tych zjawisk umożliwiają nam określenie momentu zakrycia z dokładnością do 0.01 sekundy. Nasze wyniki przesyłamy do Japonii, do Tokio, gdzie mieści się światowe centrum zbierające te dane. W obserwacjach fotometrycznych wspierają nas często najbardziej zaawansowani miłośnicy astronomii.

Mimo iż obserwatorium znajduje się w centrum miasta, czystość olsztyńskiej atmosfery sprawia, że nasze obserwacje nie ustępują tym wykonywanym w profesjonalnych ośrodkach. Niestety, światła miejskie ograniczają nasze obserwacje do gwiazd jaśniejszych niż 10^m.

Nasze wyposażenie pozwala nam również na analizę widm gwiazdowych uzyskanych w większych obserwatoriach. Nasze badania skupiają się wokół fizyki wybranych gwiazd zmiennych i układów podwójnych. Wyniki publikujemy w profesjonalnych czasopismach astronomicznych polskich i zagranicznych.

B. Kulesza

Coude refraktor na wieży ciśnień!

fot. arch. Plan.

Jedną z ciekawszych atrakcji Obserwatorium Olsztyńskiego jest działający, wahadłowy (!) i autentyczny

zegar Shortta

– arcydzieło mechaniki precyzyjnej! To wszystko na co stać było ludzkość w dziedzinie zapadek, zębatek i śrubek ! Dzięki sieci kilkudziesięciu właśnie takich zegarów 50 lat temu po raz pierwszy odkryto nierównomierności ruchu wirowego Ziemi.

TO TRZEBA ZOBACZYĆ !

ERRATA

W pierwszym tegorocznym zeszycie w artykule A. Mareckiego (Post. Astr. t. 39, str 37) zostały błędnie opisane jednostki skal rysunków. Powinno być: „sekundy łuku" zamiast „minuty łuku" na rys.1a oraz „milisekundy łuku" zamiast „sekundy łuku" na rys.1b i 1c.

Ponadto w tym samym numerze, autorem zdjęcia na str. 35 jest Michał Hałaburda.

PRZEPRASZAMY!

33 – letnia seria krakowskich obserwacji radiowych Słońca

Rozpoczęte 1 października 1957 roku w Obserwatorium na Forcie Skała systematyczne obserwacje promieniowania radiowego Słońca, w paśmie 810 MHz, początkowo 5-metrowym, a od 1964 roku 7-metrowym radioteleskopem, obejmują już ponad 60 tysięcy godzin obserwacyjnych.

W ciągu tego okresu, zanotowano dwie dłuższe przerwy w obserwacjach: od 23 sierpnia 1963 do 2 lutego 1964 - spowodowaną przeniesieniem anteny radioteleskopu ze szczytu Fortu do nowego pawilonu obserwacyjnego, oraz od 6 listopada 1973 do 11 marca 1974 - związaną z przebudową aparatury odbiorczej. Inne, krótkie na szczęście przerwy w ciągu obserwacyjnym, nie miały wpływu na jednorodność tej serii.

Na rysunku, w górnym panelu, przedstawiono przykładowo wybrane obserwacje z dnia 25 czerwca 1989, z codziennego 6-godzinnego seansu obserwacyjnego. Widzimy tam zapis słońca spokojnego i wybuchów radiowych (typ 41 F i 8 S) oraz kalibracje. Obserwacje Słońca na tej częstotliwości - przy założeniu sferycznie symetrycznego rozkładu elektronów w atmosferze Słońca - dają nam informacje o warunkach fizycznych panujących w rejonie przejścia od warstw górnej chromosfery do dolnej korony. Natomiast kalibracje, wykonywane przez obserwatora 5 razy dziennie, zapewniają kontrolę aparatury odbiorczej i umożliwiają przeliczenie obserwowanego strumienia promieniowania radiowego Słońca do jednostek SI (10^{-22} W m^{-2} Hz^{-1}).

Środkowy rysunek obrazuje średnie dzienne wartości słońca spokojnego w I półroczu 1989, z bardzo dobrze widocznym 27-dniowym cyklem (rotacja synodyczna Słońca), czyli składową wolno–zmienną w promieniowaniu radiowym Słońca.

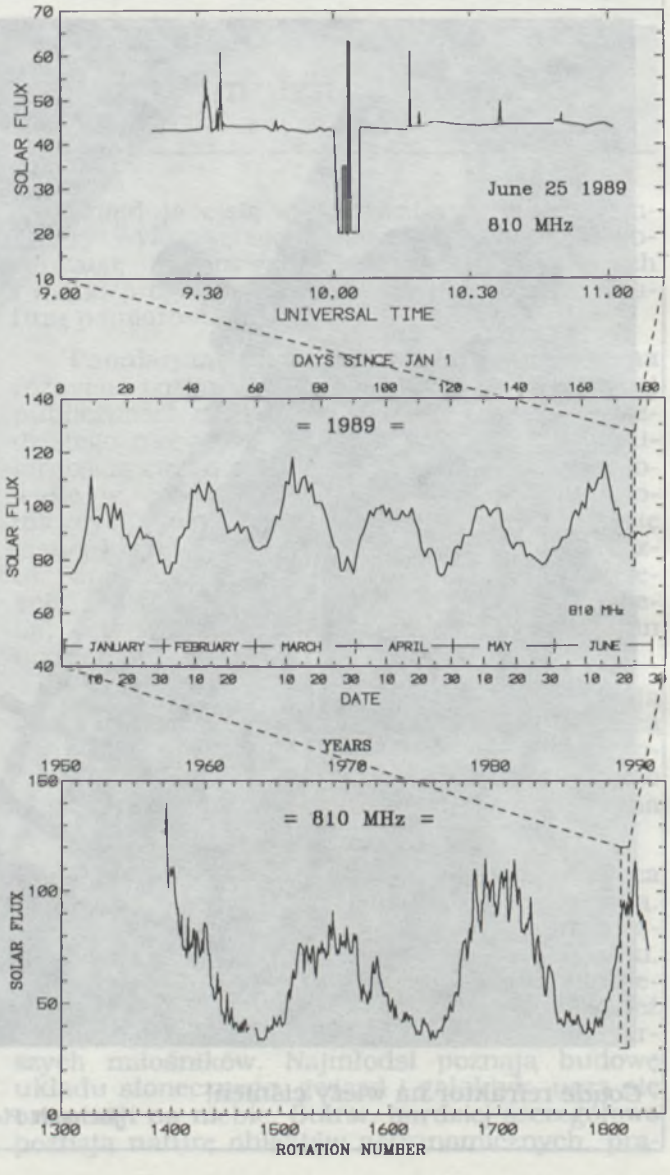
Na dolnym rysunku, obejmującym cały, 33-letni okres obserwacji krakowskich, przedstawiono średnie wartości strumienia radiowego słońca spokojnego, w poszczególnych rotacjach synodycznych. Na tym wykresie wyraźnie zaznacza swój przebieg 11-letni cykl aktywności Słońca.

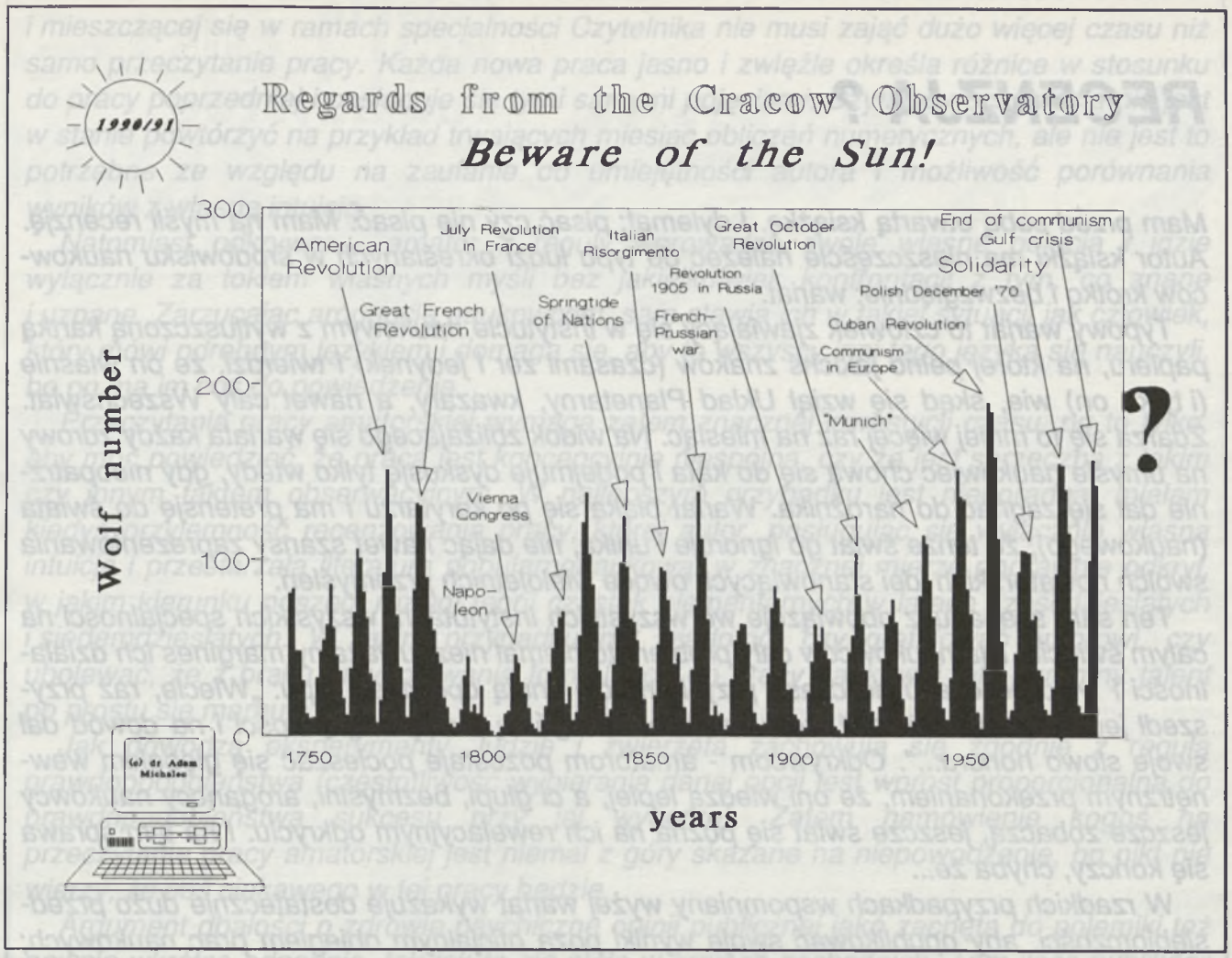
Ciekawie zapowiada się przebieg aktualnie trwającego XXII cyklu – czy maksimum już było (w połowie 1989 roku), czy też dopiero będzie? Pragnę przypomnieć, że maksimum przewidywane było na I kwartał 1991 roku.

Zwróćmy teraz naszą uwagę na wtórne maksima, występujące kolejno w rotacjach: 1430 (~1960.6 roku), 1589 (~1972.5 r.) i 1746 (~1984.2 r.), a więc średnio co 158 rotacji. Jeśli przyjmiemy tę wartość za okres powtarzania się wtórnych maksimów, to spodziewane, najbliższe wtórne maksimum powinno się pojawić w rotacji nr. 1904, czyli w roku 1996.0. Na występowanie wtórnych maksimów uwagę McIntosh, w oparciu o kanadyjskie obserwacje radiowe Słońca, prowadzone na fali 10.7 cm (2800 MHz), a zapoczątkowane 10 lat wcześniej niż krakowskie.

Te wtórne maksima – zgodnie z przyjętą interpretacją – są odbiciem gwałtownego procesu przemagnesowania się plam słonecznych należących do starego cyklu, oraz pojawieniem pierwszych plam na dużych szerokościach heliograficznych należących już do nowego cyklu aktywności. Wtórne maksima wydają się występować około 1.5 roku po fazie maksimum aktywności, a około 3.5 roku przed minimum. Jeśli tak, to minimum XXII/XXIII cyklu aktywności słonecznej przypadnie około 1998.5 roku, a maksimum XXIII cyklu w 2002.5, a zatem o 4 lata wcześniej niż wynikałoby to z analizy wieloletnich serii obserwacji plam słonecznych. Wyznaczanie podstawowych momentów w 11-letnich cyklach aktywności, takich jak minimum czy maksimum, to niezmiernie ważne zagadnienie, chociażby ze względu na planowane długoterminowe, załogowe lud bezzałogowe loty kosmiczne. Na szczęście, lub niestety, trafność prognoz pozostawia jeszcze wiele do życzenia, przede wszystkim z powodu złożoności problemu i właściwie trzeba by tej sprawie poświęcić osobny artykuł.

W roku 1990, w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Jagiellońskiego przeprowadzona została kolejna modernizacja aparatury odbiorczej, wraz z wprowadzeniem cyfrowego zapisu danych obserwacyjnych, co niewątpliwie ułatwia opracowanie obserwacji Słońca. Dzięki uzyskanemu grantowi, GA-9/GR/DAN/90, planuje się w tym roku uruchomienie spektrografu





radiowego do obserwacji Słońca w paśmie od 350 MHz do 1800 MHz. Wzbogaci to uzyskiwane wyniki obserwacyjne dotyczące fizyki Słońca oraz rozszerzy możliwości badawcze OA UJ.

Dziękuję wszystkim Obserwatorom, którzy wnieśli wspólny, ogromny wysiłek w uzyskanie tego ciekawego szeregu obserwacyjnego. Krakowskie obserwacje Słońca są częściowo finansowane w ramach problemu CPBP-01.11.

Adam Michalec

Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii

URANIA

Miesięcznik wydawany od 62 lat

- **ARTYKUŁY POPULARNONAUKOWE przystępne dla każdego**
- **KRONIKA – krótkie notki ze wszystkich dziedzin astronomii**
- **AMATORSKIE OBSERWACJE NIEBA I PORADNIK OBSERWATORA**
- **OLIMPIADA ASTRONOMICZNA**
- **KALENDARZYK ASTRONOMICZNY – najciekawsze zjawiska na niebie na każdy miesiąc**

Prenumerata: roczna 60.000,– zł; półroczna 30.000,– zł; kwartalna 15.000,– zł plus koszt wysyłki 1.200,– zł za każdy numer; nr konta PKO I OM KRAKÓW 35510-16391-132; Zarząd Główny PTMA, ul. Św. Tomasza 30/8, 31-027 Kraków

TO NIE JEST NASZA KONKURENCJA – TO NAJLEPSZE UZUPEŁNIENIE LEKTURY „POSTĘPÓW ASTRONOMII" !

RECENZJA ?

Mam przed sobą otwartą książkę. I dylemat: pisać czy nie pisać. Mam na myśli recenzję. Autor książki ma nieszczęście należeć do typu ludzi określanych w środowisku naukowców krótko i bezwzględnie: wariat.

Typowy wariat to człowiek zjawiający się w instytucie naukowym z wytłuszczoną kartką papieru, na której pełno jakichś znaków (czasami zer i jedynek) i twierdzi, że on właśnie (i tylko on) wie, skąd się wziął Układ Planetarny, kwazary, a nawet cały Wszechświat. Zdarza się to mniej więcej raz na miesiąc. Na widok zbliżającego się wariata każdy zdrowy na umyśle naukowiec chowa się do kąta i podejmuje dyskusję tylko wtedy, gdy nieopatrznie dał się zagnać do narożnika. Wariat błąka się po korytarzu i ma pretensję do świata (naukowego), że tenże świat go ignoruje i unika, nie dając nawet szansy zaprezentowania swoich nowatorskich idei stanowiących owoce wieloletnich przemyśleń.

Ten sam scenariusz obowiązuje we wszystkich instytutach, wszystkich specjalności na całym świecie. Dla naukowców cały problem to niemal niezauważalny margines ich działalności i tylko od czasu do czasu przy herbacie snują opowieści typu: „Wiecie, raz przyszedł jeden facet i twierdził, że właśnie obalił ogólną teorię względności i na dowód dał swoje słowo honoru...". Odkrywcom - amatorom pozostaje pocieszać się głębokim wewnętrznym przekonaniem, że oni wiedzą lepiej, a ci głupi, bezmyślni, aroganccy naukowcy jeszcze zobaczą, jeszcze świat się pozna na ich rewelacyjnym odkryciu. I na tym sprawa się kończy, chyba że...

W rzadkich przypadkach wspomniany wyżej wariat wykazuje dostatecznie dużo przedsiębiorczości, aby opublikować swoje wyniki poza oficjalnym obiegiem prac naukowych; udaje mu się przekonać jakieś wydawnictwo do wydania mu książki. W Polsce takie możliwości istnieją właściwie od niedawna i wiążą się z powstaniem małych, często prywatnych firm wydawniczych). Takie wydawnictwa jak PWN są dla amatorów - odkrywców niedostępne ze względu na wstępne recenzowanie (przez naukowców, oczywiście) wszystkich pozycji przed przyjęciem do druku. To samo dotyczy czasopism naukowych - co więcej, prace ściśle naukowe obowiązuje często wymóg publikowania w języku angielskim ze względu na zasięg ogólnoświatowy. Natomiast małe wydawnictwa drukują, co im się podoba, więc jeśli im się podoba, to DZIEŁO wychodzi na światło dzienne.

Co dalej? Naukowcy przy herbacie zastanawiają się, co z tym dalej zrobić. Najprościej jest nie robić nic. Pojawiają się jednak wtedy drobne wyrzuty sumienia: może jednak należy robić coś, aby nie przygotowani na to Czytelnicy nie byli zasypywani ideami, które stanowią po prostu czyjeś prywatne poglądy, a nie wykładnię udowodnionych czy ogólnie uznanych naukowych teorii. W końcu praca naukowców, szczególnie w zakresie nauk podstawowych, jest tak oderwana od jakichkolwiek bezpośrednich zastosowań, a odbywa się przecież na koszt społeczeństwa, że społeczeństwo ma prawo oczekiwać przynajmniej tego, aby nauka była odpowiednio popularyzowana, a zatem dostępna dla każdego, kto ma ochotę się z jej osiągnięciami zapoznać, niezależnie od posiadanego przygotowania.

Może zatem podejmować publiczną dyskusję z publicznie prezentowanymi nieortodoksyjnymi ideami? Tu jednak też napotykamy problemy. Po pierwsze, jak twierdzą niektórzy, reklamuje się w ten sposób rzeczy, które nie są warte reklamy. Po drugie, trzeba by taką pracę przeczytać, aby móc podjąć rzetelną dyskusję, a to nie musi być wcale proste i może zabrać dużo czasu (a przecież naukowiec indywidualnie jest rozliczany z pisania prac naukowych, a nie z czytania...).

Wyrobienie sobie zdania na temat pracy opublikowanej w The Astrophysical Journal

i mieszczącej się w ramach specjalności Czytelnika nie musi zająć dużo więcej czasu niż samo przeczytanie pracy. Każda nowa praca jasno i zwięźle określa różnice w stosunku do pracy poprzedniej i posługuje się tymi samymi pojęciami. Czytający oczywiście nie jest w stanie powtórzyć na przykład trwających miesiąc obliczeń numerycznych, ale nie jest to potrzebne ze względu na zaufanie do umiejętności autora i możliwość porównania wyników z własną intuicją.

Natomiast odkrywca - amator z reguły wprowadza swoje własne pojęcia i idzie wyłącznie za tokiem własnych myśli bez jakiejkolwiek konfrontacji z tym, co znane i uznane. Zarzucając arogancję naukowcom, sam stawia ich w takiej sytuacji jak człowiek, który mówi odrębnym językiem i domaga się, aby to wszyscy inni tego języka się nauczyli, bo on ma im coś do powiedzenia...

Przeczytanie pracy amatorskiej wymaga zatem znacznej inwestycji czasu, po to tylko, aby móc powiedzieć, że praca jest koncepcyjnie niespójna, czy że jest sprzeczna z takim czy innym faktem obserwacyjnym. W najlepszym przypadku jest nieporadna; miałam kiedyś przyjemność recenzowania pracy, której autor, posługując się wyłącznie własną intuicją i przestarzałą literaturą popularnonaukową, w znacznej mierze poprawnie odkrył, w jakim kierunku poszedł rozwój teorii cząstek elementarnych w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych. W takim przypadku nie wiadomo, czy gratulować autorowi, czy ubolewać, że z braku przygotowania formalnego do pracy naukowej taki ogromny talent po prostu się marnuje.

Jak dowodzą eksperymenty, ludzie i zwierzęta zachowują się zgodnie z regułą prawdopodobieństwa (częstotliwość wybierania danej opcji jest wprost proporcjonalna do prawdopodobieństwa sukcesu przy jej wyborze). Zatem namówienie kogoś na przeczytanie pracy amatorskiej jest niemal z góry skazane na niepowodzenie, bo nikt nie wierzy, że coś ciekawego w tej pracy będzie.

Argument dbałości o zdrowie psychiczne opinii publicznej jako zachęta do polemiki też pewnie wkrótce odpadnie, tak jak to się stało w krajach zachodnich. Tam ilość publikacji delikatnie mówiąc amatorskich przewyższa ilość rzetelnych książek popularnonaukowych o tak znaczny czynnik, że nikt już na to nie zwraca uwagi. Decyzja należy do Czytelnika; jeśli chce się on zapoznać ze stanem wiedzy w jakimś zakresie, przedstawionym przez profesjonalistę, to kupuje wyłącznie książki opublikowane przez duże, renomowane wydawnictwa i zawierające notkę o miejscu pracy autora.

I chyba więc tak musi być: amatorzy - odkrywcy coś tam sobie ciągle odkrywają i coś tam sobie publikują, i nikt na to nie zwraca uwagi. Tym wszystkim zignorowanym, na pocieszenie, można dedykować historię Benoit'a Mandelbrota.

Mandelbrot jest co prawda z wykształcenia matematykiem, ale problem, którym się zajął, był tak nietypowy dla matematyki lat sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, że nikt nie brał tego poważnie. Mandelbrot stworzył nową geometrię - geometrię przyrody. Stworzył nowe pojęcie do badania kształtów i zazwał to fraktalem. Co więcej, całe podejście Mandelbrota, tak oparte na pewności siebie, głębokiej intuicji, a w sumie bardzo nieformalne z punktu widzenia matematyki, jest tak bardzo charakterystyczne dla twórczości amatorskiej. Dziś jednak fraktale odnalazły swoje miejsce w dynamice układów nieliniowych, czyli teorii chaosu, a co drugi szanujący się fizyk i co dwudziesty astronom pracowicie wyznacza wymiar fraktalny dla swojego zagadnienia; fraktale znalazły nawet zastosowanie "przemysłowe" do taniego i zwartego kodowania obrazów, o czym można sobie było przeczytać w "Wiedzy i Życiu"...

B. Czerny

Polskie Towarzystwo Astronomiczne

Nagroda Młodych

Polskie Towarzystwo Astronomiczne corocznie przyznaje nagrody dla najlepszych prac naukowych opublikowanych przez młodych astronomów. Warunkiem uczestnictwa w konkursie jest opublikowanie w danym roku pracy naukowej w *Acta Astronomica* w języku angielskim, oraz nie ukończenie 35-go roku życia. Jury konkursu „Nagroda Młodych" w składzie M. Kubiak, M. Urbanik, J. Smak i T. Jarzębowski (nie uczestniczyli w posiedzeniu Jury jego członkowie, R. Tylenda i J. Hanasz) rozpatrzyło 13 listopada 1990 prace spełniające warunki regulaminu konkursu i podjęło decyzję o przyznaniu nagród za rok 1990.
Nagrodę pierwszego stopnia (w wysokości 600 tys. złotych) przyznano:

Januszowi Kałużnemu
za pracę „CCD Photometry of NGC 188".

Nagrody drugiego stopnia nie przyznano.
Dwie równorzędne nagrody trzeciego stopnia (po 300 tys. złotych) przyznano:

Michałowi Chodorowskiemu
za pracę „Dynamical Model for the Redshift Space Appearance of the Groups and Clusters of Galaxies"

oraz **Beacie Mazur**
za pracę „On the Position of Subdwarfs Main Sequence"

Redakcja *„Postępów Astronomii"* składa serdeczne gratulacje Nagrodzonym i Jurorom.

Złota Lista

Darowizny na rzecz Fundacji Astronomii Polskiej im. Mikołaja Kopernika w Warszawie:

M. Duch	123.000.–
M. Kożuchowska	20.000.–
M. Urbanik	20.000.–
A. Michalec	20.000.–
Z. Turło	50.000.–
K. Stępień	50.000.–
Olsztyńskie Planetarium (skarbonka)	290.000.–

Biała Lista

Lista członków PTA, którzy wpłacili wielokrotność składek członkowskich w 1990 roku:

1. Włodzimierz Baran	46.120.–
2. Marek Biesiada	41.880.–
3. Henryk Brancewicz	67.000.–
4. Aleksander Brzeziński	40.000.–
5. Tomasz Chlebowski	201.000.–
6. Lucyna Chudczer	38.000.–
7. Maria Dobrzycka	40.000.–
8. Jerzy Dobrzycki	38.000.–
9. Mirosław Giersz	46.120.–
10. Robert Głębocki	50.000.–
11. Bolesław Grabowski	57.000.–
12. Jan Hanasz	96.120.–
13. Eligiusz Jędrzejec	46.120.–
14. Barbara Kołaczek	50.000.–
15. Andrzej Kruszewski	96.120.–
16. Andrzej Kus	38.000.–
17. Jerzy Madej	46.120.–
18. Adam Michalec	50.000.–
19. Joanna Mikołajewska	40.000.–
20. Maciej Mikołajewski	40.000.–
21. Marek Sarna	38.000.–
22. Marek Siarkowski	46.120.–
23. Grzegorz Sitarski	46.120.–
24. Antoni Stawikowski	100.000.–
25. Kazimierz Stępień	38.000.–
26. Zygmunt Turło	46.120.–
27. Leszek Zaleski	74.000.–

Szara Lista

Lista członków PTA zalegających ze składkami:

ze względu na brak miejsca w tym numerze nie publikujemy Szarej Listy.

Czarna Lista

Lista członków, którzy nigdy nie zapłacili składek:

ze względów humanitarnych na razie nie publikujemy.

Gdzie i jak kupić postępy astronomii?

Z listów jakie otrzymujemy do Redakcji wynika, że nasi Czytelnicy którym udało się jakoś zdobyć pierwszy numer naszego pisma bardzo się martwią czy zdobędą również drugi i następne. Wszystkich zainteresowanych zawiadamiamy, że najpewniejszym sposobem zapewnienia sobie stałego dostępu do *Postępów Astronomii* jest

prenumerata,

przy czym istnieje możliwość zamawiania tylko niektórych numerów (jeśli jakieś Czytelnik już posiada) poprzez skreślenie tych niepotrzebnych na odwrocie załączonego formularza.

Cena jednego numeru w dalszym ciągu wynosi zaledwie 9000 zł, a prenumeraty rocznej (4 numery) 36000 zł.

Część Czytelników pyta dlaczego nasze pismo nie jest dostępne w kioskach Ruchu? Otóż obawiamy się, że zarówno specyfika „Postępów Astronomii", na razie stosunkowo niski nakład, a przede wszystkim rzadkość edycji (kwartalnik!) spowodowałaby, iż nasze pismo po prostu utonęłoby w powodzi czasopism zalewających kioski. Dlatego raczej staramy się je umieszczać w niektórych, tych najlepszych(!), księgarniach, przynajmniej w dużych i średnich miastach. Niestety, na razie nie wszędzie dotarliśmy. Przy okazji wszystkim Właścicielom i Kierownikom księgarń, kórzy przyjęli do sprzedaży nasz kwartalnik chcielibyśmy tą drogą serdecznie podziękować.

Martwi nas bardzo, jak na razie stosunkowo niska ilość prenumerat ze szkół, zwłaszcza w czasach kiedy Prezes naszego Towarzystwa jest jednocześnie Ministrem Edukacji! Apelujemy więc do Prezesa–Ministra o zwiększenie dotacji na zakupy biblioteczne dla szkół! Z tego co wiemy większość prenumerat szkolnych pochodzi z prywatnych środków nauczycieli! Iluż jednak się takich zapaleńców znajdzie? Apelujemy więc i do Nauczycieli, nie odmawiajcie swoim uczniom tej wspaniałej przygody jaką może być astronomia, a i Wam możemy pomóc w prowadzeniu niektórych lekcji! Wszak współczesna astrofizyka to jeden z najdynamiczniej rozwijających się działów fizyki. I jakże oddziaływający na wyobraźnię! Jeśli Wasi uczniowie nie pytają Was o czarne dziury, o początek Wszechświata, o kwazary i neutrina, może to być groźny sygnał, że tracicie kontakt z klasą. Redakcja „Postępów Astronomii" ma nadzieję Wam pomóc.

WYPEŁNIĆ I WYCIĄĆ

Dla wpłat na rachunki w innych bankach

Pokwitowanie dla wpłacającego

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla posiadacza rachunku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla banku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

● Adresy księgarń, w których można kupić *„Postępy Astronomii"*

- Grójec, ul. Piłsudskiego 6
- Katowice, księg. *„Nauka"*, ul. Warszawska 11
- Kraków, księg. *„Ossolineum"*, Rynek Główny 4
- Kraków, Księg. Wydawnictw Naukowych *„Elefant"*, ul. Podwale 6
- Kraków, księg. *„Irys"*, Rynek Główny 23
- Kraków, księg. *„Skarbnica"*, os. Centrum C Bl. 1
- Lublin, ul. Krakowskie Przedmieście 62
- Łódź, księg. *„Pegaz"*, ul. Piotrkowska 47/49
- Olkusz, ul. Kościuszki 14
- Piotrków Tryb., *„Dom Książki"*, ul. Słowackiego 1
- Puławy, KMPiK, ul. Lubelska 25
- Radom, księg. naukowo-techniczna *„Bis"*, ul. 25 czerwca 26/32
- Warszawa, Główna Księg. Naukowa im B. Prusa, ul. Krakowskie Przedmieście 7
- Warszawa, ORWN PAN, Pałac Kultury i Nauki
- Warszawa, księg. *„MDM"*, ul. Piękna 31/37
- Warszawa, Główna Księg. Techniczna, ul. Świętokrzyska 14
- Toruń, księg. *„Comer"*, ul. Konstytucji 3 Maja 10
- Toruń, *Księgarnia Naukowa*, Rynek Staromiejski
- Zawiercie, *„Dom Książki"*, ul. 3 Maja 11

● Ponadto *„Postępy Astronomii"* można nabyć w planetariach i obserwatoriach:

- Śląskim Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym w Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie
- Olsztyńskim Planetarium i Obesrwatorium Astronomicznym, al. J. Piłsudskiego 38
- Planetarium Grudziądzkim, ul. Krasickiego 1/7, Zespół Szkół Chemiczno-Elektrycznych
- Planetarium Warszawskim, Muzeum Techniki w Pałacu Kultury i Nauki
- Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Piwnice pod Toruniem

● oraz osobiście w Redakcji: Bartycka 18, 00-716 Warszawa u B. Czerny, wtorki 12-14 tel. 41-00-41 w.40

UWAGA

WŁAŚCICIELE I KIEROWNICY KSIĘGARŃ

DYSTRYBUTORZY KSIĄŻEK I CZASOPISM

Poszukujemy chętnych do sprzedaży, dystrybucji i kolportażu kwartalnika

postępy astronomii

prosimy o listowny kontakt z Redakcją: *„Postępów Astronomii"*, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

lub telefoniczny:
Bożena Czerny: 41-00-41 w. 40 Warszawa
Joanna i Maciej Mikołajewscy: 48-71-44 Toruń

Na wszystkich częściach blankietu należy wpisać czytelnie atramentem, długopisem lub pismem maszynowym jednakowo kwotę cyframi, imię i nazwisko wpłacającego, jego adres, siedzibę oddziału banku, w którym prowadzony jest rachunek oraz numer i nazwę tego rachunku.

Symbol planu kasowego .....

5-31-4020/I
Zam. 938/S WA-Gk zam. z 29.III.90 DIA/90 109/90 W&P Malbork

Rodzaj zobowiązania:

Zamówienie (prenumerata) na następujące numery *„Postępów Astronomii"* w roku 1991 (niepotrzebne skreślić):

1 – 2 – 3 – 4

razem: ..... zł.

Bank nie odpowiada za treść korespondencji pochodzącej od osób trzecich

Za skutki wynikłe z mylnego wypełnienia blankietu ponosi odpowiedzialność wyłącznie wpłacający.

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

zaprasza

na serie odczytów przeznaczonych dla wszystkich miłośników astronomii. Odczyty odbywają się w semestrze jesiennym i wiosennym.

Warszawa: *Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Bartycka 18, poniedziałki, godz. 17.00*

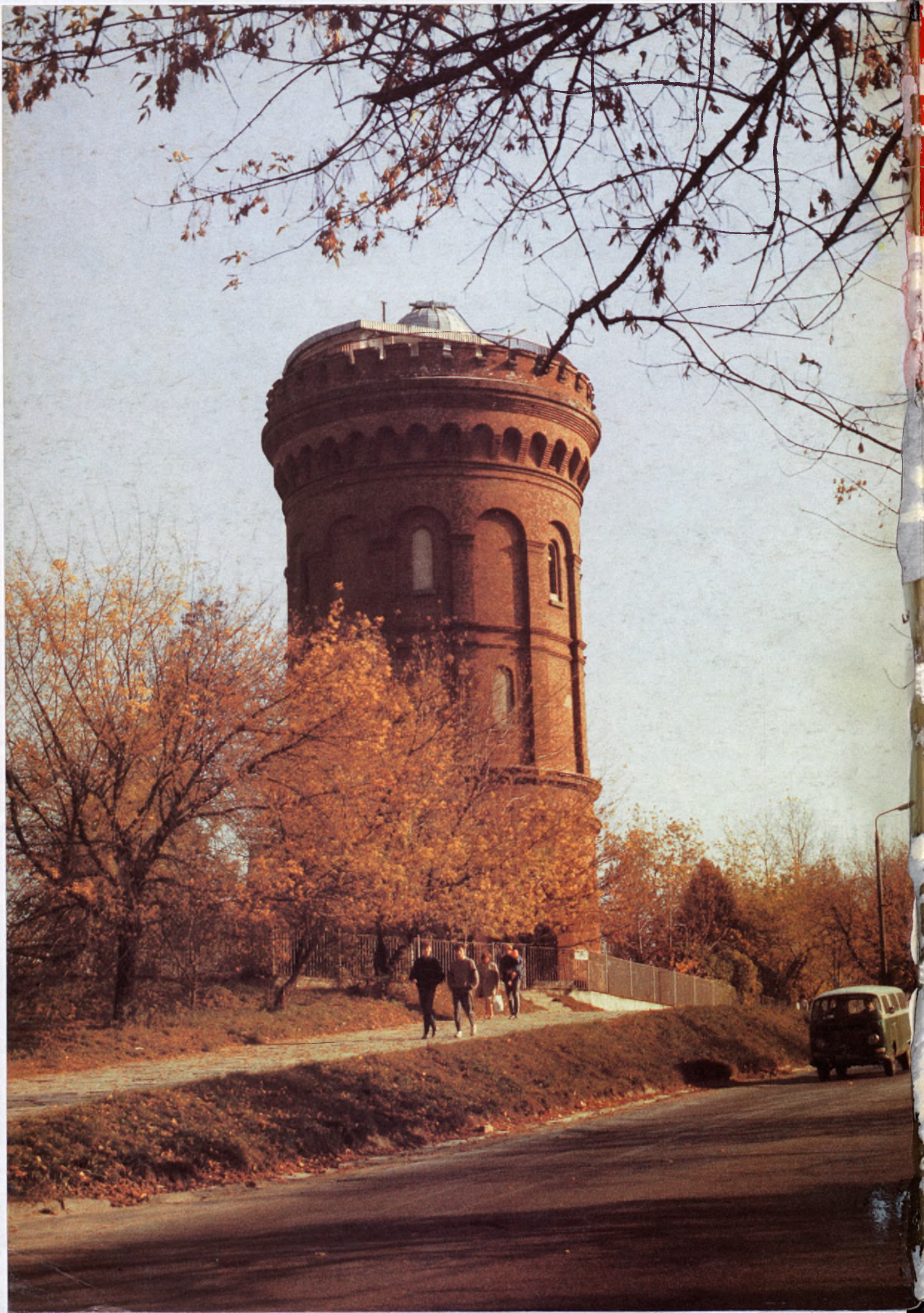
Toruń: *sala kinowa Ratusza Staromiejskiego, poniedziałki, godz. 18.00; po wykładzie herbatka w piwnicach domu Kopernika*

Olsztyn: *Planetarium Olsztyńskie, piątki, godz. 17.00; po wykładzie „kalendarzyk astronomiczny" i krótkie informacje na temat najnowszych wydarzeń astronomicznych, pod kopułą planetarium.*

Dokładne terminy i nazwiska wykładowców podawane są na plakatach i w prasie.

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . okazały budynek Olsztyńskiego Obserwatorium Astronomicznego w zabytkowej wieży ciśnień (patrz artykuł wewnątrz numeru). Pod kopułą na szczycie wieży mieści się 15-centymetrowy coude refraktor z fotometrem fotoelektrycznym, służącym (z powodzeniem!) do obserwacji jaśniejszych gwiazd zmiennych. Na pozostałych piętrach znajdują się pracownie i laboratoria wykorzystywane do upowszechniania wiedzy astronomicznej na poziomie popularnym i zaawansowanym oraz własnej pracy badawczej pracujących tutaj astronomów.



PL ISSN 0032-5414

postępy astronomii

TOM 39
ZESZYT 3
LIPIEC-
WRZESIEŃ
1991

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE

POSTĘPY ASTRONOMII

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. Warunki nabywania i warunki prenumeraty – wewnątrz numeru.

Kolegium Redakcyjne:

Bożena Czerny
Joanna Mikołajewska

Projekt okładki:

Tadeusz Jodłowski

Skład komputerowy:

Maciej Mikołajewski
Joanna Mikołajewska
Bożena Czerny

Adres Redakcji:

Centrum Astronomiczne
im.Mikołaja Kopernika PAN
Bartycka 18, 00-716 Warszawa

Druk:

Zakład Usług Poligraficznych
Warszawa, Obornicka 22

Materiałów niezamówionych
Redakcja nie zwraca.

Przedruk materiałów i zdjęć
tylko za zezwoleniem Redakcji.

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . zaćmienie Słońca, widoczne 22 lipca 1990 roku w Finlandii. Zdjęcie zostało wykonane przez K. Schillinga aparatem fotograficznym PRAKTICA B 100, przy użyciu zwierciadlanego teleobiektywu MTO–1000A; czas ujęcia był dobierany automatycznie.

Trzeci numer POSTĘPÓW ASTRONOMII jest nieco (ale tylko nieco) bardziej wakacyjny. Spragnionym wypoczynku i rozleniwionym Czytelnikom proponujemy obejrzenie pierwszej strony okładki. Tym razem zdobi ją piękne zdjęcie K. Schillinga (z wyprawy do Finlandii), rzut oka na kolorową wkładkę (nowy materiał z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a), a następnie przejście do czytania numeru „od tyłu", od str. 141. Czy Słońce jest naprawdę odpowiedzialne za wojny i rewolucje? Po co naukowcy jeżdżą (właśnie latem i wczesną jesienią) na konferencje? Są odpowiedzi na te dręczące pytania. Jest też historia budynku Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego (Aleje Ujazdowskie 4, Warszawa) i pracujących tam ludzi... Są romantyczne wspomnienia profesora Mergentalera z pionierskich czasów organizowania w latach dwudziestych obserwatorium na Łysinie. A na str. 127 jest bardzo barwny reportaż Ewy Janaszak z wyprawy do Finlandii (z tej to wyprawy pochodzi zdjęcie Słońca na okładce).

Na deszczowe dni polecamy cztery dłuższe artykuły przeglądowe o obiektach tak bliskich jak komety (B. Juchniewicz) i tak odległych jak kwazary (St. Bajtlik). Ten drugi artykuł sprowokowało niedawne odkrycie najdalszego kwazara o przesunięciu ku czerwieni z=4,897. Artykuł Tadeusza Jarzębowskiego to bardzo systematyczny przegląd obserwacji dający odpowiedź na pytanie, czy możemy wierzyć ogólnej teorii względności. Artykuł czwarty jest sprawozdaniem z konferencji, a zarazem szkicem przyszłości, jaka się rozpościera przed spektroskopią rentgenowską. Astronomia rentgenowska i gamma to zresztą najbardziej dynamicznie rozwijające się dziedziny. W przyszłym numerze zamieścimy materiały na temat właśnie zakończonej misji BBXRT oraz rozpoczęcia działalności przez GRO; na razie są tylko krótkie notki.

Ciekawym prawidłowych odpowiedzi na test wiedzy astronomicznej zamieszczony w zeszycie 1 radzimy zerknąć na str. 100.

Życzymy miłej lektury.

REDAKCJA

Listy Czytelników

Kwartalnik „Postępy Astronomii" zaskoczył mnie pod wieloma względami. Zmieniona forma i szata graficzna jest rzeczywiście na poziomie europejskim. Można z łatwością zauważyć, iż redakcja wzięła sprawę popularyzacji astronomii wśród młodzieży w swoje ręce. Myśląc o tym ponad rok temu postanowiłem łącznie z Krzysztofem Ratnicyniem stworzyć klub astronomiczny. Klub działa sprawnie, jednakże zainteresowanych nim jest bardzo mało. Jedną z przyczyn jest brak reklamy. Niestety nie mamy żadnego sponsora, który mógłby nam w tym pomóc. Za pośrednictwem więc „Postępów Astronomii" chcemy nawiązać kontakt z tymi miłośnikami astronomii, którzy mają jakiekolwiek problemy, zapytania. Odpowiadamy na każdy nadesłany list. Pytanie więc do redakcji – co sądzi o takim typie popularyzacji astronomii?

Nasz adres:

Klub ASTRON
Marek Substyk
41–506 Chorzów
ul. Armii Czerwonej 94/6

Red: Oczywiście gorąco popieramy waszą inicjatywę i życzymy powodzenia.

Jestem uczennicą 3 klasy liceum i po skończeniu tej szkoły chciałabym kontynuować naukę nadal. Astronomią interesuję się odniedawna, ale jest ona nauką tak fascynującą, że być może studiować będę w tym właśnie kierunku. Dlatego zwracam się do was, drodzy redaktorzy, z serdeczną prośbą: chciałabym dowiedzieć się, w jakich miastach znajdują się uczelnie astronomiczne, jaki jest poziom każdej z nich i jakie są wymogi, aby zostać przyjętym.

Małgorzata Haber
Gdańsk – Wrzeszcz

Red: Astronomia jako kierunek studiów jest na uniwersytetach w Warszawie, Toruniu, Krakowie, Wrocławiu, a także Gdańsku i Poznaniu. Warunkiem przyjęcia jest oczywiście zdanie matury; w tym roku w Warszawie przyjmowano na astronomię bez egzaminu. Same studia są jednak trudne – dzisiejsza astronomia to przede wszystkim fizyka!

Od lat dziesięciu jestem czytelnikiem „Postępów Astronomii". Przyznać muszę, że zmiana, jaka nastąpiła w szacie graficznej pisma czyni go atrakcyjniejszym, a i sam charakter całości zapewne sprawi, że więcej osób zainteresuje się tym ciekawym kwartalnikiem.

Tym niemniej, pomimo pozytywnych zmian niepokoi mnie jeden fakt: co się stało z tomami 37 i 38 „Postępów Astronomii"?

Janusz W. Kosiński
Frombork

Red: Narastające w ciągu ostatnich lat opóźnienie spowodowało konieczność jego likwidacji dość drastycznym posunięciem. Nowe numery ukazują się na bieżąco, natomiast powstała dwuletnia dziura zostanie zapełniona pojedynczym zeszytem, jeszcze według starego formatu. Ten zaległy numer (tom 37/38) powinien się ukazać na początku lipca i będzie rozprowadzany przez ORPAN.

Dzięki obecnej szacie graficznej dowiedziałem się, że jest wydawany bardzo dla mnie interesujący kwartalnik! Dotychczas „łowiłem" aktualne wiadomości astronomiczne w *Problemach*, *Wiedzy i Życiu* i *Uranii*, a tu się okazuje, że jest takie **wymarzone** pismo jak „Postępy Astronomii", które ukazuje się – aż nie do wiary – od roku 1953.

Mam jak na razie jedną uwagę do artykułów zamieszczonych w PA – niektóre z nich są i będą trudne nawet dla czytelników znających astronomię, jak dla przykładu „Kwantowanie grawitacji". Proponuję umieszczenie na wstępie artykułu kwintesencji stanu nauki na dany temat, co pozwoli lepiej zrozumieć treść artykułu. Dla przykładu w omawianym artykule dobrze byłoby na przykład przybliżyć pojęcie *długości Plancka* – jak to jest jednoznaczna kombinacja podstawowych stałych przyrody. Oczywiście nie chodzi o opisanie wszystkich teorii, ale pewne przybliżenie pojęć dałoby lepsze zrozumienie tematu.

Ryszard Karliński
Katowice

Nurtuje mnie kilka wątpliwości. Pierwsza sprawa to kwazary. W *Problemach* 4/88 jest art. „Koniec świata" wg *Science News*. Autor pisze: „M.C. Begelman opisał, co by się wydarzyło, gdyby w centrum naszej Galaktyki włączył się kwazar." Czy naprawdę w Drodze Mlecznej może powstać kwazar? bowiem przeczy to twierdzeniu W. Iwanowskiej (*Wszechświat* 6/85) w art. „Od kwazara do galaktyki", że kwazary to protogalaktyki, że kwazary widzimy takie, jakie były wkrótce po wielkim wybuchu.

Krzysztof Wolff
gm Strzyżów
Glinik Charzewski

Red: Nie ma tu sprzeczności. Rzeczywiście uważamy, że aktywność typu kwazarowego cechuje bardzo młode galaktyki. Natomiast artykuł Begelmana był pomyślany jako ilustracja potęgi kwazara oraz wpływu aktywnego jądra na otaczającą je macierzystą galaktykę; autor wcale nie miał na myśli tego, że kwazar w centrum Drogi Mlecznej naprawdę jeszcze rozbłyśnie. Niestety, nie mamy możliwości odpowiedzieć na wszystkie Pana pytania. Jeszcze tylko jedno: ma Pan rację, ta notka z dziennika *Nowiny* jest bez sensu. Do gazet codziennych często docierają takie dziwactwa...

Bezpłatną prenumeratę POSTĘPÓW ASTRONOMII wylosował Ryszard Karliński z Katowic –

Redakcja

W NUMERZE:

101 **Najdalsze i najjaśniejsze obiekty we Wszechświecie** *Stanisław Bajtlik*

Kilka dni temu (w połowie kwietnia 1991) doniesiono z Princeton o odkryciu najdalszego znanego obiektu we Wszechświecie. Nie sam rekord jest jednak ważny. Najdalsze kwazary stanowią klucz do zrozumienia, jak powstała cała obecna struktura Wszechświata, a więc i nasza Galaktyka - Mleczna Droga.

106 **Gdyby Einstein dożył naszych czasów,...** *Tadeusz Jarzębowski*

Ogólna teoria względności była bez porównania słabiej potwierdzona przez eksperymenty niż teoria szczególna. Za życia twórcy znano w zasadzie dwa przemawiające na jej korzyść zjawiska. Ale w drugiej połowie naszego stulecia ilość i waga argumentów zdecydowanie wzrosła. Nowe możliwości badawcze wniosła tu radioastronomia, do badania efektów relatywistycznych wykorzystywać dziś można sondy kosmiczne - ale największą rewelacją było odkrycie w dalekich głębiach Galaktyki niezwykłego laboratorium grawitacyjnego w postaci pulsara PSR 1913+16.

114 **Komety, które muskają Słońce** *Bożenna Todorovic-Juchniewicz*

Czy komety zderzające się ze Słońcem tworzą wraz z kometami muskającymi Słońce wspólną grupę? Jakie jest ich pochodzenie? Wydaje się, że na pierwsze z tych pytań można dać już wiarygodną odpowiedź. Rozwiązanie drugiego problemu pozostaje ciągle zagadnieniem otwartym.

122 **O pewnej linii żelaza** *Bożena Czerny*

Spektroskopia optyczna dała nam klucz do rozwiązania zagadki budowy i ewolucji gwiazd. Wraz z nadejściem nowej ery w astronomii obserwacyjnej, spektroskopia rentgenowska zaczyna podpowiadać nam, jak wyglądają z bliska galaktyczne źródła rentgenowskie i co tkwi w takich aktywnych jądrach galaktyk , jakimi są kwazary.

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A – PIERWSZY ROK NA ORBICIE

Pierwsze wyniki z Teleskopu Kosmicznego: Teleskop Kosmiczny odkrywa strukturę dżetową w Mgławicy Oriona (120); Saturn (120); Jądro galaktyki NGC 1068 i stożek jonizujący (121)

127 **Za granicą...** *Olsztyńska wyprawa na zaćmienie Słońca 22.07.1990*

129 **Sylwetki:** *Jan Mergentaler kończy 90 lat*

133 **W kraju...** *Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego*

137 **Esej:** *Krótki kurs konferencjologii (137); Słońce - rewolucjonista? (140)*

142 ***Polskie Towarzystwo Astronomiczne***

143 ***Gdzie i jak kupić POSTĘPY ASTRONOMII?***

oraz krótkie nowinki z różnych dziedzin astronomii

GRO na orbicie (105); udana misja BBXRT (105); Jak gorąca jest materia międzygalaktyczna? (119); ROSAT odkrywa nowe źródła rentgenowskie w Dużym Obłoku Magellana (125)

i inne drobiazgi

Rozwiązanie testu wiedzy astronomicznej (100); Przystąpić do konsorcjum Astronomy & Astrophysics? (100); Skawińskie Centrum Amatorskiej Astronomii, Lotnictwa i Astronautyki (100)

PRZYSTĄPIĆ DO KONSORCJUM ASTRONOMY & ASTROPHYSICS?

W czasie XXV Zjazdu Polskiego Towarzystwa Astronomicznego odbędzie się posiedzenie **Komitetu Astronomii PAN**. Główny punkt programu: starać się, czy się nie starać o przystąpienie do konsorcjum *Astronomy and Astrophysics*. Problem wyłonił się w sposób naturalny na fali ogólnego pędu ku Europie (zachodniej, bo w centralnej to jesteśmy). Zanim jednak zacznie się wiosłować całą parą warto się rzeczywiście zastanowić, czy warto?!?. Oczywiście można zlikwidować *Acta Astronomica* i zacząć publikować wszystkie prace w *Astronomy and Astrophysics*. Rzecz tylko w tym, że za prawo publikowania w *Astronomy and Astrophysics* Polska musiałaby wnosić jakąś roczną opłatę (jaką?), a *Acta Astronomica* nie tylko nie wymaga opłat, ale jest wręcz jednym z niewielu dochodowych przedsięwzięć w tym kraju. Poza tym poziom naukowy *Astronomy and Astrophysics* jest nie taki znów wysoki (na pewno niższy niż np. brytyjskie *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, a wyspiarzom do Europy wcale się nie spieszy) i nie jest jasne, czy moglibyśmy mieć na to pismo jakiś pozytywny wpływ (w szczególności chodzi o dobór recenzentów). Z drugiej strony wtopienie się w zachodnioeuropejskie organizacje (takie jak ESA) może oznaczać w przyszłości szerszy udział Polski w badaniach kosmicznych, z tym, że dostęp do obserwacji jest wprost proporcjonalny do wnoszonego przez kraj wkładu finansowego. Znów więc powraca zasadnicze pytanie – ile to miałoby kosztować, i czy nas na to stać. Trudno się przecież spodziewać serdecznego powitania, jeśli się jest ubogim krewnym. Zapewne w trakcie posiedzenia na część pytań, szczególnie tych finansowych, będzie znana przynajmniej orientacyjna odpowiedź, i to pozwoli prowadzić dyskusję na jakiejś rozsądnej płaszczyźnie...

Bożena Czerny

SKAWIŃSKIE CENTRUM AMATORSKIEJ ASTRONOMII LOTNICTWA I ASTRONAUTYKI

THE AMATEUR ASTRONOMY, AVIATION & SPACE CENTER
PRZY ZESPOLE SZKÓŁ ELEKTRO-MECHANICZNYCH

POSTAL ADDRESS: UL. KOPERNIKA 15
32-050 SKAWINA
near CRACOW, POLAND
TEL. 76-15-22

Z przyjemnością informujemy, że istnieje i działa Skawińskie Centrum Amatorskiej Astronomii, Lotnictwa i Astronautyki.

19 lutego 1991 roku, w 518 rocznicę urodzin Mikołaja Kopernika, SCAALiA zorganizowała sesję popularno-naukową. Obrady prowadził Lech Palczewski. W części przedpołudniowej wystąpili m.in. prezesi kół zainteresowań skupionych w SCAALiA (astronomiczne, astronautyczne, lotnicze, science-fiction i narodowe) prezentując swoje osiągnięcia.

Po południu przedstawiono ilustrowane przeźroczami wykłady na temat najnowszych wyników badań planet, które zakończono dyskusją. Konsultantem części naukowej był dr Henryk Brancewicz – sekretarz Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Zainteresowanym działalnością tego koła podajemy adres: Lech Palczewski, ul. Kopernika 15, 32-050 Skawina k. Krakowa (tel. 76-15-22).

opr. B. Czerny

Wyniki testu wiedzy astronomicznej zamieszczonego w zeszycie 1 (1991)

Prawidłowe odpowiedzi nadesłali:
Janusz Pieniak, Warszawa
Agnieszka Perz, Warszawa
Maksymilian Leśniak, Żywiec
Ewa Szponder, Tarnobrzeg
Aleksandra Janczak, Łódź
Tomasz Krylowicz, Warszawa
Sylwester Kołomański, Bielawa
Jerzy Speil, Wałbrzych
Weronika Białkowska, Warszawa
Piotr Grzywacz, Łódź
Marek Gasiński, Stalowa Wola
Cezary Malkiewicz, Miastko
Tomasz Ochrymiuk, Białystok
Darjusz Malarecki, Kielce
Marek Wójtowicz, Wieliczka
Agnieszka Stachura, Wieliczka
Tadeusz Kozłowski, Kraków
Lech Jaszowski, Cieszyn
Andrzej Rudnik, Tomaszów Lub.
Rafał Wójcicki, Olkusz
Krzysztof Wolff, Glinik Charzewski
Aleksandra Wilk, Warszawa
Jarosław Bandurowski, Zabrze
Zbigniew Sekulski, Szczecin
Roksana Pawłowska, Przybiernów
Grzegorz Piekarzewicz, Kołobrzeg

Bezpłatne prenumeraty, poczynając od II kwartału 1991 roku wylosowali: W. Białkowska, J. Pieniak, T. Kryłowicz, T. Kozłowski, S. Kołomański.

W sumie nadeszło 75 odpowiedzi indywidualnych. Oprócz tego, pan Grzegorz Piekarzewicz wykonał ogromną pracę i nadesłał wyniki testu przeprowadzonego w różnych środowiskach, głównie wśród uczniów szkół średnich. Na 345 nadesłanych przez niego odpowiedzi tylko trzy zawierały prawidłowe odpowiedzi na wszystkie pytania, w tym jedna to jego własna, a dwie pozostałe pochodzą od członków koła astronomicznego...

Prawidłowe odpowiedzi: 1.tak, 2.tak, 3.tak, 4.tak, 5.tak, 6.nie, 7.tak, 8.tak, 9.tak, 10.tak, 11.tak, 12.tak, 13.tak, 14.nie, 15.tak, 16.tak, 17.tak, 18.nie, 19.nie, 20.nie.

NAJDALSZE I NAJJAŚNIEJSZE OBIEKTY WE WSZECHŚWIECIE

Stanisław Bajtlik

Kilka dni temu (w połowie kwietnia 1991) doniesiono z Princeton o odkryciu najdalszego znanego obiektu we Wszechświecie. Nie sam rekord jest jednak ważny. Najdalsze kwazary stanowią klucz do zrozumienia, jak powstała cała obecna struktura Wszechświata, a więc i nasza Galaktyka — Mleczna Droga.

Tym najdalszym obiektem jest kwazar PC 1247+3406. Odkrycia dokonali J. Gunn (Princeton University), M. Schmidt (California Institute of Technology) i D. Schneider (Institute for Advanced Study, Princeton). Przesunięcie ku czerwieni linii widmowych tego kwazara wynosi $z = 4.897(\pm 0.011)$. PC 1247+3406 jest stosunkowo słabym źródłem, jasność pozorna w barwie r wynosi 20.4^m, a w barwie i 19.7^m. Oprócz linii emisyjnej Ly_α, w widmie zidentyfikowano mocną (bardziej niż normalnie) linię azotu NV oraz węgla CIV (o typowym natężeniu).

W tydzień po ogłoszeniu o odkryciu najodleglejszego kwazara, zespół angielskich astronomów: R. McMahon (Cambridge University), M. Irwin (Royal Greenwich Observatory) i C. Hazard (University of Pittsburg) doniósł o odkryciu najjaśniejszego znanego obiektu we Wszechświecie. Jest to kwazar BR 1202-07. Jego jasność szacuje się na ok. 10000 razy większą niż jasność naszej Galaktyki (10^{48} erg/s). Jest to jednocześnie jeden z najodleglejszych obiektów. Przesunięcie ku czerwieni linii w jego widmie wynosi $z = 4.7$.

Doniesienia o rekordach są ulubioną pożywką dziennikarzy uganiających się za sensacyjnymi wiadomościami. W tym wypadku jednak nie chodzi o czcze bicie rekordów - kwazary o wielkich przesunięciach ku czerwieni stanowią bezcenne źródło informacji o przeszłości Wszechświata.

Przesunięcie linii widmowej λ_o do wartości λ określone wzorem

$$z = (\lambda - \lambda_o)/\lambda$$

wiąże się w efekcie Dopplera z prędkością v źródła względem obserwatora

$$z = \sqrt{\frac{1 + v/c}{1 - v/c}} - 1$$

Obiekty najdalsze, to również obiekty najstarsze (te, które powstały jako pierwsze). Ewolucja Wszechświata powoduje, że w skalach porównywalnych z rozmiarami dostępnej obserwacjom jego części (jest ona skończona na skutek skończonego wieku Wszechświata i skończonej prędkości rozchodzenia się światła), przesunięcie ku czerwieni jest najwygodniejszym sposobem wyrażania odległości do danego obiektu. Wartość z można powiązać z czasem - wiekiem Wszechświata w momencie, w którym obserwowane promieniowanie zostało wyemitowane lub odległością (wyrażoną w jednostkach długości, choć w ekspandującym Wszechświecie pojęcie „odległości" wymaga precyzyjnego zdefiniowania). Jednoznaczne powiązanie wymaga jednak znajomości podstawowych parametrów określających geometrię Wszechświata w wielkiej skali: średniej gęstości materii we Wszechświecie, stałej Hubble'a (stała proporcjonalności w prawie ogólnej ekspansji) i stałej kosmologicznej. Średnią gęstość materii znamy z dokładnością do czynnika ok. 20, stałą Hubble'a z dokładnością do czynnika 2, o stałej kosmologicznej prawie nic nie wiemy. Pomiar z jest zresztą jedynym praktycznym (choć pośrednim) sposobem wyznaczania odległości do dalekich obiektów. Dlatego w kosmologii, mówiąc o „odległości", zwykle ma się na myśli odpowiednie przesunięcie ku czerwieni. Im większa wartość z, tym bardziej odległy obiekt. $z = 4.897$ to już prawie kraniec obserwowalnej części Wszechświata. Panowały tam (wtedy!; pamiętajmy, że patrząc w głąb, patrzymy również w przeszłość) inne niż obecnie warunki. Wszystkie odległości były wtedy $(1 + z) = 5.897$ raza mniejsze, gęstość materii była $(1 + z)^3 = 205$ razy większa, a temperatura wypełniającego Wszechświat reliktowego promieniowania tła wynosiła 16.2 K (obecnie tylko 2.75 K). Światło zarejestrowane na Mount Palomar, wysłane zostało przez PC 1247+3406 w momencie, w którym wiek Wszechświata wynosił zaledwie ok. 7% obecnego wieku (wynik dla płaskiego modelu Wszechświata, przy stałej kosmologicznej równej zeru). Na pokonanie dzielącej PC 1247+3406 od Ziemi odległości światło zużyło czas stanowiący ok. 93% obecnego wieku Wszechświata. Wiek ten jest zawarty pomiędzy 10 i 20 mld. lat.

Zatem PC 1247+3406 powstał zaledwie kilkaset milionów lat po Wielkim Wybuchu

(ok. 900 mln lat, jeśli Wszechświat jest płaski, stała Hubble'a wynosi 50 km/s/Mps, a stała kosmologiczna równa się zeru).

Rys. Jacek Drążkowski

Starając się dostrzec najdalsze kwazary, astronomowie próbują zobaczyć epokę, w której w pierwotnej, gorącej, prawie jednorodnej plaźmie wypełniającej Wszechświat zaczęły powstawać dyskretne, świecące, masywne obiekty. Zliczenia odległych kwazarów mają fundamentalne znaczenie dla poznania procesu powstawania struktury w rozkładzie materii we Wszechświecie. Mówią nam, kiedy i jak szybko rozpoczął się proces wyłaniania się związanych grawitacyjnie i świecących obiektów. Żądają od teorii powstawania galaktyk, by odpowiednio wcześnie po Wielkim Wybuchu dopuszczała możliwość uformowania się obiektów o dużym kontraście gęstości. Istnienie kwazarów o dużych wartościach przesunięcia ku czerwieni i wielkich jasnościach stawia tym teoriom ostre wymagania.

Popularna do niedawna teoria powstawania galaktyk: *Cold Dark Matter Theory* (CDM) - Teoria Ciemnej Zimnej Materii przewidywała późne ($z \sim 1$) powstawanie galaktyk. Obserwowane obiekty o przesunięciach ku czerwieni > 4 są dla niej poważnym problemem. Podobnie, dużym problemem jest wyjaśnienie istnienia tak wcześnie ($z = 4.7$) obiektu tak jasnego jak BR 1202-07. Niezwykła jasność tego kwazara świadczy o dużym skupieniu masy. Przypuszcza się, że kwazary zawierają w swych wnętrzach masywne czarne dziury. Wciągając otaczającą je materię do swego wnętrza, czarne dziury efektywnie zamieniaja energię grawitacyjną na światło. Jest to najbardziej wydajny, znany sposób zamiany masy na energię, wydajniejszy nawet od zachodzących w gwiazdach reakcji termojądrowych. Jeśli taki jest mechanizm produkcji energii w BR 1202-07, to czarna dziura we wnętrzu tego kwazara powinna być niezwykle masywna, o masie równej ok. 10 mld. mas Słońca i pochłaniać w swym wnetrzu ok. 100 mas Słońca na rok. Innym możliwym wyjaśnieniem niezwykłej jasności BR 1202-07 jest hipoteza soczewkowania grawitacyjnego. Masy (galaktyki, a nawet gwiazdy) leżące pomiędzy odległym obiektem a obserwatorem działają na promienie świetlne podobnie jak soczewki, zakrzywiając linie promieni, skupiają je i zwiększają jasność źródeł (w szczególnym przypadku mogą powodować powstanie wielokrotnych obrazów). Być może BR 1202-07 jest soczewkowany grawitacyjnie i jego prawdziwa jasność nie jest aż tak niezwykła?

W teorii CDM oczekiwana liczba obiektów o zadanej masie, w zadanej epoce odpowiadającej z, maleje szybciej niż wykładniczo z czynnikiem $(z+1)$ i masą obiektu. Każdy nowoodkryty kwazar o dużej wartosci parametru z jest trudny do wytłumaczenia. Kwazar o dużym przesunieciu ku czerwieni i wielkiej jasności (jak BR 1202-07) jest podwójnym problemem. Istnieje w tej teorii zresztą wiele innych problemów, związanych z obserwowanymi wielkoskalowymi ruchami materii we Wszechświecie i istnieniem wielu struktur o rozmarach znacznie większych niż 10 Mps.

Opublikowane ostatnio wyniki przeglądu galaktyk wykazują, że w skalach ok. 20 Mps Wszechświat jest znacznie bardziej niejednorodny niż CDM jest w stanie przewidzieć. Proponowane obecnie, czysto barionowe teorie, oprócz oczywistej zalety opierania się jedynie na znanych formach materii (bez postulowania istnienia hipotetycznych cząstek o szczególnych własnościach) przewidują wczesne pojawianie się galaktyk. Istnienie kwazarów o dużych wartościach przesunięcia ku czerwieni nie jest dla tych teorii problemem. Ceną

za to jest wprowadzenie do teorii stałej kosmologicznej o wartosci różnej od zera, bardzo trudnej do wyznaczenia na podstawie obserwacji i postulowanego *ad hoc* początkowego widma zaburzeń entropii (stosunku gęstości fotonów do barionów), dobranego tak, by krzywizna przestrzeni była stała.

Światło wysłane przez odległy kwazar oddziaływuje po drodze z materią rozproszoną w przestrzeni. Ulega na tej drodze pochłanianiu i rozpraszaniu. Ekspansja Wszechświata powoduje, że materia położona w różnych obszarach w przestrzeni, oddalających się od nas z różną prędkością (na skutek ogólnej ekspansji Wszechświata), pochłania różne części widma promieniowania emitowanego przez odlegly obiekt. Dla dalekich kwazarów, o $z > 1.7$, linia widmowa wodoru Ly_α przesunięta jest do widzialnej części widma. Oznacza to nie tylko możliwość obserwacji (w zakresie widzialnym) linii emisyjnej Ly_α pochodzącej z kwazara, ale również linii absorpcyjnych Ly_α nałożonych na ciągłą składową widma, a wywoływanych przez obłoki gazu miedzygalaktycznego lub dyski galaktyk, znajdujące się pomiędzy kwazarem i obserwatorem. Te linie absorpcyjne, położone po krótkofalowej stronie linii emisyjnej Ly_α, stanowią tzw. „las Ly_α" i są powszechnie obserwowane dla wszystkich kwazarow o $z > 1.7$. Wywołujące je obiekty – obłoki gazu międzygalaktycznego o pierwotnym składzie chemicznym, nazywane są obłokami Ly_α i stanowią przedmiot intensywnych badań. Pierwotny skład chemiczny oznacza ok. 75% wodoru i 25% helu. Brak nawet śladów obecności cięższych pierwiastkow, produkowanych w ciągu ewolucji gwiazd.

Przypuszcza się zatem, że te obłoki zbudowane są z gazu i nie zapadły się pod wpływem grawitacji dostatecznie, by rozpoczał się w ich wnętrzu proces formowania się gwiazd. Są one położone znacznie dalej niż najodleglejsze galaktyki i są znacznie liczniejsze niż kwazary (zwykle ok. 100 obłoków w widmie jednego kwazara). Jako takie, są bogatym źródłem informacji o strukturze i procesach fizycznych zachodzących we wczesnym Wszechświecie.

Neutralny wodór, równomiernie rozłożony we Wszechświecie, również powinien dać się zauważyć w widmie odległych kwazarów. W przeciwieństwie do materii skupionej w obłokach Ly_α czy galaktykach, wywołującej linie absorpcyjne, ten ciągły ośrodek powinien spowodować obniżenie natężenia widma po stronie krótkofalowej linii Ly_α (w stosunku do nienaruszonej przez taką absorpcję części długofalowej). Zatem porównując poziom natężenia widma ciągłego po obu stronach linii emisyjnej Ly_α możemy wyznaczyć grubość optyczną ośrodka miedzygalaktycznego (i pośrednio gęstość neutralnego wodoru). Jest to tzw. test Gunna-Petersona. Od czasu jego zaproponowania w latach 60-tych, stosowany do coraz odleglejszych kwazarów, nieodmiennie daje wyniki świadczące, że albo gęstość gazu międzygalaktycznego jest bardzo mała (co wydaje się dziwne, szczególnie we wczesnych epokach, kiedy jeszcze nie istniały lub dopiero tworzyły się galaktyki), albo jest on w bardzo wysokim stopniu zjonizowany. Również widmo PC 1247+3406 nie wykazuje istotnego, krótkofalowego obniżenia ciągłej składowej. A zatem materia wypełniająca Wszechświat jest prawdopodobnie w wysokim stopniu zjonizowana nawet w bardzo wczesnych epokach, kiedy zródła ultrafioletowego promieniowania jonizującego (kwazary, młode galaktyki) wydają się być bardzo nieliczne (i przez to niewystarczające do tego celu).

Co było źródłem tak wczesnej jonizacji Wszechświata? Czy Wszechświat był kiedykolwiek neutralny (jak chce tego standardowa teoria, przewidująca rekombinację plazmy kosmicznej przy $z = 1300$) ? Kiedy powstały pierwsze obiekty we Wszechświecie? Kiedy rozpoczeło się formowanie struktury we Wszechświecie? Oto pytania, na które nie znamy odpowiedzi, a które mogą zostać rozstrzygnięte przez poszukiwanie słabych, odległych kwazarów.

Widmo PC 1247+3406 wykazuje cechę świadczącą, że być może widzimy

początek procesu powstawania obiektów we Wszechświecie.

W widmach o małej zdolności rozdzielczej, na skutek nakładania się na siebie linii absorpcyjnych, las Ly_α wygląda po prostu jak obniżenie ciągłej składowej widma (podobne do efektu Gunna–Petersona, stąd rozliczne problemy w praktycznym stosowaniu tego testu). Gunn, Schmidt i Schneider otrzymali właśnie takie widmo. Symulacja komputerowa lasu Ly_α wykazuje, że w widmie PC 1247+3406 widzimy mniej absorpcji niż należałoby spodziewać się, gdyby własności populacji obłoków Ly_α przy $z = 4.9$ były podobne jak przy niższych wartościach z. Czyżby więc gęstość obłoków była niższa przy tak dużych z? Nie wiemy na pewno, ale jest to całkiem prawdopodobne. PC 1247+3406 byłby nie tylko najodleglejszym obiektem ale też pozwalałby (niemal bezpośrednio) widzieć jak powstawała populacja zagadkowych obiektów - obłoków Ly_α.

Nowoodkryty BR 1202-07 znaleziono w ramach prowadzonego od przeszło 10 lat przegladu przy użyciu UK Schmidt Telescope w Australii. Przegląd obejmuje przeszło 100 płyt fotograficznych, każda zawierająca ok. 250 000 obiektów. Płyty są przeglądane automatycznie, przy użyciu specjalnie do tego celu skonstruowanego urządzenia w Instytucie Astronomii w Cambridge. Po dokonaniu wstępnej identyfikacji kandydatów na kwazary (ok. 50 z każdej płyty) Hazard, McMahon i Irwin prowadzą obserwacje spektroskopowe przy użyciu 2.5 metrowego Isaac Newton Telescope na Wyspach Kanaryjskich.

PC 1247+3406 został znaleziony w ramach Palomar Faint Quasar Survey, prowadzonego od 1985 przez Gunna, Schmidta i Schneidera. Większość z 13 znanych kwazarów o $z > 4$ została znaleziona w ramach tego przeglądu (również dotychczasowy rekordowy kwazar PC 1158+4635, o $z = 4.73$). Źródłem tych sukcesów jest połączenie techniki z talentem i pracowitością obserwatorów. M. Schmidt poświęcił obserwacjom kwazarów wiekszą część swego życia. Jest zresztą uważany za ich odkrywcę. J. Gunn skonstruował „*4-schooter*", kamerę złożoną z 4 kostek CCD, która sprawiła, że zbudowany w latach 30-tych i 40-tych 5 metrowy Hale teleskop na Mount Palomar w południowej Kalifornii jest ciągle jednym z najpotężniejszych instrumentów. Identyfikacja kwazarów w polu widzenia prowadzona jest kilkustopniowo. Najpierw identyfikowane są punktowe obiekty, w których można

dostrzec (domniemaną) linię emisyjną Ly_α lub nadwyżkę jasności w czerwonej części widma. Zwykle kwazary identyfikowane są jako bardzo niebieskie obiekty. Jednak przy bardzo dużych wartościach przesuniecia ku czerwieni niebieska część widma jest zaabsorbowowana przez miedzygalaktyczną materię, a silne linie emisyjne (Ly_α, CIV) sa przesunięte daleko, do czerwonej cześci widma. Po dokonaniu wstępnej identyfikacji otrzymywane są widma o malej zdolności rozdzielczej, mające potwierdzić lub zdyskwalifikować obiekt jako kwazar. Ostatnim etapem jest otrzymanie widma o pośredniej (lub, jeśli jasność na to pozwala, dużej) rozdzielczości pozwalającego na (dokładne) określenie przesunięcia ku czerwieni i innych własności kwazara.

Oczywiście, celem przegladu nie jest jedynie poszukiwanie kwazarów o rekordowych przesunieciach ku czerwieni, ale otrzymanie dobrze zdefiniowanej próbki słabych ($\sim 19 - 22^m$) kwazarów, w celu odtworzenia jak zmienia się, wraz z rosnącym z, gęstość kwazarów (dla dużych $z > 3$). To ostrożne określenie: „dobrze zdefiniowanej" zastępuje znacznie bardziej niejasne, w przypadku kwazarów, słowo „kompletnej".

Od czasu opublikowania wyników Bright Quasar Survey przez Schmidta i Greena w 1983 wiadomo, że gęstość kwazarów maleje niemal wykładniczo dla rosnących z, powyżej $z = 2.2$. Mówimy tu o gęstości w układzie współporuszającym się z materią. Jest to liczba obiektów przypadających na element objętości współekspandujacy z Wszechświatem. Taki sposób definiowania gęstości pozwala odróżnić zmianę gęstości spowodowaną rozszerzaniem się Wszechświata od zmiany gęstości spowodowanej ewolucją obserwowanych obiektów, tzn. ich powstawaniem i wygasaniem. Dokładny profil tego spadku gęstości kwazarów przy dużych wartościach z, ani miejsce, gdzie urywa się ten rozkład, nie są znane. Wiemy tylko, że w epoce odpowiadającej $z = 2.2$ gęstość (współporuszająca się) kwazarów osiagnęła maksimum. Wiek Wszechświata stanowił wtedy zaledwie ok. 17% obecnego wieku. Od 1985 Palomar Faint Quasar Survey doprowadził do odkrycia ok. 70 kwazarów o parametrze $z > 3$ (czyli istniejących przez okres dłuższy niż 87.5% wieku Wszechświata). Obszar nieba objęty przeglądem (kompletnym, w sensie jak powyżej) wynosi ok. 60 stopni kwadratowych.

Nie będąc usatysfakcjonowanym z dotychczasowych wyników swoich przeglądów (ciagle problemy z kompletnoscią katalogów, nieduża objętość katalogów itp.) Jim Gunn postanowił znaleźć

„ostateczną" odpowiedź na pytanie o wielkoskalową strukturę Wszechświata.

Jest inicjatorem i wiodącą postacią ambitnego projektu Sky Survey Telescope. Princeton University, University of Chicago i Institute for Advanced Study, Princeton zamierzają wspólnie zbudować dedykowany, 2.5 m teleskop o dużym polu widzenia (3 stopnie).

Jako lokalizację wybrano Apache Point w Nowym Meksyku. Jest to to samo miejsce, w którym właśnie dobiega końca budowa innego, 3.5 m teleskopu, będącego własnością konsorcjum sześciu uniwersytetów, m.in. dwóch uczestników projektu Gunna: Princeton i Chicago University. Jako ciekawostkę można dodać, że zwierciadło tego teleskopu zostało wykonane pionierską metodą wytapiania w obrotowym piecu. W ten sposób blok szklany już w czasie odlewania uzyskał kształt zbliżony do ostatecznego, paraboloidalnego. Zaoszczędzono w ten sposób dużą ilość czasu i pieniędzy związanych z usuwaniem ton szkła przy szlifowaniu tradycyjnego, cylindrycznego odlewu. Zmniejszone są też deformacje nieuchronnie wprowadzane do zwierciadła przez narzędzie szlifierskie. Wytapianie bloku zwierciadła w rotujacym piecu umożliwia szybką, stosunkowo tanią produkcję dużych zwierciadeł o krótkiej ogniskowej (tzw. „szybkie zwierciadła").

Ta sama metoda bedzie użyta przy wykonaniu zwierciadła dla 2.5 metrowego Sky Survey Telescope. Udane odlanie, tą nową metodą, zwierciadła dla 3.5 metrowego teleskopu na Apache Point było testem przed wykonaniem całej serii zwierciadeł dla dużych teleskopów nowej generacji (wiele z nich o średnicy zwierciadła powyżej 8 m).

W projekcie Gunna 2.5 metrowy Sky Survey Teleskop bedzie wyposażony w panel 30 kostek CCD (5 × 6), każda o 2048 × 2048 elementach obrazu (24 mikrony każdy) i dwa oparte na technologii światłowodowej spektrografy do jednoczesnej rejestracji widm 600 obiektów. Bedzie to nowoczesna, precyzyjna, w dużym stopniu zautomatyzowana, oparta całkowicie na detektorach elektronicznych wersja teleskopu Schmidta.

Cele przegladu zostały określone skromnie przez inicjatorów: uzyskanie 3–wymiarowej mapy Wszechświata, zbadanie struktury Wszechświata, zbadanie własności jego głównych składników (galaktyki, gromady, kwazary).

W praktyce planuje się uzyskanie JEDNORODNEGO katalogu o objętości ok. 100 razy większej od objętości wszystkich istniejących katalogów. Będzie w nim 10^8 galaktyk (obecnie dostępne ok. 10^6). Również 100–krotnie powiększy się zasób dostępnych obiektów o zmierzonych przesunięciach ku czerwieni: 10^6 galaktyk (przy ok. 10^4 dostępnych obecnie) i 10^5 kwazarów (tylko rzędu 10^3 obecnie).

Procedura obserwacyjna przewiduje: przegląd północnego nieba w czterech barwach (specjalnie zdefinowanych dla tego przeglądu, od U do I) do ograniczającej jasności 23^m; identyfikacja, w czasie rzeczywistym $\sim 10^8$ galaktyk i 10^6 kandydatów na kwazary (na podstawie kolorów); wyznaczenie widm (przesunięć ku czerwieni) ok. 10^6 galaktyk (do wielkosci $B \sim 19^m$) i 10^5 kwazarów (do $B \sim 20^m$); stworzenie katalogu i map w 2 wymiarach (obrazowanie) i 3 wymiarach (przesunięcia ku czerwieni); po zakończeniu przeglądu północnego nieba, teleskop będzie przeniesiony na półkulę południową i tam będzie służył do uzyskania głębokiego przeglądu, obejmującego 100 stopni kwadratowych, ale za to do ograniczających jasności 25^m dla obrazowania, 20^m dla widm galaktyk i 21^m dla widm kwazarów; przewidywana objętość katalogu – ok. $12Tb$ informacji. Katalog będzie publikowany na dyskach optycznych.

Równie imponujące, jak planowany zakres katalogu, jest tempo realizacji projektu. Porozumienie o budowie teleskopu podpisano w 1990 roku. „Pierwsze światło" będzie zarejestrowane w 1993. Testy zostaną przeprowadzone w 1994. Przegląd w latach 94–99 (planuje się zakończenie przeglądu w ciągu 5 lat).

Niektórzy mówią, że dostaniemy ostateczną odpowiedź na pytanie o widmo mocy zaburzeń gęstości we Wszechświecie

Rys. Jacek Drążkowski

(tzn. o względną amplitudę zaburzeń gęstości w różnych skalach). Porównują Sky Survey Project do pokrycia białych plam na ziemskim globusie i przygody jaką dla ludzkości były odkrycia geograficzne. Proponują ustawienie w Disneylandzie wielkiego bloku ze szkla, z zatopionymi w nim kolorowymi paciorkami, reprezentującymi konkretne obiekty we Wszechświecie. Wszechświat jaki jest ? Każdy widzi ! Sądzą, że wreszcie zrozumiemy proces powstawania galaktyk, gromad i supergromad galaktyk.

Inni ostrożnie przypominają, że na początku lat 70-tych, w okresie bardzo szybkiego rozwoju kosmologii, Jim Peebles, jeden z najbardziej zasłużonych twórców nowoczesnej kosmologii, powiedzal: „dajcie mi tysiąc wartości przesunięć ku czerwieni, a powiem wam, jaki jest wielkoskalowy rozkład materii we Wszechświecie". Dziś znamy kilka tysięcy wartości przesunięć ku czerwieni i nadal nie wiemy, jak powstała struktura we Wszechświecie ani jaka jest jej topologia.

Tak czy inaczej, nadchodząca dekada będzie okresem lawiny nowych, zapewne często zaskakujących informacji i odkryć w astronomii. Planowane nowe, wielkie teleskopy (o średnicach luster ~ 8 m), nowa technologia („aktywna optyka" umożliwiająca osiągnięcie rozdzielczości obrazu ograniczonej jedynie dyfrakcją, czyli średnicą zwierciadła i długością fali używanej do obserwacji), obserwacje w podczerwieni, zakresie gamma i rentgenowskim spowodują, że astronomia i astrofizyka nadal bedą jednymi z najbardziej dynamicznie rozwijających się nauk.

„Polowanie na kwazary" będzie na pewno jedną z ważniejszych części tego postępu wiedzy.

Trieste, 27 kwietnia 1991.

Stanisław Bajtlik jest kosmologiem, zatrudnionym w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika w Warszawie, ale częściej można go spotkać za granicą, niż w kraju. Ten artykuł napisał w czasie wizyty w International Centre for Theoretical Physics, w Trieście (Włochy).

GRO NA ORBICIE

GRO, skrót od Gamma-Ray-Observatory, jest satelitarnym teleskopem wysokoenergetycznego promieniowania elektromagnetycznego. Umieszczony został na orbicie w kwietniu przez załogę wahadłowca Atlantis. Jego celem są obserwacje Wszechświata w zakresie energii od 30 keV do 30 GeV. Pokrycie tak dużego zakresu widma zapewnione zostało udziałem czterech różnego typu detektorów: BATSE (0.03 – 1.9 MeV), OSSE (0.1 – 10 MeV), COMPTEL (1 – 30 MeV) i EGRET ($20 - 3 \times 10^4$ MeV).

Poza olbrzymim widmowym zakresem obserwacji GRO różni się od swych poprzedników znacznie większą czułością, dzięki której liczba obiektów obserwowanych w zakresie promieniowania gamma może zwiększyć sie od dwudziestu kilku do kilkuset. Głównymi obiektami obserwacji mają być: zwarte akreujace obiekty galaktyczne (białe karły, gwiazdy neutronowe i czarne dziury w układach podwójnych), pulsary, pozostałości po Supernowych, centrum Galaktyki, materia międzygwiezdna (w szczególności obłoki molekularne), błyski gamma, pozagalaktyczne promieniowanie tła i aktywne jądra galaktyk.

Oczekuje się, że dane z GRO pozwolą ocenić udział i ustalić rodzaj nietermicznych procesow promieniowania w zwartych obiektach kosmicznych. Być moze ustalone zostanie pochodzenie promieniowania kosmicznego i pozagalaktycznego promieniowania tła. Niewątpliwie dowiemy się coś więcej o mechaniźmie promieniowania pulsarów oraz o naturze wciąż bardzo tajemniczych błysków gamma. O co ciekawszych wynikach obserwacji GRO będziemy starali się informować Państwa na bieżąco.

Marek Sikora

UDANA MISJA BBXRT

W czerwcu tego roku na konferencji w Heidelbergu Richard Mushotzky referował przebieg właśnie zakończonej amerykańskiej misji rentgenowskiej. BBXRT, czyli *Broad Band X-Ray Telescope* umieszczony na pokładzie promu kosmicznego działał zasadniczo dobrze, ale nie obyło się bez drobnych kłopotów z naprowadzaniem teleskopu na źródła.

Detektor był przystosowany do obserwacji widma w zakresie 0.3 – 12 keV, a zdolność rozdzielcza pozwalała nie tylko na badanie widma ciągłego, ale także na ocenę kształtu linii żelaza.

Obserwowano pewną liczbę aktywnych jąder galaktyk, m. innymi galaktykę NGC 1068 (obsewacje tego samego obiektu, ale przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a, są na kolorowej wkładce), NGC 4151, Mkn 3, Mkn 335 i kilka lacertyd.

Wstępna dyskusja sugeruje bardzo ciekawe wyniki. W galaktyce NGC 4151 linia żelaza ma szerokie skrzydła i wydaje się częściowo pochodzić od dysku akrecyjnego wokół masywnej czarnej dziury. Ślady termicznego świecenia dysku wykryto też w pozostałych obiektach (z wyjątkiem lacertyd).

Więcej informacji – i zdjęcia – mamy nadzieję zamieścić w następnym numerze POSTĘPÓW.

GDYBY EINSTEIN DOŻYŁ NASZYCH CZASÓW,...

Tadeusz Jarzębowski

Ogólna teoria względności była bez porównania słabiej potwierdzona przez eksperymenty niż teoria szczególna. Za życia twórcy teorii znano w zasadzie dwa przemawiające na jej korzyść zjawiska: ruch peryhelium Merkurego oraz zmianę kierunku przebiegających koło Słońca fal świetlnych. Ale w drugiej połowie naszego stulecia ilość głosów „za" dla Einsteina zdecydowanie powiększyła się – a i waga argumentów bardzo wzrosła. Nowe możliwości badawcze wniosła tu radioastronomia, do badania efektów relatywistycznych wykorzystywać dziś można sondy kosmiczne – ale największą rewelacją było odkrycie w dalekich głębiach Galaktyki niezwykłego laboratorium grawitacyjnego w postaci pulsara PSR 1913+16.

Albert Einstein – to niewątpliwie jedno z najbardziej znanych nazwisk ze świata nauki. O jego teorii względności słyszała chyba większość wykształconych ludzi naszej planety.

Dzieje nauki obfitują w przykłady powstawania pięknych teorii, które niestety nie sprawdzały się, a nazwiska ich twórców pokrywał z czasem cień zapomnienia. Z twórcą teorii względności jest inaczej; jego nazwisko słyszymy ciągle – i w miarę upływu lat może nawet częściej.

Gdy w niemieckim mieście Ulm przychodził na świat w rodzinie żydowskiej syn Albert, kalendarz wskazywał rok 1879. Może w tym miejscu mała dygresja. Otóż w roku 1642 umarł Galileusz i tego samego roku urodził się Newton, który stworzył fundamenty mechaniki, kończąc w ten sposób rozpoczęte przez Galileusza dzieło. I oto – dziwnym zbiegiem okoliczności – coś podobnego miało miejsce i teraz. W roku 1879 zmarł Maxwell i w tymże roku urodził się Einstein. Maxwell sformułował dla pola elektromagnetycznego prawa nim rządzące, Einstein zaś stworzył coś podobnego, ale dla pola grawitacyjnego.

Albert Einstein zmarł w Nowym Jorku w roku 1955. Od śmierci twórcy teorii względności miną więc już niezadługo cztery dziesięciolecia.

W tym czasie przybyło wiele nowych faktów, nowych danych obserwacyjnych potwierdzających stworzoną przez niego teorię. Gdyby Einstein dożył naszych czasów,... bardzo by się cieszył.

Parę zdań o dziele Einsteina.

Na początku tego stulecia, w roku 1905, Einstein opublikował pracę "O elektrodynamice ciał w ruchu", treść której znana jest dziś pod nazwą *szczególna teoria względności*. Dzieło to zmieniło nasz pogląd na czas i przestrzeń. Zmieniło też zupełnie oblicze fizyki współczesnej.

Dekadę później, już w okresie pierwszej wojny światowej, wyszła w świat *ogólna teoria względności*, nazywana też teorią grawitacji.

Wertując kartki podręczników teorii szczególnej i ogólnej dostrzegamy, że w teorii szczególnej powtarza się charakterystyczny czynnik

$$\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2} \quad , \qquad (1)$$

w którym v jest prędkością ciała; w teorii ogólnej pojawia się zaś wyrażenie

$$(1-\frac{2GM}{rc^2}) \quad , \qquad (2)$$

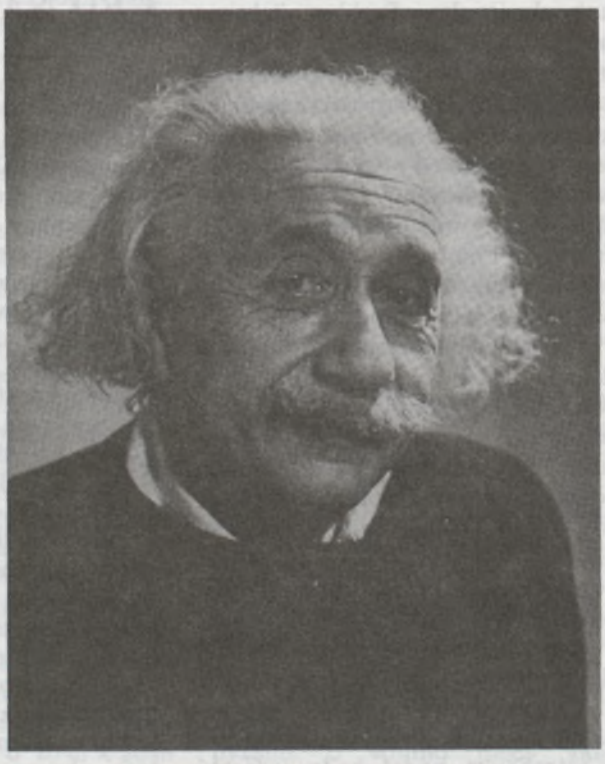
gdzie tą istotną wielkością jest masa M.

W następstwie ruchu ciała (w teorii szczególnej), czy też w pobliżu dużych mas (teoria ogólna) ulegać będą modyfikacji niektóre pojęcia fizyczne. Oto dla przykładu odpowiednie wyrażenia na zmianę jednostki czasu dt_0 na dt:
w teorii szczególnej

$$dt = dt_0 \frac{1}{\sqrt{1-(\frac{v}{c})^2}} \qquad (3)$$

i w teorii ogólnej

$$dt = dt_0 \frac{1}{\sqrt{1-\frac{2GM}{rc^2}}} \quad . \qquad (4)$$



Fot.1. Albert Einstein (1879 – 1955)

r jest tu odległością „zegara" od masy M, G to stała grawitacji, zaś c – prędkość światła. Może przykład: zegar umieszczony na powierzchni Słońca (za M podstawiamy wartość masy Słońca, za r – jego promień) późniłby się o ponad jedną sekundę na tydzień w stosunku do czasu wskazywanego przez ten zegar na Ziemi.

A jak z eksperymentalną weryfikacją obu teorii?

Co się tyczy teorii szczególnej, to sprawa jest względnie prosta. Tu potrzebna jest duża prędkość i to bliska prędkości światła, aby czynnik v/c odgrywał znaczącą rolę. Wszechstronnych możliwości dostarczają w tej dziedzinie konstruowane już od lat trzydziestych akceleratory cząstek (cyklotron, betatron, synchrotron itp.). Einsteinowska zależność czasu od prędkości potwierdza się tam znakomicie. Na przykład dla $v \to c$ czas życia cząstek nietrwałych wydłuża się setki i tysiące razy. Co do słuszności zasad teorii szczególnej nie było więc wątpliwości już za życia Einsteina.

Co sią natomiast tyczy ogólnej teorii względności, to sprawa eksperymentalnej weryfikacji nie wygląda już tak prosto. Tu czynnikiem wpływającym na bieg zjawisk jest masa, silne pole grawitacyjne. Otóż o ile dużą prędkość możemy wytworzyć w laboratorium, o tyle dużej masy i silnego pola grawitacyjnego w laboratorium nie wytworzymy.

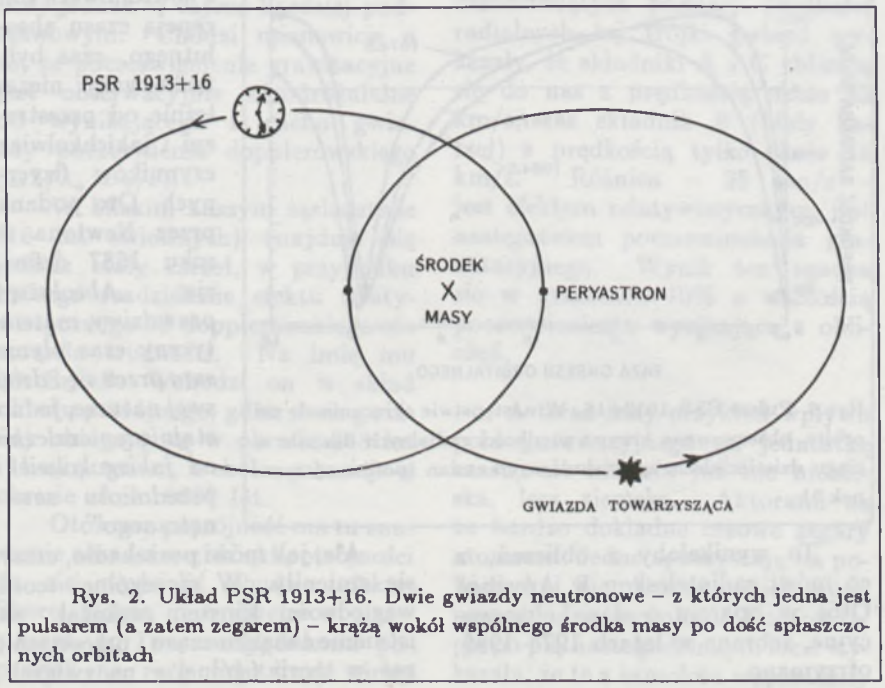
Możemy tylko korzystać z danego nam przez naturę ziemskiego pola grawitacyjnego, ale ono jest słabiutkie. Nasza planeta nie stanowi więc stosownego laboratorium do badania założeń teorii ogólnej; do tego celu trzeba rozglądnąć się za ciałami o większych masach.

Konkluzja stąd taka, że o ile prace nad teorią szczególną można prowadzić na ziemi, to z badaniami nad teorią ogólną należy raczej przenieść się poza naszą planetę. Będzie to więc już bardziej domena astronomii; pracownię fizyczną zastąpi obserwatorium astronomiczne.

Ciałem o masie ponad trzysta tysięcy razy większej jest nasze Słońce. Do niedawna ono stanowiło to główne „laboratorium grawitacyjne". W zasięgu oddziaływania pola grawitacyjnego Słońca starano się zaobserwować zjawiska przez teorię przewidziane. Ale oto przed kilkunastu laty odkryto coś nieporównywalnie doskonalszego niż nasza gwiazda dzienna.

Laboratorium grawitacyjne PSR 1913+16

Odległość tego obiektu (25 000 lat świetlnych) jest półtora miliarda razy większa niż odległość Słońca. Są to dwie krążące wokół siebie gwiazdy neutronowe. Ich miejsce na sferze niebieskiej przypada w gwiazdozbiorze Orła, niedaleko Altaira. Ale niech nikt nie usiłuje zobaczyć ich na niebie; z miejsca tego docierają do nas tylko fale radiowe. Wykryła je w roku 1974 antena potężnego, 300–metrowego radioteleskopu w Arecibo.



Rys. 2. Układ PSR 1913+16. Dwie gwiazdy neutronowe – z których jedna jest pulsarem (a zatem zegarem) – krążą wokół wspólnego środka masy po dość spłaszczonych orbitach

UKŁAD PODWÓJNY PSR1913+16

rektascenzja, α_{1950}	$19^h13^m12^s,4655(2)$
deklinacja, δ_{1950}	$16°01'08'',189(3)$
okres obiegu, P, [s]	27906,980894(2)
mimośród orbity, e	0,61713(1)
masa pulsara	1,442(3) $M_\odot$
masa towarzysza	1,383(3) $M_\odot$
okres pulsacji, [s]	0,05902999792988(1)
częst. pulsacji, [Hz]	16.940539303217(2)

(liczba w nawiasie wskazuje na błąd ostatniej podanej cyfry, $M_\odot$ oznacza masę Słońca)

Tam też prowadzi się odtąd systematyczne obserwacje tego niezwykłego laboratorium relatywistycznego.

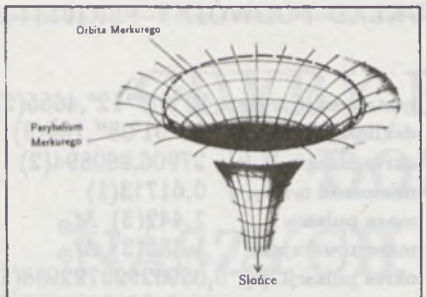
Obydwie gwiazdy obiegają wokół siebie po mocno eliptycznych orbitach w odległości zaledwie paru promieni Słońca. Okres obiegu 7 godzin i 45 minut. Ale – co w tym zagadnieniu jest najważniejsze – jedna z tych gwiazd jest pulsarem. Okres pulsacji, tj. okres obrotu gwiazdy wokół osi, wynosi 59 milisekund. Układ ten przedstawiony jest na rysunku 2, zaś ważniejsze dane liczbowe zawarte są w tabeli.

Mamy tu zatem do czynienia z pulsarem, czyli bardzo dokładnym zegarem (zwróćmy uwagę na dokładność, z jaką znany jest okres pulsacji!), usytuowanym w sąsiedztwie innej gwiazdy. Ale, wobec eliptyczności orbity, odległość pulsara od tej gwiazdy okresowo zmienia się (od ośmiuset tysięcy do trzech milionów kilometrów). A zmiana odległości do gwiazdy towarzyszącej to przecież zmiana w oddziaływaniu jej pola grawitacyjnego. I w tym tkwi właśnie niezwykłe znaczenie tego układu. Jest tu zegar „tykający" w zmieniającym się okresowo polu grawitacyjnym. Czyż nie wspaniałe laboratorium do badania wpływu grawitacji na jednostkę czasu oraz inne zjawiska!

W dalszej części tego artykułu omówimy pięć zjawisk, przez ogólną teorię względności przewidzianych i obserwacyjnie potwierdzonych.

Ruch peryhelium (peryastronu)

O tym, że planety poruszają się po orbitach eliptycznych, wiemy od czasów Keplera. Zdawałoby się, że jeżeli nie działają żadne siły zewnętrzne, to orbita winna być niezmienna, a jej orientacja winna zachować ten sam kierunek w przestrzeni. Tak przynajmniej



Rys.3. Przestrzeń w sąsiedztwie masywnych obiektów ulega zakrzywieniu. Oś orbity planety, poruszającej się w tej przestrzeni, systematycznie przesuwa się

wynikałoby z praw mechaniki klasycznej; do takiego wniosku prowadziłoby też elementarne rozumowanie.

Ale już w roku 1859 Leverrier zauważył, że z orbitą Merkurego coś nie tak, że peryhelium zmienia położenie. Dalsze obserwacje potwierdziły to; stwierdzono, że obrotu orbity o 43" na stulecie mechaniką newtonowską wytłumaczyć nie można.

Zjawisko to znajduje natomiast wytłumaczenie na gruncie ogólnej teorii względności. Występuje tam pojęcie krzywizny przestrzeni; w sąsiedztwie dużych mas tzw. czasoprzestrzeń ulega zakrzywieniu. Ilustruje to rysunek 3, gdzie tym masywnym obiektem jest Słońce, w polu grawitacyjnym którego krąży planeta. Otóż z teorii wynika, że oś orbity nie będzie zachowywała stałego położenia, lecz winna obracać się w kierunku obiegu planety. Pociąga to oczywiście za sobą jednoczesne przesuwanie się punktu peryhelium.

Zjawisko to winno wystąpić najwyraźniej w przypadku Merkurego, jako że jest to planeta krążąca w najsilniejszym polu grawitacyjnym Słońca, a eliptyczność orbity jest tu znaczna. W myśl teorii, w ciągu stu lat peryhelium Merkurego zmieni swe położenie o 43". Dla Wenus, Ziemi i Marsa otrzymamy tu odpowiednio liczby 9", 4" i 1", zaś dla planet dalszych są to już niemierzalne ułamki sekund.

Teoria Einsteina tłumaczyła zatem obserwowane od lat przesuwanie się peryhelium Merkurego; zgodność liczbowa była doskonała i można by widzieć w tym sukces teorii, gdyby nie pewne ale. Szkopuł bowiem w tym, że obracanie się orbity planety mogłoby być też następstwem spłaszczenia Słońca (pojawiłby się w takim wypadku tzw. grawitacyjny moment kwadrupolowy). Niestety, z pomiarami spłaszczenia naszej gwiazdy były i są nadal kłopoty. Nie było więc stuprocentowej pewności, że obserwowane przesuwanie się peryhelium Merkurego jest efektem relatywistycznym.

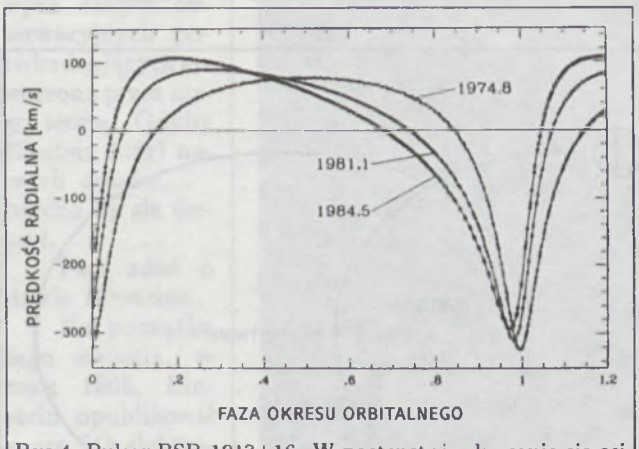
I oto w atmosferze tej niepewności na arenie astronomicznych sensacji pojawia się inny układ dwóch ciał niebieskich, a mianowicie omówiona przez nas parka gwiazd neutronowych PSR 1913+16. Jeśli Einstein ma rację, to w tym przypadku owo skręcanie orbity winno zachodzić nieporównywalnie szybciej, jako że obiekty są masywniejsze i krążą znacznie bliżej siebie.

Na zmianę kierunku osi orbity, $d\omega/dt$, teoria podaje wyrażenie

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{64G^{2/3}}{c^2} \frac{M^{2/3}}{(1-e)P^{5/3}}, \qquad (5)$$

gdzie M oznacza sumę mas obu ciał, P jest okresem ich wzajemnego obiegu, zaś e mimośrodem orbity.

Aby uświadomić sobie tempo skręcania osi orbity, można dokonać prostego porównania z danymi dla układu Słońce–Merkury. Okres obiegu tej planety wynosi 88 dni, tu zaś mamy $P = 0.323$ dnia; stosunek okresów obiegu ma się zatem jak 1 do 272. Po podniesieniu do potęgi 5/3 pojawia się w mianowniku liczba mniejsza o czynnik 11 000. Uwzględniając jeszcze różnice w masach i mimośrodach, otrzymamy wynik dość zaskakujący. Jeżeli bowiem w przypadku Merkurego orbita skręca się o 43 setne sekundy na rok, to tu $d\omega/dt$ winno wynieść około cztery stopnie na rok!



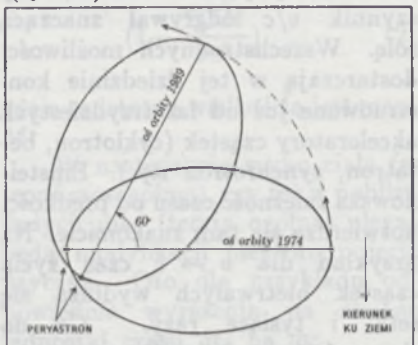
Rys.4. Pulsar PSR 1913+16. W następstwie skręcania się osi orbity, obserwowana krzywa prędkości radialnych doznała w ciągu dziesięciolecia spektakularnych zmian (porównaj rysunek 5)

To wynikałoby z obliczeń, a co mówi radioteleskop w Arecibo? Otóż w oparciu o dane obserwacyjne, zebrane w latach 1974–1989, otrzymano

$$\frac{d\omega}{dt} = 4,2266 \text{stopni na rok.}$$

Co do relatywistycznego rodowodu zjawiska nie ma tu najmniejszej wątpliwości. Spektakularny dowód tego skręcania się osi orbity widzimy na rysunku 4.

Nawiążmy raz jeszcze do Merkurego. Jak łatwo obliczyć, na obrót orbity tej planety o kąt pełny należałoby czekać aż 3 miliony lat. W naszym pulsarze natomiast obrót orbity o 360° następuje po każdych 85 latach – mieści się zatem prawie w granicach życia jednego człowieka (rys. 5).



Rys.5. PSR 1913+16. W latach 1974 – 1989 orbita uległa skręceniu o około 60°. W chwili odkrycia oś orbity była prostopadła do kierunku pulsar-Ziemia

Jak widać, w obszarach o silnym polu grawitacyjnym odstępstwa od praw fizyki Newtona mogą być bardzo wyraziste.

Wpływ grawitacji na jednostkę czasu

W mechanice klasycznej, zgodnie z newtonowską koncepcją czasu absolutnego, czas był traktowany niezależnie od przestrzeni i jakichkolwiek czynników fizycznych. Oto podana przez Newtona w roku 1687 definicja: *„Absolutny, prawdziwy, matematyczny czas płynie sam przez się i dzięki swej naturze, jednostajnie a niezależnie od jakiegokolwiek przedmiotu zewnętrznego"*.

Ale, jak mówi porzekadło, czasy się zmieniły. W szczególnej teorii względności Einstein wskazał na istnienie związku czasu i przestrzeni, zaś w teorii ogólnej – na związek

Zajrzyjmy do encyklopedii. Pod hasłem *sekunda* znajdziemy, że jest to czas trwania 9 192 631 770 okresów promieniowania, odpowiadającego przejściu między dwoma nadsubtelnymi poziomami stanu podstawowego atomu cezu 133. Dzisiejszy wzorzec czasu oparty jest więc na częstotliwości emitowanego przez atom promieniowania.

Skoro jednak – w myśl teorii Einsteina – w obecności pola grawitacyjnego czas płynie wolniej, znaczy to, że zmniejsza się częstotliwość emitowanego przez atom promieniowania; a to jest równoważne zwiększeniu długości fali. Oznaczmy ten przyrost przez $\Delta\lambda$, zaś laboratoryjną długość fali przez λ_o; wielkość tego tak zwanego *poczerwienienia grawitacyjnego* dana jest wyrażeniem

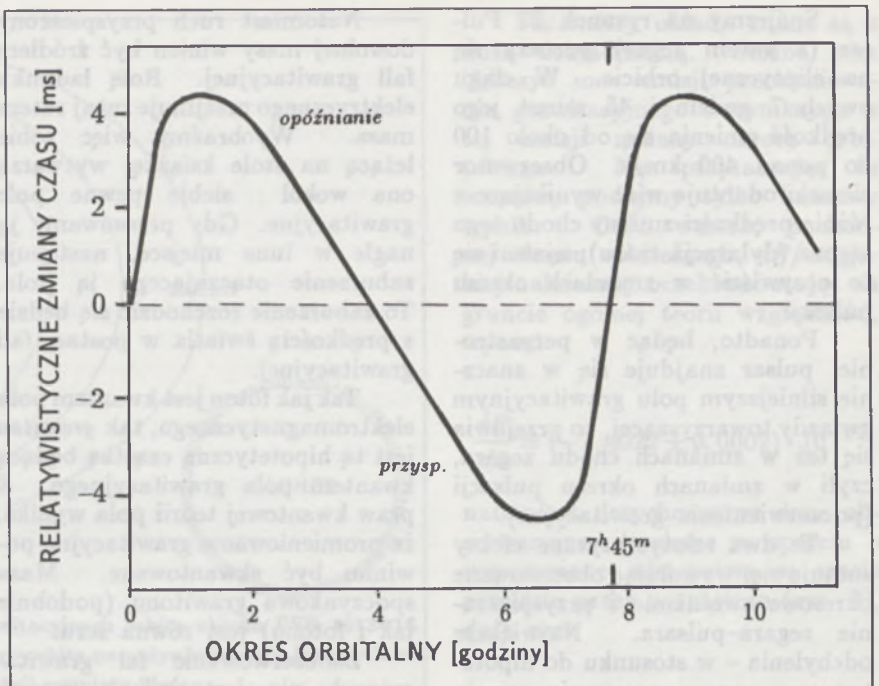
$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_o} = \frac{GM}{rc^2}. \qquad (6)$$

Jeżeli na M i r podstawimy tu wartość masy i promienia Słońca, na $\Delta\lambda/\lambda_o$ otrzymamy liczbę rzędu 10^{-6}; w przeliczeniu daje to wspominiane wcześniej opóźnienie umieszczonego na Słońcu zegara o sekundę na tydzień. Jest to jednak wielkość praktycznie niemierzalna. Gdy więc chodzi o wpływ grawitacji na jednostkę czasu, to do weryfikacji teorii Słońce jest mało przydatne.

Trzeba rozejrzeć się za gwiazdami, dla których stosunek M/r byłby dużo większy; winny to być zatem gwiazdy o małych rozmiarach. Takich jest sporo, są to białe karły. Świecą one wprawdzie słabo i ich linie widmowe są mocno poszerzone – zasadnicza trudność tkwi jednak w czymś bardziej podstawowym. Chodzi mianowicie o to, że poczerwienienie grawitacyjne jest obserwacyjnie nieodróżnialne od wynikającego z ruchu gwiazdy poczerwienia dopplerowskiego ($\Delta\lambda/\lambda_o = v/c$).

W bliskim naszym sąsiedztwie (16 lat świetlnych) znajduje się jednak biały karzeł, w przypadku którego rozdzielenie efektu relatywistycznego od dopplerowskiego nie sprawia trudności. Na imię mu 40 Eri B. Wchodzi on w skład układu potrójnego, gdzie dwie gwiazdy obiegają się w okresie 248 lat i krążą razem wokół trzeciej w okresie około 8600 lat.

Otóż owa potrójność ma tu znaczenie zasadnicze; dzięki potrójności da się wydzielić obydwa efekty. Skoro biegną one razem w przestrzeni, to (po uwzględnieniu poprawek na ruch orbitalny) winny wykazywać takie same prędkości radialne. Ale gdyby w widmie jednej z nich miał wystąpić ten dodatkowy efekt poczerwienienia grawitacyjnego, zmierzona prędkość radialna tej gwiazdy winna się różnić od prędkości dwóch pozostałych. Miałoby tu zatem miejsce coś podobnego jak z trójką dzieci, które biegną w naszym kierunku trzymając się za ręce. Gdybyśmy mierzyli ich prędkości i stwierdzali, że jedno z dzieci zbliża się do nas wolniej – mimo trzymania się za ręce – znaczyłoby to, że wchodzi tu w grę jakieś zjawisko modyfikujące wyniki pomiaru.



Rys.6. Przebieg relatywistycznych zmian czasu, obserwowanych w pulsarze PSR 1913+16. Maksymalne odstępstwa dochodzą do 4 milisekund

Otóż wykonywane w latach siedemdziesiątych pomiary prędkości radialnych tej trójki gwiazd wykazały, że składniki A i C zbliżają się do nas z prędkością około 43 km/s, zaś składnik B (biały karzeł) z prędkością tylko około 18 km/s. Różnica – 25 km/s – jest efektem relatywistycznym, jest następstwem poczerwienienia grawitacyjnego. Wynik ten zgadza się w granicach 10% z wartością poczerwienienia wynikającą z obliczeń.

A teraz inny przykład wpływu pola grawitacyjnego na jednostkę czasu, ale historia już nie niebieska, lecz ziemska. Aktorami są tu bardzo dokładne cezowe zegary atomowe. Jedne spoczywają na powierzchni Ziemi, inne umieszczono na pokładzie samolotu. Konfrontacja po piętnastogodzinnym locie wykazała, że te z samolotu wyprzedziły pozostające na Ziemi o 47 miliardowych sekundy. Wynik w doskonałej zgodności z teorią. Wystąpiły tu obydwa relatywistyczne efekty: tzw. dylatacja czasu z teorii szczególnej (wzór 3) i poczerwienienie grawitacyjne (teoria ogólna, wzór 4). Zegary w samolocie były bowiem w ruchu i to pociągało za sobą opóźnienie o $6 \cdot 10^{-9}$ sekundy, ale jednocześnie znajdowały się wyżej, a więc w słabszym polu grawitacyjnym, czego konsekwencją winno być przyspieszenie o $53 \cdot 10^{-9}$ sekundy.

Przykładów eksperymentów tego typu jest więcej. Może jeszcze jeden, nazwijmy go planetarnym. W *Physical Rewiew Letters* ukazał się niedawno artykuł pt. „*Test of the Gravitational Redshift Effect at Saturn*". Sprawa dotyczy rendez–vous z Saturnem sondy kosmicznej Voyager 1. Gdy w dniach 12/13 listopada 1980 roku pojazd przebiegał w odległości paru promieni planety, będąc pod najsilniejszym wpływem jej pola grawitacyjnego, częstotliwość emitowanych przez aparaturę sygnałów radiowych zmieniała się. Wielkość i przebieg tych zmian pozostawała w zgodzie z przewidywaniami ogólnej teorii względności w granicach 1%.

I na koniec przenieśmy się znów do głębin Galaktyki, do naszego pulsara PSR 1913+16. Tu też kłania się jednocześnie teoria szczególna i ogólna.

Spójrzmy na rysunek 2. Pulsar (a zatem zegar) porusza się po eliptycznej orbicie. W ciągu owych 7 godzin i 45 minut jego

Spójrzmy na rysunek 2. Pulsar (a zatem zegar) porusza się po eliptycznej orbicie. W ciągu owych 7 godzin i 45 minut jego prędkość zmienia się od około 100 do ponad 400 km/s. Obserwator ziemski odnotuje więc wynikające z różnic prędkości zmiany chodu tego zegara (dylatacja czasu); ujawni się to oczywiście w zmianach okresu pulsacji.

Ponadto, będąc w peryastronie, pulsar znajduje się w znacznie silniejszym polu grawitacyjnym gwiazdy towarzyszącej, co przejawia się też w zmianach chodu zegara, czyli w zmianach okresu pulsacji (poczerwienienie grawitacyjne).

Te dwa relatywistyczne efekty sumują się, wywołując obserwowane okresowe zwalnianie i przyspieszanie zegara-pulsara. Największe odchylenia – w stosunku do hipotetycznego zegara, poruszającego się ze stałą prędkością, w jednakowej odległości od gwiazdy towarzyszącej – wynoszą cztery milisekundy (rys. 6).

Fale grawitacyjne

Pojęcie fal grawitacyjnych pojawiło się wraz z ogólną teorią względności. Analogie między polem elektromagnetycznym i grawitacyjnym skłoniły Einsteina do wysunięcia hipotezy istnienia takich fal. Z równań teorii wynika, że przyspieszana masa powinna emitować fale (promieniowanie) grawitacyjne.

Analogia do fal elektromagnetycznych jest tu dość wyraźna. Przyspieszana cząstka naładowana (na przykład przeskok elektronu na niższą orbitę, czy też ruch wokół linii sił pola magnetycznego) jest źródłem fali elektromagnetycznej.

Natomiast ruch przyspieszony dowolnej masy winien być źródłem fali grawitacyjnej. Rolę ładunku elektrycznego przejmuje tutaj zatem masa. Wyobraźmy więc sobie leżącą na stole książkę; wytwarza ona wokół siebie pewne pole grawitacyjne. Gdy przesuwamy ją nagle w inne miejsce, następuje zaburzenie otaczającego ją pola. To zaburzenie rozchodzić się będzie z prędkością światła w postaci fali grawitacyjnej.

Tak jak foton jest kwantem pola elektromagnetycznego, tak *grawiton* jest tą hipotetyczną cząstką będącą kwantem pola grawitacyjnego. Z praw kwantowej teorii pola wynika, że promieniowanie grawitacyjne powinno być skwantowane. Masa spoczynkowa grawitonu (podobnie jak i fotonu) jest równa zeru.

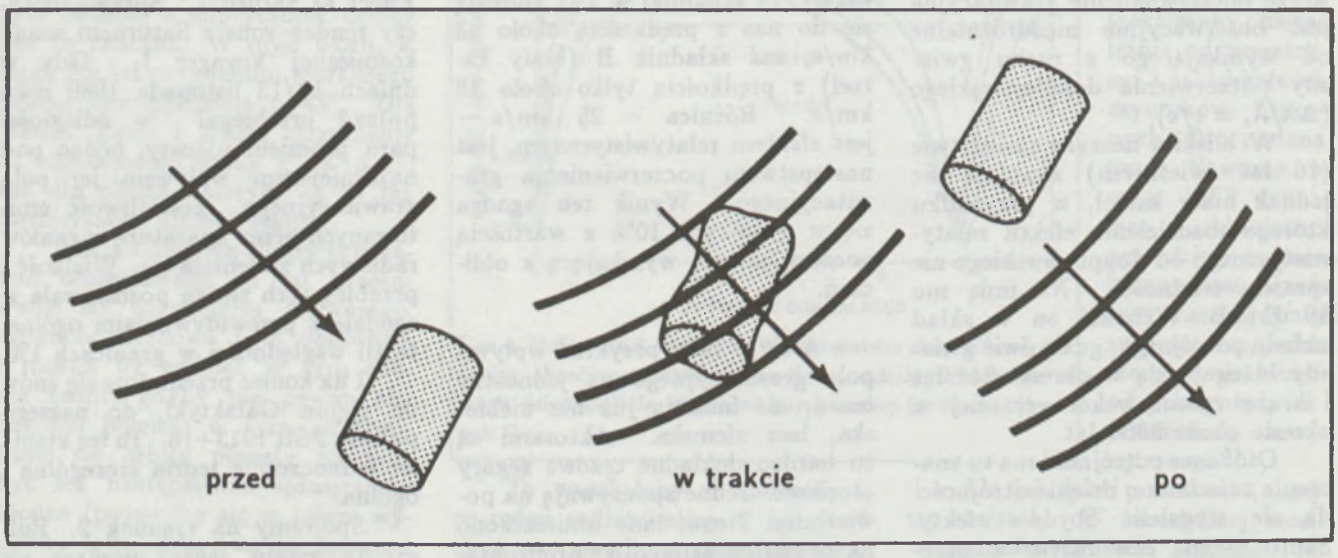
Zaobserwowanie fal grawitacyjnych nie jest jednak sprawą prostą. Zasadnicza trudność tkwi w słabości oddziaływania grawitacyjnego. Przykładowo, siła grawitacyjnego przyciągania elektronu i protonu jest około 10^{40} razy mniejsza od siły kulombowskiej między nimi. Wydajność mechanizmów emisji tych fal jest bardzo mała. Na przykład wirująca gigantyczna stalowa belka o masie stu tysięcy ton, wykonująca jeden obrót na sekundę, generowałaby promieniowanie o mocy .... 10^{-24} watów. Sam Einstein wątpił, czy promieniownie to będzie kiedykolwiek zaobserwowane.

Jak można wykryć biegnące fale grawitacyjne, jak winien wyglądać ich odbiornik? Fale świetlne dostrzegamy okiem, fale rentgenowskie naświetlają na przykład kliszę, radiowe wyłapuje antena. A grawitacyjne? – grawitacyjne wprawiają w drgania materię, przez którą przenikają. Taką „anteną" do rejestrowania fał grawitacyjnych może być odpowiedni cylinder metalowy (rys. 7).

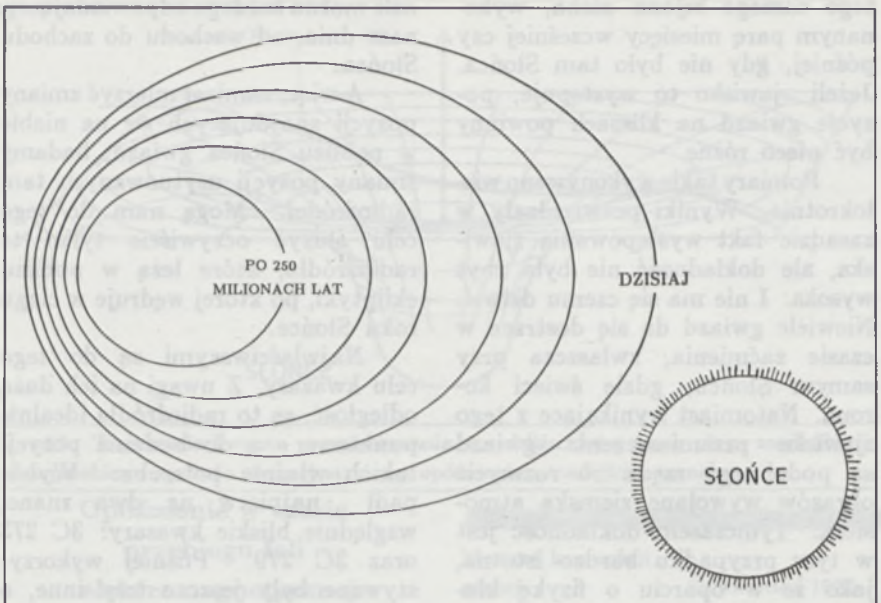
Aparaturę tego typu skonstruował po raz pierwszy J. Weber z Uniwersytetu Maryland. W majowym numerze *Scientific American* z roku 1971 ukazał się jego artykuł pt. *The Detection of Gravitational Waves*. Rejestrowane fale miały nadchodzić z kierunku centrum Galaktyki. Niestety późniejsze, doskonalsze „teleskopy grawitacyjne" odkrycie Webera poddały w wątpliwość. Nie ma się zresztą czemu dziwić: oddziaływanie fal grawitacyjnych z materią jest tak słabe, że dzisiejszy odbiornik jest w stanie zarejestrować co najwyżej jeden grawiton na 10^{23}.

Ale oto dekadę później – w październikowym numerze tegoż *Scientific American* z roku 1981 – ukazuje się artykuł zatytułowany: *Gravitational Waves from an Orbiting Pulsar*. Rzecz dotyczy znów naszego beniaminka PSR 1913+16. Podkreślmy od razu wyraźnie, że nie o bezpośrednią rejestrację fal tu chodzi; tu zaobserwowano zjawisko będące konsekwencją emisji tych fal.

Istota odkrycia związana jest z tym, że dwie obiegające się masy winny emitować fale grawitacyjne (ma tu bowiem miejsce ruch przyspieszony). Ale ta emisja promieniowania zachodzi na koszt energii ruchu orbitalnego układu. W konsekwencji energia układu zmniejsza się, orbita zatem kurczy się i okres obiegu maleje. To właśnie zjawisko zmniejszania się okresu obiegu zostało zaobserwowane.



Rys. 7. Fala grawitacyjna, przenikając przez metalowy cylinder, wprawia go w drgania. Na tej zasadzie działałby „teleskop" do obserwacji tych fal



Rys.8. W następstwie emisji fal grawitacyjnych orbita układu PSR 1913+16 kurczy się. Na ilustracji narysowano rozmiary orbity po upływie każdych kolejnych 50 milionów lat. Dla porównania w tej samej skali rozmiary Słońca

Rozwińmy nieco temat.

Dwa ciała o masie M, obiegające się po orbitach kołowych o promieniu r, emitują promieniowanie grawitacyjne o mocy

$$\frac{64G^4}{5c^5}\left(\frac{M}{r}\right)^5. \qquad (7)$$

Emisja tych fal pociąga za sobą tłumienie ruchu orbitalnego. Charakterystyczny czas zaniku τ tego ruchu zdefiniowany jest następująco

$$\tau = \frac{\text{energia ruchu orbitalnego}}{\text{moc prom. grawitacyjnego}}$$

$$\approx \frac{c^5 P^{8/3}}{(GM)^{5/3}}. \qquad (8)$$

Obiegające Słońce planety winny też oczywiście emitować fale grawitacyjne, ale moc będzie tu znikoma. Zwróćmy bowiem uwagę, że masy są niewielkie zaś rozmiary orbit spore, podczas gdy stosunek M/r we wzorze (7) występuje w potędze piątej. Będzie to łącznie zaledwie kilka kilowatów. Natomiast czas całkowitego skurczenia się układu planetarnego $\tau = 10^{23}$ lat. Możemy więc spać spokojnie. Nasz bliski sąsiad, układ podwójny Syriusza, gdzie gwiazdy obiegają się w okresie 50 lat, pozwala sobie na emisję o mocy 10^8 watów (ale to też niewiele w zestawieniu z promieniowaniem optycznym przeciętnej gwiazdy, np. Słońca – 10^{26} watów). Co zaś do czasu życia tego układu, to jemu sądzono jeszcze 10^{22} lat.

No a co z naszym beniaminkiem, co z pulsarem PSR 1913+16? Otóż jego przyszłość nie przedstawia się niestety tak różowo. Ze wzoru (8) obliczymy, że przed nim jeszcze tylko $3 \cdot 10^8$ lat. Po każdym ośmiogodzinnym obiegu orbita jest mniejsza o 3,1 milimetra, co daje 3,5 metra na rok (rys. 8); okres obiegu zmniejsza się zaś w ciągu każdego roku o $7{,}6 \cdot 10^{-5}$ sekundy.

To stosunkowo powolne skracanie się okresu orbitalnego nie byłoby łatwe do dostrzeżenia w ciągu niewielu lat, gdyby nie fakt, że zmiany okresu obiegu pociągają za sobą znacznie większe zmiany w momencie przejścia przez peryastron. Te odstępstwa – gdy chodzi o momet przejścia przez peryastron – dostrzega się bardzo wyraziście; w ciągu 15 lat różnica urosła już do ponad 8 sekund (rys. 9).

Parametry układu znane są z dużą dokładnością. Można więc obliczyć moc emisji promieniowania grawitacyjnego i wynikające z tej emisji zmiany okresu orbitalnego. Nie przytaczając tu wzorów, podajmy tylko końcowy wynik. Otóż wartość pochodnej okresu orbitalnego, dP/dt, jakiej należałoby oczekiwać stojąc na gruncie ogólnej teorii względności, wynosi

$$\frac{dP}{dt} = (-2{,}4022 \pm 0{,}0002) \cdot 10^{-12},$$

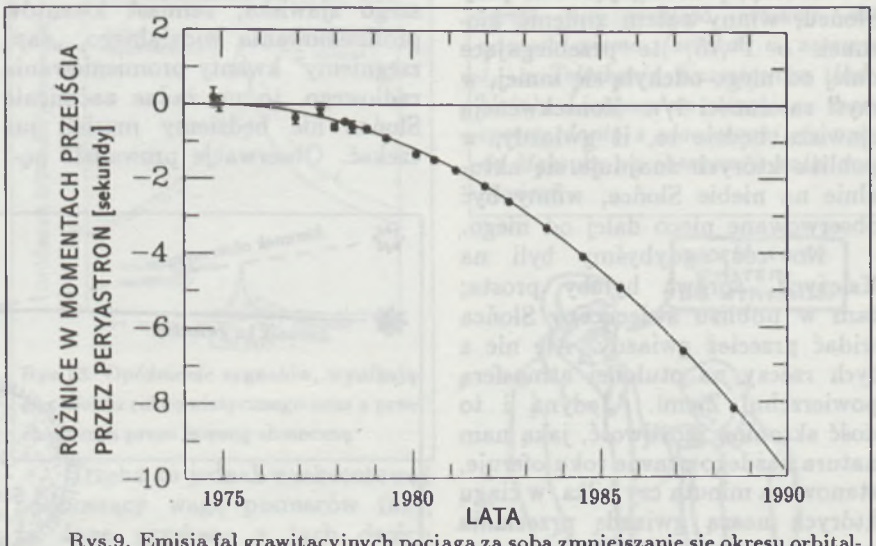
natomiast dotychczasowe dane obserwacyjne, uzyskane w oparciu o wspomniane odstępstwa w czasie przejścia przez peryastron (rys. 9), dają nam

$$\frac{dP}{dt} = (-2{,}427 \pm 0{,}026) \cdot 10^{-12}.$$

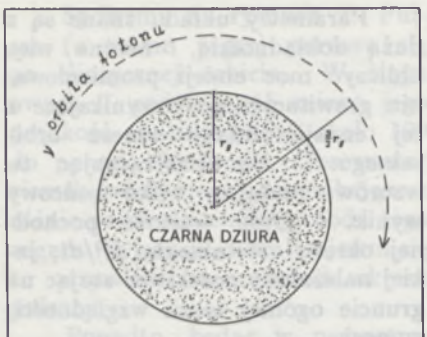
Zgodność teorii z obserwacjami w granicach 1%. Einstein miał rację. Fale grawitacyjne niewątpliwie istnieją.

Zmiana kierunku biegu fotonów

W szkole uczono nas, że (w próżni) światło rozchodzi się po liniach prostych. W pobliżu masywnych ciał tak jednak nie jest, tu tor fotonu winien ulegać zakrzywianiu. Skrajny tego przypadek ilustruje rysunek 10. W bezpośrednim sąsiedztwie czarnej dziury, w odległości 3/2 jej promienia, fotony winny wokół niej krążyć niczym satelity wokół planety.



Rys.9. Emisja fal grawitacyjnych pociąga za sobą zmniejszanie się okresu orbitalnego, konsekwencją czego są narastające różnice w czasie przejścia przez peryastron. Punkty na wykresie to dane obserwacyjne; krzywa odpowiada różnicom przewidywanym przez teorię względności



Rys.10. W odległości 3/2 promienia grawitacyjnego fotony winny krążyć wokół czarnej dziury po orbitach kołowych

Taki obraz miałby się nam ukazać w świecie o mocno zakrzywionej czasoprzestrzeni.

Fotonów obiegających czarną dziurę zaobserwować oczywiście nie można, jako że samo istnienie tych egzotycznych obiektów opatrzone jest dziś jeszcze znakiem zapytania. Możemy natomiast dostrzec zachodzenie tego typu zjawiska w sąsiedztwie zwykłej gwiazdy, to jest Słońca – na znacznie mniejszą oczywiście skalę.

Zmiana kierunku biegu fotonów o kąt Θ (mierzony w radianach) określana jest tu wyrażeniem

$$\Theta = \frac{4GM}{rc^2}. \qquad (9)$$

M oznacza masę Słońca, zaś r to odległość, w jakiej foton od niego przebiega (rys. 11). Podstawiając na r minimalną, mającą jeszcze sens wartość, tj. promień Słońca, otrzymamy

$$\Theta = 8,46 \cdot 10^{-6}\text{radianów} = 1'',75.$$

Fotony, przebiegające tuż przy Słońcu, winny zatem zmienić kierunek o 1",75; te przebiegające dalej od niego odchylą się mniej, w myśl zależności $1/r$. Konsekwencją zjawiska będzie to, iż gwiazdy, w pobliżu których znajduje się aktualnie na niebie Słońce, winny być obserwowane nieco dalej od niego.

No cóż, gdybyśmy byli na Księżycu, sprawa byłaby prosta; tam w pobliżu świecącego Słońca widać przecież gwiazdy. Ale nic z tych rzeczy na otulonej atmosferą powierzchni Ziemi. Jedyną i to dość skromną możliwość, jaką nam natura każdego prawie roku oferuje, stanowi ta minuta czy kilka, w ciągu których naszą gwiazdę przesłania nasz naturalny satelita. Zadanie sprowadza się do tego, by sfotografować fragment nieba z zaćmionym Słońcem i porównać ze zdjęciem tego samego rejonu nieba, wykonanym parę miesięcy wcześniej czy później, gdy nie było tam Słońca. Jeżeli zjawisko to występuje, pozycje gwiazd na kliszach powinny być nieco różne.

Pomiary takie wykonywano wielokrotnie. Wyniki potwierdzały w zasadzie fakt występowania zjawiska, ale dokładność nie była zbyt wysoka. I nie ma się czemu dziwić. Niewiele gwiazd da się dostrzec w czasie zaćmienia, zwłaszcza przy samym Słońcu, gdzie świeci korona. Natomiast wynikające z tego zjawiska przemieszczenia gwiazd są podobnego rzędu co rozmycie obrazów wywołane ziemską atmosferą. Tymczasem dokładność jest w tym przypadku bardzo istotna, jako że w oparciu o fizykę klasyczną też można uzyskać zmianę kierunku fotonu, ale jest to wartość dwukrotnie mniejsza, tylko 0",87.

Taka, trochę dwuznaczna sytuacja, panowała do czasu rozwoju radioastronomii. Ta nowa gałąź astronomii zmieniła w sposób radykalny możliwość badania omawianego tu zjawiska.

Spójrzmy na wzór (9). Nie występuje tam długość fali (czy też częstotliwość) badanego promieniowania. O taką samą wartość zmienia się zatem kierunek zarówno kwantu świetlnego jak i rentgenowskiego czy też radiowego. A wiemy, że fale radiowe docierają do powierzchni naszej planety zarówno przy niebie pogodnym jak i pochmurnym, przy ich obserwacjach nie przeszkadza świecenie atmosfery, antena rejestruje je tak samo w dzień jak i nocą.

Jeżeli zatem do badania naszego zjawiska, zamiast kwantów promieniowania widzialnego, „zaprzęgniemy" kwanty promieniowania radiowego, to na żadne zaćmienie Słońca nie będziemy musieli już czekać. Obserwacje prowadzić będzie można każdego odpowiadającego nam dnia, od wschodu do zachodu Słońca.

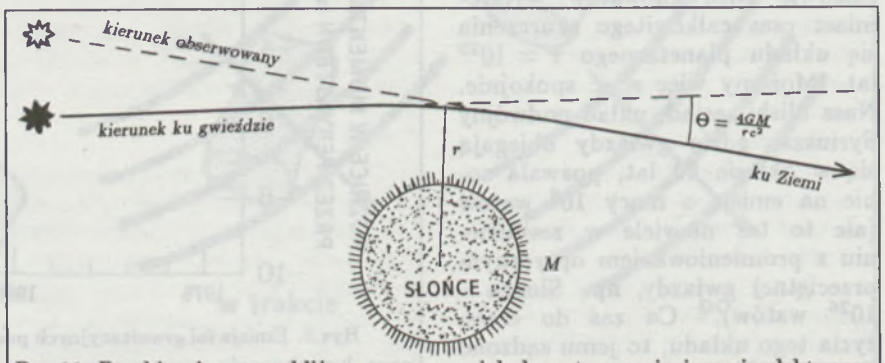
A więc, zamiast mierzyć zmiany pozycji znajdujących się na niebie w pobliżu Słońca gwiazd, badamy zmiany pozycji usytuowanych tam radioźródeł. Mogą nam do tego celu służyć oczywiście tylko te radioźródła, które leżą w pobliżu ekliptyki, po której wędruje w ciągu roku Słońce.

Najwłaściwszymi są do tego celu kwazary. Z uwagi na ich dużą odległość, są to radioźródła idealnie punktowe – a do badania pozycji takich właśnie potrzeba. Wybór padł najpierw na dwa znane, względnie bliskie kwazary: 3C 273 oraz 3C 279. Później wykorzystywane były jeszcze trzy inne, o oznaczeniach: 0111, 0116 i 0119. Główną kampanię prowadzono w latach 1969–1975; interferometry o długich bazach pozwalały na siągnięcie wysokiej dokładności pomiarów.

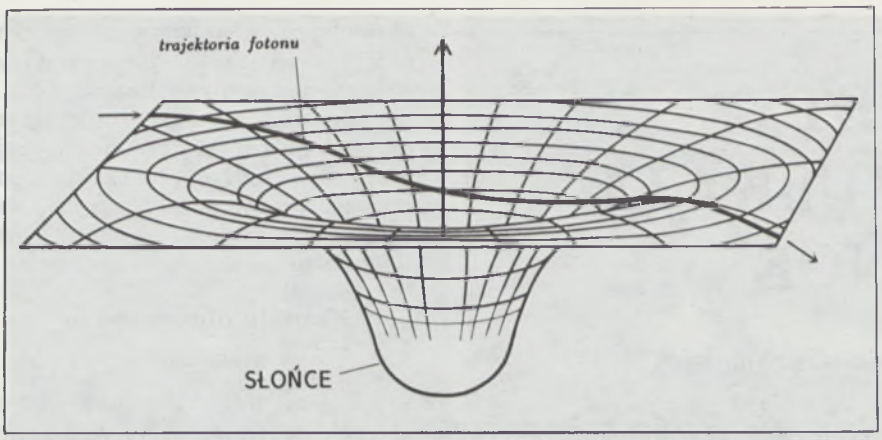
Kwazary te obserwowano na falach centymetrowych. Wyniki wszystkich pomiarów były jednoznaczne. Gdy Słońce, w swej rocznej wędrówce po ekliptyce, zbliżało się do kwazara, jego pozycja na niebie z lekka zmieniała się. W miarę zaś oddalania się Słońca położenie kwazara wracało do pierwotnego. Obserwowane zmiany pozycji pozostawały w doskonałej zgodności ze wzorem (9). Po przeliczeniu na krawędź Słońca, otrzymano przewidzianą przez Einsteina wartość

$$\Theta = 1'',75 \pm 0'',01.$$

I jeszcze dygresja. Otóż te tzw. soczewki grawitacyjne, o których dużo słyszymy w ostatnich latach, to nic innego jak właśnie omawiane tu zjawisko relatywistycznego zakrzywiania toru fotonów, przebiegających w pobliżu masywnych ciał.



Rys.11. Przebiegające w pobliżu masywnego ciała kwanty promieniowania elektromagnetycznego zmieniają kierunek. Następstwem tego jest fakt, iż gwiazdy, usytuowane na niebie w pobliżu Słońca, widoczne są nieco dalej od niego



Rys.12. Trajektoria kwantu promieniowania w pobliżu dużej masy ulega modyfikacji; czas przebiegu wydłuża się i rejestrujemy opóźnienie w nadejściu sygnału

Opóźnienie w czasie przebiegu fali elektromagnetycznej

Piąte, ostatnie z dobrze dotąd zbadanych zjawisk, potwierdzających założenia ogólnej teorii względności, jest tematycznie spokrewnione z poprzednim. Mamy tu bowiem także do czynienia z wpływem pola grawitacyjnego na bieg kwantów promieniowania, tylko tam chodziło o zmianę kierunku, tu zaś chodzi o zmianę czasu przebiegu. Nie przyjęła się jeszcze w języku polskim jakaś krótsza nazwa tego zjawiska, w angielskim używane jest określenie *relativistic time delay*.

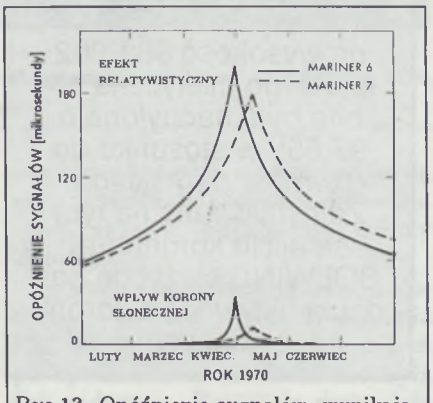
Gdy zatem kwant promieniowania przebiega w pobliżu ciała o znacznej masie, czas przejścia tego sygnału elektromagnetycznego ulega wydłużeniu – sygnał nadchodzi z opóźnieniem. Na możliwość występowania tego typu efektu relatywistycznego zwrócono uwagę dopiero po śmierci Einsteina. Istotę zjawiska przybliża rysunek 12.

Masywnym obiektem, wywołującym opóźnienie, jest Słońce. Eksperymentalne zaobserwowanie zjawiska polega na tym, by wysłać fale, które przebiegałyby w pobliżu tego ciała i zmierzyć czas przebiegu. Tymi falami będą oczywiście fale radiowe. Najdokładniejsze wyniki uzyskano w roku 1970, w eksperymencie z sondami kosmicznymi Mariner 6 i Mariner 7. Pojazdy te (po spełnieniu misji badania Marsa) skierowane zostały na orbity okołosloneczne. Będąc w pobliżu koniunkcji górnej, były zatem po przeciwległej stronie Słońca i kierowane ku nim fale przebiegały koło tego ciała niebieskiego.

Oto niektóre dane dla Marinera 6 (dane dla drugiej sondy, Mariner 7, były dość zbliżone):

Moment koniunkcji górnej	– 29 kwietnia 1970
Odległość Ziemia–pojazd	– 402 miliony km
Podróż sygnału tam i z powrotem	– 44,7 minuty
Największe zbliżenie sygnału do Słońca	$-2{,}6R_{\odot}$

Główne źródła błędów przy przeprowadzaniu tego typu eksperymentu to: 1) niedostateczna znajomość orbity sondy, wynikająca z oddziaływania na pojazd stochastycznych sił niegrawitacyjnych, 2) niedostateczna znajomość mającej wpływ na propagację fal koncentracji elektronowej w ośrodku międzyplanetarnym. Istotnym zagadnieniem jest tu też oczywiście uwzględnienie opóźnienia, wynikającego z przechodzenia fali (sygnału) przez koronę słoneczną. Szacuje się, że możliwe błędy nie powinny przekraczać 3% wartości mierzonych.



Rys.13. Opóźnienie sygnałów, wynikające z efektu relatywistycznego oraz z przechodzenia przez koronę słoneczną

Trzeba tu jednak zaakcentować podnoszący wagę pomiarów fakt, że dane uzyskane z tych dwóch – w pewnym stopniu niezależnych eksperymentów – zgadzały się ze sobą w granicach 0,3%.

Jakie wyniki uzyskano?

Otóż równania ogólnej teorii względności wskazują, że maksymalne opóźnienie sygnału na trasie Ziemia–sonda i z powrotem winno wynosić 200 mikrosekund. Pomiary potwierdziły tę wartość w granicach 3% (rys. 13).

Wiadomość z ostatniej chwili

W międzynarodowym tygodniku naukowym *Nature*, w numerze z dnia 25 kwietnia 1991 r., ukazał się artykuł pt. *A nearby 37.9–ms pulsar in a relativistic binary system*. Wiadomość tym milsza, że autorem jest Andrzej Wolszczan, polski astronom pracujący na radioteleskopie w Arecibo. Dowiadujemy się o odkryciu nowego podwójnego pulsara – PSR 1534+12. Układ jest podobny do PSR 1913+16, z okresem obiegu 36351,7027 sekund i nieco mniejszą ekscentrycznością orbity równą 0,2736761. Parametry tego układu są wyznaczone na razie z mniejszą dokładnością niż dla jego poprzednika ze względu na krótki jeszcze czas obserwacji. Wszystko wskazuje jednak na to, że wkrótce ten właśnie nowo odkryty pulsar podwójny przejmie palmę pierwszeństwa jako najlepsze laboratorium do badania efektów relatywistycznych; pulsar ten ma bowiem znacznie silniejszy i wyjątkowo wąski puls, działający jak znacznie bardziej precyzyjna wskazówka zegara niż stosunkowo szeroki puls z PSR 1913+16. Najbliższe miesiące powinny zatem przynieść nowe, ważne wyniki.

Tadeusz Jarzębowski jest autorem już drugiego artykułu dla naszego pisma (artykuł w zeszycie 1, o Teleskopie Kosmicznym Hubble'a). Liczymy na więcej — może sprawozdanie z planowanej wyprawy do Meksyku na obserwacje zaćmienia Słońca?

KOMETY KTÓRE „MUSKAJĄ" SŁOŃCE

Bożenna Todorovic—Juchniewicz

Czy komety „zderzające" się ze Słońcem tworzą wraz z kometami „muskającymi" Słońce wspólną grupę? Jakie jest ich pochodzenie? Wydaje się, że na pierwsze z tych pytań można dać już wiarygodną odpowiedź. Rozwiązanie drugiego problemu pozostaje ciągle zagadnieniem otwartym, ponieważ otrzymana odpowiedź oparta jest raczej na spekulacjach niż ugruntowanej wiedzy.

Zamarznięte bryły pyłowo-gazowe są pierwszymi ciałami jakie napotykamy zbliżając się z przestrzeni międzygwiazdowej do Układu Słonecznego. Według najbardziej do tej pory wiarygodnej hipotezy wysuniętej w 1950 roku przez holenderskiego astronoma J.H. Oorta, być może pochodzą one z kulistego obłoku, jaki tworzą wokół Słońca, a który znajduje się w odległości 100 tys. jednostek astronomicznych*, czyli w jednej trzeciej odległości Słońca od najbliższej gwiazdy, *Proximy Centauri*.

Niektóre bryły z tego obłoku wskutek oddziaływania grawitacyjnego najbliższych gwiazd mogą uzyskać prędkości skierowane ku Słońcu i po tysiącach a nawet milionach lat przybyć w jego pobliże.

W sąsiedztwo Słońca mogą również dotrzeć podobne ciała z przestrzeni międzygwiazdowej. I wtedy możliwe jest zaobserwowanie z Ziemi intrygującego i niezwykle fascynującego zjawiska na niebie, „gwiazdy z warkoczem" zwanej kometą.

Z bryły-jądra wskutek ogrzania powierzchni rozpoczyna się uwalnianie gazów i pyłów, które formują wokół niej obłok gazowo pyłowy. Część materii obłoku jest zdmuchiwana przez ciśnienie promieniowania i wiatr słoneczny tworząc warkocz komety.

* jednostka astronomiczna to średnia odległość Ziemi od Słońca, czyli około 150 mln km

Większość komet pojawia się niespodziewanie i tylko jeden raz. Nazywamy je kometami jednopojawieniowymi. Tory tych komet tylko nieznacznie różnią się od paraboli, a więc są bądź bardzo wydłużonymi i spłaszczonymi elipsami, albo mają kształt hiperboli.

Niektóre komety napotykają na swej drodze którąś z wielkich planet i podchodząc blisko do niej mogą tak zmienić swój ruch, że stają się kometami okresowymi.

P 78 - 1

Satelita amerykański wystrzelony 24 lutego 1979 na wysokość 563-602 km. Jego eliptyczna orbita była nachylona o 97,65° w stosunku do równika ziemskiego. Zainstalowany na tym satelicie koronograf SOLWIND służył do badania aktywności korony słonecznej.

Komety okresowe mogą być widoczne z Ziemi najczęściej co kilka lub kilkanaście lat, a rzadziej co kilkadziesiąt. Ostatnie wydanie katalogu orbit komet Marsdena z 1989 roku zawiera wykaz komet od 239 roku p.n.e. do 1989. Spis wymienia 810 komet. Wśród nich 155 należy do grupy komet okresowych, a najznamienitszą ich przedstawicielką, o której wszyscy słyszeli, jest kometa Halleya.

Komety, o których będę teraz mówić, należą do tej liczniejszej grupy, co znaczy że poruszają się po orbitach prawie parabolicznych, ale ich wyprawa w stronę Słońca okazuje się ostatnią i kończy tragicznie.

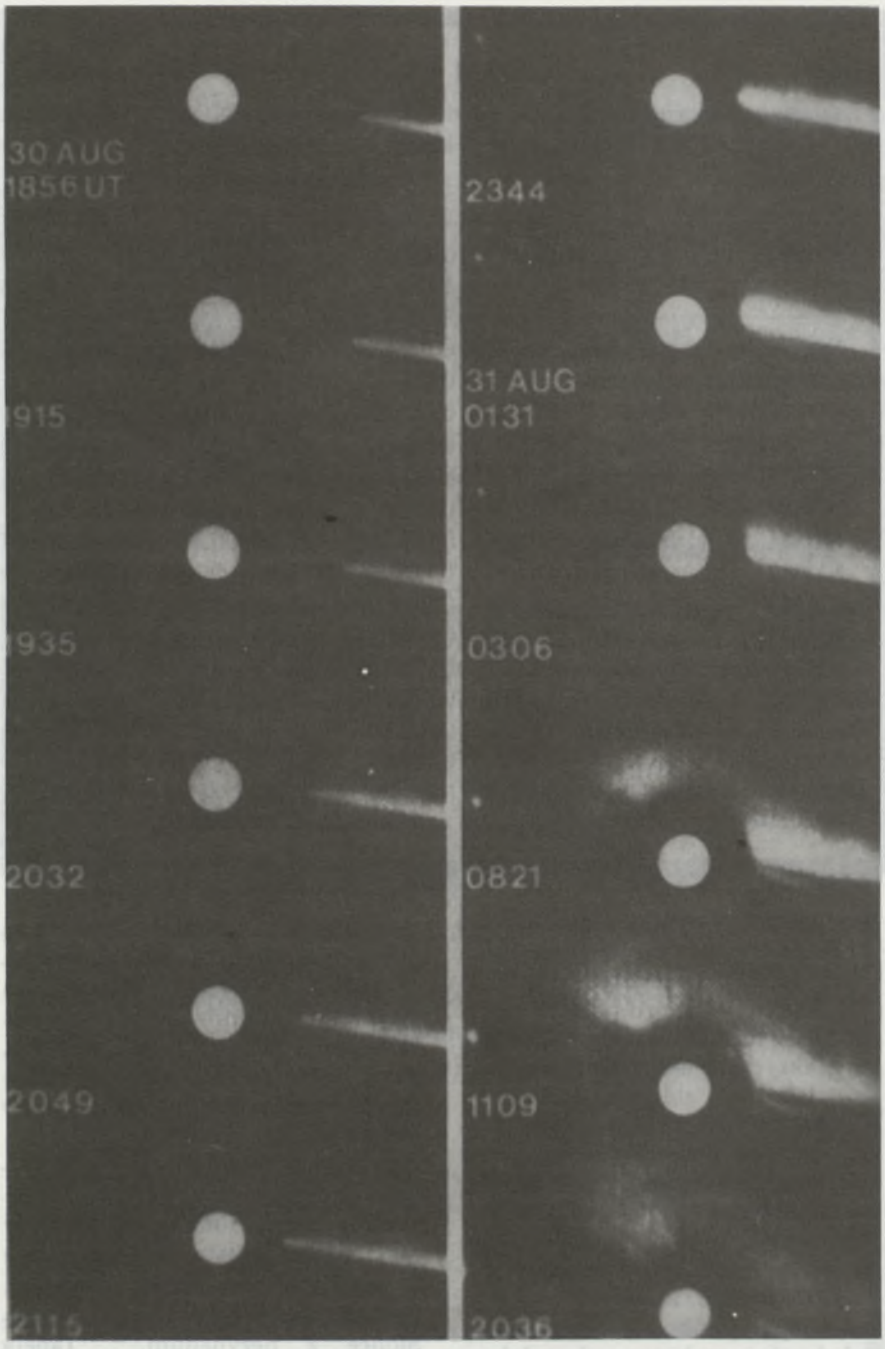
Komety obserwowane z kosmosu

Celem misji kosmicznych, o których będzie teraz mowa, wcale nie było obserwowanie komet. Zarówno satelita P78–1 jak eksperyment Solar Maximum Mission przeznaczone były do śledzenia aktywności słonecznej. Umieszczone tam specjalne urządzenia – koronografy – przekazywały na Ziemię obrazy wciąż zmieniającej się korony słonecznej.

SMM

Satelita amerykański wystrzelony 14 lutego 1980 na prawie kołową orbitę (perygeum 566 km, apogeum 569 km), o nachyleniu 28,50° i okresie obiegu 95,86 min. Służył do kompleksowego badania Słońca w okresie jego maksymalnej aktywności. Po 9 1/2 miesiąca popsuł się system orientujący satelitę, ale został naprawiony w 1984 przez kosmonautów amerykańskich. Najprawdopodobniej satelita będzie zbierał informacje o Słońcu również w okresie jego maksymalnej aktywności w 1991 roku.

Analiza obrazów korony, oprócz poszerzenia naszej wiedzy o zjawiskach zachodzących w koronie, przyniosła niespodziewanie na przestrzeni dziesięciu lat (1979–1989) odkrycie piętnastu nowych komet. Zgodnie z tradycją, komety te oznaczono podając rok odkrycia i kolejny numer komety odkryte w danym roku, a zatem nowo odkryte komety to: 1979 XI, 1981 I, 1981 XIII, 1981 XXI, 1983 XX, 1984 XII, 1987 XXII, 1987 XXV, 1988 X, 1988 XII, 1988 XVII, 1988 XIX, 1988 XXII, 1989m, 1989q. Pierwszych sześć



Fot. 1. Ruch komety 1979XI na tle korony słonecznej (wg Science, vol. 215, nr 4536, 1982). Jasna plamka po lewej stronie to Wenus.

komet było obserwowanych przez SOLWIND, pozostałe przez SMM. Kometę 1984 XII zarejestrowały oba instrumenty.

Obserwacje otrzymane dla komety 1979 XI są pokazane na fotografii i przedstawiają na tle obrazów korony słonecznej otrzymanych przez SOLWIND-koronograf w dniach 30-31 sierpnia 1979 roku jasną kometą z dobrze rozwiniętym warkoczem, która zbliżyła się do Słońca na kilka milionow kilometrów od południowego zachodu. Następnie kometa weszła w obszar niedostępny dla obserwacji o promieniu równym 2.5 promienia słonecznego zakryty sztucznie przez przesłonę koronografu i nie pojawiła się ponownie, natomiast zaobserwowano znaczne pojaśnienie korony słonecznej.

Dalsze dwie komety zarejestrowano w pobliżu Słońca 27 stycznia i 20 lipca 1981 roku i żadna z nich po spotkaniu ze Słońcem nie była już widoczna. Pozostałe dwanaście komet również nie przeżyło tak bliskiego spotkania ze Słońcem. Oprócz wykrycia słabej emisji w Si II i Ni II, przez koronograf zainstalowany w Obserwatorium na Lomnicy, po 10 godzinach od spotkania ze Słońcem komety z 1979 roku, ani jeden z tych obiektów nie był zauważony z powierzchni Ziemi.

Najjaśniejszymi kometami z tej grupy (jasność około -4 wielkości gwiazdowej) były 1979 XI (SOLWIND1), 1988 XVII (SMM5), 1988 XIX (SMM7), trochę słabszą 1983 XX (SOLWIND6), a jeszcze mniejszą jasność miały komety 1981 I (SOLWIND2), 1987 XXV (SMM2), 1988 XII (SMM4) i 1989q (SMM9). Najsłabszą kometą była 1988 XXII (SMM6), której jasność równała się +1 wielkości gwiazdowej. Dla porównania Wenus osiąga maksymalną jasność -4.8 wielkości gwiazdowej, a najsłabsze gwiazdy mają jasność 5 - 6 wielkości gwiazdowych. Odkryte komety były zatem bardzo jasne i szkoda, że warunki ich odkrycia były tak niefortunne, że uniemożliwiły ich obserwacje z Ziemi.

Wyznaczenie elementów orbity komety „zderzającej" się ze Słońcem sprawiło ogromne trudności. Czas obserwacji takiej komety był niezwykle krótki (np. głowa komety 1979 XI była obserwowana tylko 139 minut), ilość obserwacji mała (od 2 do 15), a kometa poruszała się po torze prawie prostoliniowym. W tym przypadku, żeby móc wyznaczyć orbitę należało poczynić pewne założenia.

Tak też zrobili pierwsi zainteresowani tymi kometami, a właściwie ich odkrywcy podejmując wstępne próby znalezienia ich orbit. Z danych zarejestrowanych przez SOLWIND-koronograf można było otrzymać dokładny czas obserwacji, oraz widome położenie głowy komety (odległość od centrum Słońca i kąt pozycyjny mierzony od północnego bieguna słonecznego). Szczęśliwym trafem na obrazach z kometą można było zobaczyć Wenus i Regulusa, a z porównania ich położeń ze znanymi z efemeryd pozycjami określić dokładność pomiaru zarówno w odległości heliocentrycznej jak i kącie pozycyjnym. Ponieważ trudno było dociec, czy tor komety ma kształt eliptyczny czy hiperboliczny założono, że kometa poruszała się po orbicie parabolicznej. Następnie w ramach już znanej dokładności pomiaru, przyjmując jako wolny parametr odległość od Słońca punktu peryhelium q, dopasowywano kąty widzenia i moment przejścia przez peryhelium T do obserwacji. W ten sposób otrzymano rodzinę prostych i wstecznych orbit parabolicznych. (Z jakim charakterem ruchu mamy do czynienia mówi wartość kąta nachylenia płaszczyzny orbity do płaszczyzny ekliptyki *i*. Dla *i* wynoszącego powyżej 90 stopni kometa

okrąża Słońce ruchem wstecznym.) Ze względu na krótki okres obserwacji we wstępnych obliczeniach pominięto wpływ orbitalnego ruchu Ziemi.

Już wcześniej intuicyjnie wyczuwano, że nowo odkryta grupa komet należy do rodziny komet „muskających" Słońce, nazywanych również grupą Kreutza od nazwiska XIX–wiecznego astronoma, który pierwszy bardzo intensywnie zajmował się ich badaniem *. Członków tej grupy charakteryzuje bardzo mała odległość od Słońca punktu peryhelium spadająca poniżej 0.02 jednostki astronomicznej (promień Słońca równa się 0.00465 jednostki astronomicznej), okres obiegu wokół Słońca trwający kilka stuleci, oraz wspólne położenie kierunków punktów peryhelium zlokalizowane na niebie w rejonie ekliptycznej długości L= 282°0 ± 0°4, szerokości B= +35′2±0′2 (w odniesieniu do epoki 1950.0 - jest to obecnie umownie stosowana epoka jednoznacznie definiująca podstawową płaszczyznę i kierunek względem których te kąty są liczone. Ponieważ wiadomo, że zarówno płaszczyzna ekliptyki jak i punkt równonocy wiosennej, powstały przy przecięciu równika niebieskiego z ekliptyką, zmieniają one wolno swe położenia z biegiem czasu.). Również jasność tych komet jest dużo większa od typowej jasności komet krótkookresowych.

Porównanie otrzymanych wyników dla komet „zderzających" się ze Słońcem z orbitami znanych komet „muskających" Słońce wykazało, przy założeniu wstecznego charakteru ruchu, zgodność w kątach pozycyjnych charakteryzujących położenie orbity w przestrzeni, co sugerowało, że te nowe komety też są członkami grupy Kreutza.

Założenie, że orbity są wsteczne, pomogło również w wyjaśnieniu bardzo głębokiego zbliżenia komet do Słońca na wiele dni przed peryhelium, co uczyniło mało prawdopodobne zaobserwowanie ich z Ziemi.

Metodę pozwalającą wyznaczyć ściśle jedną orbitę komety 1979 XI znalazł Z. Sekanina w 1982. Opierała się ona na założeniu, że linia apsydów tej komety pokrywała się z linią apsydów wyznaczoną dla grupy komet „muskających" Słońce. Niestety słaba jakość obserwacji uniemożliwiła Sekaninie znalezienie wiarygodnego wyniku dla odległości od Słońca punktu peryhelium, które wyniosło 0.35 promienia Słońca.

Badania przeprowadzone w roku 1983 przez Weissmana wykazały, że praktycznie nie można wyjaśnić tak głębokiego zbliżenia komety do Słońca ani przez perturbacje planetarne czy gwiazdowe, ani przez siły niegrawitacyjne. Wykluczony został również rozpad jądra w wyniku sił pływowych w poprzednim przejściu w pobliżu Słońca, a rozpad w pobliżu aphelium najdalej położonym punkcie orbity komety był bardzo mało prawdopodobny. Małe prawdopodobieństwo wykazał również przypadek zderzenia z innym ciałem w dużej odległości heliocentrycznej.

Orbity nowych komet obliczał również B.G.Marsden, a wyniki pojawiały się sukcesywnie wraz z odkryciami komet w latach 1979 - 1989 w Cyrkularzach Międzynarodowej Unii Astronomicznej. Marsden (praca w Astronomical Journal z 1989 roku, tom 98, strona 2306) podjął się też trudu ponownego, ale już jednolitego wyznaczenia orbit dla wszystkich tych komet. Z danych dostarczonych z SOLWIND-koronografu przeszedł do obserwacji pozycyjnych (rektascensja, deklinacja, czas) odniesionych do epoki 1950.0. Natomiast obserwacje z SMM-koronografu otrzymał już w tej postaci. Następnie wyznaczał orbity tych komet zakładając, że są one paraboliczne i że ekliptyczna długość L i szerokość B położenia kierunków punktów peryhelium jest taka sama jak dla grupy Kreutza. Przy pomocy metody najmniejszych kwadratów dopasowywał do obserwacji moment przejścia przez peryhelium T, odległość od Słońca punktu peryhelium q i argument szerokości peryhelium ω oznaczający kąt między prostą łączącą Słońce z punktem równonocy wiosennej (punkt Barana), a prostą łączącą Słońce z peryhelium. Tabela 1 oprócz tych elementów orbity podaje również pozostałe, czyli długość węzła wstępującego Ω kąta liczonego w płaszczyźnie ekliptyki między kierunkami: ze Słońca ku punktowi Barana i ku przecięciu płaszczyzny ekliptyki z płaszczyzną orbity, oraz nachylenie i.

Orbity otrzymane w wyniku takich założeń i postępowania zupełnie nieźle pasują do obserwacji i jedynie dla komet 1981 XXI i 1984 XII (obiekt obserwowany przez oba instrumenty) nie są zbyt pewne. W przypadku ostatnio wymienionej komety, niezgodności między pozycjami otrzymanymi przez koronografy SOLWIND i SMM można było zlikwidować po wprowadzeniu małej korekcji kątów pozycyjnych komety (w stosunku do Słońca) mierzonych przez SOLWIND.

TABELA 1

Komety „zderzające" się ze Słońcem z koronografów SOLWIND i SMM
(wg. Katalogu orbit komet - Marsden 1989)

Kometa	T (czas uniwer.)		q (j.a.) 1950.0	ω 1950.0	Ω 1950.0	i
SOLWIND1	sierpień	30.949	0.00480	67.67	344.30	141.45
SOLWIND2	styczeń	27.100	0.00792	65.43	341.41	140.67
SOLWIND3	lipiec	20.336	0.00612	68.43	345.26	141.70
SOLWIND4	listopad	4.532	0.00450	77.68	356.87	143.84
SOLWIND6	wrzesień	25.188	0.00753	78.58	357.98	143.98
SOLWIND5	lipiec	28.556	0.01541	56.67	329.74	136.38
SMM1	październ.	6.069	0.00538	80.59	0.46	144.25
SMM2	październ.	18.027	0.00627	82.63	2.96	144.46
SMM3	czerwiec	27.784	0.00516	85.88	6.96	144.70
SMM4	sierpień	21.819	0.00591	82.25	2.50	144.43
SMM5	październ.	12.072	0.00513	88.08	9.65	144.78
SMM7	październ.	24.864	0.00579	86.14	7.28	144.71
SMM6	listopad	18.369	0.00590	91.08	13.32	144.79
SMM8	czerwiec	2.578	0.00557	84.72	5.54	144.63
SMM9	lipiec	8.772	0.00462	91.80	14.20	144.78

* Zebrane informacje o tej grupie komet prezentowałam w Postępach Astronomii z 1983 roku w tomie 31

Pochodzenie komet „muskających" Słońce

Badania prowadzone przez I. Hasegawę, B.G. Marsdena i L. Kresáka nad grupą komet „muskających" Słońce, do której zaliczono po pewnych wahaniach ośmiu członków (elementy ich orbit zostały podane w Tabeli 2), sugerowały, że te komety dzielą się na fizycznie związane ze sobą podgrupy.

Jednym z kryteriów podziału było porównanie otrzymanych dla nich wartości elementów orbity, szczególnie kątowych, i odległości punktu peryhelium od Słońca. Drugim kryterium, stosowanym w szczególności do komet o słabych i nielicznych obserwacjach, było zaliczenie komety do podgrupy, na podstawie możliwości znalezienia dla niej orbity hipotetycznej pasującej do obserwacji, przy założeniu zgodności jej barycentrycznej orbity pierwotnej * z barycentryczną orbitą pierwotną zdecydowanego członka podgrupy.

TABELA 2

Komety „muskające" Słońce z koronografów SOLWIND i SMM.
(wg. Katalogu orbit komet - Marsden 1989)

Kometa	T (czas uniwers.)		q (j.a.)	e	ω 1950.0	Ω 1950.0	i 1950.0	P (lata)
1843 I	luty	27.91	0.005527	0.999914	82.64	2.83	144.35	513
1880 I	styczeń	28.12	0.005494	1.000000	86.25	7.08	144.66	-
1882 II	wrzesień	17.72	0.007751	0.999907	69.59	346.96	142.00	759
1887 I	styczeń	11.93	0.004834	1.000000	83.51	3.89	144.38	-
1945 VII	grudzień	7.97	0.007516	1.000000	72.06	350.50	141.87	-
1963 V	sierpień	23.96	0.005065	0.999946	86.16	7.24	144.58	903
1965 VIII	paźdz.	21.18	0.007786	0.999915	69.05	346.30	141.86	880
1970 VI	maj	14.49	0.008879	1.000000	61.29	336.32	139.07	-

I tak do podgrupy I zaliczono komety: 1843 I, 1880 I, 1887 I, 1963 V, do podgrupy II komety: 1882 II, 1945 VII, 1965 VIII. Natomiast kometa 1970 VI, dla której wyznaczenie orbity z obserwacji można było uznać za dobre, pasowała według kryterium pierwszego bardziej do podgrupy II, ale jej barycentryczna orbita pierwotna zupełnie nie zgadzała się z taką orbitą należącą do zdecydowanego członka podgrupy II - komety 1965 VIII Ikeya-Seki. Zatem ta sporna kometa została według sugestii B. Marsdena zakwalifikowana do podgrupy IIa.

Stosując drugie kryterium można byłoby włączyć do podgrupy I komety 1668 i 1882c (Tewfik). Niestety, wiadomości o tych kometach są zbyt skąpe żeby można zaliczyć je w poczet pewnych członków grupy Kreutza. Dla innych komet podejrzanych o przynależność (1689, 1695 i 1702a) obliczenia nie dały żadnych zadowalających wyników.

A jak wygląda sprawa komet „zderzających" się ze Słońcem? Wartości elementów kątowych sugerują, że komety typu SOLWIND należą do podgrupy II, chociaż dwie z nich mają za małe q, natomiast komety typu SMM (orbity dużo bardziej zgodne) do podgrupy I. Komety zarejestrowane przez SMM-koronograf są również interesujące z powodu krótkich odstępów czasu, jaki upłynął między ich pojawieniami. SMM2 pojawiła się po SMM1 po 12 dniach, a SMM5 wyprzedziła SMM7 o 13 dni.

Orbity obliczone dla członków należących do danej pary są raczej podobne i pasują wzajemnie (oczywiście przy zmianie T) do obserwacji towarzysza z pary. A więc bliskie pokrewieństwo między SMM1 i SMM2 oraz SMM7 a SMM5, a także wśród wszystkich SMM wydaje się raczej pewne. Potwierdzają to również następujące badania B.Marsdena. Przy założeniu, że orbity SMM-komet są parabolami, Marsden manipulując tylko czasem przejścia przez peryhelium, poszukiwał takiego rozwiązania, przy którym orbitą pierwotną tych komet byłaby orbita 1963 V, typowy przedstawiciel podgrupy I.

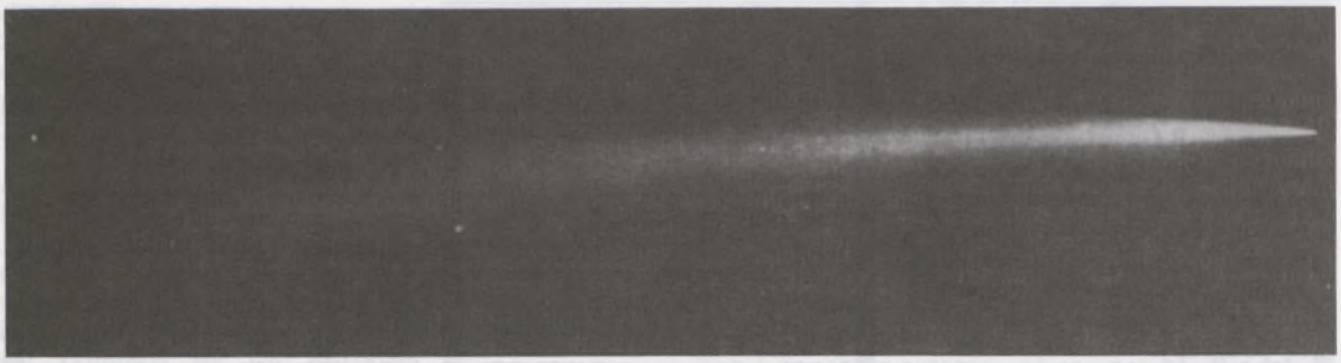
Tabela 3 zawiera otrzymane w ten sposób oskulacyjne heliocentryczne orbity tych obiektów

TABELA 3

Orbity komet typu SOLWIND I SMM powstałe przy założeniu jednakowej barycentrycznej orbity pierwotnej z pierwotną orbitą komety 1963 V. (wg. Marsdena 1989)

Kometa	T (czas uniwer.)	q (j.a.)	ω 1950.0	Ω 1950.0	i 1950.0
SOLWIND1	1979 08 30.941	0.00424	89.35	10.89	144.62
SOLWIND2	1981 01 27.082	0.00418	86.38	7.28	144.62
SOLWIND3	1981 07 20.357	0.00422	85.57	6.31	144.60
SOLWIND4	1981 11 04.539	0.00426	85.13	5.80	144.59
SOLWIND6	1983 09 25.129	0.00460	83.67	4.14	144.52
SOLWIND5	1984 07 28.483	0.00477	83.80	4.34	144.56
SMM1	1987 10 06.063	0.00500	85.77	6.75	144.57
SMM2	1987 10 17.999	0.00500	85.79	6.77	144.57
SMM3	1988 06 27.783	0.00496	86.25	7.32	144.58
SMM4	1988 08 21.811	0.00495	86.35	7.44	144.58
SMM5	1988 10 12.068	0.00494	86.45	7.55	144.59
SMM7	1988 10 24.863	0.00494	86.47	7.58	144.59
SMM6	1988 11 18.338	0.00493	86.52	7.64	144.59
SMM8	1989 06 02.572	0.00489	86.90	8.09	144.59
SMM9	1989 07 08.769	0.00489	86.99	8.21	144.59

* Jest to orbita jaką kometa miała w przeszłości, wyznaczona w takiej odległości od Układu Słonecznego, że Słońce i planety potraktowane są jak jeden punkt obarczony wspólną masą



Fot. 2. Kometa Ikeya—Seki (1965 VIII)

(również dla komet typu SOLWIND) na epokę początkową równą momentowi przejścia przez peryhelium. Podobne badania zostały powtórzone przy założeniu, że tym razem barycentryczna orbita pierwotna należała do komety 1843 I. Otrzymane wyniki przy zastosowaniu drugiego kryterium w pełni potwierdziły, że komety SMM należą do podgrupy I. W przypadku komet typu SOLWIND próby dopasowania do pierwotnej orbity komety 1963 V nie dały najlepszego wyniku, a najgorsze dopasowanie do obserwacji otrzymano dla SOLWIND1. Wyniki można było poprawić obracając układ współrzędnych wokół Słońca, dla poszczególnych komet, o niewielkie kąty, co spowodowało otrzymanie nowych wartości rektascensji i deklinacji w obserwacjach pozycyjnych. Jakkolwiek do przeprowadzonych w ten sposób modyfikacji należy odnieść się z rezerwą, to otrzymane wyniki mogą wskazywać, że komety typu SOLWIND również mogą być członkami podgrupy I, ściśle powiązanymi z SMM-kometami oraz kometą 1963 V.

Należałoby zatem poszukać wspólnego przodka tej grupy komet. Barycentryczne orbity pierwotne komet 1843 I i 1880 I wykazują bardzo dobrą zgodność w odległości od Słońca punktu peryhelium, ale rożnią się w długości węzła wstępującego o około 2 stopnie. Ponadto jedna z komet porusza się po elipsie z okresem obiegu równym 5.1 stulecia, druga po paraboli. Aby dać odpowiedź na pytanie, na ile te komety są sobie bliskie, Marsden konstruuje dla nich kilka innych orbit. Dwa rozwiązania warte uwagi dały wartości okresu obiegu wokół Słońca komety 1843 I odpowiednio około 3.8 i 3.6 stulecia, a dla komety 1880 I okres ten był o około 0.33 stulecia dłuższy.

Można zatem domniemywać, że te komety rozdzieliły się od siebie w drugiej połowie XV-tego wieku. Z przybliżonych obliczeń wynikało, że mogło to nastąpić w 1487 roku. Niestety nie znaleziono żadnej komety „muskającej" Słońce w tym okresie czasu, ale też warunki jej odkrycia ze względu na porę roku były niezwykle trudne. Zakładając, że ciało rodzicielskie tych dwóch komet miało okres obiegu komety 1843 I można było przyjąć, że jego poprzednie przejście przez peryhelium przypadło na koniec XI lub początek XII wieku.

W tym okresie czasu w peryhelium przebywała kometa 1963 V (z obliczeń Marsdena i niezależnie Sekaniny jej okres obiegu wynosi 8.4 - 9.2 stuleci). Więc to ona mogła się wówczas oddzielić od wspólnego przodka komet 1843 I i 1880 I. W stosunku do innych komet należących do tej podgrupy, lub też o to podejrzewanych okazało się, że komety 1882c i 1887 I mogą być powiązane z przodkiem komety 1880 I, gdyż jedna z otrzymanych pierwotnych orbit komety 1880 I była wspólną dla nich.

Dla możliwego członka podgrupy komety 1668 wyznaczono dwie hipotetyczne orbity. Pierwsza z nich zakładająca okres obiegu komety równy 5.6 stuleci sugerowała, że kometa mogła oddzielić się od wspólnego przodka komet 1843 I, 1880 I i 1963 V w XII wieku. Druga za okres obiegu przyjmowała wartość 1.8 stulecia, co wskazywało na możliwość oddzielenia się komety od ciała rodzicielskiego w tym samym czasie, co komety 1843 I i 1880 I.

Komety „zderzające" się ze Słońcem jak wynika z poprzednich rozważań mogły być związane zarówno z ciałem rodzicielskim komety 1843 I jak i mieć wspólnego przodka razem z kometą 1963 V, choć dla komet typu SOLWIND, jak wiemy, nie jest to wcale takie pewne. Przecież mogą być one równie dobrze związane z podgrupą II dla której dwie komety 1882 II i 1965 VIII mają nieźle wyznaczone okresy obiegu (patrz Tabela 2), a trzecia 1945 VII barycentryczną orbitę pierwotną wspólną z kometą 1965 VIII.

Nasuwa się zatem hipoteza, że te komety są produktami rozpadu wspólnego rodzica w ich poprzednim przejściu przez peryhelium przypadającym w XII wieku. Dla komety 1970 VI jak pamiętamy barycentryczna orbita pierwotna wcale nie pokrywa się z tą należącą do komety 1965 VIII, nie można też uzyskać lepszego rozwiązania wykorzystując np. założenia o małym odstępstwie od paraboli. Marsden wysuwa wniosek, że prawdopodobnie kometa ta odseparowała się od wspólnego przodka wyżej wymienionych komet we wcześniejszym stadium. Zatem z wyjątkiem tej komety, wszystkie pozostałe komety należące do rodziny pochodzą od jednej lub dwu komet, które musiały się pojawić około 1100 roku. Prawdopodobnie jedną z nich mogła być kometa zaobserwowana w 1106 roku.

W celu dotarcia do wspólnego przodka podgrupy I i II oraz komety 1970 VI, cofając się w czasie, Marsden znalazł hipotetyczne wartości elementów jego orbity dla $q = 0.008$ jednostki astronomicznej i $\Omega = 339$ stopni. Określił również czas, w którym ten przodek prawdopodobnie pojawił się na niebie, na IV wiek przed naszą erą. Bardzo możliwe, że była to kometa obserwowana przez Greków w 371 roku p.n.e..

Z opisanych wyżej rozważań i właściwie dość uproszczonych, choć chytrych obliczeń można nabrać przekonania, że te wszystkie komety rzeczywiście są rodziną komet „muskających" Słońce, która na dodatek ma wspólne pochodzenie. Dość bliskie prawdy może być

również stwierdzenie, że komety te po katastrofie, jaką był rozpad ciała rodzicielskiego (dużej komety), nadal podlegają sukcesywnym katastrofom (obserwowano rozpad jądra na 4 lub 5 części komety 1882 II, rozpad na 2 części komety 1965 VIII), a niektóre z nich, nie mając szczęścia, mogą odziedziczyć takie orbity, że czeka je zagłada w Słońcu.

Bożenna Todorovic—Juchniewicz zajmuje się mechaniką nieba, a pracuje w Centrum Badań Kosmicznych w Warszawie

JAK GORĄCA JEST MATERIA MIĘDZYGALAKTYCZNA?

Zgodnie ze standardową teorią Wielkiego Wybuchu ekspandujący Wszechświat stał się dla nas widoczny w momencie, gdy jego temperatura spadła do wartości ok. 10^4 K. Wtedy nastąpiła rekombinacja wodoru i z tej epoki pochodzi odkryte w 1965 roku przez Penziasa i Wilsona mikrofalowe promieniowanie tła nieba.

Ale nawet zrekombinowana i bardzo rozrzedzona materia nie jest przezroczysta na wszystkich długościach fal elektromagnetycznych. Na przykład znajdujący się pomiędzy nami a kwazarem obłok neutralnej plazmy powinien produkować linie absorpcyjne, w szczególności wodorową linię Ly_α. Zakładając, że kwazar i obłok znajdują się w kosmologicznych odległościach od Ziemi i od siebie, linia ta powinna być przesunięta w kierunku fal krótszych względem emisyjnej linii Ly_α produkowanej w kwazarze, a w kierunku fal dłuższych względem laboratoryjnego położenia tej linii.

Jeżeli teraz założymy, że materia neutralna jest rozłożona w sposób ciągły pomiędzy nami a kwazarem, to natychmiast otrzymujemy, że w widmie kwazara absorpcja powinna rozciągać się pomiędzy linią emisyjną Ly_α, a jej położeniem laboratoryjnym. Ku zaskoczeniu astronomów okazało się, że absorpcji takiej w widmach kwazarów nie ma. Odkryli to w 1965 roku Gunn i Peterson, w związku z czym brak powyższej absorpcji nazwano efektem Gunna—Petersona. Wynika z niego, że albo w przestrzeni międzygalaktycznej jest ok. sto tysięcy razy mniej materii niż w galaktykach, albo materia ta znajduje się w stanie zjonizowanym. Pierwszy przypadek wydaje się mało prawdopodobny, bo wymaga niemalże 100 procentowej efektywności w zużyciu materii na budowę galaktyk. Pozostaje więc przypadek drugi, który automatycznie implikuje, że temperatura międzygalaktycznego gazu musi być wyższa niż 10^4 K.

W jaki sposób i kiedy materia po erze rekombinacji została ponownie zjonizowana, pozostaje pytaniem otwartym. Proponowane były między innymi takie wyjaśnienia, jak: fotojonizacja materii przez wczesne i dużo liczniejsze wtedy kwazary, fotojonizacja przez rozpadające się kosmologiczne cząstki (np. ciężkie neutrina, patrz notka M. Urbanika w pierwszym zeszycie P.A. tego roku), oraz jonizacja zderzeniowa w wyniku propagacji szoków w modelu wybuchowego formowania się galaktyk.

Ta ostatnia propozycja wydawała się na tyle atrakcyjna, że oprócz jonizacji tłumaczyła wielkoskałowy rozkład galaktyk oraz silne tło rentgenowskie. Jak jednak pokazali ostatnio Barcons, Fabian i Rees (kwietniowy numer *Nature*, vol. 350, str. 685), dane z COBE – obserwującego mikrofalowe promieniowanie tła – wykluczają jako źródło tła rentgenowskiego nie tylko rozciągającą sie równomiernie pomiędzy galaktykami materię (patrz notka B. Czerny w pierwszym Zeszycie P.A. tego roku), ale również niejednorodne zgęszczenia gorącej plazmy, które by miały być wynikem modelu z wybuchami. Zakładając, że ilość równomiernie rozłożonej w przestrzeni międzygalaktycznej materii jest tego samego rzędu, co ilość materii w galaktykach, znajdują oni (z braku komptonowskiej nadwyżki), że temperatura tego gazu musi być co najmniej 100 razy niższa, niż potrzebna do wyprodukowania obserwowanego tła rentgenowskiego. Natomiast z ograniczeń na fluktuacje mikrofalowego tła otrzymują oni, że ewentualne lokalne zgęszczenia odpowiedzialnej za tło rentgenowskie gorącej materii nie mogą mieć rozmiarów większych niż 0.5 Mps. Niejednorodności gorącej plazmy w modelu z wybuchami mają rozmiary rzędu 10 Mps.

Marek Sikora

Wiadomość z ostatniej chwili!

PIERWSZA PLANETA POZA UKŁADEM SŁONECZNYM

Dzięki drobnemu opóźnieniu w druku niniejszego numeru (spowodowanemu trudnościami obiektywnymi!) jesteśmy w stanie podzielić się z Czytelnikami sensacyjną wiadomością: prawdopodobnie odkryto pierwszą planetę poza naszym Układem Słonecznym! Artykuł o tym odkryciu, którego autorami są M. Bailes, A.G. Lyne i S.L. Shemar, ukazał się w numerze *Nature* z 25 lipca tego roku, vol. 352, str. 311. Prezentowane są w nim wyniki kilkuletnich obserwacji radiowych pulsara PSR1829-10. Autorzy stwierdzili, że pulsy radiowe od tego pulsara nie przychodzą do nas regularnie, lecz czas nadejścia jest modulowany z okresem 184.4±0.9 dni. Amplituda tych modulacji wynosi tylko ok. 7 milisekund, wielkość ta jest jednak łatwo mierzalna przy współczesnych technikach radioastronomii.

Najbardziej oczywistym tłumaczeniem tego zjawiska jest przyjęcie, iż pulsar porusza się po orbicie obiegającej wspólny środek masy z jakimś innym obiektem, a modulacje spowodowane są efektem Dopplera. Znając okres i amplitudę modulacji można wyznaczyć *funkcję masy* (por. artykuł M. Mikołajewskiego w poprzednim zeszycie *Postępów Astronomii*, w szczególności ramkę na str. 65), która w tym wypadku wynosi 1.4×10^{-14} $M_\odot$. Przyjmując z kolei za masę pulsara „kanoniczną" wartość 1.4 $M_\odot$ otrzymamy, że masa towarzysza jest równa 10.2 $M_E/\sin i$, gdzie M_E jest masą Ziemi, a i – inklinacją orbity. Towarzysz nie może być więc gwiazdą (masa takowej musi wynosić co najmniej kilka setnych mas Słońca) pod warunkiem, że i nie jest absurdalnie małe. Można pokazać, że prawdopodobieństwo, iż masa towarzysza przekracza masę Jowisza jest zaledwie 5×10^{-4}. Mamy więc chyba rzeczywiście do czynienia z planetą.

Michał Czerny

TELESKOP KOSMICZNY ODKRYWA STRUKTURĘ DŻETOWĄ W MGŁAWICY ORIONA

zdjęcie obok

To zdjęcie, wykonane przy pomocy szerokokątnej kamery* Teleskpu Kosmicznego Hubble'a ukazuje szczegółowo strukturę nowo odkrytego dżetu, czyli strugi gazu wypływającej z okolic młodej gwiazdy w Mgławicy Oriona. Chociaż podobne struktury obserwowano już Ziemi, to jednak nowe obserwacje ukazują strukturę dżetu z wyjątkową przejrzystością. Szczególnie istotny jest fakt jasnego świecenia dżetu na jego skrajach; kolorem czerwonym na zdjęciu zostało zaznaczone silne świecenie w linii siarki. Eksperci sądzą, że taka struktura świadczy o istnieniu silnej stojącej fali uderzeniowej pomiędzy dżetem a otaczającym go gazem Mgławicy Oriona.

Badanie tego typu dżetów jest bardzo ważne w kontekście formowania się gwiazd. Dżety stanowią klucz do zrozumienia, jak nowo narodzona gwiazda oddziałuje na swoje otoczenie.

Ukazany fragment Mgławicy Oriona to zaledwie maleńka cząstka „Wielkiej Mgławicy" w Orionie — gigantycznego gwiazdowego „żłobka" o średnicy około 7 lat świetlnych, znajdującego się w odległości 1500 lat świetlnych od Ziemi. Mgławica jarzy się rozmaitymi kolorami, a każdy z nich odpowiada atomom innego pierwiastka chemicznego.

Na zdjęciu, kolor czerwony oznacza emisję zjonizowanej siarki, świecenie zjonizowanego tlenu jest pokazane kolorem niebieskim, a wodór „świeci" na zielono. Świecenie gazu w Mgławicy spowodowane jest silną emisją promieniowania nadfioletowego przez gorące, młode gwiazdy w jej wnętrzu.

Niezwykła ostrość obrazów, na których można rozpoznać szczegóły o rozmiarze mniejszym niż Układ Słoneczny (6 godzin świetlnych) to wielkie osiągnięcie Teleskopu Kosmicznego Hubble'a. Pomimo aberracji sferycznej głównego lustra, około 15% światła jest jednak ogniskowane w bardzo zwarty obraz i to powoduje, że obraz jest jednak znacznie ostrzejszy niż obraz z teleskopów naziemnych, silnie rozmyty przez turbulentną ziemską atmosferę. Dodatkowo pokazane obrazy zostały przeprocesowane przez komputer tak, aby jak najbardziej zmniejszyć wpływ wady lustra.

oprac. B. Czerny

* Wide Field and Planetary Camera, w skrócie WF/PC

SATURN

zdjęcie na rozkładówce

To kolorowe zdjęcie Saturna zostało wykonane przy pomocy szerokokątnej kamery* Teleskopu Kosmicznego Hubble'a o godzinie 8.25 czasu uniwersalnego, 26 sierpnia 1990 roku, kiedy planeta znajdowała się w odległości 1.39 miliarda kilometrów od Ziemi, czyli 9.29 jednostek astronomicznych.

Efekt kolorowości obrazu uzyskano przez nałożenie na siebie trzech różnych zdjęć wykonanych w świetle niebieskim, zielonym i czerwonym (4390 Å, 5470 Åi 7180 Å).

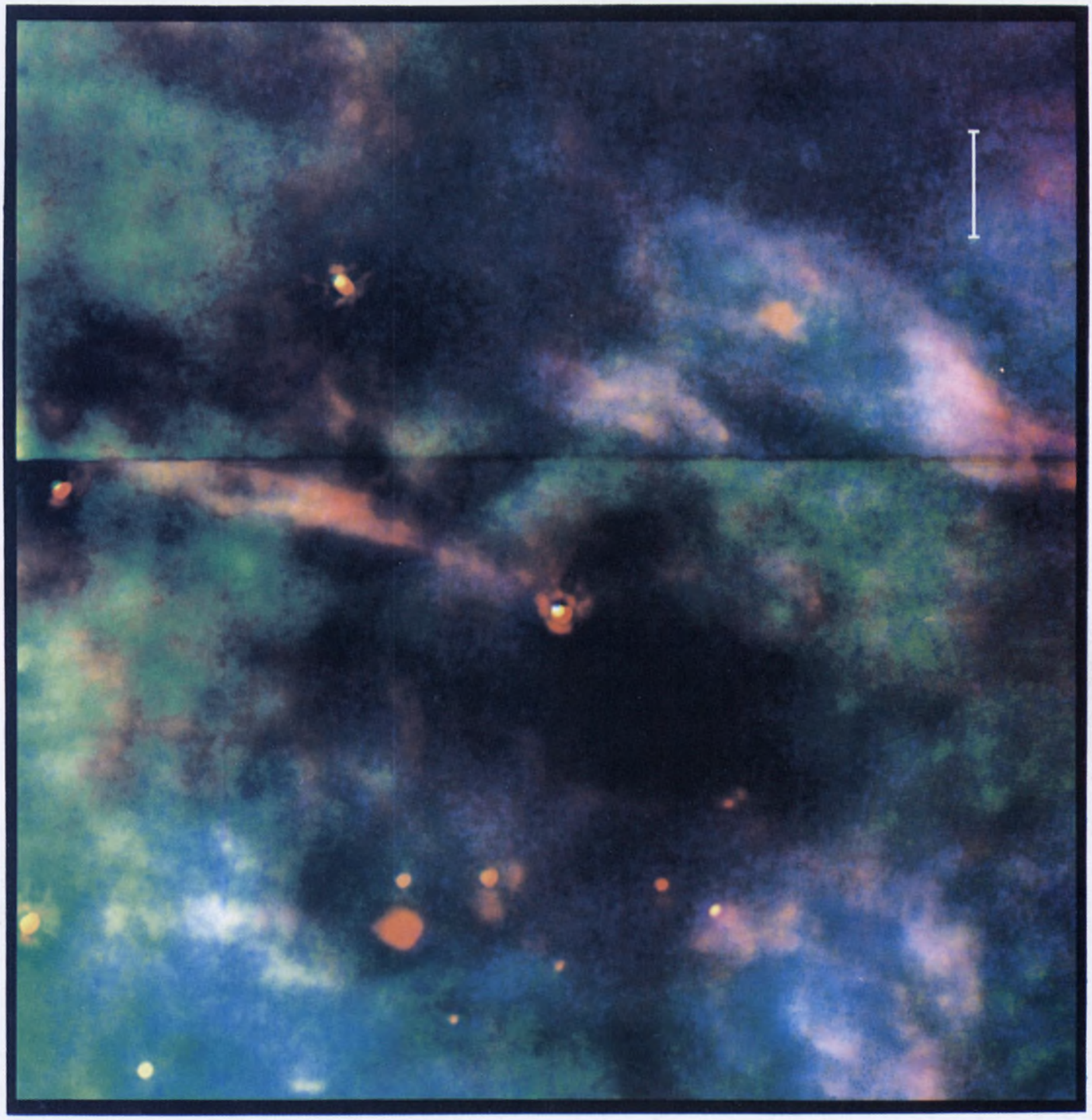
Aby uwydatnić szczegóły przestrzenne w układzie pierścieni tej planety oraz pasów chmur, zastosowano specjalną technikę rekonstrukcji obrazów. Pozwoliło to osiągnąć znacznie lepszy obraz niż jest to możliwe przy użyciu teleskopów naziemnych. Zdolność rozdzielcza jest 670 km na tzw. pixel, czyli najmniejszy element detektora. Dzięki temu Saturn wygląda tak, jakby był tylko dwukrotnie dalej niż Księżyc.

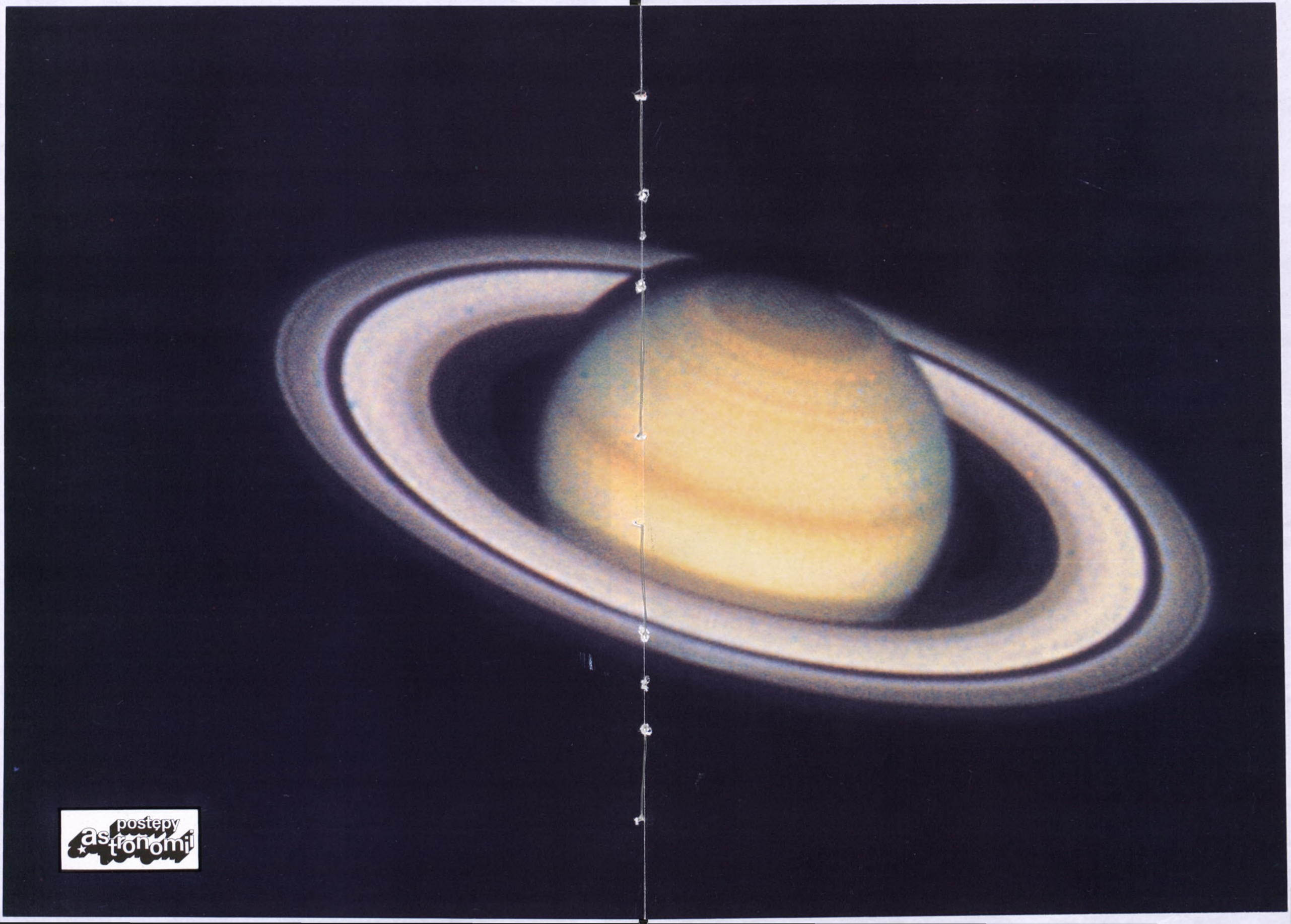
Wady optyki Teleskopu Kosmicznego, o których pisaliśmy w poprzednim numerze, zostały w znacznej mierze usunięte przy użyciu specjalnej techniki matematycznej, rozwiniętej w 1974 roku przez dra L.B. Lucy z European South Observatory. Było to możliwe, ponieważ oryginalne obrazy z WF/PC są bardzo wysokiej jakości, z minimalną domieszką szumu.

Ponieważ północny biegun Saturna jest obecnie nachylony w stronę Ziemi (o 24 stopnie), to zdjęcie z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a odkrywa przed nami bezprecedensowe szczegóły struktury atmosfery w okolicach czapy polarnej; obszar ten nie był zbytnio fotografowany przez sondy kosmiczne Voyager 1 i Voyager 2.

Na zdjęciu widać też wszystkie klasyczne struktury niezwykle rozległego układu pierścieni wokół Saturna. Idąc od zewnętrznego do wewnętrznego brzegu, są to: jasne pierścienie A i B, rozdzielone przerwą Cassiniego, oraz bardzo słaby wewnętrzny pierścień C, zwany pierścieniem karbowanym. Przerwa Enckego – ciemny pas blisko zewnętrznego skraju pierścienia A – nigdy przedtem nie była sfotografowana z Ziemi.

oprac. B. Czerny





postępy astronomii

1 Arcsecond
163 Light-Years
N
E

JĄDRO GALAKTYKI NGC 1068 I STOŻEK JONIZUJĄCY

zdjęcie obok

To zdjęcie jądra galąktyki NGC 1068 wykonane przez Teleskop Kosmiczny Hubble'a ujawnia nieporównywalnie więcej szczegółów niż kiedykolwiek widziano z powierzchni Ziemi.

Obraz został otrzymany przy użyciu szerokokątnej kamery*, z nałożonym wąskopasmowym filtrem. Następnie obraz był dodatkowo przetworzony przez komputer, tak aby uwidocznić strukturę chmur zjonizowanego gazu w jądrze NGC 1068. W centralnym stożku o rozmiarach 150 lat świetlnych udało się dzięki temu wyróżnić obłoki o rozmiarach nawet tak małych jak 10 lat świetlnych.

Obłoki jarzą się, ponieważ zostały złapane przez reflektor – skolimowaną wiązkę promieniowania wysyłaną przez jądro galaktyki, Niewidzialny stożek promieniowania jonizującego został schematycznie zaznaczony na obrazie, aby lepiej zilustrować promieniowanie wychodzące z ukrytego jądra.

Galaktyka NGC 1068 jest obiektem szczególnym. Należy ona do klasy galaktyk Seyferta – galaktyk spiralnych z bardzo jasnym, punktowym jądrem. Jądro galaktyki NGC 1068 jest więc przykładem aktywnego jądra i wraz z radiogalaktykami oraz kwazarami należy do znacznie szerszej klasy galaktyk z aktywnymi jądrami.

Według obecnych poglądów, aktywność jąder tych galaktyk spowodowana jest opadaniem gazu na znajdującą się w jego centrum supermasywną czarną dziurę, o masie rzędu miliona czy miliarda mas Słońca. Jak sądzimy, akreujący gaz tworzy dysk, a wzdłuż jego osi rotacji część gazu może być wyrzucana, formując dżety, szczególnie widoczne w radiogalaktykach i kwazarach głośnych radiowo.

Gaz z obszarów centralnych świeci praktycznie w całym zakresie widma, od radiowego przez podczerwień, optykę i ultrafiolet do zakresu rentgenowskiego i gamma. To promieniowanie dociera do obserwatora, ale także oświetla materię międzygwiazdową galaktyki macierzystej. Zdjęcie uzyskane z Teleskopu Kosmicznego pozwala ograniczyć geometrię gazu w centralnym obszarze; jonizujący stożek wskazuje, że dysk akrecyjny nie może być płaski, ponieważ to nie zapewnia dostatecznej kolimacji. Potwierdza to hipotezę, że zewnętrzne części dysku to w rzeczywistości bardzo gruby pierścień pyłowy.

Istnienie tego pierścienia zostało zapostulowane w 1985 roku przez Antonucci'ego i Millera. Na podstawie porównania widma tej galaktyki ze spolaryzowaną częścią tego widma doszli oni do wniosku, że w tej szczególnej galaktyce nie obserwujemy bezpośrednio najbardziej centralnych obszarów (są one właśnie przesłonięte przez pyłowy pierścień), ale niewielka część tego właśnie promieniowania dociera do nas skutkiem rozproszenia w niezwykle rzadkim gorącym gazie wypełniającym jądro; rozproszenie powoduje zmianę kierunku fotonu, a także jego polaryzację.

oprac. B. Czerny

* Wide Field and Planetary Camera, w skrócie WF/PC

Wszystkie materiały dotyczące pierwszych wyników
z Teleskopu Kosmicznego Hubble'a zawdzięczamy uprzejmości
Dr F. Duccio Macchetto
przedstawiciela Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA)
w Space Telescope Science Institute, Baltimore, USA.
W imieniu Czytelników - serdeczne dzięki!

O PEWNEJ LINII ŻELAZA

Bożena Czerny

Spektroskopia optyczna dała nam klucz do rozwiązania zagadki budowy i ewolucji gwiazd. Wraz z nadejściem nowej ery w astronomii obserwacyjnej, spektroskopia rentgenowska zaczyna podpowiadać nam, jak wyglądają z bliska galaktyczne źródła rentgenowskie i co tkwi w takich aktywnych centrach galaktyki, jakimi są na przykład kwazary.

Spektroskopia rentgenowska jest bardzo modnym i bardzo obiecującym kierunkiem badań współczesnej astrofizyki. Szczególną karierę w ciągu ostatnich dwóch lat „zrobiła" tak zwana linia żelaza K_α; parę miesięcy temu w Varennie, we Włoszech zorganizowano całe duże sympozjum poświęcone rentgenowskim liniom żelaza, a niemal połowa referatów skoncentrowała się na tej właśnie jednej linii.

Można by sądzić, że takie zagłębienie się w szczegółach dowodzi braku wyobraźni u astronomów. Tak jednak nie jest. Ta jedna linia, dobrze zbadana, może okazać się kluczem do określenia warunków termicznych i geometrii najbardziej centralnych obszarów w kwazarach i innych aktywnych jądrach galaktyk, a także centralnych obszarów galaktycznych źródeł rentgenowskich.

Jeśli więc dzięki linii żelaza K_α możemy się dowiedzieć, czy kwazar to dysk akrecyjny wokół supermasywnej czarnej dziury oraz określić stopień jego ewentualnej „kłaczkowatości" oraz kąt rozwarcia i kąt widzenia obserwatora, to warto tej linii poświęcić trochę uwagi.

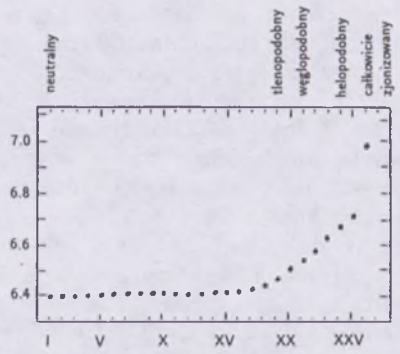
6.4 czy 6.7?

Żelazo jest jednym z cięższych pierwiastków. Jądro tego atomu zawiera 26 protonów, i tyleż elektronów krąży wokół niego na orbitach, gdy atom jest niezjonizowany. Elektrony znajdujące się na orbitach bardzo bliskich jądru są silnie z nim zwiazane i trudno je oderwać. Pełna jonizacja żelaza wymaga temperatur rzędu milionów stopni, podczas gdy wodór już w temperaturze 10 000 stopni jest całkowicie zjonizowany.

Rysunek 1 przedstawia stopień jonizacji atomów żelaza w zależności od temperatury. Rzymskie cyfry (po dodaniu 1) oznaczają, ile elektronów zostało usunięte z powłoki atomu; zatem XXV to atom 24-krotnie zjonizowany i posiadający zaledwie dwa elektrony. Wykres oznacza, jaką część wszystkich atomów stanowią atomy o zaznaczonym poziomie jonizacji. Widać stąd, że dla gazu o temparaturach powyżej 10 milionów stopni ($T \sim 10^7$ K, czyli $kT \sim 1$ keV) atomy żelaza są zwykle już co najwyżej wodoro- czy helopodobne.

Układ orbit elektronowych w atomie żelaza jest bardzo skomplikowany, ale linia K_α jest stosunkowo prostym przypadkiem. Linia ta odpowiada przejściu elektronu z poziomu drugiego na poziom pierwszy — najbliższy jądru, z emisją fotonu o energii odpowiadającej różnicy w energii wiązania.

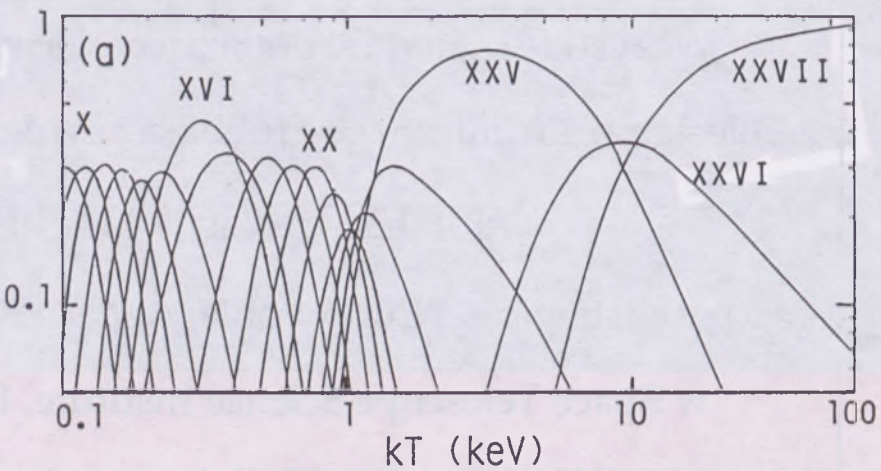
Długość fali fotonu linii K_α nie jest stałą fizyczną, a zależy od tego, ile elektronów znajdowało się na pozostałych orbitach, gdyż energie wiązania wszystkich orbit zależą od poziomu jonizacji atomu. Przedstawia to rysunek 2. Energia ta jest szczególnie duża, gdy tylko jeden elektron jest na orbicie, tak jak w atomie wodoru. Zatem położenie linii K_α działa jak termometr: pozwala natychmiast określić stopień jonizacji żelaza, a zatem temperaturę ośrodka.



Rys.2. Energia linii żelaza w zależności od stopnia jonizacji gazu.

Zanim przejdziemy do kilku dalszych problemów teoretycznych, zerknijmy na obserwacje.

Linia żelaza K_α co prawda leży pośrodku tradycyjnego zakresu detektorów rentgenowskich (2 – 10 keV), ale zdolność rozdzielcza wcześniejszych urządzeń zaledwie z trudem pozwalała na wykrycie ist-



Rys.1. Poziom jonizacji gazu w funkcji temperatury. Im wyższa energia termiczna elektronów (czyli kT), tym bardziej dominują atomy o coraz mniejszel liczbie elekronów; linia XXVII odpowiada usunięciu wszystkich 26 elektronów.

nienia linii. Pierwsze dokładniejsze pomiary linii pochodzą z urządzenia GSPC* na japońskim satelicie TENMA. Pewne sukcesy w tej dziedzinie zanotował EXOSAT (misja zachodnioeuropejska). Najciekawsze jednak obserwacje pochodzą z kolejnego rentgenowskiego satelity japońskiego GINGA**.

Urządzenie GSPC na satelicie EXOSAT pozwoliło na wykrycie linii żelaza K_α w ponad 200 najrozmaitszych obiektach (*J. Heise*). Pomiar położenia linii dla galaktycznych źródeł rentgenowskich przyniósł następujące wyniki:

małomasywne układy rentgenowskie

E=6.61+/-0.15keV

masywne układy rentgenowskie

E=6.45+/-0.10keV

Wykryto też linię K_α dla pięciu aktywnych jąder galaktyk***, ale ponieważ jasność obserwowana tego typu obiektów jest zazwyczaj kilkusetkrotnie mniejsza niż źródeł galaktycznych, to położenie linii trudno było określić.

Dokładniejsze rezultaty dla aktywnych jąder galaktyk przyniosły widma rentgenowskie z GINGi (*P. Nandra*). Linię wykryto w 18 obiektach (jądrach galaktyk Seyferta) na 29 przebadanych. A oto wynik:

galaktyki Seyferta

E=6.43+/-0.07keV

* skrót od Gas Scintillation Proportional Counter

** Zakres detektorów obecnie działającego satelity rentgenowskiego ROSAT, o którym pisaliśmy w zeszycie 1, nie sięga do tak wysokich energii; nowe wyniki obserwacyjne przyniesie dopiero AXAF

*** pod tym pojęciem rozumiemy obecnie wszystkie obiekty przejawiające charakterystyczną niegwiazdową aktywność jądrową, a więc przede wszystkim galaktyki Seyferta, radiogalaktyki i kwazary

Być może obserwuje się pewną tendencję do występowania wyższych energii linii (aż do ~6.7 keV) dla jaśniejszych źródeł, ale trudno ją stwierdzić jednoznacznie.

Wyniki te są niezwykle ważne. Oznaczają, że przynajmniej w większości masywnych galaktycznych źródeł rentgenowskich oraz większości aktywnych jąder galaktyk temperatura gazu, który emituje linię żelaza K_α jest niezbyt wysoka, poniżej 10 milionów stopni ($kT \leq 1$ keV), a żelazo niezbyt silnie zjonizowane; co najmniej 5 czy 6 elektronów krąży na powłokach wokół jądra atomowego. W takich warunkach nie ma właściwie powodu, aby linia K_α w ogóle się formowała – wewnętrzna powłoka jest zajęta, a prawdopodobieństwo jej spontanicznego zwolnienia w wyniku ruchów cieplnych jest bardzo nikle, zatem przejście elektronu z drugiej powłoki na wolne miejsce na pierwszej też niewielkie. Chyba, że...

Fluorescencja

Cofnąć się znów musimy do podstawowych praw fizyki i przedyskutować mechanizmy jonizacji.

Wybicie elektronu z orbity wokół jądra atmowego wymaga dostarczenia energii dla skompensowania jego energii wiązania. Jeżeli dostarczona energia przewyższa energię wiązania to elektron zostaje całkowicie oswobodzony i usunięty z powłoki atomu.

W sytuacji gazu w równowadze termodynamicznej stopień zapełnienia orbit elektronowych jest funkcją temperatury. Upraszczając sprawę znacznie można powiedzieć, że orbity o energii wiązania mniejszej niż typowa energia kinetyczna kT elektronów w temperaturze T są niezapełnione, podczas gdy orbity bliższe jądru atomowemu o większej energii wiązania są całkowicie zapełnione.

Inaczej sprawa wygląda, gdy gaz oświetlany jest przez źródło zewnętrzne. Wysokoenergetyczne fotony mogą działać selektywnie usuwając na przykład przede wszystkim elektrony z najbardziej wewnętrznej powłoki atomu zelaza bez naruszania ogólnej struktury jonizacyjnej. Rekombinacja następuje kaskadowo, a więc elektron z drugiej orbity przeskakuje na pierwszą, z trzeciej na drugą itp. Formuje się linia K_α i dalsze. Oświetlając gaz niezbyt intensywnym, ale odpowiednio twardym promieniowaniem można więc spowodować wtórne świecenie gazu w linii, bez jego istotnego nagrzania. W uproszczeniu, taka jest istota fluorescencji.

A zatem położenie linii K_α w okolicach 6.4 keV wskazuje, że linia ma charakter nie termiczny, a fluorescencyjny. Jej źródłem jest względnie chłodny gaz oświetlany twardszym promieniowaniem rentgenowskim.

Samo więc istnienie fluorescencyjnej linii żelaza w aktywnych jądrach galaktyk dowodzi współistnienia dwóch faz gazu: relatywistycznej, termicznej bądź nietermicznej plazmy emitującej twarde promieniowanie rentgenowskie oraz oświetlanej fazy chłodnej (o temperaturze poniżej miliona stopni).

Jaka jest geometria obszarów centralnych w kwazarach czy rentgenowskich źródłach galaktycznych? I na to pytanie linia może pomóc odpowiedzieć. Trzeba w tym celu określić podstawową własność linii, a mianowicie jej szerokość równoważną.

Szerokość równoważna linii

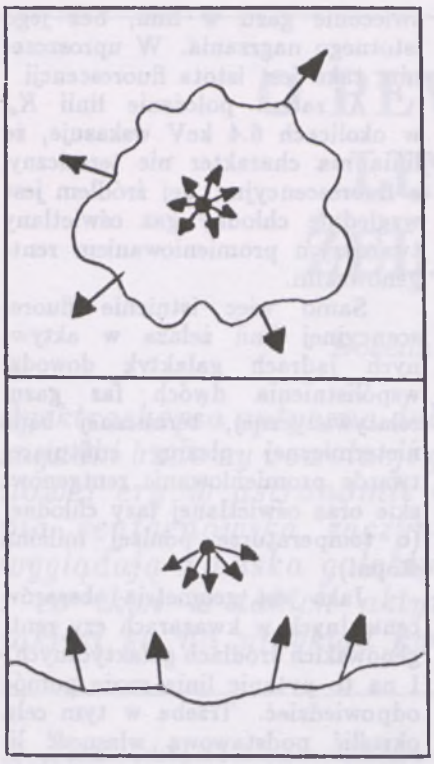
Zwyczajowo strumień energii emitowany w linii określany jest poprzez jej szerokość równoważną, a mianowicie poprzez przedział częstości, w jakim taka sama ilość energii jak w linii jest wyświecana w widmie ciągłym w okolicach linii.

Szerokość równoważna linii zależy bardzo silnie od wzajemnego usytuowania źródła oświetlającego i oświetlanego gazu.

Możliwości jest dużo, ale dwa przykłady geometrii są najbardziej typowe. Jedna z nich to niezbyt gruba chmura gazu otaczająca źródło oświetlające, druga to „lustro", czyli powierzchnia o znacznej grubości optycznej niejako odbijająca padające promieniowanie. Schematycznie przedstawia to rysunek 3, zamieszczony na następnej stronie.

Szerokość równoważna linii emitowanej przez podświetlony obłok zależy silnie od grubości optycznej gazu i wraz z jej wzrostem też rośnie, od zera do nieskończoności. Duże wartości uzyskujemy przy znacznym osłabieniu promieniowania emitowanego przez centralne źródło.

Wydajność lustra zależy od kąta patrzenia; linia jest najsilniejsza, gdy patrzymy prostopadle do odbijającej powierzchni. Źródło centralne w tej geometrii nigdy nie jest osłabione absorpcją, a wartość



Rys.3. Dwa wyobrażenia o geometrii obszaru produkującego linię żelaza.

szerokości równoważnej linii K_α żelaza nie przekracza 150 eV, jak wynika z modeli teoretycznych.

Co zatem mówią nam obserwacje? Wartość średnia szerokości równoważnej linii dla 18 galaktyk Seyferta (wg obserwacji z GINGi) wynosi 140 ± 10 eV (*P. Nandra*). Podobne wartości otrzymano z EXOSATa dla małomasywnych źródeł rentgenowskich (*L. Stella*).

Ten wynik wydaje się sugerować wariant z lustrem, choć oczywiście geometrii sferycznej też nie możemy odrzucić. Lustrem takim byłby stosunkowo gęsty dysk akrecyjny wokół zwartego obiektu centralnego. Twarde promieniowanie rentgenowskie powinno wydajnie oświetlać jego powierzchnię, a zatem albo pochodzi ono z najbardziej centralnych (optycznie cienkich?) części dysku, a dysk jest wklęsły, albo też powstaje ponad dyskiem, z fal uderzeniowych towarzyszących próbie tworzenia się dżetu czy też licznych rozbłysków typu korony słonecznej, a będących wynikiem rekoneksji linii sił pola magnetycznego.

Jest jeszcze jeden argument świadczący na korzyść lustra z chłodnej materii. Odbicie, o którym mówimy, nie jest zwykłą zmianą kierunku fotonów, a ich reprocesowaniem. Część fotonów ulega rzeczywiście prostemu odbiciu, a część jest pochłonięta a następnie reemitowana w innym zakresie częstości, na przykład właśnie w postaci linii K_α.

Prawdopodobieństwo zwykłego odbicia fotonu zależy od jego częstości. Miękkie fotony rentgenowskie grzęzną w chłodnej materii dość łatwo, ponieważ jest dużo elektronów w atomach żelaza czy innych cięższych pierwiastków o odpowiadających tym częstościom energiach wiązania. Fotony o większych energiach chętniej ulegają rozproszeniu na swobodnych elektronach, których w takim gazie jest zawsze sporo, niezależnie od poziomu jonizacji. Jednakże przy bardzo dużych energiach, porównywalnych z energią spoczynkową elektronu, prawdopodobieństwo rozproszenia fotonu na elektronie ponownie jest mniejsze, tym razem ze względu na efekt kwantowy i zmianę przekroju czynnego.

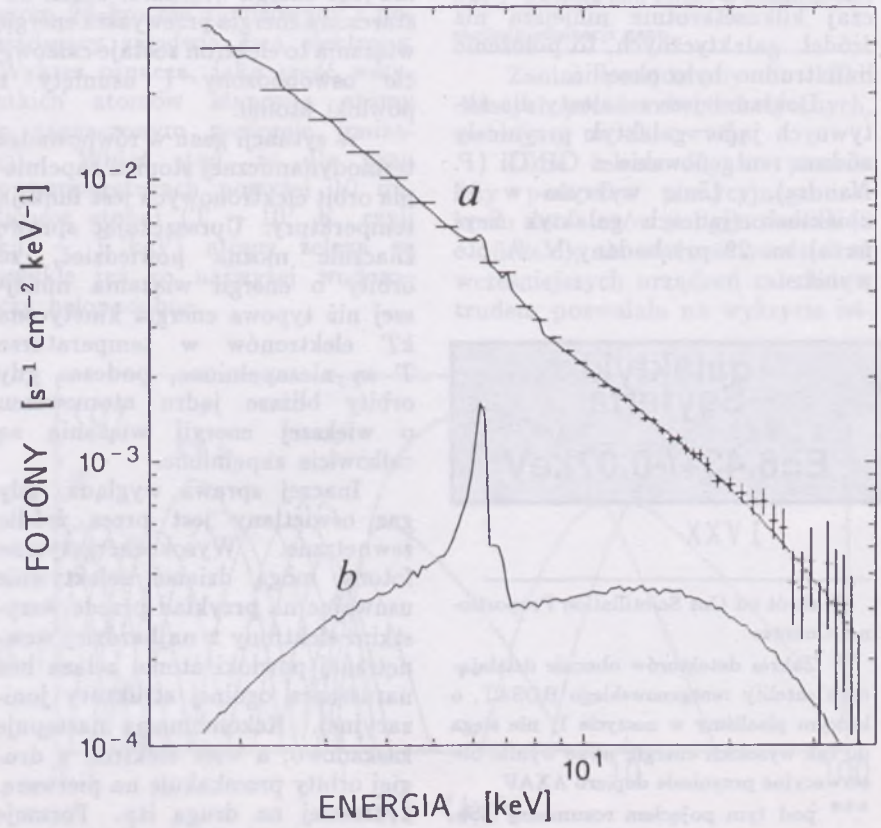
Ta selektywność odbicia powoduje, że widmo promieniowania odbitego jest odmiennne od widma promieniowania padającego. Teraz już zbliżamy się do argumentu, o który chodzi.

W widmie galaktyk Seyferta, które dla poprawienia jakości danych zostało skomponowane z widm 12 obiektów, oprócz linii żelaza widać też wyraźne wybrzuszenie w okolicach 20 keV, czyli tam, gdzie prawdopodobieństwo odbicia fotonu jest największe. Ilustruje to rysunek 4. Całość widma dobrze pasuje do modelu, w którym padające promieniowanie ma widmo idealnie potęgowe, typowe dla procesów nietermicznych, natomiast cała widoczna struktura widma powstaje w wyniku odbicia (*K. Pounds*).

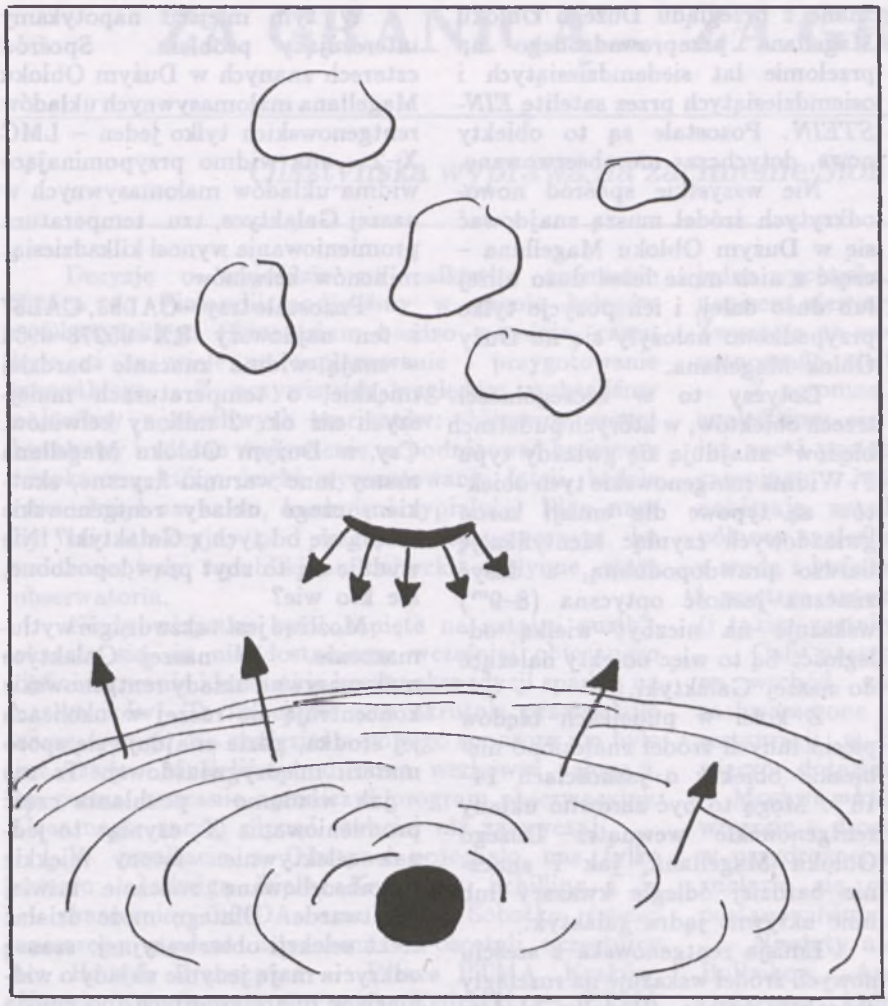
Niestety, są obiekty, które wydają się wyłamywać z tego spójnego schematu. Na przykład w galaktyce MCG 5–23–16 szerokość równoważna linii żelaza jest równa aż 360 eV, a w galaktyce Seyferta NGC 6814 wartość ta zmienia się w granicach od 125 eV do 528 eV. Tak silnych linii model lustra nie tłumaczy i nie pomoże nawet modyfikowanie jego kształtu (*L. Piro*).

Wyjściem z sytuacji jest albo ogniskowanie promieniowania oświetlającego tak, aby silniejszy strumień fotonów padał na dysk niż docierał do obserwatora, albo też częściowe przesłonięcie źródła twardego promieniowania, na przykład model dysku z chmurkami (rysunek 5, na następnej stronie) czy rozciągłą dość cienką chmurą gazu. Sama wartość szerokości równoważnej linii K_α nie pozwala wyróżnić którejś z tych koncepcji.

Nie wyczerpaliśmy jednak jeszcze wszystkich informacji, jakich może nam udzielić obserwacja linii



Rys.4. Słynne widmo Ginga–12. Widmo galaktyk Seyferta (linia *a*) to widmo potęgowe, z nałożonym dodatkowym składnikiem (linia *b*), którego centralną część stanowi linia żelaza. Kształt tego składnika odpowiada odbiciu przez ciepłą (ale nie gorącą) materię (Pounds i in., Nature, vol. 344, str. 132)



Rys.5. Model aktywnego jądra galaktyki NGC 6814.

żelaza. Pozostają dwie zasadnicze: zmienność natężenia linii w stosunku do kontinuum oraz jej kształt.

Zmienność linii

Opóźnienie zmian szerokości równoważnej linii w stosunku do obserwowanych zmian promieniowania ciągłego (czyli oświetlenia) to bezpośrednia miara rozmiarów odbijającego lustra i jego usytuowania względem obserwatora.

Niestety, obecna jakość obserwacji nie pozwala na eksploatowanie tego kierunku badań. Jeżeli chodzi o galaktyki Seyferta, to tylko w jednej z nich, i to tej nietypowej, NGC 6814, udało się analizować widmo w krótkich odcinkach czasu i badać zmienność linii. Wniosek był taki, że linia spóźnia się w stosunku do kontinuum nie więcej niż o 256 sekund, najkrótszy odcinek czasu pozwalający na określenie widma.

To sugeruje, że w galaktyce NGC 6418 rozmiar odbijającego obszaru jest rzędu 10^{13} cm. Szybka zmienność kontinuum, w skali nawet 50 s może oznaczać, że charakterystyczny rozmiar obszaru odpowiedzialnego za generację energii jest rzędu $1.5 \cdot 10^{12}$ cm. Z teorii dysków akrecyjnych wiemy, że maksimum energii generuje się w obszarze o promieniu około 5 promieni grawitacyjnych. Ponieważ wielkość promienia grawitacyjnego czarnej dziury jest tylko funkcją masy, to mamy sposób na wyznaczenie masy obiektu centralnego. Otrzymana tak wartość – 10^6 mas Słońca jest raczej umiarkowana jak na supermasywną czarną dzuirę w jądrze galaktyki. Linia powstawałaby zatem głównie w odległości około 20 promieni grawitacyjnych.

Tu pojawia się pewna, być może nieprzypadkowa zbieżność. Okres orbitalny w odległości tychże 20 promieni grawitacyjnych wynosi około 12 000 sekund. A w tym właśnie obiekcie, jako jedynym wśród aktywnych jąder galaktyk, odkryto właśnie okresową zmienność w zakresie rentgenowskim, i to właśnie z okresem 12 000 sekund!

Może więc coś w tym jest. Nie brak jednak wątpliwości. Podział na linię i kontinuum przy mało dokładnych danych jest trudny i brak opóźnienia może tylko świadczyć o błędach w analizie widmowej.

Jeśli jednak linia powstaje rzeczywiście tak blisko czarnej dziury, to powinna być poczerwieniona grawitacyjnie. Zatem pierwotna energia linii powinna być raczej rzędu 6.7 keV, co z kolei odpowiadałoby linii wzbudzanej termicznie, a nie fluorescencyjnie, oświetlanie wobec tego byłoby niemal zbędne (chyba że służy do podgrzania gazu) i cały obrazek zaczyna się nam trochę zmieniać...

Zamiast stosunkowo chłodnego gazu o temperaturze poniżej 10 milionów stopni (i.e. 1 keV) mamy być może warstwę stosunkowo gorącego gazu o temperaturze dziesięciokrotnie wyższej i atomach żelaza w znacznym stopniu całkowicie zjonizowanych?

Taki scenariusz jest do pomyślenia, byłby to na przykład chłodny dysk akrecyjny z gorącą koroną. Są argumenty za tym, że korona taka istnieje, nie jest natomiast jasne, czy jest w stanie wyprodukować linię żelaza o obserwowanych własnościach. Specjalistów od modelowania transferu promieniowania czeka więc sporo pracy.

Możnaby jednak problem zaatakować od innej strony, a mianowicie badając

Profil linii żelaza

Porównanie obserwowanego profilu linii z modelami powinno nam odpowiedzieć na pytanie, czy linia pochodzi z rotującego dysku (widoczny byłby efekt poczerwienienia grawitacyjnego jak też efekt Dopplera) i jeśli tak, to z jakich jego obszarów; czy też poszerzenie linii spowodowane jest jej formowaniem się w gorącej koronie, to znaczy wielokrotnymi zderzeniami fotonów z szybkimi elektronami. Najwięcej informacji oczywiście dostarczyłoby modelowanie zmian profilu linii. Można sobie o tym pomarzyć...

Rzeczywistość nie jest jak zwykle na miarę naszych oczekiwań. Zaledwie w kilku przypadkach można orientacyjnie ocenić szerokość linii, przy czym wartość zależy bardzo istotnie od przyjętego kontinuum. W obiekcie NGC 3227 można próbować analizować profil linii, ale błędy obserwacyjne są bardzo duże. W pozostałych galaktykach Seyferta linia jest węższa niż około 0.5 keV, co nie stanowi silnego ograniczenia.

Cóż nam więc pozostaje? Po pierwsze, cieszyć się z tego, co jest, czyli z pierwszego bezspornego dowodu na obecność chłodnej materii (być może w formie dysku akrecyjnego, być może nie) w samym

centrum aktywnej galaktyki. Po drugie, wyjaśnić problemy teoretyczne wiążące się z powstawaniem linii żelaza w częściowo zjonizowanym ośrodku i policzyć teoretycznie profile linii dla różnych geometrii.

Pewne wstępne prace w tym kierunku już wykonano, ale nie wyczerpują one zagadnienia. Po trzecie, pozostaje nam czekać na następne misje rentgenowskie – szczególnie na misję AXAF.

Bożena Czerny pracuje w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika w Warszawie i zajmuje się problemami aktywnych jąder galaktyk.

ROSAT ODKRYWA NOWE ŹRÓDŁA RENTGENOWSKIE W DUŻYM OBŁOKU MAGELLANA

Jednym z pierwszych zadań, jakie zostało postawione umieszczonemu w zeszłym roku na orbicie satelicie rentgenowskiemu *ROSAT** była obserwacja (a właściwie seria obserwacji) centralnych części Dużego Obłoku Magellana. Niedawno ukazały się wstępne wyniki tego eksperymentu opisane przez J. Trümpera i kolegów w *Nature* (1991, **349**, 579).

Całkowity obszar nieba przeglądany przez *ROSAT*a wyniósł ok. 8 stopni kwadratowych. Czas poszczególnych obserwacji nie był stały i zmieniał się w granicach od 1000 do 20 000 sekund. Użytym instrumentem był *Position Sensitive Proportional Counter (PSPC)* (licznik proporcjonalny czuły na położenie). Typowa kątowa zdolność rozdzielcza wyniosła jedną minutę luku (ta wartość jest gorsza od wartości podanej przez T. Chlebowskiego i kolegów dla *PSPC*, gdyż zdolność rozdzielcza pogarsza się dla obserwowanych obszarów leżących poza osią instrumentu).

W badanym obszarze nieba *ROSAT* zaobserwował 45 źródeł rentgenowskich. 30 spośród nich jest znane z przeglądu Dużego Obłoku Magellana przeprowadzonego na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych przez satelitę *EINSTEIN*. Pozostałe są to obiekty nowe, dotychczas nie obserwowane.

Nie wszystkie spośród nowoodkrytych źródeł muszą znajdować się w Dużym Obłoku Magellana – część z nich może leżeć dużo bliżej lub dużo dalej, i ich pozycje tylko przypadkowo nałożyły się na Duży Obłok Magellana.

Dotyczy to w szczególności trzech obiektów, w których pudełkach błędów* znajdują się gwiazdy typu F. Widma rentgenowskie tych obiektów są typowe dla emisji koron gwiazdowych czyniąc identyfikację bardzo prawdopodobną, a dosyć znaczna jasność optyczna ($8–9^m$) wskazuje na niezbyt wielką odległość. Są to więc obiekty należące do naszej Galaktyki.

Z kolei w pudełkach błędów pięciu innych źródeł znaleziono niebieskie obiekty o jasnościach $14–18^m$. Mogą to być zarówno układy rentgenowskie wewnątrz Dużego Obłoku Magellana, jak i znacznie bardziej odległe kwazary lub inne aktywne jądra galaktyk.

Emisja rentgenowska z sześciu nowych źródeł wskazuje na rozciągły charakter tychże. Pudełko błędów jednego z nich zawiera mgławicę N158D – ona to więc może być odpowiedzialna za obserwowane promieniowanie *X*.

Najciekawszym jednak źródłem odkrytym przez *ROSAT*a wydaje się być obiekt o niemożliwej do zapamiętania nazwie RX 05278–6954. Jest to najjaśniejsze z nowych źródeł, a jego jasność jest na tyle znaczna, że powinno było być zaobserwowane przez *EINSTEIN*a – oczywiście gdyby emitowany przez nie strumień był stały w czasie. Fakt, że obiekt nie został odkryty wcześniej wskazuje na jego zmienność, i to o czynnik co najmniej 10.

Widmo rentgenowskie tego źródła jest bardzo podobne do widm emitowanych przez znane wcześniej małomasywne układy rentgenowskie CAL83 i CAL87 – RX 05278–6954 zapewne więc też należy do tej klasy**.

W tym miejscu napotykamy interesujący problem. Spośród czterech znanych w Dużym Obłoku Magellana małomasywnych układów rentgenowskich tylko jeden – LMC X–2 – ma widmo przypominające widma układów małomasywnych w naszej Galaktyce, tzn. temperatura promieniowania wynosi kilkadziesiąt milionów kelwinów.

Pozostałe trzy – CAL83, CAL87 i ten najnowszy RX 05278–6954 – mają widma znacznie bardziej miękkie, o temperaturach mniejszych niż ok. 2 miliony kelwinów. Czy w Dużym Obłoku Magellana mamy inne warunki fizyczne, skutkiem czego układy rentgenowskie różnią się od tych z Galaktyki? Nie wydaje się to zbyt prawdopodobne, ale kto wie?

Możliwe jest także drugie wytłumaczenie. W naszej Galaktyce małomasywne układy rentgenowskie koncentrują się raczej w okolicach jej środka, gdzie znajduje się sporo materii międzygwiazdowej. Ta zaś – jak wiadomo – pochłania część promieniowania *X*, czyniąc to jednak selektywnie: fotony miękkie są absorbowane znacznie łatwiej niż twarde. Dlatego może działać efekt selekcji obserwacyjnej: szansę odkrycia mają jedynie układy o widmach w miarę twardych, bo emisja tych z widmami miękkimi jest praktycznie całkowicie pochłaniana.

Tak czy inaczej, istnienie dwóch grup małomasywnych układów rentgenowskich wydaje się dosyć pewne, i tę dwoistość należałoby jakoś wytłumaczyć.

ROSAT badał także – odkrytą przez *EINSTEIN*a – emisję rentgenowską gorącego gazu wypełniającego Duży Obłok Magellana. Okazuje się, że emisja ta jest bardzo niejednorodna. Jedno z maksimów natężenia promieniowania sl X przypada na dobrze znany obszar gwiazdotwórczy 30 Doradus. Temperatura gazu zmienia się w granicach od 3 do 7 milionów kelwinów, przy czym obserwuje się wyraźną dodatnią korelację między temperaturą a natężeniem promieniowania rentgenowskiego.

Nowe wyniki z ROSATA wciąż napływają, pomimo pewnych trudności technicznych z naprowadzaniem satelity na źródło.

Michał Czerny

* Opis satelity i jego instrumentów można znaleźć w artykule T. Chlebowskiego, J.P. Hughesa i A. Siemiginowskiej zamieszczonym w pierwszym zeszycie niniejszego tomu Postępów Astronomii, str. 15.

* „Pudełko błędów" (ang. error box) określa na niebie obszar, w którym znajduje się pozycja źródła. Obszar ten nie jest punktowy ze względu na skończoną rozdzielczość kątową instrumentu.

** Małomasywne układy rentgenowskie są to układy podwójne, w których materia przepływa z gwiazdy "normalnej" o stosunkowo małej masie ($M \leq 1\ M_\odot$) na gwiazdę neutronową lub – rzadziej – czarną dziurę.

ZA GRANICĄ... ZA GRANICĄ...

Olsztyńska wyprawa na zaćmienie Słońca 22.07.1990

Decyzję o wyjeździe na całkowite zaćmienie Słońca do Finlandii podjęliśmy w gronie kolegów z Olsztyńskiego Planetarium bardzo wcześnie, czasu było aż za wiele na zaplanowanie i przygotowanie wszystkiego. Z oczywistych względów wybraliśmy najtańszy z możliwych wariantów: bierzemy sprzęt biwakowy i własne wyżywienie, a podróżować będziemy autokarem, który dzięki wymontowaniu foteli, będzie nam służył za salon, kuchnię i sypialnię. Plan nasz był też atrakcyjny pod względem turystycznym, bo na trasie były republiki nadbałtyckie i słynne, stare obserwatoria.

Kiedy wszystko było „zapięte na ostatni guzik", okazało się, że nie dostaniemy wcześniej obiecanego dofinansowania i wszystkie koszty ekspedycji spadną na uczestników. To finansowe sito okrutnie przerzedziło nasze szeregi. Na znalezienie nowego sponsora nie było już czasu. Musieliśmy od nowa werbować załogę i, co gorsza, znacznie ograniczyć program obserwacyjny. Czas nagle zaczął płynąć szybciej niż zazwyczaj.

W rezultacie z Olsztyna pojechało nas tylko czworo: Jadwiga Biała, Kazimierz Schilling i ja — pracownicy OPiOA, oraz Paweł Sobotko, świeżo upieczony student astronomii. Pozostali uczestnicy to: Henryk Brancewicz — Prezes PTMA, Kraków, Sławek Kruczkowski i Fredek Kędracki — PTMA Grudziądz, Andrzej Dudziuk — operator i właściciel kamery video, oraz siedmioro studentów astronomii z Warszawy — Joasia Cukierska, Dorota Gondek, Agata Różańska, Wojtek Pych, Piotr Woyciechowski, Adam Woźniak i Leszek Zieniuk. Mieliśmy też prawdziwego lekarza — Alka Białego, który na szczęście nie musiał popisywać się umiejętnościami, za to świetnie grał w brydża, co przy tak długiej podróży okazało się ważną zaletą.

Do ostatniej chwili liczyliśmy na odblokowanie przejścia w Ogrodnikach. Próby uzyskania zgody na przekraczanie tam granicy zakończyły się fiaskiem, co gorsza, konsul w Gdańsku wręcz zabronił nam jechać przez ZSRR, tłumacząc, że mamy krótszą drogę promem. Pracownicy ambasady w Warszawie byli bardziej życzliwi, ale pieczęci przystawić nie mogli, bo obowiązuje rejonizacja.

Ze świadomością, że wszystko zależy od humoru pograniczników, wyruszyliśmy we wtorek, 17 lipca, spod olsztyńskiego obserwatorium, na Brześć, drogą dłuższą o najmniej 500 km. Jadąc wysłuchiwaliśmy komunikatów o kilkudniowych kolejkach na przejściach granicznych. Brześć był również zakorkowany.

Na szczęście nasz kierowca z olsztyńskiego biura „Turysta", człowiek bywały w świecie, zręcznie ominął kolejkę. Pod szlabanem okazało się, że autokary są odprawiane na bocznym pasie. Przed nami stała tylko jedna wycieczka, z Piły, z wymalowanym na autokarze napisem niewiarygodnie prawdziwym : Gromada–Piła. Zwyczaje na wschodniej granicy zasługują na odrębną monografię, nie będę tu więc opisywać naszych przejść.

Z ogromną ulgą odetchnęliśmy, gdy w komplecie znaleźliśmy się po drugiej stronie zasieków. Była już noc i postanowiliśmy jechać tylko do najbliższego campingu. Jednak słowa – blisko i daleko – tam nabierają zupełnie nowego znaczenia. Grubo po północy znaleźliśmy przy autostradzie parking, cud, że z wodą i bufetem. Porozkładaliśmy materace, śpiwory i wnętrze autokaru zamieniło się w ogromny barłóg, (i takim zostało już do końca).

Cały następny dzień, środa, to monotonna jazda na wschód, za oknami ciągnące się po horyzont zachwaszczone pola i łąki, nieudane próby znalezienia restauracji, w której byłoby co zjeść na gorąco. Pod wieczór dotarliśmy do Orszy. Tam autostrada Berlin – Moskwa, którą dotąd jechaliśmy, krzyżowała się wreszcie z drogą na północ, do Leningradu. Tam też w przydrożnej restauracji, po długich pertraktacjach, znalazło się coś z kuchni. Posileni i wypoczęci postanowiliśmy jechać jak najdalej do przodu.

Niestety, nic się nie da przewidzieć, jak uczył Mistrz Bułhakow, „Annuszka już kupiła olej". Samochód ciężarowy, który jechał przed nami, zaczął nagle hamować i tańczyć po jezdni, nasz autokar też całkiem stracił przyczepność. Zderzenie, huk, pełno szkła. Na szczęście ludzie cali, silnik też. Zniszczony został cały przód, szyba i drzwi wejściowe. Na drodze był rozlany olej! Pośliznął się też na nim ogromny „Ził", który leżał teraz w bagnie obok, kołami do góry. Czy taki miał być koniec naszej wyprawy?

Milicja przyjechała koło północy. Badanie miejsca wypadku, przesłuchania, raporty. Wszystko spokojnie i rzeczowo, dla nich to normalka. Najbliższe miejsce, gdzie możemy wyremontować autokar, to baza autobusowa w Pskowie. Drobnostka, to tylko 200 km. Trochę folii, sznurka i plastra i szyba naprawiona. Można jechać. Dotarliśmy do Pskowa rano. Był już czwartek, a zaćmienie w niedzielę. Czy zdążymy? Płomyk nadziei wciąż się tlił. Naprawa trwała cały dzień i całą noc, i jeszcze jeden dzień. Wszystka wódka, jaką wieźliśmy na wszelki wypadek, została zużyta jako środek dopingujący dla pracującej z takim poświęceniem brygady. Wykorzystaliśmy czas na zwiedzanie starego, świetnego niegdyś grodu, obleganego 400 lat temu przez Batorego. Miasto jakby obudziło się ze stuletniego snu, remontowane są z ruin niezliczone cerkwie, odżywa stara historia.

Autokar gotowy był dopiero w piątek po obiedzie, ale za to wyglądał jak nowy. Od celu dzieliło nas

jeszcze 900 km, a niedziela już pojutrze i tylko jeden kierowca (przed podobnym błędem przestrzegam przyszłych organizatorów wypraw). Zaczął się wyścig z czasem. Piękna, podwójna tęcza za oknem natchnęła nas optymizmem. Daleko na północy mogliśmy podziwiać po raz pierwszy zjawisko białej nocy.

Nad ranem zatrzymaliśmy się na krótki nocleg na parkingu przypominającym Stonehenge, z ustawionymi na kolumnach alegoriami zodiaku. Na granicy z Finlandią byliśmy w sobotę w południe. Tu znowu czekał nas rytuał znany z Brześcia. Poszło sprawnie i po godzinie staliśmy na wymarzonej fińskiej ziemi. Wiedzieliśmy już, że zdążymy, ale że nie będzie już czasu na rekonesans i wybór dobrego miejsca do obserwacji. Na podstawie szczegółowych map, w jakie udało mi się wcześniej zaopatrzyć, dokonaliśmy wyboru miejsca i trasy. Po drodze skusił nas parking jak z bajki, z jeziorkiem pokrytym nenufarami. Wreszcie woda i dziecinna wprost radość z kąpieli.

W Joensuu, 50-tysięcznym mieście uniwersyteckim, stolicy Płn. Karelii, a w tych dniach turystycznej stolicy Finlandii, znaleźliśmy się wieczorem. Od rana trwał tam festyn ku czci Słońca: pokazy filmów, wykłady, koncerty, występy zespołów folklorystycznych. Wszystko dla wielotysięcznych rzesz turystów, którzy zjechali tu z całego świata. Na straganach, poza najrozmaitszymi różnościami, można było też kupić okulary do obserwacji zaćmienia i pamiątkowe koszulki. Ulice miasta udekorowano barwami Słońca. Wspaniała atmosfera ożywienia przed niezwykłym zjawiskiem. Spotkaliśmy tu inną polską grupę, z Krakowa, oni też mieli wypadek!.

Ruszyliśmy dalej, na wypatrzone z mapy miejsce, ciekawi co też tam zastaniemy. Rzeczywistość przerosła marzenia. W lesie schodzącym aż nad jezioro stał camping Huhmari, wyposażony w co dusza zapragnie. Finowie byli tak gościnni, że nie chcieli od nas żadnych pieniędzy, ani za parking, ani za namioty, ani nawet za saunę. Mówili, że takie święto więcej się u nich nie zdarzy, a my jesteśmy oczekiwanymi gośćmi. Miejsce do obserwacji, na kamiennym pomoście, też idealne. Sprawdziliśmy azymut i okazało się, że tam, gdzie będzie Słońce, jest przesmyk, będziemy więc widzieć jak wschodzące Słońce wynurza się z jeziora. Było to niezwykle ważne, bo zaćmienie zaczynało się pół stopnia nad horyzontem, a kończyło na wysokości 8 stopni. Nie wierząc jeszcze, że to wszystko dzieje się naprawdę, rozstawiliśmy instrumenty. Na szczęście był też i prąd (przydały się wiezione przedłużacze, ok. 200 m.), nie musieliśmy więc taszczyć generatora prądu, ani wymontowywać z autokaru akumulatorów. Do masztu na pomoście przymocowaliśmy naszą biało-czerwoną flagę.

Głównym zadaniem było nagranie z obrazu teleskopowego przebiegu zjawiska na taśmę video. Do tego służył refraktor Zeissa 80/1200 z filtrem słonecznym i kamerą na unikalnym uchwycie wykonanym przez Sławka Kruczkowskiego. Na drugim statywie taka sama luneta i służący za przeciwwagę teleobiektyw MTO 1000 miały robić przeźrocza.

W czasie tej krzątaniny zaglądali do nas z zaciekawieniem inni miłośnicy astronomii, którzy przyjechali tu z Hiszpanii, Węgier i Niemiec. Niektórzy z nich szykowali się na „Solar Eclipse Cruise", specjalny rejs po jeziorze. Inni mieli własne teleskopy, rozstawione wzdłuż plaży. Nawet nie zauważyliśmy, kiedy minęła północ, wciąż było widno. Zaczęła się psuć pogoda i deszcz zmusił nas do ewakuacji sprzętu. Na szczęście trwał krótko. O trzeciej znowu rozłożyliśmy instrumenty. Dzwon na pokładzie statku wzywał pasażerów na rejs.

Gęste chmury nie wróżyły nic dobrego, ale świt zaróżowił lekko niebo. Szansa na „złapanie" pierwszego kontaktu minęła bezpowrotnie. I nagle otworzyło się okienko w chmurach. Była 4.17 (1.17 UT). Zobaczyliśmy zakrytą częściowo tarczę Słońca i dwie grupy plam na niej. Filtry słoneczne nie były potrzebne. Fotografowie rozpoczęli pracę. Ten dar niebios trwał jednak krótko i od 4.30 nie widzieliśmy już nic prócz chmur. O 4.53 ogarnęły nas ciemności. Dreszcz przebiegł mi przez skórę. Trwało to 90 sekund. Niezwykłość wrażeń spotęgował fakt, że już przyzwyczailiśmy się do białych nocy. Na odległym brzegu jeziora dostrzegliśmy światełka palonych ognisk. Przeleciał nad nami samolot, pewnie jeden z dziewięciu, jakie wystartowały o świcie na obserwacje zaćmienia znad chmur. Ciekawą serię przeźroczy wykonał Leszek Zieniuk. Odkąd chmury zakryły Słońce, fotografował on horyzont z jednakowym czasem ekspozycji. Na zdjęciach widać, jak zmieniało się oświetlenie wokół nas.

Czułam się oszukana. To tak, jakby ktoś złośliwie opuścił w teatrze kurtynę zaraz po pierwszym akcie. Odczekaliśmy na posterunku do końca zaćmienia częściowego (5.46), nie wierząc już jednak, że jeszcze cokolwiek zobaczymy. Przyroda wokół jakby spała. Nie było ani jednego komara, ptaki nie obudziły się o brzasku, a rybacy nie złowili ani jednej ryby. Znowu zaczął siąpić deszczyk. Był jeszcze rytualny szampan na pomoście i pożegnania z Finami, którzy nam towarzyszyli całą noc. Podarowałam im na pamiątkę flagę i kiedy na pełnym gazie odbili motorówką od brzegu, długo jeszcze łopotała na wietrze nasza biało-czerwona.

Zasłużony sen trwał do południa i przez cały ten czas ulewny deszcz mruczał nam kołysanki. Trochę szczęścia jednak mieliśmy. Po obiedzie wróciliśmy do Joensuu, gdzie w auli uniwersyteckiej odbywał się pokaz filmu, jeszcze „mokrego", nakręconego rano w czasie zaćmienia z pokładu samolotu. Takiego oblężenia uniwersytet jeszcze nie przeżywał. Tysiące ludzi pragnęło obejrzeć film. My dostaliśmy się dopiero na trzeci seans. Zobaczyliśmy zaćmione Słońce i jego koronę (mało efektowną tym razem), i żal serce ściskał, że to tylko film.

I znowu w drogę, tym razem powrotną. Przed północą musieliśmy być na granicy. Z uczuciem niedosytu opuszczaliśmy ten urzekający kraj i ludzi, którzy żyją tu jak skrzaty w nieskalanej harmonii z przyrodą. Zrozumiałam, dlaczego Św. Mikołaj tu ma swoją ojczyznę. Wracając, zatrzymywaliśmy się w obserwatoriach w Pułkowie, Tartu i w Wilnie, gdzie byliśmy gościnnie przyjmowani przez tamtejszych astronomów. Znaleźliśmy też sporo czasu na zwiedzanie historycznych miast na trasie. Po drodze spotkaliśmy inne polskie grupy wracające z zaćmienia. Nikomu nie dopisała pogoda. Taki już los astronoma.

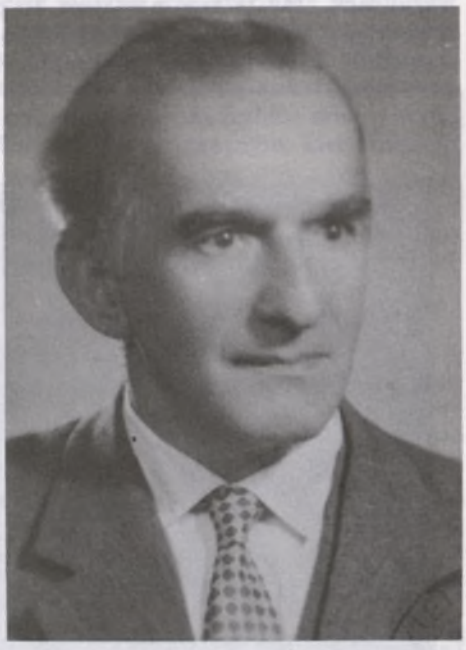
Kiedy, już po naszej stronie granicy, wstąpiliśmy do bufetu i zobaczyliśmy w telewizorze kolejny odcinek „Dynastii", nie mieliśmy wątpliwości — wróciliśmy do domu. Cztery i pół tysiąca przejechanych kilometrów, jedenaście dni wspólnej podróży, zostawiły niezatarte wspomnienia. Poza nimi zostały z wyprawy setki przeźroczy i trzy godziny nagrane na taśmie video. I jeszcze jedno zostało ... marzenie, by zobaczyć całkowite zaćmienie Słońca.

Ewa Janaszak

SYLWETKI ASTRONOMÓW POLSKICH

Jan Mergentaler kończy 90 lat

Wyraz Słońce kojarzy się dziś z Wrocławiem, z nazwiskiem prof. Mergentalera. 27 czerwca obchodzić będziemy dziewięćdziesiątą rocznicę urodzin Profesora i z tej to okazji Jego sylwetkę przedstawiamy.



Osiągnięcia Profesora Jana Jerzego Mergentalera w zakresie heliofizyki są ogólnie znane. Pracę we Wrocławiu Profesor podjął niemal tuż po wojnie. Rozpoczął skromnie, od wizualnych obserwacji plam słonecznych, ale badania szybko nabrały rozmachu. W 1957 roku na Uniwersytecie Wrocławskim powołano Katedrę Heliofizyki; prof. Mergentaler został jej kierownikiem. Jednocześnie Państwowe Wydawnictwo Naukowe wydrukowało monografię Profesora *Słońce*. W tym samym roku prof. Mergentaler został dyrektorem nowo powstałego na Uniwersytecie Wrocławskim Instytutu Astronomicznego, na którym to stanowisku pozostał przez 15 lat, aż do przejścia na emeryturę.

To wszystko wiemy, a więcej szczegółów można znaleźć bez trudu w literaturze*. Znacznie mniej znana jest prawdziwa miłość Profesora Mergentalera — gwiazdy zaćmieniowe — i pionierskie lata spędzone na Łysinie.

Stacja Astronomiczna na Łysinie powstała w roku 1922. Pierwszym obserwatorem stacji i głównym jej organizatorem był Gadomski, po nim działał Orkisz. Jan Mergentaler spędził na Łysinie pełne siedem lat, od roku 1927 do 1934. Zwykła chata, drewniana budka z otwieranym dachem, czyli szumnie zwany „pawilon"... A jednak pisząc o Łysinie w 1930 roku dla pisma *Tęcza* Mergentaler stwierdza: „A czasem astronom [...] sam sobie opowiada o cudownościach gwiazd i patrzy przez lunetę nie mierząc, nie badając, z prostym, szczerym podziwem na to, co się dzieje tam daleko. Otwiera się wtedy inne życie — tętniące, dziwne, ogromne życie słońc."

Wywiad, jakiego Profesor Mergentaler udzielił doc. Tadeuszowi Jarzębowskiemu odtwarza klimat tamtych czasów, to co dobre i co złe; to, co dla Profesora pomimo wszystkich późniejszych osiągnięć pozostało w jakimś sensie najważniejsze...

— *Panie Profesorze, może pomówilibyśmy o sprawach bardzo dawnych, w szczególności o Łysinie. Jak długo Pan Profesor był na Łysinie?*

— Zaraz, niech sobie przypomnę... – tak, od 1927 do roku 1934.

— *To spory kawał czasu. Panie Profesorze, i co tam było na Łysinie?*

— Tam był refraktor 13 cm średnicy, na azymutalnym statywie i był refraktor 12 cm. Oba miały statywy normalne, nie horyzontalne.

— *Ale kopuły nie było żadnej?*

— Był daszek otwierany na dwie strony, drewniany, kryty papą; jak przychodził wiatr halny, to nikt tego nie otwierał. No i to się takimi korbami drewnianymi kręciło...

— *I do 34 roku Pan Profesor tam był. A co było potem?*

— Potem było bezrobocie przez ponad pół roku. Do maja tam siedziałem, i potem od 1 stycznia 1935 przeniosłem się do Lwowa.

— *A kto na Łysinie pozostał ?*

— Pani Szafrańcówna jakiś czas, a potem już nie pamiętam, kto tam był.

— *A czy Pan był czymś w rodzaju kierownika tej stacji, czy powiedzmy osobą specjalnie zaangażowaną w tej stacji?*

— Nie, dyrektorem był Banachiewicz przez cały czas, a ja siedziałem w tej stacji na miejscu, z pewnymi ograniczonymi możliwościami kierowania. To znaczy nie mogłem się starać ani o instrumenty, ani o żadne inne rzeczy, bo to wszystko Banachiewicz załatwiał. Mogłem tylko obserwować, no i rządzić personelem. A obserwacje, co tam robiłem... Gwiazdy zmienne, metodą Argelandera ...

— *Żadnego fotometru?*

— Nic, zupełnie. Poza tym były obserwacje jakości obrazów, badania wyraźności pierścieni dyfrakcyjnych wokół gwiazd, oczywiście wizualnie. Były projektowane obserwacje albedo obłoków i fotometr, taki mały, został przywieziony, z akumulatorami, ale okazało się, że te obłoki były tak zmienne, całe morze chmur, i to morze chmur było powiedzmy o parę metrów poniżej tego szczytu. W takich warunkach nie było żadnej możliwości zmierzenia średniego efektu odbicia od chmur, fluktuacje niszczyły wszystko. Fotometr z powrotem pojechał , bez żadnych wyników obserwacyjnych. To był taki nieudany projekt. Trochę też obserwowałem zaćmienia księżyców Jowisza, ale Banachiewicz na to skoczył, że to jest poza programem, że tego nie wolno robić i dałem temu spokój, bo jeszcze wtedy się go słuchałem...

— *Te obserwacje księżyców Jowisza co miały na celu?*

— Wyznaczało się moment zaćmienia. Nigdzie tego jednak nie publikowałem, to były też próby tylko.

*patrz artykuł T. Jarzębowskiego, Postępy Astronomii 28, str. 161, 1980 r.

Może to gdzieś zapisałem, ale w każdym razie nigdzie to nie było publikowane.

— *I Pan Profesor był praktycznie rzecz biorąc zawsze sam na Łysinie?*

— Zawsze sam, aż do momentu ożenienia się, czyli do 1929 roku.

— *A potem tam Państwo razem przebywaliście na Łysinie? Co tam w ogóle było, jakie wyposażenie?*

— Tam była najpierw chałupka, taki domek leśniczego przeniesiony na Łysinę, tam wtedy Państwo Gadomscy w nim mieszkali, w bardzo prymitywnych warunkach. Jak ja tam nastałem, to potem się trochę rozszerzyło ten domek, unowocześniło, tak że później wyglądał bardzo ładnie. Piece były kaflowe...

Profesor Mergentaler z żoną przed leśniczówką na Łysinie

— *Prądu nie było oczywiście?*

— Nie, ani telefonu, ani prądu, nic takiego. Do radia były baterie Leclanch'a.

— *Ale sygnały czasu już jakieś można było odbierać?*

— No właśnie sygnały czasu odbierało się przez radio. Radio było bateryjne. To znaczy trzeba było co dwa miesiące, powiedzmy, kupować te wkłady, kwas siarkowy chyba. I radio dobrze działało, na słuchawki oczywiście.

— *To nie było nawet głośnika?*

— Jak się puściło na głośnik, to się te baterie wyczerpywały w ciągu paru godzin i na tym koniec.

— *Czy to radio służyło do czegoś więcej?*

— Można było słuchać Warszawy, poza Warszawą czasem coś się złapało jeszcze innego, ale głównie służyło do sygnałów czasu.

— *A czas się skąd przyjmowało?*

— Z Leiden. Z Paryża, z wieży Eiffla trudno było przyjmować.

— *A jak wyglądało wtedy porozumiewanie się z Krakowem?*

— Listem. Raz, w czasie pełni Księżyca przyjeżdżałem do Krakowa, na jeden – dwa dni. Szło się 9 km do Kasiny Wielkiej, a potem pięć godzin jazdy pociągiem.

— *Łysina to tutaj. A na mapie tu jest napisane Lubomir.*

— Tak, nazwa była zmieniona, ponieważ to była enklawa w lasach należących do Lubomirskich, więc na cześć Lubomirskiego Banachiewicz przezwał Łysinę na Lubomir. Lubomirski mieszkał wtedy w Krakowie, i on nam dał tę ziemię, ale drzewo dawali właściciele lasu z Drogini — Bzowscy.

— *Ale pierwotnie główny szczyt nazywał się Łysina.*

— Tak. Bardzo mi się wtedy ta zmiana nie podobała, bo nie lubiłem arystokracji, no ale jakoś to zostało zatwierdzone.

— *To znaczy, już w czasie bytności Pana Profesora ta zmiana została przeprowadzona?*

— Tak, to gdzieś w jakimś trzydziestym roku chyba, po paru latach mojego pobytu.

— *Śmieszne, że ta nazwa już pozostała.*

— Pozostała. Zawsze Lubomir to ładniejsza nazwa niż Łysina.

— *I to tym szlakiem turystycznym się szło do Myślenic?*

— Tak, tym szlakiem, przez Przygoleś.

— *Tu nie ma takiej nazwy...*

— Tak, bo to, co teraz tu jest nazwane Łysina, to była Przygoleś.

— *A tu dojechać czymś można było, czy nie?*

— Można było, ale bardzo daleko, a dojeżdżało się przede wszystkim do Kasiny Wielkiej, i do Węglówki podjeżdżało się, pod szczyt Lubomiru, a potem na piechotę czterysta metrów do góry. Czasem, wyjątkowo furka tam dojeżdżała, ale to bardzo drogo kosztowało, dziesięć złotych, to były duże pieniądze.

— *To był spory procent pensji...*

— No tak, dwieście złotych miałem pensji.

— *Panie Profesorze, a teraz wracając do wcześniejszych czasów. Pan Profesor urodził się na Polesiu? Jak długo był Pan na Polesiu?*

— Bywałem aż do 1939 roku.

— *Pan Profesor jest z Pińska?*

— Koło Pińska.

— *I tam Pan Profesor chodził do szkoły?*

— Nie, do szkoły chodziłem w domu, a dopiero od drugiej klasy do szkoły Wróblewskiego. Miałem same dwóje, bo to była realna szkoła, i po rosyjsku.

— *A co to znaczy realna szkoła?*

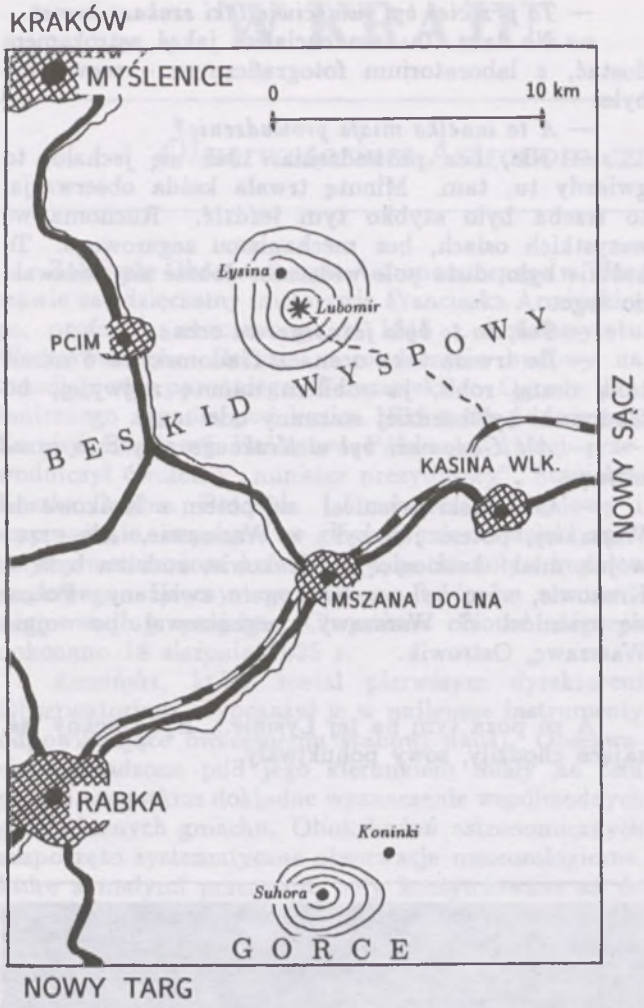
— To znaczy techniczna. Trzeba było kreślenia robić. A poza tym wykładowy język był rosyjski. Wtedy jeszcze, w dwunastym roku wszystko było, nawet historia Polski, po rosyjsku. Dopiero założono parę szkół z językiem polskim. Ja się przeniosłem do gimnazjum Reja i tam już miałem same piątki. Ale to już wszystko było w Warszawie. Obciąłem się na maturze, i potem zdałem maturę dla eksternów, w dwudziestym roku. A potem Uniwersytet Warszawski.

— *I od razu na astronomię?*

— Tak, od razu na astronomię.

— *A dlaczego na astronomię? Ciekaw jestem, co Pan Profesor o tym powie.*

— Trochę zamiłowanie, trochę przypadek. Ogromnie nie lubiłem gwiazdozbiorów, wstrętem mnie to napawało, jak miałem czternaście – piętnaście lat, natomiast podobał mi się Jowisz i Saturn, poza tym zachwyciła mnie trylogia Żuławskiego *Na srebrnym globie*, no i Flamariona rozmaite powiastki astronomiczne. Ale to by jeszcze może nie zdecydowało, chociaż już zaczynałem czytać poważniejsze rzeczy. W



18 bodaj roku, kiedy byłem już w siódmej czy ósmej klasie Kępiński, który nas wtedy uczył kosmografii zresztą w niesamowicie nudny sposób, zawiadomił, że tworzy się Towarzystwo Miłośników Astronomii. I wtedy Mrozowski, Kaliński i ja, i jeszcze parę innych osób to Towarzystwo założyliśmy. To zdecydowało, że zbliżyliśmy się do Kępińskiego i do Obserwatorium, i to zdecydowało ostatecznie o tej astronomii.

— *I kiedy Pan Profesor kończy studia?*

— Z Warszawskiego Uniwersytetu bez skończenia studiów przeniosłem się do Krakowa, na asystenturę u Banachiewicza, dzięki napisaniu małej pracy na temat orbity komety Wolfa. Egzaminu żadnego nie zdawałem, ani magisterium, ani nic takiego. I dopiero potem w Krakowie doktorat, bez żadnych obciążeń egzaminacyjnych.

— *Czyli Pan Profesor zaczął od doktoratu?*

— Tak, ale po bardzo wielu latach, bo dopiero w 32 roku był doktorat, a na Uniwersytet wstąpiłem w 21.

— *I z jakiej dziedziny był to doktorat?*

— Gwiazdy zaćmieniowe, obserwacje gwiazd zmiennych metodą Argelandera.

— *Czyli tematyka właściwie związana z Łysiną...*

— Cały czas na Łysinie to były gwiazdy zaćmieniowe, bo Banachiewicz innej tematyki nie uznawał. Nie wolno było... Nie wolno... Ja kiedyś spróbowałem jakieś inne gwiazdy obserwować, to nie! Zresztą podobnie było u Herzsprunga w Leiden. Jak tam na kliszach się znajdowało gwiazdy długookresowe, to on kręcił nosem – tylko Cefeidy.

— *Jakie były możliwości obserwacji na Łysinie?*

— Był ten teleskop 13 cm, krótkoogniskowy, nigdy większego nie było. Maksymalnie tam się jechało do 10, 10.5, czasem do 11 wielkości, ale to już dosyć trudno. I to wszystko zostało potem przez Niemców zlikwidowane.

— *I nic nie pozostało?*

— Nie.

— *Ale Pan Profesor zaraz po doktoracie wyjechał do Lwowa?*

— Tak, i to musiał być jakiś 35 rok, dwa lata po doktoracie.

— *A jakie były motywy tego przejazdu do Lwowa?*

— Jedyna możliwość pracy, byłem bezrobotny. U Dziewulskiego chciałem być – nie miał miejsca, u Kępińskiego chciałem być, z wielką zresztą niechęcią, no ale też nie było miejsca. A Rybka miał wolne. Był wtedy profesorem nadzwyczajnym, kierownikiem, po Ernście.

— *A jaka była tematyka, jeśli chodzi o Lwów?*

— Przede wszystkim katalog gwiazd, układany przez Rybkę, no i identyfikacja mierzonych gwiazd, fotograficznie.

— *A po wojnie to Pan Profesor był w Lublinie?*

— Zaraz jak przyjechałem do Krakowa, to dostałem asystenturę u Banachiewicza, a jednocześnie zostałem wykładowcą w Lublinie, to znaczy dwa etaty wtedy miałem, przez rok: u Banachiewicza w Krakowie i w Lublinie, w Uniwersytecie Marii Curie–Skłodowskiej. To się nazywał Żul, Żydowski Uniwesytet Lubelski i Katolicki Uniwersytet Lubelski. Profesorowie Żulu chodzili na spowiedź do profesorów KULu, a profesorowie KULu chodzili po wykłady marksistowskie do Żulu...

— *A we Wrocławiu to Pan Profesor był od kiedy?*

— W 1946 na jesieni przyjechałem do Wrocławia.

— *Ten okres życia Pana Profesora jest dobrze znany.*

— A tam, w Lublinie, tam chciałem wybudować piękne obserwatorium, memoriały rozmaite składałem, ale nic z tego nie wyszło. Oglądaliśmy nawet miejsce, gdzie budować się będzie to obserwatorium.

— *A Łysina to przecież też miał być zalążek jakiegoś narodowego obserwatorium.*

— Tak, i gdyby jakoś Banachiewicz mądrzej działał , to Kamiński by nie budował na Popie Iwanie tego Obserwatorium, tylko gdzieś tam w Beskidach.

— *Pop Iwan, to gdzie to było?*

— W Karpatach Wschodnich. Tam było piękne Obserwatorium.

— *Ale wyników było niewiele...*

— Bo to zostało dopiero przed samą wojną wykończone. Tam Zonn obserwował. Był tam pierwszorzędny refraktor, 30 cm, bardzo ładne się zdjęcia dostawało. W czasie wojny ten obiektyw został wywieziony na Węgry przed wejściem Niemców, i potem z Węgier jakoś odzyskany tak że on jest teraz w Ostrowiku.

— *A gdzie dokładnie jest ten Pop Iwan?*

— Na południe od Lwowa, na samej granicy polsko–rumuńsko–sowieckiej, w tym trójkącie koło Zaleszczyk. To był szczyt graniczny, tak jak Howerla, Grebieniesku i Brasku.

— *To znaczy, że przed wojną były takie dwie konkurencyjne szkoły, Kamieński i Banachiewicz?*

— Tak, i to zupełnie było bezsensowne.

— *Kamieński na Pop Iwanie, a Banachiewicz na Łysinie?*

— No tak, i na Pop Iwanie było nowoczesne obserwatorium, a na Łysinie było chałupnicze obserwatorium.

— *Nowoczesne, ale jak na owe czasy. Tam był 30 cm teleskop, ale czy coś więcej?*

— Teleskop był z astrokamerą 30 cm, zdjęcia były pierwszorzędne. Co prawda Kamieński był od komet, ale tam miano uprawiać fotometrię gwiazd zmiennych, szukać planetoid.

— *Ale Lwów się z tym Pop Iwanem wcale nie wiązał?*

— Lwów się nie wiązał, bo to było kierowanne przez Warszawę, przez Kamieńskiego.

— *Ale przecież bliżej było z Lwowa na Pop Iwan niż z Warszawy.*

— No tak, ale we Lwowie nie było żadnego pracownika, który by tam chciał pojechać. Z Warszawy znalazł się Zonn, i ktoś jeszcze.

— *Czy na tym Pop Iwanie coś pozostało?*

— Tam zdaje się coś zostało, ale nic na ten temat nie słychać.

— *A Banachiewicz poza tym domkiem i tym skromnym wyposażeniem nic nie planował?*

— Nawet o telefon mu się nie chciało wystarać.

— *To dziwne, bo przecież Banachiewicz to tak znany człowiek...*

— On miał taką doktrynę, że w Polsce nie trzeba dużych instrumentów, bo małymi instrumentami tak jak swojego czasu Schwarzschild robił można bardzo wiele mądrych rzeczy zrobić. Malutkie instrumenty i genialny człowiek.

— *To przecież był właściwie taki szukacz komet.*

— No tak. Ja tam chciałem jakąś astrokamerę dostać, z laboratorium fotograficznym – mowy nie było.

— *A ta lunetka miała prowadzenie?*

— Nie, bez prowadzenia. Jak się jechało, to gwiazdy tu, tam. Minutę trwała każda obserwacja, to trzeba było szybko tym jeździć. Ruchoma we wszystkich osiach, bez mechanizmu zegarowego. To krótkie było, duże pole widzenia, dobrze się nadawało do tego.

— *Tak, bo to była jednorazowa ocena.*

— Ile trwała taka ocena... Gadomski to 5 minut taką ocenę robił, ja robiłem minutę najwyżej, bo Gadomski był bardziej staranny ode mnie.

— *Ale Gadomski był w Krakowie cały czas przed wojną.*

— Gadomski przeniósł się potem z Krakowa do Warszawy, potem już był w Warszawie. Ale przed wojną miał kamienicę w Krakowie, rodzina była w Krakowie, więc był z Krakowem związany. Potem się przeniósł do Warszawy i organizował po wojnie Warszawę, Ostrowik.

...

A co poza tym na tej Łysinie... Był piękny las, zające chodziły, sowy pohukiwały...

Jedno z nielicznych zdjęć (jedyne?) pawilonu obserwacyjnego na Łysinie. Pochodzi ono z 45 numeru zeszytu „Tęcza" (8 listopada 1930), z artykułu Jana Mergentalera poświęconego temu obserwatorium

Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego

Założenie Obserwatorium Astronomicznego w Warszawie zawdzięczamy inicjatywie Franciszka Armińskiego, profesora utworzonego w 1816 r. Uniwersytetu Warszawskiego. Decyzja o rozpoczęciu budowy na terenie nowo powstałego Warszawskiego Ogrodu Botanicznego zapadła pod koniec 1819 r. na posiedzeniu Komisji Rządowej Królestwa Polskiego, której przewodniczył ówczesny „minister prezydujący", Stanisław Kostka hrabia Potocki. Fundusze na budowę i wyposażenie, uzyskane w głównej mierze dzięki uporczywym staraniom Armińskiego, pochodziły z budżetu rządowego. Uroczystego otwarcia budynku wzniesionego według projektu Chrystiana Piotra Aignera dokonano 18 sierpnia 1825 r.

Armiński, który został pierwszym dyrektorem Obserwatorium, wyposażył je w najlepsze instrumenty odpowiadające ówczesnemu stanowi nauki. Obserwacje prowadzone pod jego kierunkiem miały na celu przede wszystkim dokładne wyznaczenie współrzędnych geograficznych gmachu. Obok badań astronomicznych rozpoczęto systematyczne obserwacje meteorologiczne, które z małymi przerwami były kontynuowane aż do chwili wybuchu Powstania Warszawskiego w sierpniu 1944. Na zlecenie Komisji Rządowej Dochodów i Skarbu wykonywano również pomiary geodezyjne mające na celu „podniesienie górnictwa krajowego i uporządkowanie zakładów fabrycznych". W 1830 r. w skierowanym do Armińskiego liście Ministra Wyznań Religijnych i Oświecenia Publicznego Królestwa Polskiego można było znaleźć te oto słowa: „Ciągłe zachowuiąc życzenie, aby Obserwatoryum Warszawskie przyzwoite mieysce w rzędzie Europeyskich zaymowało, Minister Prezyduiący oznaymił iuż W-u Professorowi między innemi żądanie, by w razach ważnieyszych poiawień niebieskich był Mu zdawany stosowny Rapport".

Po śmierci Armińskiego w r. 1848 stanowisko dyrektora objął Jan Baranowski, badacz komet, bardziej znany jako pierwszy tłumacz dzieła Mikołaja Kopernika *De Revolutionibus Orbium Coelestium* na język polski. Od roku 1857 Obserwatorium wydawało bardzo dobrze redagowany *Kalendarz* w języku polskim, będący jednocześnie rocznikiem statystycznym i kroniką polityczną. Pracę nad nim przerwał wybuch Powstania Styczniowego, po którego upadku wydawnictwo nie zostało już wznowione. Za kadencji Baranowskiego wschodnia wieża budynku została obrana centralnym punktem sieci triangulacyjnej Królestwa Polskiego i rolę tę pełniła przez kilka następnych dziesięcioleci. W latach 1839 – 1863 pracował w Obserwatorium Adam Prażmowski, pierwszy astrofizyk polski i jeden z pierwszych astrofizyków na świecie. Wśród jego licznych osiągnięć na szczególną uwagę zasługuje odkrycie polaryzacji światła korony słonecznej i polaryzacji świała komet. Stwierdził on również, iż protuberancje są wybuchami materii słonecznej i że korona słoneczna całkowicie otacza Słońce.

Od r. 1869 aż po r. 1915 pracami Obserwatorium kierowali profesorowie rosyjscy (kolejno - Iwan Wostokow, za którego kadencji dokonano przebudowy gmachu, Aleksander Krasnow i Siergiej Czernyj). Autorem najcenniejszych prac naukowych z tego okresu był jednak Polak, Jan Kowalczyk. Dokonał on osobiście ok. 22 000 obserwacji, które posłużyły do sporządzenia jednego z najlepszych ówczesnych katalogów gwiazdowych. Postać zmarłego w 1911 r. Kowalczyka jest upamiętniona tablicą umieszczoną w hallu budynku. W roku 1900 na stanowisku młodszego asystenta Obserwatorium rozpoczął swą karierę naukową Tadeusz Banachiewicz, późniejszy dyrektor Obserwatorium Uniwersytetu Jagiellońskiego i jeden z najznamienitszych astronomów polskich okresu międzywojennego.

W lipcu 1915 r., w związku z natarciem armii niemieckiej, władze carskie podjęły decyzję o ewakuacji Uniwersytetu imperatorskiego do Rostowa. Opuszczając miasto rosyjski personel Obserwatorium wywiózł przenośne instrumenty, które już nigdy nie wróciły na swe miejsce. Obserwatorium wznowiło działalność pod rządami niemieckimi w r. 1916 i mimo zawieruchy politycznej kontynuowało ją podczas odtwarzania się niepodległego państwa polskiego. Do r. 1920 obowiązki dyrektora pełnił w nim Jan Krasowski, astronom ze Lwowa. Był on naukowcem o zacięciu teoretycznym raczej niż obserwacyjnym, toteż pozosta-

Pierwotny wygląd Obserwatorium – stan z początku lat czterdziestych XIX w. (ze zbiorów Biblioteki Narodowej).

le po ewakuowaniu się Rosjan, większe instrumenty uruchomiono dopiero dzięki wysiłkom jego następcy, Felicjana Kępińskiego. Wykorzystywano je następnie do zbierania pozycyjnych obserwacji gwiazd i planet. Wszelkie prace naukowe były jednak bardzo utrudnione ze względu na zakończoną dopiero w październiku 1920 r. wojnę i spowodowane przez nią wyniszczenie kraju.

W owym czasie położone wśród jasno oświetlonych budynków i wyposażone w przestarzałe instrumenty Obserwatorium zajmowało „w rzędzie Europeyskich" miejsce raczej poślednie i w dziedzinie obserwacyjnej nie mogło już konkurować z placówkami zagranicznymi. Z tego też względu w pierwszym okresie kadencji Michała Kamieńskiego, dyrektora Obserwatorium w latach 1923 - 1945, zajmowano się przede wszystkim badaniami teoretycznymi. Głównym ich tematem był wpływ wielkich planet na ruchy komet w Układzie Słonecznym, w której to dziedzinie Obserwatorium miało wydać kilka uznanych w świecie autorytetów naukowych z samym Kamieńskim na czele. W r. 1925, w setną rocznicę otwarcia Obserwatorium, rozpoczęto redagowanie własnego czasopisma naukowego *Publications of the Astronomical Observatory of the Warsaw University.*

Wygląd Obserwatorium w latach międzywojennych (pierwszy z prawej Michał Kamieński).

W miarę przybywania nowych przyrządów skromne początkowo prace obserwacyjne nabierały coraz większego rozmachu. Prowadzono obserwacje zakryć gwiazd przez Księżyc, badania jasności gwiazd zmiennych, a także obserwacje pozycyjne komet i planetoid. Opanowano nowoczesne techniki wyznaczania położeń ciał niebieskich i pomiaru ich jasności, przy czym szczególnie zasłużyli się Eugeniusz Rybka i Jan Gadomski. Duże znaczenie praktyczne miała systematycznie prowadzona służba czasu. Główny zegar Obserwatorium kontrolował chód zegarów w Polskim Radiu, Oddziale Telegraficznym Ministerstwa Komunikacji oraz Głównym Urzędzie Telekomunikacyjnym, dzięki czemu pełniło ono funkcję centrali dokładnego czasu dla całej Polski. Równie cennym ze względu na zastosowania praktyczne był sporządzony w Obserwatorium katalog pozycji par gwiazdowych służących do dokładnego wyznaczania szerokości geograficznej.

Zegar wskazujący czas z dokładnością kilku sekund był na stałe wystawiony w parterowym oknie wychodzącym na Ogród Botaniczny. Przy zegarze wywieszano codziennie biuletyn podający momenty wschodu i zachodu Słońca i Księżyca, ważniejsze zjawiska astronomiczne oraz dane meteorologiczne z dnia poprzedniego i aktualnego. Po gmachu często oprowadzano wycieczki, urządzajac dla nich przy dobrej pogodzie pokazy nieba. Pracownicy Obserwatorium byli autorami bardzo licznych prac popularyzatorskich (od krótkich artykułów do książek), podręcznika dla szkół średnich *Kosmografia* oraz podręcznika dla studentów *Astronomia ogólna* będącego w użyciu jeszcze w latach pięćdziesiątych. Niektórzy z nich nauczali astronomii w gimnazjach warszawskich.

W r. 1935 Liga Ochrony Powietrznej Państwa nieoczekiwanie zaproponowała Kamieńskiemu zorganizowanie oddziału astronomicznego w obserwatorium meteorologiczno–astronomicznym, jakie miało powstać na szczycie Pop Iwan w Karpatach Wschodnich. Prace poprowadzono z dużym rozmachem: budowę rozpoczęto w r. 1936, jesienią następnego roku przybyły do Polski instrumenty skonstruowane w angielskiej firmie Grubb & Parsons, a pierwszą pracę naukową opartą na obserwacjach ze szczytu Popa Iwana (dotyczyła ona planetoidy Interamnia) opublikowano w styczniu 1938 r. Warto przy tym nadmienić, iż wśród najwyżej położonych obserwatoriów europejskich Pop Iwan ze swymi 2022 m n.p.m. zajmował wówczas drugie miejsce po francuskim Pic du Midi w Pirenejach.

Podjęta pierwszego września 1939 r. decyzja o formalnym przekształceniu stacji obserwacyjnej na Popie Iwanie w filię Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego nigdy nie została zrealizowana. Wkrótce po wybuchu wojny ze Związkiem Radzieckim personel stacji ewakuował się na Węgry, a jej wyposażenie zostało całkowicie rozgrabione przez szabrowników. Na szczycie, który po wojnie znalazł się poza granicami Polski, zostały nagie, kruszejące mury. Z wyposażenia stacji uratowano jedynie obiektywy dużego, podwójnego astrografu (teleskopu przeznaczonego obserwacji fotograficznych), które zdemontowano we wrześniu 1939 i które przetrwały wojnę w Obserwatorium Budapeszteńskim.

Pechowy los, jaki spotkał placówkę w Karpatach Wschodnich, początkowo oszczędził jej macierzystą instytucję w Warszawie. Ani budynek Obserwatorium, ani instrumenty nie ucierpiały podczas oblężenia miasta we wrześniu 1939 r., mimo iż w bezpośrednim sąsiedztwie wybuchło 11 bomb i granatów artyleryjskich. Jednak już wczesną wiosną 1940 r. najlepsze przyrządy zostały skonfiskowane przez Niemców i wywiezione do obserwatorium w Babelsbergu. Niewielkie w warunkach okupacji możliwości prowadzenia prac naukowych zostały przez to zredukowane praktycznie do zera. 2 sierpnia 1944, tuż po wybuchu Powstania Warszawskiego, budynek został zbombardowany, a

Podczas II wojny światowej budynek Obserwatorium w Al. Ujazdowskich został poważnie uszkodzony, a jego wnętrze – całkowicie wypalone.

w kilkanaście dni później - podpalony przez oddział szturmowy SS. Podczas pożaru całkowitemu zniszczeniu uległo wszystko, co się w nim znajdowało, w tym zabytkowe obiekty o dużej wartości muzealnej i wiele białych kruków wydawniczych pochodzących z XVI, a nawet XV stulecia.

Prowizoryczną siedzibę i zalążek biblioteki Obserwatorium Warszawskiego utworzono w r. 1945 w Krakowie dzięki staraniom Jana Gadomskiego, który po przejściu Michała Kamieńskiego w stan spoczynku pełnił obowiązki kierownika Obserwatorium w latach 1945-1950. W tym okresie zorganizowano również skromnie wyposażoną stację obserwacyjną w Przegorzałach koło Krakowa, gdzie prowadzono obserwacje gwiazd zaćmieniowych. Wydany w grudniu 1945 r. 21 numer *Okólnika Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego* był pierwszym powojennym pismem naukowym firmowanym przez Uniwersytet Warszawski. U schyłku 1949 r. stację w Przegorzalach przeniesiono do podwarszawskiej wsi Ostrowik, na której terenie jest ona zlokalizowana po dziś dzień. Obserwatorium stało się znów warszawskim w dokładnym tego słowa znaczeniu w dniu 13 lipca 1950 r., kiedy to ostatnie książki i instrumenty jakie udało się zgromadzić w Krakowie przewieziono do pierwotnej, odbudowanej już i wyremontowanej siedziby w Warszawskim Ogrodzie Botanicznym.

W tym samym roku kierownictwo Obserwatorium i Katedry Astronomii Uniwersytetu Warszawskiego objął Włodzimierz Zonn. Kilka miesięcy później utworzono z jego inicjatywy nową Katedrę Astrofizyki, którą powierzono Stefanowi Piotrowskiemu. Wyposażenie instrumentalne Obserwatorium było nadal niesłychanie skromne. Wobec braku perspektyw na zmianę tego stanu rzeczy, w badaniach naukowych coraz większą rolę zaczęły odgrywać obserwacje dokonywane w placówkach zagranicznych oraz prace o charakterze czysto teoretycznym. Zainteresowania teoretyczne pracowników skupiały się na fizyce gwiazd oraz na rozmieszczeniu rozproszonej materii międzygwiazdowej i zjawiskach w niej zachodzących. Wiele czasu i energii poświęcano również konstrukcji specjalistycznego wyposażenia teleskopów. Do roku 1961 ogłoszono drukiem ponad 80 prac naukowych, napisano 2 monografie, 2 podręczniki uniwersyteckie i jeden dla szkół średnich oraz wiele artykułów, broszur i książek popularyzujących wiedzę astronomiczną. Szczególnie aktywnym i utalentowanym popularyzatorem był sam Włodzimierz Zonn.

Realizując uchwałę I Kongresu Nauki Polskiej, w roku 1953 Polska Akademia Nauk powołała Zespół Budowy Centralnego Obserwatorium Astronomicznego (COA) złożony w znacznej mierze z pracowników Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego. W październiku 1956 r. Zespół przekształcił się w Zakład Astronomii PAN, którego Pracownia Astrofizyki II żyła z Obserwatorium w ścisłej symbiozie lokalowej i zawodowej przez dwa następne dziesięciolecia. Lata wspólnie spędzone w starym budynku rzy Alejach Ujazdowskich były prawdziwym złotym okresem dla reprezentowanej przez obie instytucje astronomii warszawskiej: stworzona tu przez Stefana Piotrowskiego i Włodzimierza Zonna „warszawska szkoła astronomiczna" zyskała na przełomie lat 60-tych i 70-tych znakomitą markę wśród astronomów i astrofizyków całego świata.

Warszawskimi specjalnościami były w owym czasie obserwacje gwiazd o zmiennym blasku oraz teoretyczne badania przemian ewolucyinych zachodzących w gwiazdach pojedyńczych i w gwiazdowych układach podwójnych. Nie zaniedbywano również starych sympatii: prowadzono fotograficzne obserwacje komet, oraz rachunki teoretyczne związane z ewolucją ich orbit. Od października 1957 r. do pierwszej połowy lat siedemdziesiątych pod kierownictwem Macieja Bielickiego działała w Al. Ujazdowskich stacja obserwacji sztucznych satelitów Ziemi. Zbierane przez nią dane były telegraficznie przekazywane do ośrodków kontroli,

gdzie po odpowiednim opracowaniu dostarczały informacji o budowie i stanie górnych warstw ziemskiej atmosfery oraz o rozkładzie masy we wnętrzu Ziemi.

3 października 1973 r. w Ostrowiku miała miejsce skromna uroczystość przekazania do użytku nowego teleskopu*.

Stefan Piotrowski, główny twórca „warszawskiej szkoły astronomicznej", dyrektor Obserwatorium w latach 1975–1980

Po śmierci Włodzimierza Zonna w r. 1975 jego następcą na stanowisku dyrektora został Stefan Piotrowski. Pogarszająca się w końcu lat 70-tych sytuacja gospodarcza kraju i niedoinwestowanie nauki (projekt budowy COA zarzucono z braku funduszy jeszcze za kadencji Włodzimierza Zonna) z biegiem czasu odbiły się bardzo niekorzystnie zarówno na substancji materialnej Obserwatorium, jak i na jego aktywności naukowej. Na stłumienie tej ostatniej wpłynęło również przekształcenie Zakładu Astronomii PAN w Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, które w 1978 r. przeprowadziło się do własnej siedziby przy ul. Bartyckiej.

W następstwie przeprowadzki podzielono bibliotekę mieszczącą się do tej pory w Alejach Ujazdowskich i przeniesiono na Bartycką jedyny dostępny dla astronomów komputer. O przetrwaniu Obserwatorium na pozycji liczącej się placówki naukowej zadecydowały wówczas w głównej mierze jego kontakty z ośrodkami zagranicznymi. Dobre wyniki osiągano nadal w dziedzinie obserwacji gwiazd o zmiennym blasku; pojawiły się też nowe specjalności odzwierciedlające rozwój astronomii światowej (teoria gwiazd magnetycznych, procesy gwiazdotwórcze oraz fizyka obiektów relatywistycznych, tj. takich, w których istotną rolę odgrywają efekty przewidziane przez ogólną teorię względności Einsteina).

Po odejściu Stefana Piotrowskiego na emeryturę w 1980 r. kierownictwo Obserwatorium objął Kazimierz Stępień. Na samym początku jego kadencji obie warszawskie placówki astronomiczne poniosły znaczne i jak się początkowo wydawało niepowetowane straty związane z bardzo wówczas rozpowszechnionym zjawiskiem emigracji naukowców. Pięciu wybitnych warszawskich astronomów i astrofizyków opuściło Polskę na stałe; wielu innych wyjechało na kilkuletnie pobyty w różnych instytucjach zagranicznych. W równym stopniu nie został dotknięty żaden inny polski ośrodek astronomiczny. Jak poprzednie, tak i ten trudny okres w dziejach Obserwatorium udało się jednak przetrwać bez większego uszczerbku dla rangi placówki i poziomu prowadzonych w niej badań. Obok prac naukowych tradycyjnie już poświęcano wiele czasu popularyzacji, której społeczna rola wydatnie wzrosła w połowie lat 80-tych po zlikwidowaniu astronomii jako odrębnego przedmiotu nauczanego w szkołach średnich.

Od 1987 r. dyrektorem Obserwatorium jest Marcin Kubiak, specjalista w dziedzinie obserwacji gwiazd pulsujących, redaktor międzynarodowego czasopisma naukowego *Acta Astronomica* i znany tłumacz literatury naukowej (laureat nagrody Stowarzyszenia Tłumaczy Polskich w r. 1986). Placówka ma obecnie 13 etatów naukowo-dydaktycznych, na których zatrudnia dwóch profesorów, czterech doktorów habilitowanych, pięciu doktorów oraz dwóch magistrów. Ich specjalności naukowe to różnego rodzaju obserwacje gwiazd (w tym gwiazd o zmiennym blasku, gwiazd pulsujących i gwiazd o silnych polach magnetycznych), statystyczne badania wielkoskalowej struktury Wszechświata, komputerowe symulacje procesów gwiazdotwórczych, teoria atmosfer gwiazd neutronowych (obiektów o kilkunastokilometrowych średnicach i masach porównywalnych z masą Słońca, do których zaliczają się m.in. odkryte w końcu lat 60-tych pulsary), oraz przewidziane przez Einsteina i odkryte w końcu lat 70-tych soczewki grawitacyjne. Roczna liczba publikacji, z których znakomita większość ukazuje się w najlepszych na świecie czasopismach fachowych, sięga 40.

Michał Różyczka

W
OBSERWATORIUM
ASTRONOMICZNYM

też można kupić
nasze pismo!

Spacer do Łazienek
i Ogrodu Botanicznego
urozmaici się spotkaniem z
astronomią.

* Obserwatorium w Ostrowiku przedstawimy bliżej w którymś z następnych numerów

KRÓTKI KURS KONFERENCJOLOGII

Zawsze chciałem napisać artykuł o poprawnym kompletowaniu i używaniu sprzętu *hi-fi*. Jest to przecież podstawowy instrument pracy astronoma, o wiele ważniejszy niż teleskopy czy inne komputery; wszak wiadomo, że przy muzyce myśli się najlepiej. Kiedy jednak zaproponowałem ten temat Redakcji, usłyszałem parę zdań, w których powtarzało się słowo „idiota". Zamiast tego mają więc Państwo artykuł o konferencjach astronomicznych.

W swoim założeniu konferencje mają służyć prezentacji najnowszych osiągnięć naukowych, informowaniu o przyszłych możliwościach badawczych, swobodnej dyskusji, nieskrępowanej wymianie myśli... Można je podzielić na dwie kategorie: ogólne i specjalistyczne. Zajmijmy się najpierw tymi pierwszymi.

Są to z reguły odbywające się w regularnych odstępach czasu wielkie zjazdy szacownych organizacji astronomicznych, takie jak zjazdy Międzynarodowej Unii Astronomicznej, regionalne spotkania tejże, czy zjazdy krajowych towarzystw astronomicznych. Ponieważ uczestniczą w nich fachowcy z różnych specjalności, referaty nie powinny być zbyt „techniczne". Astronomowie powinni móc dowiedzieć się, co aktualnie słychać w dziedzinach, którymi nie zajmują się na codzień. Niestety, prelegenci często o tym zapominają, a ich wystąpienia są zrozumiałe tylko dla nielicznych uczestników konferencji. Dlatego mało jest osób, które wysłuchałyby wszystkich referatów – ludzie wybierają sobie tylko te, z których mogą coś skorzystać. Po każdym wykładzie mamy więc sceny żywcem wzięte z burleski: część słuchaczy gwałtownie podrywa się z miejsc, pędzi ku wyjściu i zderza się z tymi, którzy gnają na następny.

Uczestnicy konferencji dzielą się na Wielkich Profesorów i resztę. Niektórzy z Wielkich Profesorów przyjeżdżają tylko na swój referat, po czym natychmiast znikają. Inni formalnie są obecni na całej konferencji, ale też dość trudno nawiązać z nimi kontakt. Przeważnie są nieobecni na obradach, we własnym gronie dyskutując sprawy tak ważne, że zwykli śmiertelnicy nie mogą być do nich dopuszczani.

Zupełnie inaczej zachowuje się reszta uczestników, a przynajmniej ci młodzi i ambitni. Oni starają się być wszędzie, porozmawiać z jak największą liczbą osób, zadawać pytania zarówno na sesjach, jak i w kuluarach, i w ogóle u wszystkich pozostawić po sobie jak najlepsze wrażenie. (Inna rzecz, że nie zawsze im się to udaje...)

Dlaczego tak postępują? W tym miejscu dochodzimy do rzeczywistej roli, jaką pełnią wielkie konferencje. Są one mianowicie rynkiem pracy astronomów. Doktoranci i młodzi pracownicy, którym niedługo skończy się kontrakt, starają się wybadać możliwości uzyskania nowej pracy. Na zjazdach Amerykańskiego Towarzystwa Astronomicznego ta sprawa została wręcz sformalizowana. Istnieje na nich rodzaj giełdy, na której samodzielni pracownicy naukowi przeprowadzają wywiady z kandydatami na współpracowników.

Oczywiście ogólne konferencje mają też inne zalety. Można na nich pogadać ze znajomymi, których od dawna się nie widziało. Jeżeli konferencja odbywa się we Francji lub Włoszech, to można posmakować dobrego wina. W Anglii chodzi się do pubów. Bardzo często konferencje są organizowane w atrakcyjnych turystycznie miejscowościach... Wszędzie jest zresztą coś ciekawego do zobaczenia. Pamiętam, jak w trakcie któregoś zjazdu Polskiego Towarzystwa Astronomicznego odbywającego się w Krakowie cała męska populacja – a i połowa damskiej – pędziła obejrzeć wystawę fotograficznych aktów *Venus*. I to wszystko przeważnie w sytuacji, gdy kosztów podróży i hotelu nie pokrywa się z własnej kieszeni!

Naukowo znacznie więcej można skorzystać na konferencjach specjalistycznych (oczywiście jeśli się jest fachowcem w danej dziedzinie, a nie trafiło się na konferencję przypadkowo; w tym drugim wypadku mała jest szansa zrozumieć cokolwiek). Są to wszelkiego rodzaju sympozja, kolokwia czy – najbardziej wąskie tematycznie – warsztaty. Na ile są one udane, zależy w dużym stopniu od komitetu organizacyjnego. Stoją przed nim dwa główne zadania: zdobycie pieniędzy i przygotowanie programu naukowego.

Część kosztów konferencji pokrywają sami uczestnicy (a tak naprawdę to ich macierzyste instytucje lub tzw. granty) uiszczając opłatę konferencyjną. Z reguły to jednak nie wystarcza, i organizatorzy muszą znaleźć dodatkowe źródła finansowania. Ważny jest tytuł konferencji – może on

przyciągnąć (lub zrazić) ewentualnych sponsorów. Niedawno zażartowałem, że w chwili obecnej łatwo możnaby znaleźć pieniądze na konferencję na temat „Astronomia we wspólnym europejskim domu", czy coś takiego. Minęło parę dni i bach! – widzę ogłoszenie o konferencji w Trieście, i proszę zgadnąć jaki tytuł? *Cosmology and Relativity: A Scientific Culture Bridge in the New Europe* (czyli „Kosmologia i teoria względności: naukowy most kulturowy w nowej Europie")! Może więc lepiej nie żartować?

Przygotowanie programu naukowego też stwarza pewne trudności. Z reguły jest więcej chętnych do wygłoszenia referatów, niż możnaby umieścić w programie. Zdarza się (na szczęście rzadko), że do głosu dopuszczani są wyłącznie ci, których poglądy są zbliżone do poglądów komitetu organizacyjnego. Konkurenci dostają wówczas jedynie niewiele miejsca na ścianie na wywieszenie plakatów prezentujących ich wyniki i idee. Mam też niejasne podejrzenie, że niektóre konferencje były zorganizowane głównie (a może wyłącznie?) po to, by pewne osoby mogły wygłosić swoje referaty... Szczęśliwie większość konferencji jest wolna od tych wad.

Sukces konferencji zależy od jakości wykładów, wykładowcy zaś są bardzo różni. Niektórzy potrafią przedstawić nawet bardzo trudne zagadnienia w sposób ciekawy i zrozumiały. Inni usiłują wtłoczyć w stosunkowo wąskie ramy czasowe swego wystąpienia zbyt wiele treści. Audytorium nie jest wówczas w stanie nadążyć za tokiem rozumowania. Są wreszcie i tacy, którzy z miną wielkich odkrywców podają wnioski dobrze znane studentom pierwszych lat astronomii.

W środowisku naukowym jest trochę Bardzo Ważnych Osobistości, których nie można wręcz nie zaprosić na konferencję. Te osobistości piastują wysokie stanowiska organizacyjne, na zajmowanie się nauką nie mają więc czasu. Jakiś referat wygłosić jednak trzeba... Taki *VIP* przygotowuje więc jeden wykład, który obwozi po wszystkich konferencjach.

Szczególną zabawę mają uczestnicy konferencji międzynarodowych, gdy trafi się prelegent słabo znający język angielski. Większość audytorium „wyłącza się" już po kilku zdaniach. Czasem trafia się jednak ktoś, kto usiłuje domyśleć się o czym jest mowa z prezentowanych przeźroczy, czy pojedynczych słow, brzmienie których choć trochę przypomina poprawną angielszczyznę. Gorliwiec ten po referacie zadaje pytania, by dowiedzieć się czegoś więcej. Prelegent ich oczywiście nie rozumie, i odpowiada coś *ni pricziom*. Takie *qui pro quo* może trwać dość długo, chyba że wtrąci się przewodniczący sesji i przerwie to widowisko.

Mój ulubiony typ referatu prezentują czasem niektórzy obserwatorzy. Wygląda to mniej więcej tak: Najpierw prelegent długo tłumaczy, jakie to obiekty postanowił obserwować i dlaczego. Następnie – jeszcze dłużej – opisuje instrumenty, jakich używał, oraz techniki analizowania danych. Gdy jego czas dobiega końca stwierdza, że zebrane dane są właśnie opracowywane, i wyniki będą przedstawione przy innej okazji. W tym miejscu mnie jako teoretyka ogarnia wielka zazdrość. Gdybym ja wygłosił referat, w którym najpierw postawiłbym problem, podkreślając jego znaczenie dla astronomii, przedstawił równania oraz opisał stosowane metody ich rozwiązywania, a następnie stwierdził, że w chwili obecnej jestem na etapie uruchamiania programu komputerowego, więc rezultaty zaprezentuję później, to zostałbym zwyczajnie wyśmiany i nikt nie zaprosiłby mnie na następne konferencje. A obserwatorzy tak mogą!

Jeszcze innego rodzaju wystąpienia są udziałem pewnych „instrumentalistów", czyli astronomów zajmujących się konstrukcją aparatów badawczych. Potrafią oni obiecywać gruszki na wierzbie potencjalnym użytkownikom ich urządzeń i całej naukowej społeczności. Dobrym przykładem jest tu historia włoskiego satelity rentgenowskiego SAX. Po raz pierwszy usłyszałem o nim na konferencji w 1983 roku. Wtedy jako planowany moment startu podano bodajże rok 1987. Od tego czasu na prawie każdej konferencji poświęconej astronomii rentgenowskiej można posłuchać referatów wykazujących wyższość tego instrumentu nad innymi (istniejącymi już bądź planowanymi) detektorami promieniowania X. A SAX jak nie latał tak nie lata, i moment jego startu coraz bardziej oddala się w przyszłość... Z rozmów prywatnych zorientowałem się, iż mała jest szansa, by ten satelita spojrzał na niebo przed rokiem 2000.

Równie ważne jak oficjalne sesje referatowe i plakatowe (a może nawet ważniejsze) są rozmowy w kuluarach. Chodzi o to, że w trakcie tychże oficjalnych spotkań uczestnicy – z wyjątkiem rzadkich wypadków opisanych przed chwilą – raczej starają się jednak prezentować sprawdzone wyniki prac przynajmniej częściowo zakończonych. W prywatnych rozmowach ludzie czują się swobodniej i chętniej opowiadają o swej aktualnej działalności, zamierzeniach, wymieniają luźne jeszcze idee czy wręcz puszczają wodze fantazji.

Takie rozmowy często owocują konkretną współpracą naukowców z różnych ośrodków.

Oczywiście najprzyjemniej się rozmawia w miłym otoczeniu, przy lampce wina lub szklance piwa. Warto więc znaleźć jakąś sympatyczną knajpkę. Trzeba jednak uważać, bo można łatwo narazić się na pewne nieprzyjemności. Kiedyś w Manchesterze ja i paru innych uczestników konferencji postanowiło wypić po pincie *Carling Black Label* lub jakiegoś innego znakomitego piwa. Nikt z nas nie znał za dobrze miasta. Wstąpiliśmy do niepozornego, lecz miło wyglądającego i pustego pubu, który po chwili zaczął się jednak wypełniać. Okazało się, że jest to punkt spotkań miejscowych transwestytów...

I tak oto dotarliśmy do bardzo ważnego zagadnienia, a mianowicie co robić z wolnym czasem. Organizatorzy niektórych konferencji oferują do wyboru dużo imprez, w tym nawet całodniowe wycieczki krajoznawcze. Ponieważ formalni uczestnicy konferencji powinni mimo wszystko przebywać na obradach, takie wycieczki przeznaczone są w zasadzie dla osób towarzyszących, których może być dość sporo. Dla ludzi mieszkających na Zachodzie koszty podróży i hotelu nie muszą być absurdalnie wysokie, dlatego Włosi często przywożą całe rodziny, a inni – swoje żony. Już się poprawiam – *współmałżonków* (przeurocza pani redaktor Joanna Mikołajewska krzepko dzierży w swych ślicznych rączkach sztandar wojującego feminizmu i boję się, by drzewcem tego sztandaru nie dostać w łeb). Dla regularnych uczestników przeznacza się inne imprezy.

Astronomowie z definicji są osobnikami niezwykle kulturalnymi, dlatego oferowana przez organizatorów rozrywka w czasie wolnym od zajęć też musi być nadzwyczaj kulturalna. Najłatwiej zaprowadzić uczestników na koncert, bo prawie każde miasto, nawet małe, ma jakąś filharmonię, salę koncertową, lub przynajmniej katedrę z organami. Muszę przyznać, że osobiście mam dość negatywne doświadczenia, jeśli chodzi o koncerty. Ja raczej lubię muzykę poważną, jednak nie przypominam sobie, by wykonawcy słuchani przeze mnie przy okazji różnych konferencji prezentowali poziom wyższy niż przeciętny. To samo dotyczy niestety innych imprez. W czasie którejś krajowej konferencji zaprowadzono nas do teatru na *Tango* Mrożka. Nie muszę mówić, że dramat to znakomity, ale inscenizacja okazała się fatalna.

Na szczęście bywają też imprezy o niższym ciężarze gatunkowym. W Polsce jest to nieśmiertelne pieczenie kiełbasek nad ogniskiem, w innych krajach z reguły dość elegancki obiad. Organizatorzy jednej z konferencji w Anglii zaprosili uczestników do restauracji nepalskiej. („Zaprosili" to może za dużo powiedziane, bo za tę przyjemność musieliśmy dodatkowo zapłacić.) Dodatkową atrakcją był występ tancerki brzucha. Po występie solowym zaczęła ona zapraszać do tańca różnych panów. Trzeba było zobaczyć Alara Toomre'a, wielkiego, grubego i łysego profesora z Massachusetts Institute of Technology, jak próbował dotrzymać kroku skąpo ubranej i ponętnie wyginającej się egzotycznej dziewczynie!

Czasami konferencja odbywa się w niezbyt dużym mieście. Może się wtedy zdarzyć, że burmistrz i rada miejska poczują się tak zaszczyceni faktem wybrania ich miejscowości na obrady, iż zaproszą uczestników na obiad. Koszty takiej imprezy ponoszą wówczas miejscowi podatnicy. Nie ma jednak nic za darmo: zanim można przystąpić do konsumpcji, trzeba wysłuchać długich i kwiecistych przemówień, w których miejscowi notable czują się niesłychanie wyróżnieni faktem goszczenia tak znamienitych uczonych, a uczestnicy konferencji zapewniają, iż w życiu nie spotkało ich równie gorące przyjęcie. Takie przemowy mogą skutecznie odebrać apetyt przed posiłkiem.

Czy konferencje spełniają oczekiwania naukowców? Innymi słowy: czy warto jest na nie jeździć, czy nie? Moim zdaniem odpowiedź brzmi: tak, warto, ale tylko na te, których tematyka jest zgodna z zainteresowaniami potencjalnego uczestnika, a nazwiska organizatorów i głównych prelegentów (podawane w ogłoszeniach reklamujących konferencje) gwarantują wysoki poziom naukowy. Niestety, wśród naukowców rozwinął się ostatnio gatunek zwany *homo conferentius*. Głównym zadaniem osobników tego gatunku jest uczestniczenie w jak największej liczbie konferencji, zaś pozostałe funkcje życiowe schodzą na plan dalszy. Obawiam się, że ludzie ci niedługo zaobserwują u siebie – podobnie jak Dzielny Wojak Szwejk – wyraźne objawy idiotyzmu, szczególnie pod wieczór...

Michał Czerny

Słońce - rewolucjonista ?

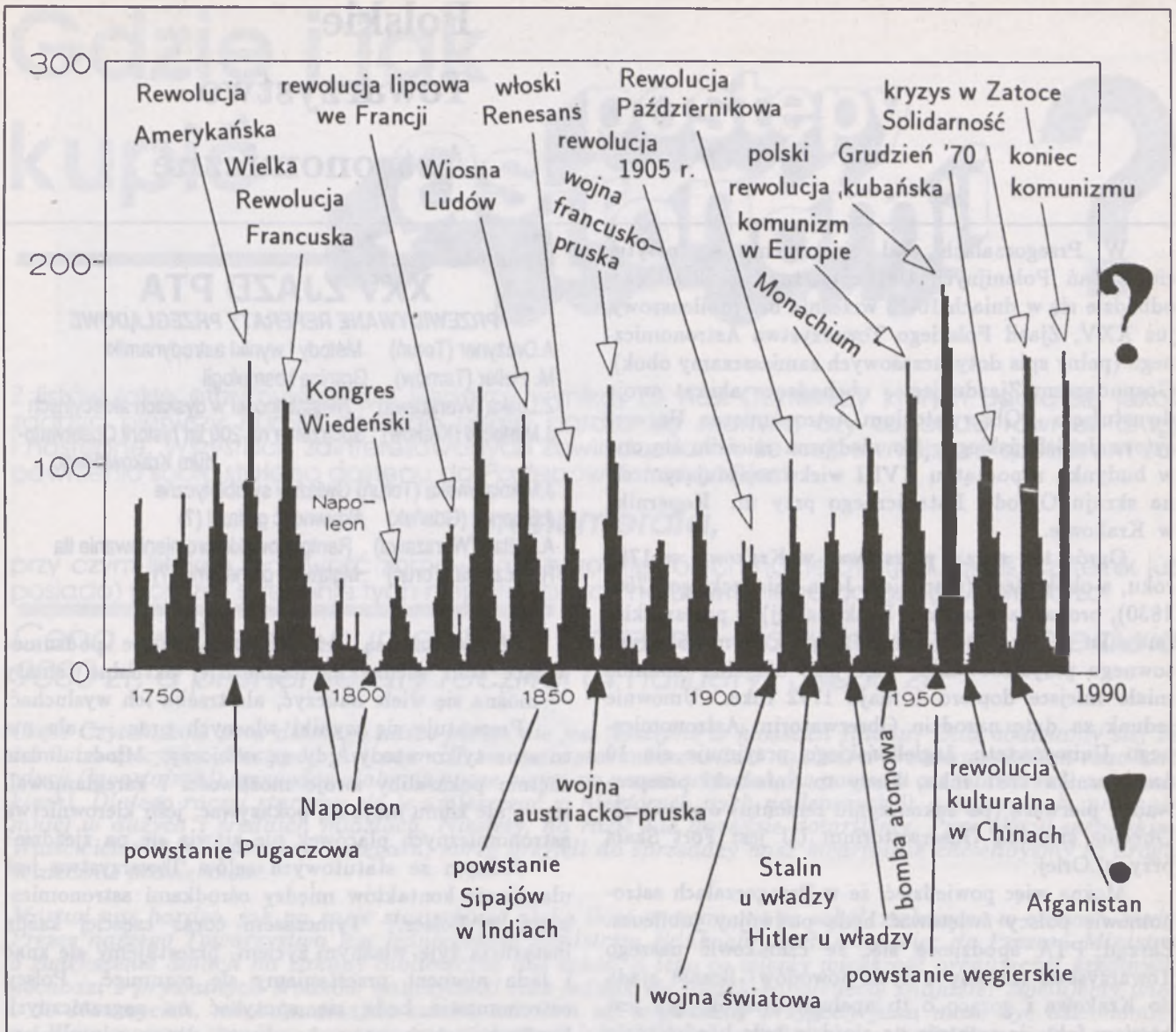
Czy przyczyną rewolucji jest aktywność słoneczna ? Tak - odpowiedziałby pewnie każdy, kto widział rysunek w poprzednim numerze PA. Korelacja wielkich wydarzeń historycznych z maksimami aktywności Słońca wydaje się zdumiewająca. Ale czy prawdziwa ?

Popatrzmy jeszcze raz na ten rysunek - tym razem u jego dołu zostały zaznaczone różne wydarzenia przypadające w latach spokojnego Słońca. Ktoś, kto nigdy nie widział górnej części pewnie i tu dostrzegłby znaczną korelację: tyle ważnych zdarzeń przy minimum aktywności Słońca - no, coś w tym musi być...

Nie sposób na podstawie takich rysunków wnioskować poważnie o wpływie Słońca na Historię. Może jest to coś w rodzaju wpływu halnego na ilość bójek na Podhalu, a może po prostu nic w tym nie ma. Dla kogoś, kto miał do czynienia z wnioskowaniem na podstawie danych statystycznych podobne diagramy to tylko nieszkodliwe żarty.

Ale opinia publiczna nie zna się na statystyce, ani na żartach, a za to lubi proste, zrozumiałe dla każdego teorie skutecznie objaśniające świat. Taka teoria zaczyna się od prostego obrazka, na którym widać wszystko. Aktywne (spokojne) Słońce wywołuje rewolucje ? Ależ tak - wystarczy spojrzeć na górny (dolny) rysunek ! Na poparcie wybranej tezy dobieramy pasujące do niej zdarzenia (a jest z czego wybierać - co roku dzieje się coś ważnego), zaś zdarzenia nie pasujące dyskretnie pomijamy. Gdy atakują sceptycy mówimy np., że nasze zdarzenia są ważniejsze, albo, że oni wybrali to, co się działo poza Europą. Można też od razu użyć argumentu, że jako przedstawiciele skostniałej nauki oficjalnej boją się nowych, ożywczych prądów i nie widzą rzeczy oczywistych. A i statystyki się uczyć nie trzeba.

Mniej więcej w taki sposób powstają liczne pseudonaukowe teorie: staranna selekcja faktów na poparcie wziętej z powietrza tezy, a jeśli coś się nie zgadza, to zawsze można wymyśleć dodatkowy powód, by odrzucić kłopotliwe fakty. Jeśli zaś zbiór faktów jest wystarczająco duży, to nie może się nie udać.



Liczba Wolfa, czyli liczba plam na Słońcu, w funkcji czasu. Wyraźnie widoczny jest 11–letni cykl aktywności słonecznej

I potem czytamy w piśmie ilustrowanym, albo słyszymy w radio, że np. urodzeni pod znakiem Muflona przy występującym węźle Jowisza podczas nowiu w perygeum to zwykle ludzie silnej woli, o zdolnościach do gry w warcaby, ich szczęśliwy numer to 23, a kamień - piaskowiec. Uczą się szybko i są lubiani przez przyjaciół, a genialnych odkryć dokonują we wtorki, chyba, że akurat w niedzielę dowodzili zwycięską armią. Należeli do nich: Napoleon, Nelson, Walendziak, Kwaśniewski, Strumpfvogel i Papapadopoulos.

No i faktycznie - wszystko się zgadza ! Coś w tym musi być...

Mirosław Panek

Polskie Towarzystwo Astronomiczne

W Przegorzałach pod Krakowem, w Instytucie Badań Polonijnych Uniwersytetu Jagiellońskiego, odbędzie się w dniach 10-13 września br. jubileuszowy, już XXV, Zjazd Polskiego Towarzystwa Astronomicznego (pełny spis dotychczasowych zamieszczamy obok). Gospodarzem Zjazdu jest - obchodzące akurat swoje dwustulecie - Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Jagiellońskiego. Do niedawna mieściło się ono w budynku z początku XVIII wieku znajdującym się na skraju Ogrodu Botanicznego przy ul. Kopernika w Krakowie.

Ogród ten zaczął powstawać w Krakowie w 1783 roku, a obok niego (staraniem Jana Śniadeckiego(1756-1830), profesora Akademii Krakowskiej) w pojezuickim budynku — Obserwatorium. Budynek wymagał gruntownego przystosowania, więc jego oficjalne otwarcie miało miejsce dopiero 1 maja 1792 roku. Umownie jednak za datę narodzin Obserwatorim Astronomicznego Uniwersytetu Jagiellońskiego przyjmuje się 10 października 1791 roku, kiedy to Śniadecki przeprowadził pierwszą (po zakończeniu remontu) obserwację. Obecnie siedzibą Obserwatorium UJ jest Fort Skała przy ul.Orlej.

Można więc powiedzieć, że w Przegorzałach astronomowie polscy świętować będą podwójny jubileusz. Zarząd PTA spodziewa się, że członkowie naszego Towarzystwa (choćby z tych powodów) licznie zjadą do Krakowa i gorąco o to apeluje. Niepokojący jest bowiem fakt, że ostatnio na zjeździe było bardzo mało Kolegów. A tymczasem jest to nasza organizacja, i tylko od nas zależy, jak będzie działać.

Na zjeździe wybieramy Zarząd — trzeba mieć z kogo wybierać. W końcu tym ludziom powierzamy na dwa lata ster Towarzystwa, oni są zobowiązani do realizowania celów wyznaczonych przez Walne Zebranie. Walne Zebranie jest też znakomitą okazją do przedstawienia wszelkich problemów polskiej astronomii i, co więcej, do poszukiwania ich rozwiązań.

XXV ZJAZD PTA

PRZEWIDYWANE REFERATY PRZEGLĄDOWE

A.Drożyner (Toruń) Metody i wyniki astrodynamiki
M. Heller (Tarnów) Granice kosmologii
Z.Loska (Warszawa) Niestabilności w dyskach akrecyjnych
J.Mietelski (Kraków) Spojrzenie na 200 lat historii Obserwatorium Krakowskiego
J.Mikołajewska (Toruń) Gwiazdy symbiotyczne
J.Sikorski (Gdańsk) Aktywność gwiazd (?)
A.Sołtan (Warszawa) Rentgenowskie promieniowanie tła
R.Szczerba (Toruń) Mgławice planetarne (?)

Wygłaszane są referaty przeglądowe podsumowujące stan wiedzy na najbardziej aktualne tematy — można się wiele nauczyć, ale trzeba ich wysłuchać.

Prezentuje się wyniki własnych prac — ale ma to sens tylko wtedy, gdy są odbiorcy. Młodzi ludzie chętnie pokazaliby swoje możliwości i zareklamowali się — ale komu mają się pokazywać, jeśli kierownictwa astronomicznych placówek nie zjawią się na zjeździe?

Jednym ze statutowych celów Towarzystwa jest ułatwianie kontaktów między ośrodkami astronomicznymi w Polsce. Tymczasem coraz częściej każda instytucja żyje własnym życiem, przestajemy się znać i lada moment przestaniemy się rozumieć. Polscy astronomowie będą się spotykać na zagranicznych konferencjach i może się okazać, iż ze zdumieniem odkryją, że np. robią to samo, ale o tym nie wiedzieli (mam oczywiście nadzieję, że do tego nie dojdzie i że przedstawiony tu obrazek jest bardzo przerysowaną karykaturą). Podobno łatwiej jest zapobiegać niż leczyć.

Dlatego ponawiam apel - Zarząd gorąco zaprasza do Krakowa!

DO ZOBACZENIA!!!

M. Sroczyńska

HISTORIA ZJAZDÓW POLSKIEGO TOWARZYSTWA ASTRONOMICZNEGO

Nr		*Termin*		*Miejsce Zjazdu*	*Wybrany Prezes Walnego Zebrania*
1	*19*	*II*	*1923*	*TORUŃ*	*T.Banachiewicz*
2	*29-30*	*VII*	*1934*	*WARSZAWA*	
3	*10-11*	*X*	*1948*	*WROCLAW*	*E.Rybka*
4		*IX*	*1950*	*POZNAŃ*	*J.Witkowski*
5	*16-17*	*XII*	*1952*	*WARSZAWA*	*W.Zonn*
6	*1*	*VII*	*1954*	*SUWALKI*	*W.Zonn*
7	*14-16*	*XII*	*1955*	*POZNAŃ*	*W.Zonn*
8	*16*	*XII*	*1956*	*WROCLAW*	*S.Piotrowski*
9	*25-27*	*VI*	*1959*	*WROCLAW*	*A.Opolski*
10	*14-16*	*IX*	*1961*	*WARSZAWA*	*A.Opolski*
11	*19-21*	*IX*	*1963*	*TORUŃ*	*W.Zonn*
12	*10-13*	*IX*	*1965*	*OLSZTYN*	*W.Zonn*
13	*26-28*	*X*	*1967*	*WROCLAW*	*W.Zonn*
14	*24-27*	*IX*	*1969*	*CHORZÓW/JASZOW.*	*W.Zonn*
15	*6-9*	*IX*	*1971*	*POZNAŃ/KURNIK*	*W.Zonn*
16	*12-15*	*II*	*1973*	*CHORZÓW*	*W.Zonn*
17	*16-19*	*IX*	*1975*	*GDAŃSK*	*J.Stodółkiewicz*
18	*20-23*	*IX*	*1977*	*KORTOWO k.Olszt.*	*J.Stodółkiewicz*
19	*24-27*	*IX*	*1979*	*WARSZAWA*	*J.Stodółkiewicz*
20	*15-18*	*IX*	*1981*	*KRAKÓW/WIELICZ.*	*J.Stodółkiewicz*
21	*20-23*	*IX*	*1983*	*FROMBORK*	*J.Stodółkiewicz*
22	*17-20*	*IX*	*1985*	*WROCLAW*	*J.Stodółkiewicz*
23	*16-19*	*IX*	*1987*	*GDAŃSK*	*J.Stodółkiewicz*
24	*19-22*	*IX*	*1989*	*BACHOTEK k.Torun.*	*R.Głębocki*
25	*10-13*	*IX*	*1991*	*PRZEGORZALY k.Krakowa*	*?*

Gdzie i jak kupić postępy astronomii?

Z listów jakie otrzymujemy do Redakcji wynika, że nasi Czytelnicy którym udało się jakoś zdobyć pierwszy numer naszego pisma bardzo się martwią czy zdobędą również drugi i następne. Wszystkich zainteresowanych zawiadamiamy, że najpewniejszym sposobem zapewnienia sobie stałego dostępu do *Postępów Astronomii* jest

prenumerata,

przy czym istnieje możliwość zamawiania tylko niektórych numerów (jeśli jakieś Czytelnik już posiada) poprzez skreślenie tych niepotrzebnych na odwrocie załączonego formularza.

Cena jednego numeru w dalszym ciągu wynosi zaledwie 9000 zł, a prenumeraty rocznej (4 numery) 36000 zł.

Część Czytelników pyta dlaczego nasze pismo nie jest dostępne w kioskach Ruchu? Otóż obawiamy się, że zarówno specyfika „Postępów Astronomii", na razie stosunkowo niski nakład, a przede wszystkim rzadkość edycji (kwartalnik!) spowodowałaby, iż nasze pismo po prostu utonęłoby w powodzi czasopism zalewających kioski. Dlatego raczej staramy się je umieszczać w niektórych, tych najlepszych(!), księgarniach, przynajmniej w dużych i średnich miastach. Niestety, na razie nie wszędzie dotarliśmy. Przy okazji wszystkim Właścicielom i Kierownikom księgarń, którzy przyjęli do sprzedaży nasz kwartalnik chcielibyśmy tą drogą serdecznie podziękować.

Martwi nas bardzo, jak na razie stosunkowo niska ilość prenumerat ze szkół, zwłaszcza w czasach kiedy Prezes naszego Towarzystwa jest jednocześnie Ministrem Edukacji! Apelujemy więc do Prezesa–Ministra o zwiększenie dotacji na zakupy biblioteczne dla szkół! Z tego co wiemy większość prenumerat szkolnych pochodzi z prywatnych środków nauczycieli! Iluż jednak się takich zapaleńców znajdzie? Apelujemy więc i do Nauczycieli, nie odmawiajcie swoim uczniom tej wspaniałej przygody jaką może być astronomia, a i Wam możemy pomóc w prowadzeniu niektórych lekcji! Wszak współczesna astrofizyka to jeden z najdynamiczniej rozwijających się działów fizyki. I jakże oddziaływający na wyobraźnię! Jeśli Wasi uczniowie nie pytają Was o czarne dziury, o początek Wszechświata, o kwazary i neutrina, może to być groźny sygnał, że tracicie kontakt z klasą. Redakcja „Postępów Astronomii" ma nadzieję Wam pomóc.

WYPEŁNIĆ I WYCIĄĆ

Dla wpłat na rachunki w innych bankach

Pokwitowanie dla wpłacającego

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla posiadacza rachunku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla banku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

● Adresy księgarń, w których można kupić *„Postępy Astronomii"*

- Grójec, ul. Piłsudskiego 6
- Katowice, księg. *„Nauka"*, ul. Warszawska 11
- Kraków, księg. *„Ossolineum"*, Rynek Główny 4
- Kraków, Księg. Wydawnictw Naukowych *„Elefant"*, ul. Podwale 6
- Kraków, księg. *„Irys"*, Rynek Główny 23
- Kraków, księg. *„Skarbnica"*, os. Centrum C Bl. 1
- Lublin, ul. Krakowskie Przedmieście 62
- Łódź, księg. *„Pegaz"*, ul. Piotrkowska 47/49
- Olkusz, ul. Kościuszki 14
- Piotrków Tryb., *„Dom Książki"*, ul. Słowackiego 1
- Puławy, KMPiK, ul. Lubelska 25
- Radom, księg. naukowo-techniczna *„Bis"*, ul. 25 czerwca 26/32
- Warszawa, Główna Księg. Naukowa im B. Prusa, ul. Krakowskie Przedmieście 7
- Warszawa, ORWN PAN, Pałac Kultury i Nauki
- Warszawa, księg. *„MDM"*, ul. Piękna 31/37
- Warszawa, Główna Księg. Techniczna, ul. Świętokrzyska 14
- Toruń, księg. *„Comer"*, ul. Konstytucji 3 Maja 10
- Toruń, *Księgarnia Naukowa*, Rynek Staromiejski
- Zawiercie, *„Dom Książki"*, ul. 3 Maja 11

● Ponadto *„Postępy Astronomii"* można nabyć w planetariach i obserwatoriach:

- Śląskim Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym w Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie
- Olsztyńskim Planetarium i Obesrwatorium Astronomicznym, al. J. Piłsudskiego 38
- Planetarium Grudziądzkim, ul. Krasickiego 1/7, Zespół Szkół Chemiczno-Elektrycznych
- Planetarium Warszawskim, Muzeum Techniki w Pałacu Kultury i Nauki
- Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Piwnice pod Toruniem

● oraz osobiście w Redakcji: Bartycka 18, 00-716 Warszawa u B. Czerny, wtorki 12-14 tel. 41-00-41 w.40

UWAGA
WŁAŚCICIELE I KIEROWNICY KSIĘGARŃ
DYSTRYBUTORZY KSIĄŻEK I CZASOPISM

Poszukujemy chętnych do sprzedaży, dystrybucji i kolportażu kwartalnika

postępy astronomii

prosimy o listowny kontakt z Redakcją: *„Postępów Astronomii"*, Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika PAN, ul. Bartycka 18, 00-716 Warszawa

lub telefoniczny:
Bożena Czerny: 41-00-41 w. 40 Warszawa
Joanna i Maciej Mikołajewscy: 48-71-44 Toruń

Na wszystkich częściach blankietu należy wpisać czytelnie atramentem, długopisem lub pismem maszynowym jednakowo kwotę cyframi, imię i nazwisko wpłacającego, jego adres, siedzibę oddziału banku, w którym prowadzony jest rachunek oraz numer i nazwę tego rachunku.

Symbol planu kasowego .....

5-31-4020/I
Zam. 938/S WA-Gk zam. z 29.III.90 DIA/90 109/90 W&P Malbork

Rodzaj zobowiązania:

Zamówienie (prenumerata) na następujące numery *„Postępów Astronomii"* w roku 1991 (niepotrzebne skreślić):

1 – 2 – 3 – 4

razem: ..... **zł.**

Bank nie odpowiada za treść korespondencji pochodzącej od osób trzecich

Za skutki wynikłe z mylnego wypełnienia blankietu ponosi odpowiedzialność wyłącznie wpłacający.

SERDECZNIE

ZAPRASZAMY

na serie odczytów przeznaczonych dla wszystkich miłośników astronomii. Odczyty odbywają się w semestrze jesiennym i semestrze wiosennym.

Warszawa: *Centrum Astronomiczne im. M. Kopernika, Bartycka 18, poniedziałki, godz. 17.00*

Toruń: *sala kinowa Ratusza Staromiejskiego, poniedziałki, godz. 18.00; po wykładzie herbatka w piwnicach domu Kopernika*

Dokładne terminy, tematy i nazwiska wykładowców podawane są na plakatach.

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

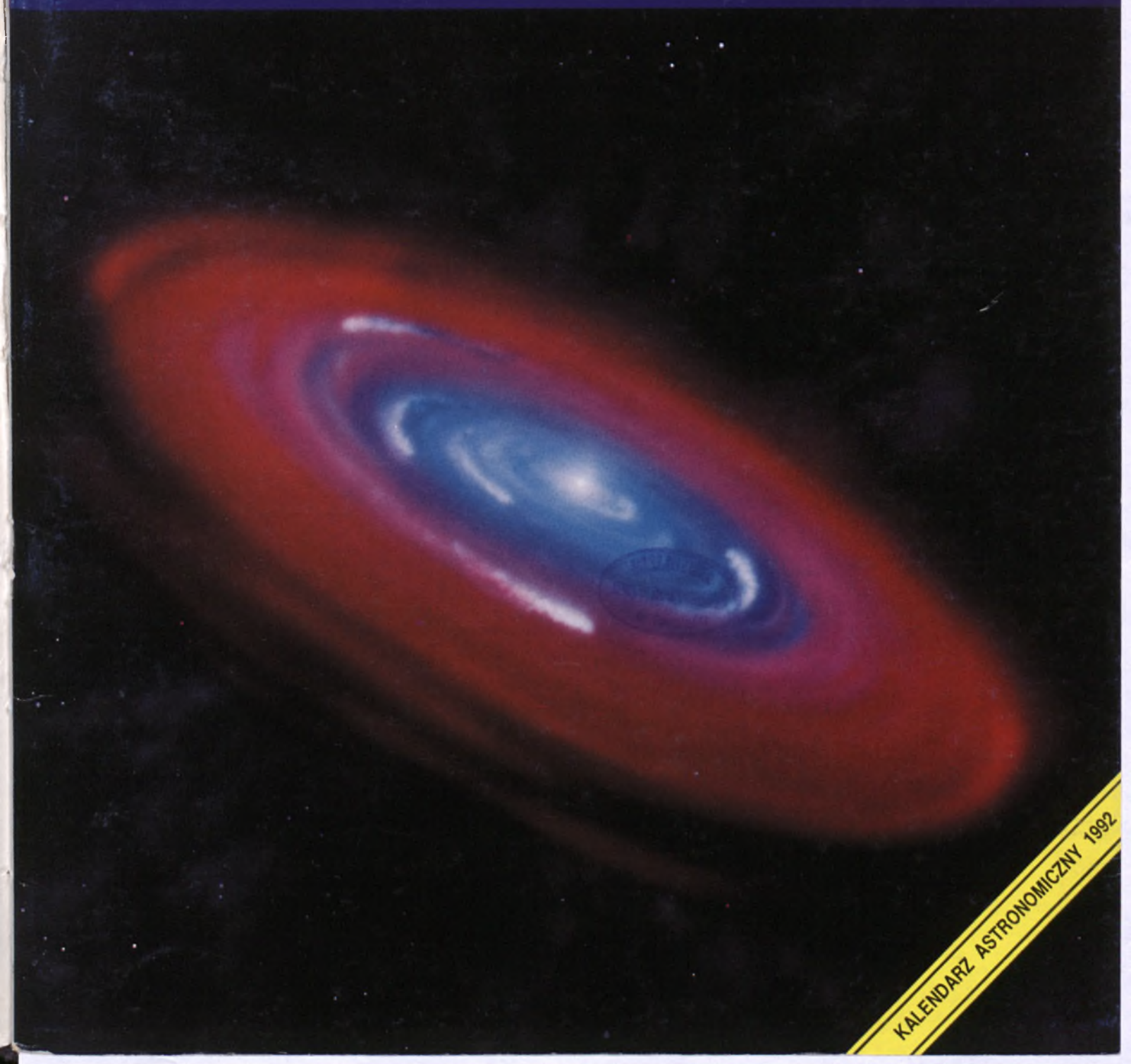
. . . budynek Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego mieszczący się w Alejach Ujazdowskich, naprzeciw Ogrodu Botanicznego (patrz artykuł wewnątrz numeru).

---

postępy astronomii

TOM 39
ZESZYT 4
PAŹDZIERNIK–
GRUDZIEŃ
1991

POLSKIE TOWARZYSTWO ASTRONOMICZNE



KALENDARZ ASTRONOMICZNY 1992

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. Warunki nabywania i warunki prenumeraty – na końcu numeru.

Kolegium Redakcyjne:
Bożena Czerny
Joanna Mikołajewska
Maciej Mikołajewski

Współpraca: Jacek Drążkowski

Projekt okładki:
Tadeusz Jodłowski

Adres Redakcji:
Centrum Astronomiczne
im. Mikołaja Kopernika PAN
ul. Bartycka 18; 00-716 Warszawa
tel. 41-00-41 w. 48 **(B.Cz.)**
lub
Instytut Astronomii UMK
ul. Chopina 12/18; 87-100 Toruń
tel. 260-18 w. 53 lub 116-55
(J.& M.M.)

Poczta elektroniczna
(E-mail address):
MAMIKO@PLTUMK11.bitnet

Skład komputerowy: Redakcja

Przedruk materiałów i zdjęć tylko za zgodą Redakcji.
Materiałów nie zamówionych Redakcja nie zwraca.

Druk: Zakład Poligraficzny **„ZINA"**
Warszawa ul. Bartycka 24 tel. 41 11 62

UWAGA
WŁAŚCICIELE
I KIEROWNICY KSIĘGARŃ

DYSTRYBUTORZY KSIĄŻEK
I CZASOPISM

KOLPORTERZY

Poszukujemy chętnych do
sprzedaży, dystrybucji i kolportażu
kwartalnika

postępy astronomii

prosimy o listowny kontakt z Redakcją:
„Postępów Astronomii",
Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika
PAN, ul. Bartycka 18,
00-716 Warszawa

lub telefoniczny:
Bożena Czerny: 41-00-41 w. 48 Warszawa
Joanna i Maciej Mikołajewscy: 48-71-44 Toruń

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . „artystyczną" wizję bliskiego otoczenia gwiazdy β Pictoris, wykonaną przez zespół obserwatorów posługujący się Teleskopem Kosmicznym Hubble'a (spektrograf GHRS). Dysk otaczający tę młodą gwiazdę jest najlepiej znanym przykładem prawdopodobnej mgławicy protoplanetarnej, zapewne bardzo podobnym do tego, z którego wyłoniły się kiedyś planety Układu Słonecznego. Interesujące szczegóły na temat tego układu jak również sensacyjne doniesienia o odkryciach planet wokół pulsarów, wewnątrz numeru (str. 172-174).

Pierwszy rok mamy z głowy! Zostaliśmy chyba zaakceptowani nie tylko przez Czytelników, ale i przez własne środowisko astronomów. Świadczy o tym fakt, że wreszcie przestaliśmy mieć kłopot ze zdobywaniem tekstów. Astronomowie czytają nasze pismo, zrozumieli o co nam chodzi i zaakceptowali nasz styl. Koniec więc z kliką autorską Czernych z Mikołajewskimi – redakcyjna półka rośnie, jeszcze więcej artykułów mamy obiecanych! Możemy więc nie tylko zapowiedzieć już szereg atrakcji na przyszły rok (trzecia strona okładki) ale i będziemy chyba mieli w czym wybierać! Aż żal, bo sami też bardzo lubimy pisać! Klika, z autorskiej przekształca się w redakcyjną i w stopce mógł ujawnić się, występujący do tej pory incognito, Redaktor. W dalszym ciągu interesują nas opinie o naszej pracy i chociaż coraz mniej mamy miejsca na listy (pierwsze reklamy!), zapewniamy, że wszystkie czytamy i staramy się odpowiadać. W dalszym ciągu chcemy jak najbardziej różnicować tematykę, co przy objętości jaką dysponujemy, jest możliwe tylko poprzez publikację dużej ilości krótkich tekstów. A z opinii, które słyszeliśmy, najciekawsze wydaje nam się, że dowcipy Jacka Drążkowskiego najbardziej śmieszą właśnie astronomów. Widać jest to dział wymagający najwyższego stopnia wtajemniczenia i jasne, że z tej kategorii Czytelników nie zrezygnujemy! Po tej solidnej porcji wykrzykników zostało mało miejsca na omówienie niniejszego numeru. A więc co wybraliśmy?

Serię artykułów rozpoczynają i kończą teksty poświęcone projektom badawczym dotyczącym obserwacji bezpośrednich efektów teorii względności: soczewkowania grawitacyjnego i detekcji fal grawitacyjnych. Szczególnie nam miło, że pierwszy z tych projektów, jest projektem polskim. Polska astronomia, jak chyba rzadko która z dyscyplin podstawowych, doskonale funkcjonuje w światowym obiegu informacji i takich polskich akcentów będzie znajdował Czytelnik coraz więcej. Poza, coraz chyba ciekawszym działem „W kraju...", nie można zapominać o polskich astronomach, którzy wykształcenie i pierwsze szlify uzyskali w Polsce, chociaż od lat pracują w najlepszych ośrodkach na świecie. Krótką wiadomość jednego z takich astronomów, na temat fantastycznego odkrycia dokonanego przez innego (planety poza Układem Słonecznym!) wykorzystujemy w numerze. Mamy nadzieję, że ani autor notki, ani odkrywca nie wezmą nam tego za złe. Planetom właśnie (jakże różnym!), poświęcony jest środek numeru. Wiele emocji tegorocznego lata wzbudziła wyjątkowo silna aktywność Słońca i mrożące krew w żyłach informacje na ten temat przebiegły całą prasę codzienną. Autorzy, których poprosiliśmy o skomentowanie tych wydarzeń nie ulegają aż tak silnym emocjom, ale drukowana pod wspólnym tytułem relacja, mamy nadzieję, wiele wyjaśni. Niejako z rozpędu dołączamy do tego cyklu tekst o wciąż zagadkowych neutrinach słonecznych. Mamy nadzieję, że miłym upominkiem, nie tylko dla początkujących miłośników astronomii, będzie, chyba zwarty i prosty, Kalendarz Astronomiczny. Zapraszamy jeszcze do naszego ZOO na spotkanie z ρ Casiopeiae, a zwolennikom naszej eseistyki, proponujemy tekst niezwykły, zwłaszcza, że napisany przez ... matematyka. I taki jest ten numer. Życząc Czytelnikowi ciekawej lektury, przypominamy o prenumeracie (informacja na końcu zeszytu), a sami chcąc nadrobić trapiące nas opóźnienie już zaczynamy składać kolejny numer. Do zobaczenia w pierwszym zeszycie 1992!

REDAKCJA

Bank Adresów całej Polski

Oferujemy gotowy spis komputerowy wszystkich (ponad 200 tysięcy) firm, przedsiębiorstw i instytucji w Polsce, który jest ciągle aktualizowany

przemysł, handel hurt. i detal., budownictwo, rolnictwo, leśnictwo, transport, łączność, gospodarka komunalna i mieszkaniowa, uczelnie, szkoły, kultura, ochrona zdrowia, turystyka, administracja, organizacje i związki..

Nie proponujemy Twojej firmie wpisania się do naszego katalogu! Dlaczego? - Ponieważ mamy adresy wszystkich firm. Oferujemy gotowy system wraz z adresami

Od października również telefony, teleksy i fax'y!

W skład systemu wchodzą: program sterujący na IBM PC oraz baza adresowa. Wybór adresów następuje na podstawie charakteru działalności (gałęzi i branży gospodarki), numeru SWW, lokalizacji, formy własności bądź tylko znanej nazwy szukanej firmy. Dysponując spisem wszystkich adresatów możesz z łatwością odnaleźć np. wszystkich producentów gwoździ, hurtownie odzieżowe w danym województwie, bądź swoją własną firmę (podając tylko jej nazwę). System ten jest niezbędny dla wszystkich zajmujących się handlem i marketingiem. Adresy można drukować na samoprzylepnych etykietach, co usprawnia wysyłkę korespondencji.

QUART ul. Chrobrego 12
80-423 Gdańsk
tel (0-58) 41-45-62

Autoryzowani dealerzy:
"OZI", ul. Słupecka 4/74, 02-309 Warszawa, tel/fax (0-22) 22-97-19
"CDN", ul. Bandtkiego 11, 30-129 Kraków, tel (0-12) 36-30-60
"SIMA", ul.Ligonia 31/3, Katowice, tel (0-32) 155-10-75
"A.S.", ul. Bażyńskich 38/23, 87-100 Toruń, tel (0-56) 309-28

Ceny:

Program sterujący wraz z dokumentacją	1,150,000
Przemysł (34,800 adresów)	2,700,000
Budownictwo (13,800 adresów)	800,000
Transport (5,000 adresów)	200,000
Handel (60,000 adresów)	1,800,000
Finanse i ubezpieczenia (3,400 adresów)	200,000
Całość (program + 214,000 adresów)	**4,850,000**

Zasady dokonywania aktualizacji:
Pierwsza (najbliższa) aktualizacja za darmo.
Każda następna płatna 25 % ceny bazy adresowej.

Usługi:
Na życzenie wykonujemy usługi w postaci wydruku określonych adresów (na samoprzylepnych etykietach). Wysyłamy formularz zamówienia. Cena od 100 zł/adres

Wymagania sprzętowe:
- ✔ Komputer IBM PC/XT/AT/386/486
- ✔ 384 kB RAM
- ✔ System operacyjny MS-DOS lub PC-DOS
- ✔ Zalecany dysk twardy

UWAGA: Dzięki zastosowaniu zaawansowanych metod kompresji danych, całość bazy adresowej (214,000 adresów) zajmuje tylko 6.2 MB

Inne oferowane programy:
- ✔ Taryfa Celna
- ✔ Obsługa Składów Celnych
- ✔ Komputerowa Księga Podatkowa
- ✔ Gospodarka Magazynowa

Wysyłamy dyskietkę DEMO

Listy Czytelników

Dowiedziałem się z *Postępów Astronomii* (2/91), że byłem konsultantem części naukowej sesji zorganizowanej przez SCAALiA w Skawinie. Oświadczam, że tego dnia byłem obecny w Warszawie korzystając z delegacji Polskiego Towarzystwa Astronomicznego, nie mogłem więc być w Skawinie. Także przed Sesją nie dokonałem żadnej konsultacji SCAALiA. O mającej się odbyć sesji wiedziałem od pana Lecha Palczewskiego prowadzącego Centrum i jako sekretarz PTMA delegowałem na tę sesję pracownika PTMA, który po powrocie ze Skawiny oświadczył, że sesja nie odbyła się. Jest mi wiadomym od pana L. Palczewskiego, że on sam nie pracuje już w Skawinie, a Skawińskie Centrum Amatorskiej Astronomii, Lotnictwa i Astronautyki obecnie nie istnieje.

Henryk Brancewicz – Kraków

Red. Przepraszamy, za nierzetelną informację. Musimy być bardziej czujni! Nawiasem mówiąc, niemal identyczna notka ukazała się w *Astronautyce* (2/91, str.14)

Szanowna a piękna Redakcjo!
Asumptem do napisania była dla mnie niby-recenzja pt. *RECENZJA* (PA 2/91), w której Pani Redaktor „schlastała" książkę anonimowego wariata. Właśnie po przeczytaniu *RECENZJI* nabrałem ochoty na przeczytanie książki, bo lubię osobiście się przekonać. Proszę o zdradzenie tytułu – dyskrecję na życzenie obiecuję!

Nie jestem astronomem, tylko „miłośnikiem", a więc amatorem (wprawdzie mam doktorat, ale z hydrodynamiki). Lubię prace interdyscyplinarne, popularyzujące pogranicze kilku nauk, gdzie autor zawsze w czymś jest amatorem. W *RECENZJI* czytam: „namówienie kogoś do przeczytania pracy amatorskiej jest niemal z góry skazane na niepowodzenie, bo nikt nie wierzy, że coś ciekawego w tej pracy będzie".

A właśnie astronomia jest dziedziną nauki wyjątkowo otwartą i kuszącą dla innych profesji, od matematyki do filozofii, a nawet... teologii. Wielu **amatorów** astronomii złotymi zgłoskami wpisało się w jej dzieje, a jednocześnie wielu zawodowców potknęło się fatalnie (że wymienię tylko pierwotne mapy Merkurego, księżyc wenusjański, kanały na Marsie). Zgoda, że współczesne techniki i metodologia stosowane w astronomii wymagają wysokiej fachowości, ale interpretacja odkryć to również prawo czytelników-amatorów. W innych dyscyplinach mam prawo wygłaszać publicznie opinię o książce, filmie, koncercie symfonicznym – inną od głoszonej przez fachowców, choć nie jestem literatem, filmowcem, muzykiem. Mam prawo do niepochlebnej opinii o atrykule np. w *National Geographic*, a oni wydrukują ją, o dziwo, choć nie jestem geografem!

Czy mam więc rozumieć, że PA chcą być hermetycznie zamkniętym poletkiem – dla amatorów tylko do czytania i ewentualnego pochwalenia, a nigdy do wrzucenia „kamyczka"?

Eugeniusz Filipowicz – Sopot

Red. Tytułu książki nie zdradzimy. *RECENZJA?* miała być po prostu recenzją. Powstała na zamówienie naszych kolegów, nauczycieli, którzy prosili o krucjatę przeciwko takim bredniom. Nie daliśmy rady!

Nie jesteśmy pismem naukowym, drukującym prace oryginalne (te powinny być wydawane w językach kongresowych), ale pismem *o nauce*. Artykuły zamawiamy wg własnej koncepcji kolejnych zeszytów i poza opracowaniem redakcyjnym nie są one recenzowane. W związku z tym, w zasadzie publikujemy teksty wyłącznie astronomów zatrudnionych w jakiejś placówce badawczej, która swoim autorytetem odpowiada za rzetelność warsztatową autora i tekstu. Naszą misję rozumiemy jako dług, który astronomowie powinni spłacić społeczeństwu. I oczywiście każdy może wypowiadać się jak chce o naszych poczynaniach. Astronom, podobnie jak poeta czy muzyk, uprawia tylko swój zawód, przeważnie dlatego, że akurat do tego ma... talent! Nic nie stoi na przeszkodzie, by amatorzy wysyłali swoje prace do pism naukowych. Jeśli okaże się **naukowa**, zostanie zrecenzowana i – jeśli okaże się wartościowa – wydrukowana. Jeśli naukowa nie jest, trafi do kosza, bo nikt nie jest w stanie jej ocenić – po prostu autor pomylił adres. I tyle było w *RECENZJI*.
P.S. Jak widać w stopce, *Kolegium Redakcyjne* zbrzydło o 1/3.

Dziękuję za tak pięknie wydrukowany wywiad z moją nędzną osobą, ale chciałbym sprostować niektóre niedociągnięcia.

Mianowicie na str. 131 jest napisane „To był szczyt graniczny, tak jak Howerla, Grebieniesku i Brasku". Oczywiście powinno być *Brebieniesku*ł i *Breskuł*. Nazwy tych gór pochodzą zapewne z Rumunii, stąd te *-sku*. Ale Huculi mówili po swojemu – Breskuł. Nazwa *Brebieniesku*ł oczywiście zaczynała się od *B*, a nie od *G*. Brebieniesku ł był, zdaje, się już poza granicami Polski.

Moje gratulacje Paniom Redaktorkom, że język polski jest bez takich potknięć jak przed rokiem czy dwoma, kiedy pisano, że „gaz dyspersuje się...", a dawniej i inne dziwolągi.

Jan Mergentaler

Bezpłatną prenumeratę POSTĘPÓW ASTRONOMII fundujemy (bez losowania) Profesorowi Janowi Mergentalerowi. Niech wraz z życzeniami, będzie to nasz skromny, urodzinowy upominek.

Redakcja

W NUMERZE:

148 **Projekt obserwacji mikrosoczewkowania grawitacyjnego**
Marcin Kubiak i Andrzej Udalski

Oto, po latach często bezprzedmiotowej dyskusji, polski, średniej wielkości teleskop w dobrym klimacie astronomicznym, staje się faktem! Najistotniejszym argumentem na rzecz realizacji inwestycji był omówiony w artykule, dobrze umotywowany, ambitny i niebanalny program naukowy, zaproponowany przez zespół astrofizyków Obserwatorium Uniwersytetu Warszawskiego. Czy panorama Obserwatorium Las Campanas w Chile, wzbogaci się niedługo o nowy pawilon warszawskiego, 1-metrowego teleskopu?

151 **Kosmiczna menażeria – najdziwniejsze gwiazdy na niebie:**

Niezwykłe dzieje ρ Casiopeiae *Krzysztof Gęsicki*

Gdyby wiatr słoneczny niósł tyle materii ile niesie wiatr gwiazdowy ρ Cas, po tysiącu lat ze Słońca nie zostałaby ani okruszyna. Jak masywna, jak jasna i na jakim etapie ewolucji musi być gwiazda, która może sobie na to pozwolić? Za kilka tysięcy lat ρ Cas stanie się czerwonym olbrzymem lub gorącą gwiazdą typu WR. Ale czy nie czekając, można to rozstrzygnąć już dzisiaj?

156 **Słońce szaleje – maksimum 22-go cyklu aktywności:**

22 cykl aktywności Słońca (156); Zmiany mocy promieniowania Słońca z 11-letnim cyklem aktywności (160); Toruńskie obserwacje radiowe Słońca na częstotliwości 127 MHz (162); Zagadka słonecznego neutrino (164)

TELESKOP KOSMICZNY HUBBLE'A – PIERWSZY ROK NA ORBICIE

Pierwsze wyniki z Teleskopu Kosmicznego: Jowisz (168); β Pictoris: rodzący się układ planetarny? (172)

donosy ***krótkie nowinki z różnych dziedzin astronomii:***

Odkrycie „dysocjującej" gwiazdy (167); Planeta wokół pulsara PSR 1829-10 ? (174); Aleksander Wolszczan rozwiązuje worek z planetami ?! (175); Nowa nowa: Nova Herculis 1991 (175);

169 *Kalendarz Astronomiczny 1992*

172 **Detektory i detekcja fal grawitacyjnych** *Marek J. Sarna*

Niesferyczne zaburzenie źródła pola grawitacyjnego w konsekwencji skończonej prędkości rozchodzenia się informacji, prowadzi do rozprzestrzeniania się zaburzenia tego pola, czyli propagacji fali grawitacyjnej, ciągłej (np. układy podwójne gwiazd neutronowch) lub impulsowej (np. wybuch supernowej). Bliska już, rutynowa rejestracja takich fal daje nadzieję na rozstrzygnięcie podstawowych problemów teorii grawitacji, astrofizyki i kosmologii.

180 **W kraju...** *Pierwsze w Polsce obserwacje z CCD, w Ostrowiku... (180) i na Suhorze (181); CONVEX C120 w Toruniu (182); Planetarium Grudziądzkie (183)*

186 **Esej:** *ZASADA NIEOCZYWISTOŚCI*

188 ***Polskie Towarzystwo Astronomiczne***

189 ***Indeks tomu 39***

191 ***Gdzie i jak kupić POSTĘPY ASTRONOMII?***

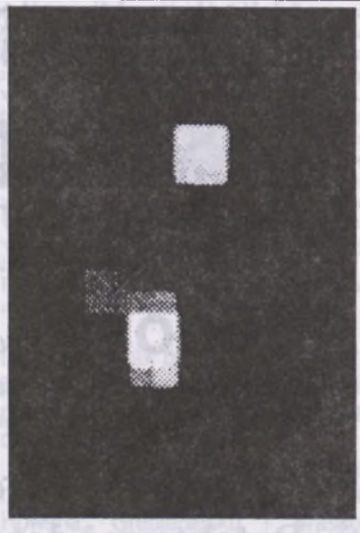
Projekt obserwacji mikrosoczewkowania grawitacyjnego

Marcin Kubiak i Andrzej Udalski

Oto, po latach często bezprzedmiotowej dyskusji, polski, średniej wielkości teleskop w dobrym klimacie astronomicznym, staje się faktem! Najistotniejszym argumentem na rzecz realizacji inwestycji przez Komitet Badań Naukowych był dobrze umotywowany, ambitny i niebanalny program naukowy, zaproponowany przez doświadczony zespół astrofizyków Obserwatorium Uniwersytetu Warszawskiego. Autorzy artykułu, a zarazem współautorzy omawianego projektu, bez żadnych kompleksów biorą się za rozwiązywanie jednego z najciekawszych zagadnień współczesnej astrofizyki. Życząc Im sukcesu, „Postępy Astronomii" obiecują bacznie śledzić zarówno przebieg inwestycji, jak i późniejszą realizację badań.

Kilka lat temu, wraz z rozpowszechnieniem się techniki CCD* obserwacyjna astronomia optyczna uzyskała odbiornik światła o trudnych do przecenienia zaletach: wydajność kwantowa bliska 100%, liniowość w zakresie co najmniej kilku wielkości gwiazdowych, niski poziom szumów, cyfrowa postać sygnału, zdolność rozdzielcza porównywalna z rozdzielczością emulsji fotograficznej, stosunkowo duże rozmiary – by wymienić tylko jego najważniejsze cechy. Odbiorniki CCD stały się nieocenionym instrumentem zwłaszcza przy obserwacjach obszarów nieba zawierających dużą liczbę słabych gwiazd. Dzięki nim dokonał się np. ilościowy i jakościowy skok w obserwacjach gromad, czy też słabych gwiazd zmiennych położonych w gęstych polach gwiazdowych. Po uzyskaniu pewnego doświadczenia w obserwacjach tego rodzaju i „rozsmakowaniu się" w zaletach techniki CCD naturalną pokusą dla obserwatora jest podjęcie próby zbliżenia się do granic jej obecnych możliwości. Taki właśnie zamiar – w sposób mniej lub bardziej świadomy – legł u podstaw opracowanego i realizowanego wspólnie przez astronomów z Obserwatorium w Princeton i w Warszawie projektu obserwacji fotometrycznych efektów mikrosoczewkowania grawitacyjnego.

Zjawisko soczewkowania grawitacyjnego, przewidziane na drodze teoretycznej, znalazło już potwierdzenie obserwacyjne w znanych przykładach zdjęć kwazarów o podwójnych, czy nawet potrójnych obrazach. W przypadkach tych „soczewką" rozszczepiającą obraz kwazara jest położona między nim i nami galaktyka, czyli odległy obiekt o dużej masie. Zjawisko, które dla odróżnienia nazywamy mikrosoczewkowaniem i które jest przedmiotem naszego zainteresowania, odnosi się do obiektów o znacznie mniejszych masach, położonych w naszej Galaktyce. Dokładny ilościowy opis efektów mikrosoczewkowania można znaleźć np. w artykule prof. Bohdana Paczyńskiego, pomysłodawcy projektu i jego realizatora ze strony Obserwatorium Princeton, zamieszczonym w *Astrophysical Journal Letters* (tom 371, str. 63, 1991 rok). W tym miejscu poprzestaniemy na przedstawieniu tylko tych cech zjawiska, które wiążą się bezpośrednio z planowanymi obserwacjami.



Soczewka grawitacyjna Q0957+561 w gwiazdozbiorze Wielkiej Niedźwiedzicy. Dwa jasne kwadraty przedstawiają obraz kwazara rozszczepiony przez galaktykę, której słaby obraz jest widaczny przy dolnej składowej obrazu kwazara. („zdjęcie" CCD po specjalnej obróbce komputerowej, wykonane przez Rudolpha E. Schilda, *Sky & Telescope* September 1991, str. 235).

Obiektami biorącymi udział w zjawisku są: obserwator, zwykła gwiazda naszej Galaktyki, oraz nie określone bliżej ciało o masie M, znajdujące się między gwiazdą i obserwatorem i pełniące właśnie rolę soczewki grawitacyjnej. Jeżeli soczewka znajdzie się dokładnie na linii między gwiazdą i obserwatorem, wówczas

* O detektorach CCD i pierwszych w Polsce obserwacjach wykonanych tą techniką piszemy na str. 180 (przyp. Red)

PIERŚCIEŃ EINSTEINA

Z teorii zjawiska wynika, że jeżeli odległość gwiazdy od obserwatora jest równa D_g, zaś soczewka o masie M jest położona w odległości D_s, to kątowa średnica pierścienia Einsteina wyrażona w sekundach łuku jest równa

$$\phi_0 = 1.008 \times 10^{-3} \times \left(\frac{M}{M_\odot}\frac{8\ \text{kps}}{D_g}\right)^{1/2}\left(\frac{1-D_s/D_g}{D_s/D_g}\right)^{1/2}$$

Przyjmując dla ustalenia uwagi, że odległość od obserwatora do gwiazdy jest taka jak od Słońca do Centrum Galaktyki ($D_g \approx 8$ kps), a soczewka o masie 1 $M_\odot$ jest położona w połowie tej odległości, z powyższego wzoru łatwo policzymy, że promień pierścienia Einsteina jest dla takiego przypadku około jednej tysięcznej sekundy łuku.

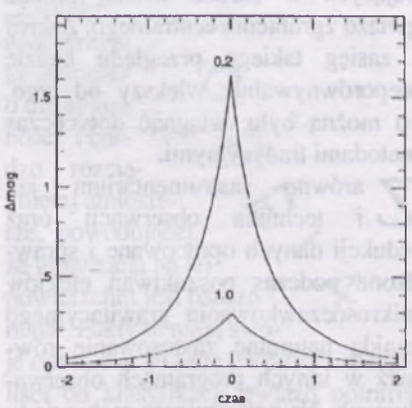
obserwator zobaczy gwiazdę w postaci jasnego pierścienia, zwanego pierścieniem Einsteina, otaczającego obiekt soczewkujący.

Ustawienie się wszystkich trzech obiektów dokładnie w jednej linii jest oczywiście niezwykle mało prawdopodobne; kąt między kierunkiem do gwiazdy i do soczewki będzie miał na ogół wartość różną od zera. W takim przypadku obserwator nie będzie widział pierścienia lecz rozdwojony obraz gwiazdy, przy czym wielkość tego rozdwojenia będzie również tego rzędu co rozmiary pierścienia Einsteina. Ponieważ tak małego rozszczepienia i tak nie bylibyśmy w stanie zaobserwować, znacznie ważniejszy jest z naszego punktu widzenia fakt, że całkowita jasność rozszczepionego obrazu jest większa od jasności tej samej gwiazdy obserwowanej w nieobecności soczewki (w tym sensie soczewka grawitacyjna jest „soczewką skupiającą"). Oczywiście, efekty soczewkowania grawitacyjnego będą istotne tylko wówczas, jeżeli kątowa odległość gwiazdy i soczewki na niebie będzie rzędu rozmiarów pierścienia Einsteina. Tak małych odległości kątowych możemy oczekiwać tylko w przypadkach, gdy ewentualna soczewka przesuwa się na tle bardzo gęsto wypełnionym gwiazdami. Pola o bardzo dużej gęstości gwiazd występują w Galaktyce przede wszystkim w kierunkach bliskich jej środka, np. w zgrubieniu centralnym (*Galactic bulge*). Przyjmijmy zatem, że na tle gwiazd zgrubienia centralnego przesuwają się obiekty soczewkujące należące do dysku galaktycznego. Charakterystyczna prędkość względna obu tych populacji jest równa ok. 220 km/s. Przykładowa para gwiazda – soczewka zmieni swe wzajemne położenie na niebie o wielkość porównywalną z rozmiarami pierścienia Einsteina w czasie

$$t_0 = 64\ \text{dni} \times \left(\frac{M}{M_\odot}\right)^{1/2}$$

Wielkość ta jest charakterystyczną skalą czasową zmian jasności gwiazdy wynikających z przejścia w jej pobliżu ciała soczewkującego o masie M i zawiera się w granicach od kilku miesięcy, dla soczewek o masach gwiazdowych, do niewielu godzin, dla soczewek o masach planetarnych ($\sim 10^{-6} M_\odot$).

Teoretyczna „krzywa blasku" gwiazdy, wynikająca z przejścia w jej pobliżu soczewki grawitacyjnej, jest przedstawiona na rysunku. Czas jest wyrażony w jednostkach t_0, a zmiany jasności – w skali logarytmicznej. Pokazane są dwa przypadki, gdy najmniejsza odległość kątowa gwiazdy i soczewki wynosi odpowiednio 0.2 i 1 promień pierścienia Einsteina. Jak widać, zmiany jasności są bardzo wyraźne i w zasadzie powinny być łatwe do zmierzenia za pomocą dzisiejszych metod fotometrycznych, gdyby nie to, że dla zwiększenia prawdopodobieństwa wykrycia efektów mikrosoczewkowania musimy prowadzić poszukiwania przede wszystkim w gęstych polach gwiazdowych.



Oczekiwana zmiana jasności gwiazdy wynikająca z efektu mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Charakterystyczny kształt „krzywej blasku" pozwala na jednoznaczną identyfikację zjawiska.

Prawdopodobieństwo zaistnienia warunków koniecznych do wystąpienia opisanych wyżej zjawisk nie jest oczywiście znane i może być ocenione tylko przy przyjęciu mniej lub bardziej uzasadnionych założeń odnośnie częstości występowania w dysku galaktycznym masywnych, ale nie świecących ciał, takich jak brązowe karły, planety, czy inne hipotetyczne obiekty, których istnienie jest postulowane w związku z próbami rozwiązania problemu obecności ciemnej materii w dysku i w halo galaktycznym. Tytułem przykładu, podamy w tym miejscu wyniki ocen prawdopodobieństwa zaobserwowania efektów mikrosoczewkowania grawitacyjnego dokonanych przez B. Paczyńskiego w cytowanym na wstępie artykule. Gdyby gęstość materii obecnej w dysku galaktycznym w postaci brązowych karłów o masach zawartych w przedziale $0.01 + 0.1\ M_\odot$ była taka sama jak gęstość materii skupionej w obserwowanych gwiazdach, to brązowe karły powodowałyby rocznie około 13 zjawisk mikrosoczewkowania na każde 10^6 gwiazd centralnego zgrubienia Galaktyki, ze średnią skalą czasową zmian jasności około 7 dni. Gdyby zaś – co wydaje się mniej prawdopodobne – cała ciemna materia występowała w postaci ciał o wielkości Merkurego, to zjawisk takich, o typowej skali czasowej około 1.5 godziny, byłoby ok. 2000 na każdy milion gwiazd.

Przytoczone liczby pozwalają natychmiast zorientować się w skali planowanego przedsięwzięcia obserwacyjnego. Żeby móc określić rozkład skal czasowych ewentualnie zaobserwowanych zjawisk mikrosoczewkowania niezbędne jest zarejestrowanie ich przebiegu w co najmniej kilkudziesięciu przypadkach. Oceniając realnie, że w ciągu roku na milion gwiazd może zajść kilka zjawisk o amplitudzie wystarczającej do ich zauważenia (powiedzmy, nie mniejszej niż $0.2 + 0.3$ mag), musimy dokonać pomiaru jasności łącznie dla co najmniej kilkudziesięciu milionów

gwiazd. Standardowo używane obecnie duże detektory CCD (o rozmiarach 2048 × 2048 pixeli) i programy redukujące (np. DAOPHOT i jego pochodne) pozwalają na wyróżnienie na jednym „zdjęciu" i określenie jasności przeciętnie dla 5×10^4 gwiazd. Dysponując nieograniczonym czasem teleskopowym w ciągu jednego sezonu obserwacyjnego można wykonać kilka tysięcy ekspozycji, a zatem już po upływie jednego roku można by mieć nadzieję na uzyskanie pierwszych wyników obserwacyjnych. Rezultaty statystycznie znaczące – pozytywne lub negatywne – można by uzyskać po 3–4 sezonach obserwacyjnych.

Z przytoczonych ocen wynikają następujące wnioski praktyczne: Po pierwsze, konieczne jest posiadanie teleskopu o średnicy ok. 1 m, umieszczonego w doskonałym klimacie astronomicznym i przeznaczonego wyłącznie do wykonywania przedstawionego tu projektu. Po drugie, pożądane jest skonstruowanie specjalnej kamery, która pozwalałaby na jednoczesny pomiar jasności możliwie wielu gwiazd; można to osiągnąć przez zastosowanie detektora CCD o możliwie największych rozmiarach względnie poprzez skomponowanie „mozaiki" z mniejszych detektorów. Po trzecie, biorąc pod uwagę gigantyczną ilość informacji uzyskiwanych w kolejnych ekspozycjach, niezbędne jest zastosowanie zupełnie nowej, „zautomatyzowanej" metody zarówno odnajdywania obiektów zmiennych jak i planowania następnych obserwacji zależnie od wyników uzyskanych poprzednio. Realizacja tych zadań stanowi praktyczną część naszego projektu.

Mamy nadzieję, że o sprawach technicznych będziemy mogli już niedługo napisać oddzielny artykuł. W tym miejscu wystarczy tylko wspomnieć krótko o wstępnych ustaleniach dotyczących sposobu realizacji projektu. Obserwacje fotometrycznych efektów mikrosoczewkowania grawitacyjnego będą prowadzone jako wspólny projekt Obserwatorium Princeton, Obserwatorium Las Campanas i Obserwatorium Warszawskiego. Każda z tych instytucji wniesie odpowiedni wkład do przedsięwzięcia: Obserwatorium Las Campanas dostarczy przede wszystkim miejsca do postawienia teleskopu i zapewni jego obsługę techniczną, obserwatorium Princeton pokryje koszty funkcjonowania teleskopu i znaczną część kosztów jego oprzyrządowania, zaś Obserwatorium Warszawskie dostarczy teleskop o średnicy zwierciadła rzędu 1 m oraz zespół ludzi, których zadaniem będzie stworzenie koniecznego oprogramowania a także – zwłaszcza w początkowym okresie – prowadzenie obserwacji.

Obserwatorium Astronomiczne Las Campanas z „lotu ptaka"... Na ile zmieni się krajobraz gdy stanie tu jeszcze jedna kopuła?

Wyniki naukowe, które spodziewamy się uzyskać nie ograniczają się wyłącznie do wykrywania efektów mikrosoczewkowania grawitacyjnego. Zwróćmy bowiem uwagę, że bezpośrednim celem obserwacji jest wykrywanie obiektów o zmiennej jasności i określanie charakteru tych zmian. Proponowane obserwacje bardzo szybko dostarczą niezwykle obfitych, kompletnych i jednorodnych danych na temat gwiazd zmiennych wszystkich możliwych typów występujących w bardzo licznej próbce gwiazd zgrubienia centralnego. Zakres i zasięg takiego przeglądu będzie nieporównywalnie większy od tego, co można było osiągnąć dotychczas metodami tradycyjnymi.

Zarówno instrumentarium jak i technika obserwacji oraz redukcji danych opracowane i sprawdzone podczas poszukiwań efektów mikrosoczewkowania grawitacyjnego znajdą naturalne zastosowanie również w innych programach obserwacyjnych. Na wymienienie zasługuje tu przede wszystkim program wykrywania i monitorowania zmian jasności gwiazd supernowych typu Ia wybuchających w gromadach galaktyk o przesunięciu ku czerwieni na tyle dużym ($z \approx 0.05 + 0.1$) by można było pominąć różnice odległości poszczególnych galaktyk w gromadzie. Obserwacje te już po niewielu latach systematycznych obserwacji powinny jednoznacznie rozstrzygnąć, czy supernowe tego typu są dobrymi „świecami standardowymi" we Wszechświecie. Innym problemem obserwacyjnym, który może znaleźć zadowalające rozwiązanie jest obserwacja słabych gwiazd zmiennych w gęstych częściach gromad kulistych.

Przedstawione tu w dużym skrócie ogromne możliwości obserwacyjne związane z realizacją projektu poszukiwania obiektów zmiennych w gęstych polach gwiazdowych z pewnością nie zostaną w pełni wysycone przez stosunkowo nieliczną grupę realizatorów projektu. Jest też naszym zamiarem skupienie wokół projektu liczniejszego grona polskich obserwatorów, zainteresowanych – także po zakończeniu zasadniczego programu obserwacji – w podejmowaniu trudnych i niebanalnych programów naukowych.

Autorzy artykułu, a zarazem przedstawionego projektu, stanowią parę (dobraną?) dyrektorów Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego. Jednocześnie pełnią funkcję edytorów międzynarodowego czasopisma naukowego, Acta Astronomica. Marcin Kubiak jest specjalistą w dziedzinie pulsacji gwiazd, choć nie stroni i od innej tematyki. Perfekcyjne prace fotometryczne Andrzeja Udalskiego w większości dotyczą unikalnych układów kataklizmicznych: polarów i polarów pośrednich.

Niezwykłe dzieje ρ Casiopeiae

Krzysztof Gęsicki

Gdyby wiatr słoneczny niósł tyle materii ile niesie wiatr gwiazdowy ρ Cas, po tysiącu lat ze Słońca nie zostałaby ani okruszyna. Jak masywna, jak jasna i na jakim etapie ewolucji musi być gwiazda, która może sobie na to pozwolić? Co spowodowało, że na naszych oczach doszło do włączenia się mechanizmu tak silnej utraty masy? Za kilka tysięcy lat ρ Cas stanie się czerwonym nadolbrzymem lub gorącą gwiazdą typu WR. Ale czy nie czekając, można to rozstrzygnąć już dzisiaj ?

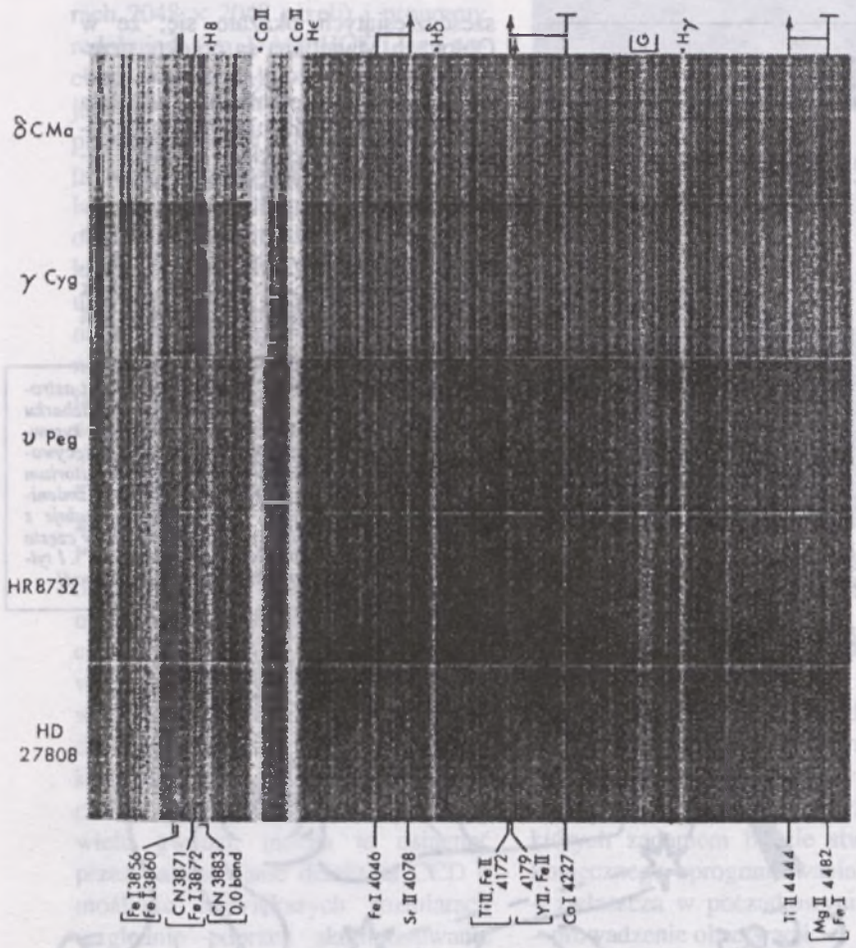
Jacek Drążkowski z wykształcenia jest astronomem, z zawodu, nauczycielem w Lidzbarku Warmińskim, z zamiłowania i talentu, rysownikiem. W Lidzbarku władze kiedyś obiecywały pomóc w budowie małego obserwatorium astronomicznego. No cóż, władze się zmieniły, Jacek został... Obserwatorium buduje z uczniami, a autorzy naszych artykułów często pytają: „a będzie coś Drążkowskiego?". I tylko pod tym warunkiem zgadzają się pisać!

Rysował Jacek Drążkowski
Pozowały 2/3 Redakcji

Dlaczego ρ Cas w menażerii?

Bez wątpienia głównym powodem, dla którego postanowiłem napisać coś o tej gwieździe, jest fakt, że poświęciłem jej kilka lat pracy zakończonej doktoratem. Nie mam najmniejszego zamiaru zadręczać Czytelnika swoimi tezami, opisane są one, zresztą, gdzie indziej. W tym czasopiśmie chciałbym podzielić się swoimi wrażeniami z lektury licznych prac dotyczących tej gwiazdy, a przeczytanych przy tamtej okazji. Wyłania się z nich dość ciekawa, moim zdaniem, historia. Gwiazda mająca w nazwie jedną literę grecką, czyli jedna z najjaśniejszych w danym gwiazdozbiorze, gwiazda, którą można pokazać na niebie palcem i obserwować gołym okiem (choć znacznie lepiej robić to lornetką), taka zwykła z pozoru gwiazda, w miarę upływu lat i gromadzenia o niej informacji okazuje się być obiektem nietypowym, dostarczającym wciąż nowych i godnych uwagi problemów.

O zjawiskach fizycznych zachodzących w tej gwieździe będzie mowa w dalszych częściach artykułu. We wstępie chciałbym jeszcze wspomnieć o problemie klasyfikacji. ρ Cas bywa często wymieniana jako typowy przykład obiektu zwanego *skrajnym nadolbrzymem*. Co to takiego? „Zwykły" nadolbrzym to gwiazda o dużej jasności i bardzo rozciągniętej atmosferze, powodującej, że grawitacja na jej powierzchni jest bardzo mała. Fakty te mają swoje odbicie w widmie gwiazdy i specjaliści od klasyfikacji gwiazd potrafią na podstawie pewnych cech widma „nadolbrzymiość" rozpoznać. Wydzielono trzy podklasy nadolbrzymów, oznaczane Ib, Iab, Ia. W latach sześćdziesiątych okazało się, że w Obłokach Magellana są obiekty przejawiające takie cechy w stopniu jeszcze bardziej ekstremalnym. Zaistniała potrzeba wprowadzenia nowego pojęcia, czy też nowej klasy gwiazd, takich właśnie nad-nadolbrzymów – czyli skrajnych nadolbrzymów (oznaczono je Ia^+). Później okazało się, że i w naszej Galaktyce są takie obiekty, a wśród nich ρ Cas. Jest ich jednak niewiele: w Galaktyce znanych jest



KLASY JASNOŚCI DLA TYPU WIDMOWEGO F8

Wygląd widma liniowego gwiazdy zależy od warunków fizycznych panujących w jej atmosferze, w pierwszym rzędzie temperatury (co określa typ widmowy, tutaj F8). Drugim istotnym czynnikiem jest gęstość atmosfery. W rozrzedzonym gazie znacznie rzadziej dochodzi do zderzeń między jego cząsteczkami niż w gęstym przy tej samej temperaturze. Skutkiem zderzeń w atomach i jonach dochodzi do niewielkich zmian poziomów energetycznych – podczas zderzenia, atom czy jon znajduje się w silnym polu elektrycznym zbliżającego się doń innego jonu lub elektronu. W ten sposób ulega rozmyciu zakres możliwych do zaabsorbowania fotonów, a co za tym idzie, szerokość linii widmowej. Najbardziej skutki takich zderzeń będą oczywiście odczuwały, najlżejsze, najszybciej się poruszające, a zarazem najliczniejsze, atomy wodoru. Inną konsekwencją zmniejszenia ilości zderzeń, a więc i możliwych rekombinacji jonów (wszak to nic innego jak zderzenie jonu z elektronem o odpowiedniej energii) będzie większa ilość jonów (w stosunku do atomów neutralnych) w rzadkich atmosferach. W ten sposób i linie jonów (w stosunku do linii atomowych, w tej samej temperaturze) będą w rzadkich atmosferach silniejsze. Wreszcie zauważmy, że gęstość atmosfery zależy od panującego w niej ciśnienia, które musi równoważyć siły grawitacji. W ostatecznym więc rachunku wymienione tutaj efekty będą czule na wartość przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni gwiazdy: $g \sim R^{-2}$. Ponieważ nasze rozważania dotyczyły tej samej temperatury, więc szerokie, rozmyte linie wodorowe można obserwować w gwiazdach małych (karłach – klasa V), a najsilniejsze linie jonów w bardzo jasnych (nadolbrzymach – klasa I). Obydwa efekty można prześledzić na przedstawionej powyżej oryginalnej tablicy jakiej używają astrofizycy do takiej (tzn. MK) klasyfikacji z atlasu W.W. Morgana, H.A. Abta i J.W. Tapscotta. Czytelnik teraz już rozumie co to znaczy, że ρ Cas ma jeszcze „bardziej ostre" linie niż przedstawiona na szycie tablicy δ CMa! Jednakże, do spektroskopowej klasyfikacji absolutnej jasności gwiazd w naszej Galaktyce (w innych galaktykach te najjaśniejsze po prostu wyróżniają się z tła), a zwłaszcza łatwego przypisywania nadolbrzymom skrajnych mas, należy odnosić się bardzo ostrożnie. Taką pułapką może być np. obiekt post-AGB, o czym Autor pisze w zeszycie 2 (str. 68), lub bliski powierzchni Roche'a składnik układu podwójnego, który ma w ten sposób efektywnie zmniejszoną grawitację. (MaMiko)

siedem, po kilka – kilkanaście w Obłokach Magellana, i po kilka w bliższych galaktykach. Wszystkie te obiekty są zmienne a ich klasyfikacja niezbyt pewna i też często zmieniana. Przedstawicielem takiej nielicznej grupy gwiazd jest właśnie ρ Cas.

ρ Cas przed wybuchem

Pierwsza data dotycząca ρ Cas, którą udało mi się znaleźć w literaturze, to rok 1872. Wówczas to określono jej kolor jako 6.5°. Taka klasyfikacja nie jest dziś, oczywiście, stosowana, a podane oznaczenie odpowiada gwieździe barwy żółtej i bardzo dobrze zgadza się z późniejszymi wyznaczeniami typu widmowego.

Na podstawie obserwacji z roku 1885, panie C. Payne-Gaposhkin i M.W. Mayall z Obserwatorium Harvard College, określiły typ widmowy F8 – G0.

Kolejnych obserwacji, z roku 1897, dotyczyła uwaga zapisana przez Miss A.C. Maury w rocznikach harvardzkich: *„In ρ Cas the peculiar strong lines of δ CMa are still stronger"*. We współczesnej terminologii oznacza to, że w ekstremalnym stopniu gwiazda ta wykazywała się cechami nadolbrzyma pośredniego typu widmowego (δ CMa ma typ widmowy F8 Ia, ρ Cas widocznie już wówczas była skrajnym nadolbrzymem Ia^+).

C.Payne-Gaposhkin i M.W. Mayall wskazywały, że widmo ρ Cas jest zmienne już od pierwszych klisz harvardzkich, na których było zarejestrowane. W latach 1885 – 1946 typ widmowy zmieniał się, ich zdaniem, w zakresie F8 - K5.

W latach 1906 – 1910 klisze wykonane z pryzmatem obiektywowym z Obserwatorium Lick wykazywały zmienność widma, przy czym typ widmowy określano jako późniejszy niż F8.

Pierwsze obserwacje jasności ρ Cas pochodzą z początku naszego stulecia. W roku 1901 Miss L.Wells z Harvard wykryła zmienność blasku. A.J. Cannon i E.C. Pickering z Harvard na podstawie obserwacji z lat 1903 – 1905 określili gwiazdę jako zmienną nieregularną, o jasności w zakresie $4^m.7 + 5^m.1$. Od roku 1904 znane są krzywe blasku wizualna i fotograficzna.

Dla widm z roku 1923 określono typ widmowy jako F8 Ia. Lat 1929 – 1940 dotyczyła seria obserwacji W.W. Morgana i P.C. Keenana. W 1981 roku W.W.Morgan ze współpracownikami porównał swoje dawne obserwacje z przypadającymi na ten sam okres obserwacjami C. Payne-Gaposhkin i M.W. Mayall. Zauważono, że wszędzie tam, gdzie daty pokrywały się, typ widmowy MK był F8 Ia, a typ widmowy przypisany przez obie panie był, jak wiemy, zmienny. Przyczyną rozbieżności może być fakt, że obserwacje C. Payne-Gaposhkin i M.W. Mayall wykonywane były pryzmatem obiektywowym a obserwacje MK pochodzą ze spektrografu szczelinowego. W.R. Beardsley z Yerkes sugerował, że zmiany barwy w widmie ciągłym mogły mieć wpływ na klasyfikację pryzmatyczną. Tak więc tego, czy typ widmowy ρ Cas w latach trzydziestych był stały czy zmienny, ciągle nie wiemy.

Dziwny wybuch

W roku 1939 zaczęły słabnąć linie wodorowe, które wcześniej były takie same lub nawet silniejsze niż w δ CMa. Był to początek pewnego zjawiska nazywanego najczęściej wybuchem, choć do tej pory nie wyjaśnio-

nego ostatecznie i, jak dotąd, nie powtórzonego. Opiszę w skrócie jego przebieg.

Wiadomo, że jeszcze w 1944 roku pasm tlenku tytanu (TiO) w ρ Cas nie stwierdzono. Pod koniec roku 1945 zaczęła spadać jasność gwiazdy. Gdy spadła do $5^m.2$ pojawiły się pasma TiO (ich obecność jest cechą charakterystyczną najchłodniejszych gwiazd typu M). Do czerwca 1946 miał miejsce mniej więcej stały spadek jasności, do wartości $6^m.1$. Później można mówić o dnie krzywej blasku przy jasności $6^m.0$ – $6^m.2$. Można mówić o tak zwanym widmie okresu minimum, jego najistotniejsze cechy to:

- typ widmowy M3 - M4, określony na podstawie odpowiednich stosunków linii
- obecność pasm TiO i AlO
- wzmocnienie linii atomów neutralnych a osłabienie wysokowzbudzonych linii atomów zjonizowanych
- emisje w liniach H_α, NaI, MgI, CaI
- wszystkie linie rezonansowe (tzn. takie, w których elektron jest absorbowany z najniższego poziomu energetycznego atomu) miały duże przesunięcie ku fioletowi. Najprawdopodobniej pochodziły one z ekspandującej otoczki i przesunięcie długości fali było spowodowane efektem Dopplera. To samo przesunięcie obecne było również po okresie minimum.
- nie było to złożenie widm dwóch gwiazd.

W lutym 1947 roku zaczęło się pojaśnienie gwiazdy. W kwietniu jasność wynosiła $5^m.3$, pasma TiO były jeszcze obecne. W czerwcu ρ Cas powróciła do poprzedniej jasności (około $4^m.6$). We wrześniu miała typ widmowy G8. W listopadzie pasm TiO już nie było, pasma AlO zanikły później. W tym okresie (listopad 1947) J.L. Greenstein z Obserwatorium McDonald zauważył, że o ile przed wybuchem ρ Cas przypominała δ CMa mając podobne szerokości linii, to obecnie ma linie widmowe prawie dwukrotnie szersze. Jak zobaczymy później, to poszerzenie zamieniło się w wyraźne rozszczepienie linii.

Podsumowując ten okres stwierdzano wówczas, że w 1946 roku nastąpiło wyrzucenie otoczki wokołogwiazdowej nadającej gwieździe cechy widmowe nadolbrzyma typu M. Po pewnym czasie gwiazda powróciła do typu widmowego F8, ale od tej pory w widmie pozostały wyraźne ślady obecności ekspandującej wokółgwiazdowej otoczki.

Ubocznym efektem tego "wybuchu" było częste klasyfikowanie ρ Cas jako gwiazdy zmiennej typu R CrB, na przykład w popularnym katalogu Kukarkina. Dlatego też liczne dane fotometryczne dotyczące ρ Cas można znaleźć w artykułach o obserwacjach gwiazd typu R CrB, choć wielokrotnie już dokumentowano, że ρ Cas taką gwiazdą nie jest*.

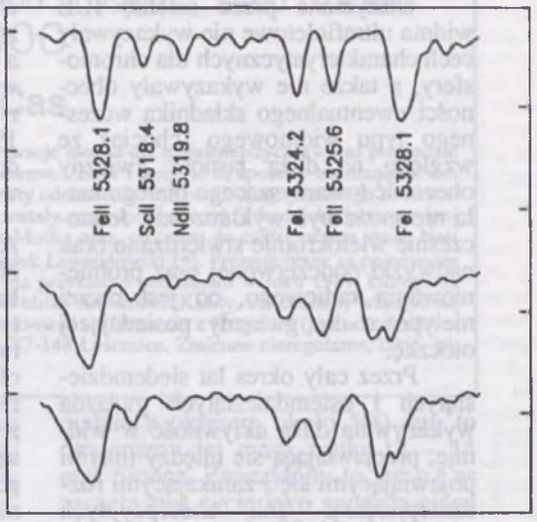
I po wybuchu

Po wydarzeniu z roku 1946 obserwowano różne przejawy aktywności gwiazdy. Jeszcze w listopadzie 1947 zaobserwowano osłabienie linii i odwrócenie kierunku prędkości radialnych (czyli zamiast ekspansji – kolaps). J.L. Greenstein sugerował, że otoczka, podtrzymywana przez ciśnienie promieniowania, zapadła się trochę wskutek wybuchu promieniowania jonizującego, naruszającego subtelną równowagę. Później, oczywiście, wszystko wróciło do stanu poprzedniego. W listopadzie 1950 miał miejsce rozbłysk jasności do wartości $4^m.2$.

W roku 1951 W.P. Bidelman i A. McKellar analizując widma ρ Cas, otrzymane w obserwatoriach McDonald i Dominion, stwierdzili, że niektóre linie są wyraźnie podwójne. Składnik długofalowy takiej linii miał tę samą prędkość radialną, co pojedyncze linie powstające w fotosferze, natomiast składnik krótkofalowy był przesunięty o około 40 km/s, wskutek tego, że powstawał w otoczce ekspandującej z taką właśnie prędkością.

Lat 1955 – 1960 dotyczy praca W.L.W. Sargenta. Zauważył on, że linie wodorowe są około dziesięciokrotnie słabsze, niż w typowym nadolbrzymie F8 Ia, co może być spowodowane częściowym wypełnieniem tych linii składnikiem emisyjnym. Wyznaczył on tempo utraty masy przez ρ Cas jako większe niż $10^{-5}\ M_\odot$/rok. Było ono przez ten okres mniej więcej stałe, oprócz roku 1959, kiedy było dziesięciokrotnie mniejsze.

Obecnie wiemy, że zastosowana przez Sargenta metoda (tzw. metoda krzywej wzrostu) nie może dać w tym przypadku dobrych wyników. Prace z ostatnich dziesięciu lat, bazujące na dużo bardziej wiarygodnych metodach (między innymi i moja rozprawa doktorska), dają dość zgodną wartość około $10^{-3}\ M_\odot$/rok. Warto tu wspomnieć, że potwierdził się inny wniosek Sargenta, mianowicie ten, że na czas kilku miesięcy tempo utraty masy może się zmienić o czynnik dziesięć, wracając potem do stanu poprzedniego.



Rysunek przedstawia fragment widma w pobliżu 5320Å. Górne widmo to gwiazda γ Cyg, jest ona nadolbrzymem typu F8 Ib i pokazana jest dla porównania. ρ Cas reprezentują dwa dolne fragmenty widma, wykonane w roku 1970, w odstępie dwóch miesięcy. Omawiane w tekście rozdwojenie linii widmowych w ρ Cas, a którego nie ma w γ Cyg, jest wyraźnie widoczne na przykładzie linii FeI 5328Å. Pozostałe linie żelaza są w obu gwiazdach pojedyncze. Obserwowany podwójny profil interpretuje się w ten sposób, że prawy składnik powstaje w tej warstwie atmosfery gwiazdy, gdzie inne pojedyncze linie, tzn. w fotosferze, a składnik krótkofalowy, z lewej strony, powstaje w ekspandującej otoczce wokółgwiazdowej i jest przesunięty w wyniku działania efektu Dopplera. Porównanie obu widm ρ Cas ujawnia zmienność otoczki. Widma zostały wykonane przez J. Smolińskiego w Obserwatorium Dominion w Kanadzie.

W roku 1978 R.M.Humphreys przypisała gwieździe ρ Cas przynależność do asocjacji Cas OB 5. W ten sposób określona została jej odległość od Słońca na 2.5 kpc oraz jasność absolutna $M_V = -9.^m5$.

W 1981 D.L.Lambert ze współpracownikami zauważyli, że prędkość ekspansji otoczki wokółgwiazdowej pozostaje stała od momentu jej wyrzucenia a obserwowane wokółgwiazdowe linie CO powstają nie dalej, niż trzy promienie gwiazdy ponad jej powierzchnią. Tymczasem nietrudno obliczyć, że materia wyrzucona w

* Popularny również wśród miłośników astronomii *Generalny Katalog Gwiazd Zmiennych* zawiera typowo obserwacyjną klasyfikację gwiazd opartą na krzywej blasku. Często np. słyszy się o gwiazdach zaćmieniowych *typu* β Lyrae, gdy tymczasem ewolucyjnie (fizycznie) nie różnią się one od algoli, nie licząc silniejszych efektów bliskości. Jak na złość sama protoplastka, β Lyrae, stanowi kuriozum zasługujące na artykuł w niniejszym cyklu. Dlatego lepiej jest w takich przypadkach mówić nie o gwieździe, a o *krzywej blasku* danego typu. Podobnie i z ρ Cas, można powiedzieć, że charakter obserwowanego minimum był *typu* R CrB, aczkolwiek zarówno pod względem ewolucyjnym, jak również mechanizmu wyrzutu i charakteru otoczki absolutnie niczym tych, dobrze określonych gwiazd, nie przypomina. (przyp. red.)

1946 roku powinna być już na odległości kilkudziesięciu promieni gwiazdy. Jedynym sensownym wytłumaczeniem tego faktu jest przyjęcie, że tak zwana otoczka nie jest raz wyrzuconą warstwą materii oddalającą się od powierzchni gwiazdy, ale że jest to gęsty wiatr gwiazdowy wypływający przez cały czas ze stałą prędkością i ulegający rozrzedzaniu w miarę oddalania się. Obserwowane otoczkowe linie absorpcyjne powstają cały czas w tej samej gęstej warstwie, blisko powierzchni gwiazdy. Dalej od gwiazdy, gdzie jest mniejsza gęstość i niższa temperatura, obserwowane są linie cząsteczek CO.

Otrzymane przez satelitę IUE widma ultrafioletowe nie wykazywały cech charakterystycznych dla chromosfery, a także nie wykazywały obecności ewentualnego składnika wczesnego typu widmowego (chociaż ze względu na dużą jasność gwiazdy obecność towarzyszącego białego karła nie może być wykluczona). Jednocześnie wielokrotnie stwierdzano brak nadwyżki podczerwonej oraz promieniowania radiowego, co jest raczej nietypowe dla gwiazdy posiadającej otoczkę.

Przez cały okres lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych gwiazda wykazywała dużą aktywność w widmie, przejawiającą się między innymi pojawiającymi się i zanikającymi rozszczepieniami linii absorpcyjnych oraz podobnie zachowującymi się liniami emisyjnymi. Bogata dokumentacja tych zmian zgromadzona została przez J. Smolińskiego z toruńskiego ośrodka.

W latach 1981 - 1983 badano jej skład chemiczny. Otrzymano, że niewiele różni się on od słonecznego, jest nieco mniej węgla, nieco więcej sodu. Dopasowania widma teoretycznego dawały temperaturę efektywną gwiazdy 6000 K oraz logarytm przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni, log g = 0.25. Wydawać by się mogło, że dopasowywanie widma teoretycznego do obserwowanego jest najlepszym sposobem oszacowania parametrów gwiazdy. Tymczasem w roku 1988 A. Piters, C. de Jager i H. Nieuwenhuijzen wykazali, że dla gwiazdy V509 Cas, skrajnego nadolbrzyma typu G0 Ia^+, bardzo podobnego do ρ Cas, obserwowane widmo równie dobrze może pochodzić z gwiazdy o temperaturze 4000K przy grawitacji log g = –2 jak i z gwiazdy o temperaturze 5500K przy log g = 1.5. Na ile zatem wiarygodne są parametry ρ Cas?

Opublikowana przez AAVSO (*American Association of Variable Stars Observers*) wizualna krzywa blasku z lat 1961 - 1984 nie pozwoliła na jednoznaczne wyznaczenie okresu zmienności. Otrzymano tylko tyle, że charakterystyczna skala czasowa zmienności leży gdzieś pomiędzy 275 a 400 dniami. É. Zsoldos i J.R. Percy, w pracy z roku 1991, analizowali zmienność blasku ρ Cas w latach 1963 - 1989, na podstawie wszystkich dostępnych danych, otrzymali wyraźny okres 298.5 dni.

W latach 1980 – 1981 A. Arellano-Ferro zauważył, że zmiany blasku i zmiany prędkości radialnych linii widmowych są w fazie, co jest typowe dla tak zwanych pulsacji nieradialnych. Tymczasem analizując obserwacje z lat 1979 – 1984 Y. Sheffer i D.L.Lambert stwierdzili, że zmiany blasku i prędkości radialnych są przesunięte w fazie, co jest regułą, gdy pulsacje gwiazdy są radialne. Ponadto zauważyli, że krzywe prędkości radialnych mają gałąź wznoszącą dłuższą niż opadającą, a więc podobnie, jak w Cefeidach, które na pewno pulsują radialnie. Na definitywne określenie, w jaki sposób pulsuje ρ Cas trzeba, jak widać, jeszcze poczekać.

W lipcu 1986 stwierdzono spadek temperatury otoczki oraz pojawienie się jednego z pasm TiO. Gwiazda wówczas była słabsza, niż zwykle ($5^m.03$). Wkrótce nastąpił powrót do stanu poprzedniego. Być może zaszło wówczas coś podobnego, jak w 1946 roku, tyle że na znacznie mniejszą skalę.

Na początku lat siedemdziesiątych nadwyżki w promieniowaniu podczerwonym ρ Cas nie było. W roku 1983 gwiazda była obserwowana przez satelitę podczerwonego IRAS. Pierwsze analizy tych danych nie wykazywały nic nowego. Dopiero w 1990 M. Jura i S.G. Kleinman analizując te same dane pokazali, że gwiazda ma wyraźną nadwyżkę w promieniowaniu podczerwonym. W 1989 przeprowadzili dodatkowe obserwacje i otrzymali wartości strumienia podczerwonego pośrednie między wartościami 1970 a 1983 roku. Nadwyżka podczerwona jest najprawdopodobniej skutkiem formowania się pyłu wokół ρ Cas. Proste obliczenia pokazały, że może to być pył utworzony przez materię wyrzuconą podczas wybuchu w 1946 roku i wyrzucaną od tej pory nadal. Materia ta, poruszając się cały czas z prędkością 40 km/s, obecnie dotarła na odległość kilkudziesięciu promieni gwiazdy ponad jej powierzchnię i tam zaczął się formować pył.

Dziś i jutro ρ Cas

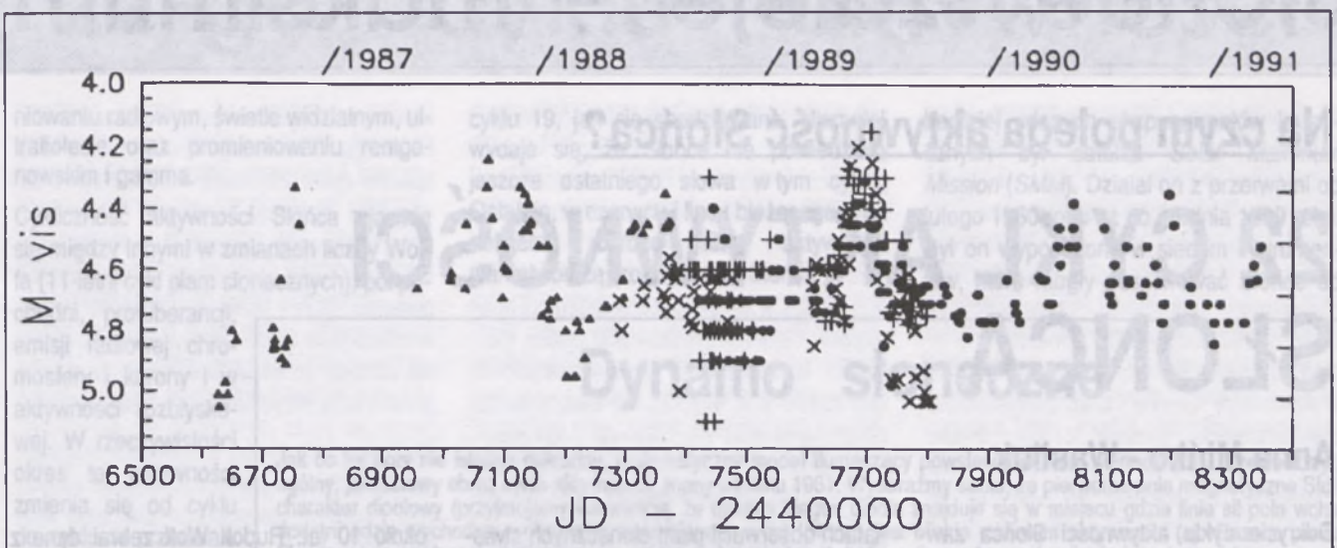
Przypisane gwieździe jasność absolutna $-9.^m5$ oraz typ widmowy i klasa jasności F8 Ia^+ lokują ją w górnej części diagramu Hertzsprunga–Russela, tuż pod linią wyznaczającą górną granicę występowania gwiazd w ogóle. W dodatku jest to miejsce bardzo nielicznie obsadzone, zarówno na lewo (gorącej) jak i na prawo (chłodniej) jest gwiazd bardzo dużo. Obecnie wiemy, że gwiazda w trakcie swego życia, kreśląc tor na diagramie HR przechodzi przez obszar skrajnych nadolbrzymów bardzo szybko. Stąd też prawdopodobieństwo, że zaobserwujemy ją właśnie tam, jest niewielkie, no i rzeczywiście, niewiele takich gwiazd obserwujemy.

Niezwykle ważną rzeczą jest horrendalnie wysokie tempo utraty masy przez ρ Cas. Stawia ono naszą gwiazdę na wyjątkowej pozycji nawet w tej nielicznej grupie skrajnych nadolbrzymów. Ponadto potwierdza ono tezę, że w obecnej fazie gwiazda nie może długo istnieć. Ciekawe jest, że zaobserwowany w 1946 roku wybuch okazał się być początkiem intensywnego wypływu masy, którego wcześniej (to znaczy na początku stulecia) nie było, a który trwa do dzisiaj, wykazując w dodatku znaczną zmienność. Zaobserwowano także tworzenie się pyłu w wyrzuconej przed czterdziestu laty materii. Warto śledzić tę gwiazdę, a nuż jeszcze coś się przydarzy.

Problemem do rozstrzygnięcia jest stan zaawansowania ewolucyjnego ρ Cas. Czy gwiazda ta dopiero opuściła ciąg główny i zmierza w prawo, by stać się czerwonym nadolbrzymem, czy też czerwona już była i obecnie po, zawróceniu, szybko zmierza

RADIALNE I NIERADIALNE PULSACJE GWIAZD

Przypomnijmy tu może w ogromnym skrócie, że pulsacja radialna to taki rodzaj zmian gwiazdy, że nadyma się ona a następnie kurczy, jednocześnie i jednakowo w każdym kierunku, zachowując cały czas symetrię względem środka. W pulsacjach nieradialnych symetria względem środka nie jest już zachowana. Nadmuchiwanie i wypuszczanie powietrza z okrągłej piłki może być ilustracją zmian radialnych, a spłaszczenie piłki lub jej rozciągnięcie wzdłuż wybranej osi może ilustrować zmiany nieradialne. W rzeczywistej gwieździe sytuacja jest oczywiście dużo bardziej skomplikowana. Pulsacja jest rodzajem fali, biegnącej lub stojącej, rozchodzącej się wyłącznie wzdłuż promienia gwiazdy (pulsacja radialna) lub mającej składowe także w kierunku poprzecznym do promienia (nieradialna).



Obserwacje wizualne ρ Cas

Rysunek przedstawia krzywą blasku ρ Cas otrzymaną drogą obserwacji wizualnych. Takie obserwacje można dla najjaśniejszych gwiazd prowadzić gołym okiem, a dla gwiazd słabszych – lornetką, zatem dostępne są one każdemu zainteresowanemu. Znane i opisane są sposoby oceniania okiem obserwatora jasności gwiazd, przez porównywanie ich z innymi gwiazdami, wybranymi jako punkty odniesienia. Już po niedługim treningu obserwator może uzyskać dokładność lepszą niż 0.1 magnitudo. Prezentowane na rysunku dane zebrane zostały przez młodzież szkół średnich. Są to aktywni uczestnicy Koła Astronomicznego przy toruńskim oddziale PTMA, prowadzonego przez Marka Mućka oraz, od czasu do czasu, przeze mnie. Nasi najwytrwalsi obserwatorzy to: Sławek Górny (▲), Krzyś Rumiński (×), Maciek Konacki (+), Wojtek Lewandowski (•). Prezentowane są pojedyncze obserwacje, bez uśredniania. Uzupełniają one bardzo ładnie dane E. Zsoldosa i J.R. Percy'ego (na przykład o maksimum w roku 1989, którego E. Zsoldos nie zaobserwował), potwierdzając jednocześnie wyznaczony przez nich okres zmienności bliski 300 dniom. Każdy, kto chciałby włączyć się do tego typu obserwacji, oczywiście nie tylko ρ Cas, ale i innych gwiazd zmiennych, może skontaktować się listownie z Krzysiem (jest on członkiem AAVSO), pisząc na adres: Krzysztof Rumiński, Obserwatorium Astronomiczne UMK, Piwnice, 87-148 Łysomice. Zmienne nieregularne, takie, jak ρ Cas, to znakomite pole do popisu właśnie dla astronomów amatorów.

w lewo by zostać gwiazdą Wolfa–Rayeta? Pomocnym tu być może wyznaczenie jej masy, im mniejsza się okaże jej wartość, tym starsza może być gwiazda. Dla gwiazdy pojedyńczej jedynym użytecznym sposobem oceny masy jest wykorzystanie teorii pulsacji przy obserwowanej regularnej zmienności. A tutaj ani zmienność nie jest regularna, ani nawet rodzaj pulsacji nie jest pewny. Jeśli przyjmiemy za Lambertem, że ρ Cas pulsuje radialnie z okresem około 500 dni, to otrzymamy jej masę rzędu 12 – 14 mas Słońca. Znaczyłoby to, że ρ Cas zaczęła swe życie jako gwiazda ciągu głównego o masie 30 $M_\odot$ i obecnie, utraciwszy połowę swej masy, jest już po zakończeniu stadium czerwonego olbrzyma i zmierza na diagramie HR w lewo, by za siedem tysięcy lat stać się gwiazdą WR*. Czy na pewno?

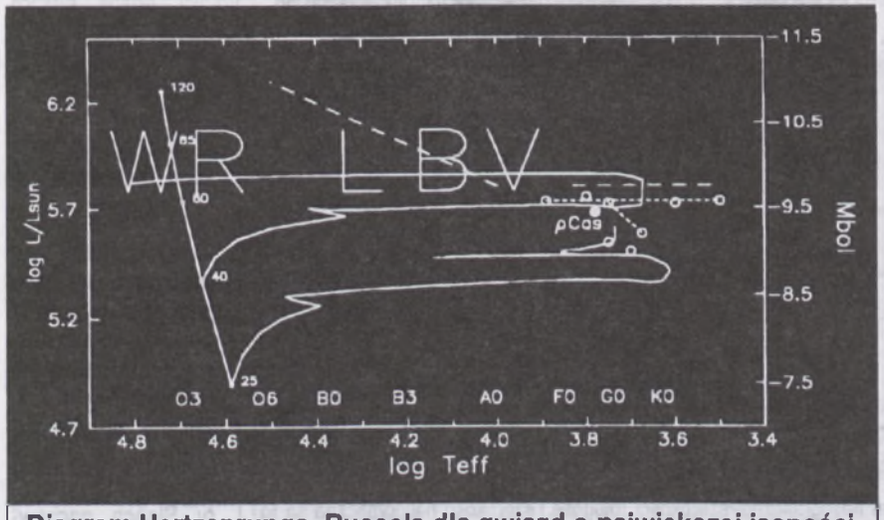


Diagram Hertzsprunga–Russela dla gwiazd o największej jasności

Rysunek przedstawia górną część tzw. diagramu HR. Na osi pionowej mamy jasność gwiazdy L wyrażoną jako $\log L/L_\odot$ (z lewej strony) lub jako jej jasność bolometryczną (z prawej strony). Oś pozioma przedstawia temperaturę efektywną gwiazdy (w skali logarytmicznej), zauważmy, że kierunek osi jest odwrócony. Odpowiednim wartościom temperatury przypisane są typy widmowe, podane u dołu rysunku. Zaznaczona jest pozycja ρ Cas oraz kółeczkami pozycje kilku wybranych skrajnych nadolbrzymów (kółka połączone linią przerywaną pokazują obserwowane zmiany parametrów gwiazdy). Zaznaczone są ponadto pozycje gwiazd typu Wolfa – Rayeta (WR) oraz tak zwanych jasnych niebieskich zmiennych (LBV). Dwie części linii przerywanej pokazują granicę, powyżej której gwiazdy nie występują. Prawie pionowa linia z lewej strony to ciąg główny wieku zerowego, czyli linia, na której lokują się parametry gwiazd zaczynających palenie wodoru w swym jądrze. Wzdłuż niej podane są masy (w $M_\odot$) takich gwiazd. Pokazane są także dwa przykłady torów, jakie na diagramie HR zakreśla gwiazda w dalszym ciągu swego życia, kiedy po opuszczeniu ciągu głównego, wskutek wypalenia wodoru w jądrze, zmienia się jej jasność i temperatura. Na której gałęzi którego z torów należy umiejscowić ρ Cas, a także inne nadolbrzymy, to problem oczekujący wyjaśnienia.

Obserwacje ρ Cas mają ciągle kluczowe znaczenie dla teorii ewolucji gwiazd masywnych, dla teorii wyjaśniających utratę masy przez gwiazdy, teorii pulsacji i wielu innych. Każdy obserwator amator może mieć swój wkład w prowadzonych badaniach, włączając tę gwiazdę do swego programu wizualnych obserwacji gwiazd zmiennych i dołączając swoje wyniki do danych zbieranych przez np. AAVSO. A każdy Czytelnik może na tę gwiazdę popatrzeć, szukając na niebie delikatnej dłoni pięknej pani Casiopei.

Krzysztof Gęsicki jest pracownikiem naukowym toruńskiej pracowni Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN. Legenda głosi, o nieprzebranych zbiorach widm skrajnych nadolbrzymów w szufladach Jego Szefa, Jana Smolińskiego. Może więc Krzysztof wykryje jeszcze jedną gwiazdę z tak ogromną utratą masy...

* O gwiazdach Wolfa-Rayeta pisze Andrzej Niedzielski w PA 2/91, str. 74 (przyp. red.)

Słońce szaleje – maksimum

Na czym polega aktywność Słońca?

22 CYKL AKTYWNOŚCI SŁOŃCA

Anna Mińko - Wasiluk

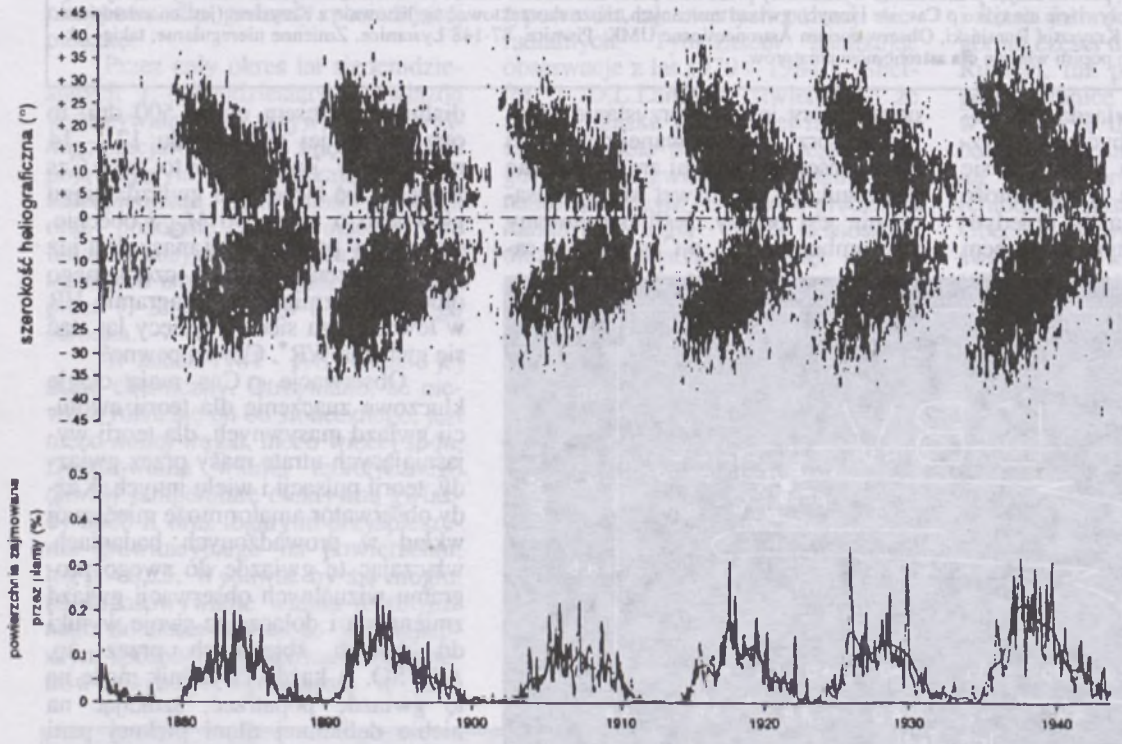
Odkrycie cyklu aktywności Słońca zawdzięczamy astronomowi – amatorowi Henrykowi Schwabe. W 1843 roku po 43 latach obserwacji plam słonecznych stwierdził on, że liczba plam na tarczy słonecznej regularnie zmienia się z okresem około 10 lat. Rudolf Wolf zebrał dane z międzynarodowych obserwacji i opracował je dla 150 poprzednich lat, dzięki czemu mógł dokładniej określić okres cyklu słonecznego na 11.1 roku. Wprowadził on też wygodny i nadal używany parametr określający aktywność plamotwórczą Słońca – tzw. względną liczbę plam słonecznych zwaną później liczbą Wolfa:

$$R = K(10g + f),$$

gdzie f jest całkowitą liczbą plam na widocznej tarczy, g liczbą grup plam, a K jest współczynnikiem zależnym od obserwatora.

Obecnie wiemy, że pojawianie się plam jest tylko jednym z objawów kompleksowych zmian aktywności słonecznej. Zmiany te ujawniają się na wszystkich poziomach atmosfery Słońca począwszy od fotosfery, poprzez chromosferę i koronę, a skończywszy na wietrze słonecznym. Są one widoczne we wszystkich dziedzinach fal elektromagnetycznych: w promie-

Motylkowy diagram Maundera



Cykl słoneczny produkuje taki rozkład plam, że diagram heliograficznej szerokości (długość i szerokość heliograficzna są to współrzędne na Słońcu analogiczne do współrzędnych geograficznych) plam słonecznych w funkcji czasu wygląda jak skrzydła motyla. Każda plama lub grupa plam jest reprezentowana przez pionową kreskę o długości 1. Widać 11-letnią okresowość. Widać też dwa charakterystyczne momenty - maksimum, kiedy plamy są rozproszone po szerokościach (np. rok 1937) i minimum, które może trwać dwa, trzy lata (np. lata 1933-34). W momencie minimum zaczynają się już pojawiać na wysokich szerokościach plamy nowego cyklu. Diagram zawiera ogromną ilość informacji: 1. Skrzydła nigdy nie rozciągają się poza 45°, tzn. że plamy nigdy nie kształtują się powyżej 45° szerokości. 2. Skrzydła mają kształt litery "V", plamy pojawiające się początkowo w szerokościach 30-40° zbliżają się w miarę trwania cyklu do równika. 3. Równik podobnie jak bieguny jest rzadko zaplamiony. Poniżej wykresu motylkowego narysowany jest wykres całkowitej powierzchni pokrytej przez plamy. Powierzchnia ta jest wyrażona w setnych częściach powierzchni dysku słonecznego. Jako wskaźnik cykliczności jest ona równoważna liczbie plam lub liczbie Wolfa. Zauważmy, że amplituda 11-letniej cykliczności zmienia się od cyklu do cyklu (porównaj rok 1928 i 1937). Podczas pojedyńczego cyklu wzrost do maksimum jest raczej szybki, podczas gdy spadek powolny.

22-go cyklu aktywności

niowaniu radiowym, świetle widzialnym, ultrafiolecie oraz promieniowaniu rentgenowskim i gamma.

Cykliczność aktywności Słońca ujawnia się między innymi w zmianach liczby Wolfa (11-letni cykl plam słonecznych), pól pochodni, protuberancji, emisji radiowej chromosfery i korony i w aktywności rozbłyskowej. W rzeczywistości okres tej aktywności zmienia się od cyklu do cyklu w przedziale od 9 do 13,6 lat. Również amplituda cyklu zmienia się znacznie w różnych cyklach. Maksima cykli osiągnęły najwyższą wartość średniej rocznej liczby Wolfa – 190,2 w roku 1957 w cyklu 19 a najniższą – 45 w cyklach w latach 1804 i 1818.

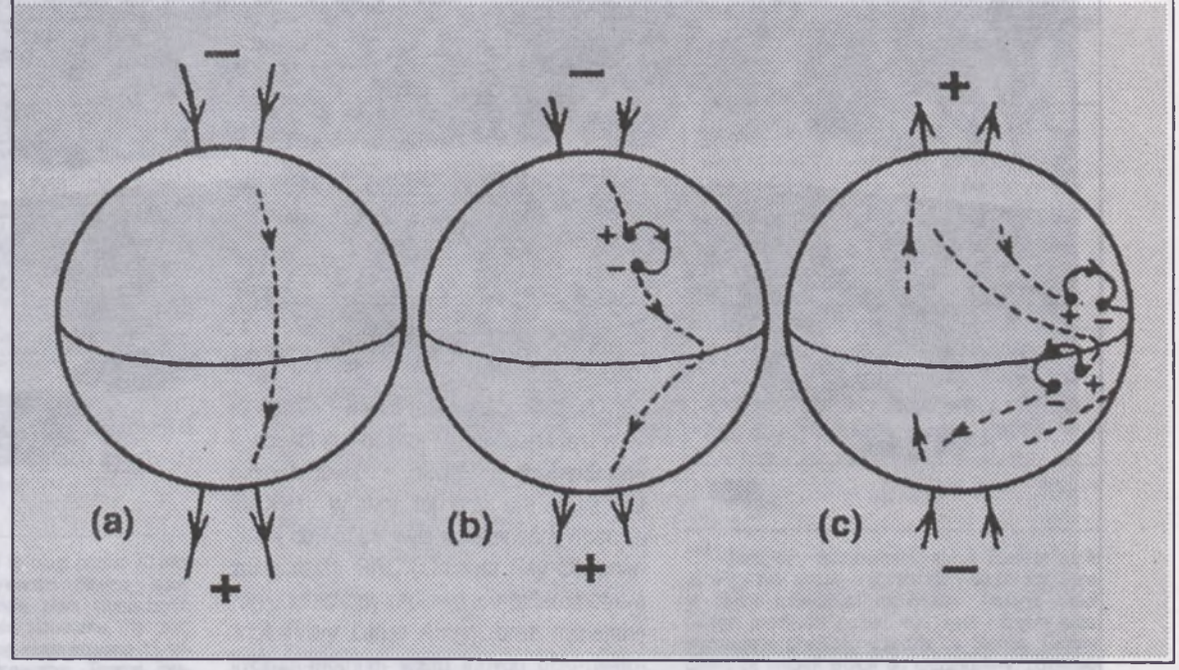
Poprzedni, 21 cykl, miał w maksimum, w roku 1979, średnią roczną liczbę Wolfa równą 155,4. Obecny 22 cykl miał wg prognoz osiągnąć maksimum na początku roku 1991. Początkowo rósł on od minimum bardzo szybko, szybciej niż jakikolwiek z poprzednich 21 cykli. Istnieje korelacja między tempem wzrostu aktywności w początkowej fazie cyklu a wysokością cyklu. zgodnie z nią ten cykl powinien być jednym z najwyższych. Minimum poprzedniego cyklu było we wrześniu 1986 roku. Obecnie nie wiemy, czy maksimum cyklu 22 już było w połowie roku 1989 (średnia roczna liczba Wolfa wynosiła wówczas 157,6), czy też może jeszcze nastąpi. Jeżeli było już w 1989 roku, wtedy obecny cykl byłby wyższy od 21 cyklu, ale nie przekroczyłby wysokości cyklu 19, jak się spodziewano. Niemniej wydaje się, że Słońce nie powiedziało jeszcze ostatniego słowa w tym cyklu. Ostatnio, w czerwcu i lipcu bieżącego roku notujemy bardzo silną aktywność plamotwórczą i rozbłyskową Słońca.

Ostatnie 20 lat wniosło dużo nowego do naszej wiedzy o aktywności Słońca. Stało się tak dzięki rozwojowi nowoczesnej techniki, a w szczególności pozaatmosferycznych obserwacji Słońca. Jednym z najbardziej udanych eksperymentów kosmicznych był satelita *Solar Maximum Mission* (*SMM*). Działał on z przerwami od lutego 1980 roku aż do grudnia 1989 roku. Był on wyposażony w siedem instrumentów, które mogły obserwować Słońce od promieniowania gamma do radiowego, spektrometr promieniowania gamma, dwa detektory twardego i jeden miękkiego promieniowania rentgenowskiego, detektor promieniowania ultrafioletowego, radio-

Dynamo słoneczne

Jak do tej pory nie istnieje dokładny, matematyczny model tłumaczący powstawanie plam słonecznych. Prześledźmy jednak ogólny, jakościowy obraz cyklu aktywności, znany od roku 1961. Wyobraźmy sobie, że pierwotne pole magnetyczne Słońca ma charakter dipolowy (przyjmujemy konwencję, że ujemny biegun dipola znajduje się w miejscu gdzie linie sił pola wchodzą, a dodatni gdzie wychodzą z obszarów wokółbiegunowych). Słońce jest bliskie minimum aktywności (**a**). Gaz na powierzchni Słońca rotuje z różnymi prędkościami na różnych szerokościach heliograficznych: na równiku jeden okres obiegu wynosi ok. 25 dni, podczas gdy na średnich szerokościach (~45°) ok. 28 dni. Zjawisko to nosi nazwę rotacji różniczkowej. Jak łatwo sobie wyobrazić, wmrożone w plazmę linie sił pola magnetycznego po kilku obrotach ulegną pod powierzchnią Słońca zniekształceniom (**b**). Wskutek kulistego kształtu Słońca (zwężającego się ku biegunom), najbliżej powierzchni znajdą się początkowo linie sił pola na wysokich (~40°) szerokościach i pod wpływem sił wyporu rury strumienia magnetycznego zaczną wychodzić nad fotosferę tworząc obszary aktywne (plamy). Oczywiście, zgodnie z założoną konwencją, dodatni biegun magnetyczny znajdzie się w miejscu gdzie linie sił pola wychodzą, a ujemny gdzie chowają się pod powierzchnię. Widzimy w ten sposób, że rozpoczynający się właśnie cykl aktywności tworzy lokalne pola magnetyczne (związane z grupami plam) o przeciwnej polaryzacji niż pierwotne pole dipolowe. Mamy więc klasyczny przykład ujemnego sprzężenia zwrotnego: im silniejsze pierwotne pole magnetyczne, tym silniejsze będą powstawać przeciwnie skierowane pola lokalne, niwelujące wartość tego pierwszego. Czytelnik mający pewne doświadczenie fizyczne rozpozna w tym opisie równanie oscylatora i już spodziewa się okresowego rozwiązania problemu. Ale prześledźmy zjawisko dalej. Kolejne obroty Słońca będą powodowały dalsze nawijanie się linii sił pola i przesuwanie obszaru ich największego zagęszczenia (a co za tym idzie, i obszarów aktywnych – plam) w kierunku równika. Wkrótce obserwujemy maksimum aktywności słonecznej i sumaryczne pole magnetyczne pól lokalnych najpierw całkowicie niweluje pierwotne pole dipolowe, by wreszcie dawać sumaryczny wkład dający pole dipolowe o odwrotnej polaryzacji (**c**). W rzeczywistości, linie sił pola będą o wiele bardziej nawinięte niż przedstawiono to na rysunku i będą tworzyły toroidalne pole o przeciwnej polaryzacji na każdej półsferze Słońca. Warto zauważyć, że wkrótce ze schyłkowymi plamami jednego cyklu, w dużych szerokościach mogą zacząć pojawiać się plamy cyklu następnego (patrz ramka na sąsiedniej stronie), ale o odwrotnej polaryzacji pola, a pełen magnetyczny cykl słoneczny wynosi zatem nie 11, ale około 22 lat. Uważny Czytelnik może zapytać o źródło energii dla podtrzymania takiej, cyklicznej aktywności (jak w każdym oscylatorze fizycznym występują wszak tłumienia). W przypadku Słońca mechanizmem wymuszającym cykliczną aktywność jest rotacja różniczkowa i w ostatecznym bilansie odbywa się kosztem energii rotacji. Na szczęście moment bezwładności Słońca jest wystarczająco duży by spowolnienie jego tempa rotacji nie mogło być zauważone.

(MaMiko)



Słońce szaleje – maksimum

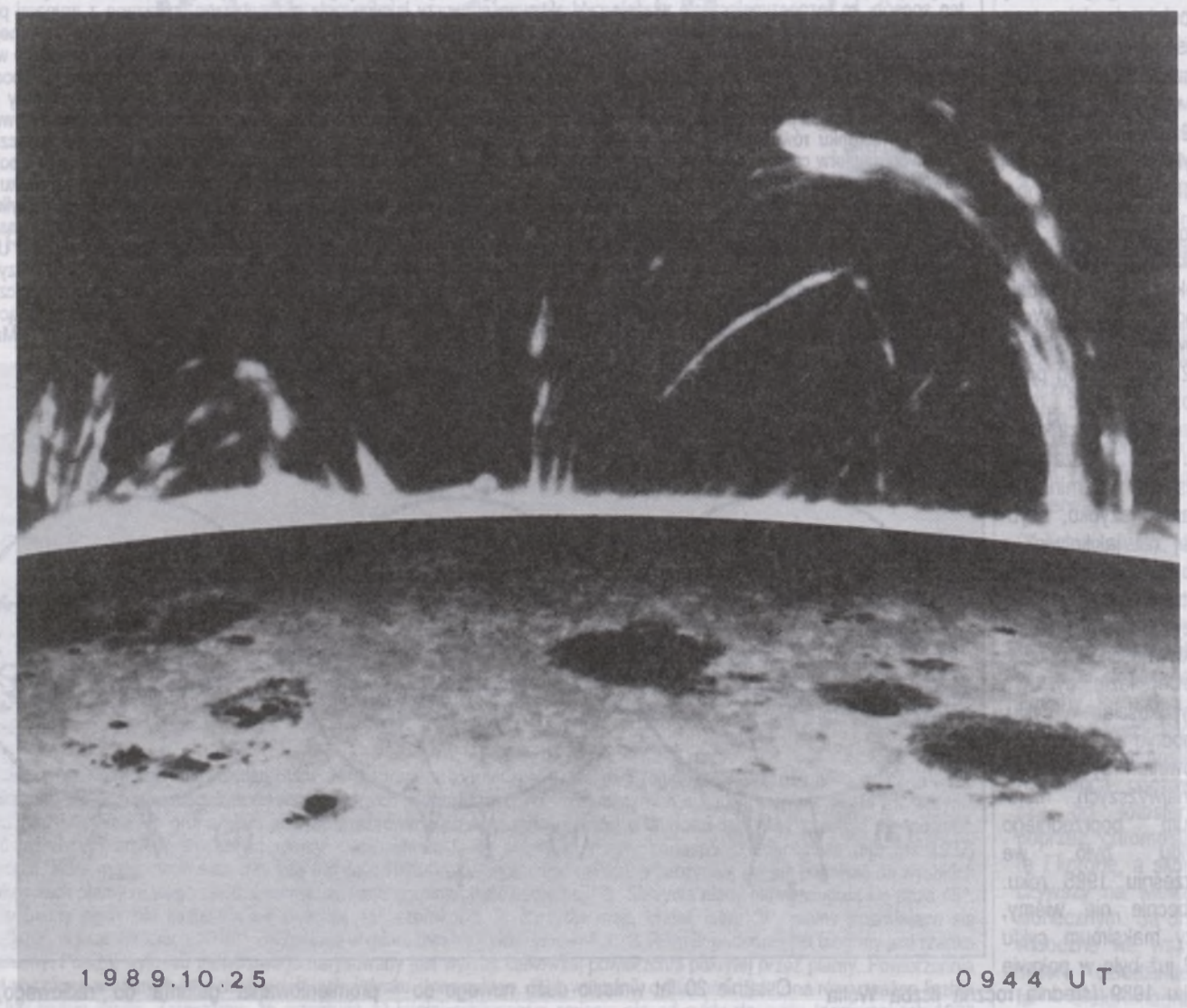
metr próżniowy i koronograf–polarymetr. Głównym jego zadaniem były obserwacje rozbłysków słonecznych podczas maksimum 21-go cyklu w 1980-81. Niemniej podczas następnej dekady *SMM* dokonał wielu wartościowych obserwacji. Jego pokładowe instrumenty zarejestrowały około 10000 rozbłysków słonecznych, 10 z 16 znanych komet, które wyparowały w atmosferze Słońca* oraz zarejestrował promieniowanie gamma z kilku zródeł łącznie z supernową 1987A. Dane z *SMM* przyczyniły się również do odkrycia, że ilość ozonu w górnych warstwach atmosfery w średnich ziemskich szerokościach zależy od cyklu aktywności Słońca. W ciągu ostatnich dwóch lat działania koronograf–polarymetr na *SMM* zarejestrował bezprecedensową liczbę koronalnych wyrzutów masy – *CME*s (*coronal mass ejections*). W 1988 roku zaobserwował ponad 400 *CME*s a w pierwszych czterech miesiącach 1989 roku dalsze 200 *CME*s. Całkowita liczba *CME*s obserwowanych w tym czasie jest większa niż łączna liczba *CME*s w okresie od 1980 do 1987 roku. Jest to niewątpliwie przykład wzmożonej działalności Słońca w 22-im cyklu.

Inne wyjątkowe odkrycie zostało dokonane dzięki próżniowemu radiometrowi *ACRIM* i na pokładzie *SMM*. Ujawnił on zmienność stałej słonecznej, czyli całkowitego strumienia promieniowania słonecznego. Obserwacje te obejmujące fazę spadku cyklu 21 i fazę wzrostu cyklu 22 wyraźnie sugerują cykliczną zmienność stałej słonecznej zgodną z 11-letnim cyklem aktywności słonecznej. Średnio nasza gwiazda świeci około 0,1 procent jaśniej w maksimum cyklu niż w minimum, głównie dlatego, że wkład jasnych pól pochodni przewyższa przyciemniający efekt plam**.

Badając cykliczność aktywności w liniach emisyjnych zjonizowanego wapnia i zmiany w ogólnej jasności gwiazd typu słonecznego R. R. Radich i jego współpra-

* piszemy o tym w poprzednim zeszycie Postępów Astronomii na str. 114 (przyp. red.)

** temu zagadnieniu jest poświęcony następny artykuł na str. 160 (przyp. red.)



Złożenie dwóch zdjęć Słońca wykonanych 25-go października 1989 roku: fragment fotosfery w pobliżu brzegu tarczy oraz obraz korony nad tym fragmentem fotosfery. Zgodność położenia protuberancji i plam wskazuje położenie lokalnych pól magnetycznych w obszarach aktywnych. Zdjęcie wykonali B. Rompolt i P. Rudawy za pomocą wielkiego koronografu w Białkowie (obserwatorium Uniwersytetu Wrocławskiego).

22-go cyklu aktywności

cownicy odkryli, że jasności gwiazd młodszych niż Słońce ogólnie fluktuują bardziej dramatycznie, powyżej 1 procenta, co sugeruje, że ich plamy są większe, ciemniejsze i liczniejsze niż na Słońcu. Ponadto, gwiazdy te mają niższe jasności w maksimum swego cyklu aktywności. Oznacza to, że ich duże plamy dają większy wkład do ogólnej jasności niż towarzyszące im pola pochodni. Starsze gwiazdy zachowują się odmiennie, stają się ciemniejsze w minimum cyklu podobnie jak Słońce. Dla tych obiektów wyraźnie dominują w długich okresach czasu jasne pola pochodni. S. Baliunas i R. Jastrow przebadali magnetyczne zachowanie 74 „bliźniaków Słońca" (pod względem masy i wieku). Jedna trzecia z nich wydaje się nie przejawiać magnetycznych zmian. Pośrednie badania cykliczności Słońca sugerują, że w ciągu ostatniego tysiąclecia spędziło ono jedną trzecią swego czasu w „minimum magnetycznym", kiedy aktywność Słońca ustaliła się na bardzo niskim poziomie i nie występowała wyraźnie widoczna 11-letnia cykliczność. Obniżenie stałej słonecznej o 0.1 procenta daje zmniejszenie średniej temperatury ziemskiej o mniej niż 0,1 K. Nie jest to duży efekt, ale lata minimum Maundera*** słonecznej aktywności (1640-1715) były jednocześnie okresem niezwykle zimnej pogody w Europie, która spowodowała wyraźne powiększenie się lodowców i nieurodzajne lata. Okres ten został nawet nazwany małym okresem lodowcowym. Obecne oceny pokazują, że średnia globalna temperatura obniżyła się wtedy „tylko" o 0.5 K. Jeżeli to było związane z obniżeniem stałej słonecznej w Minimum Maundera, to wg standardowych modeli klimatycznych wystarczyłaby obniżka tej stałej o 0,2-0,5 procenta w okresie kilku dziesięcioleci.

Nie minęło 10 lat jak odkryto, że Słońce oscyluje w licznych tzw. modach akustycznych. Najnowsze badania obejmujące okres od 1977 do 1989 (cykl 21 i fazę wzrostu cyklu 22) wskazują na to, że Słońce zmienia częstotliwość swoich oscylacji w ciągu cyklu słonecznego. Zmiany częstotliwości w indywidualnych modach oscylacji okazały się być małe, wynosiły 1/6 mHz ciągu cyklu słonecznego. Częstotliwości oscylacji są wyższe, gdy na Słońcu jest więcej plam. Podobny wynik otrzymano dla tzw. „pięcio-minutowych oscylacji" (częstotliwości 1–4 mHz). Akustyczne mody oscylacji o częstotliwościach 1 mHz nie wykazują zmian, ale za to 4 mHz mody pokazują przesunięcie o około 1/10 mHz ku wyższym częstotliwościom w okresie od minimum cyklu słonecznego w 1986 roku do początku okresu maksimum w 1988 roku. Ta zależność częstotliwości przesunięcia od częstotliwości modu wskazuje, że mają one prawdopodobnie wspólne źródło zaburzające, które znajduje się niezbyt głęboko pod fotosferą. Badania zmian tych akustycznych modów oscylacji mogą dać znaczący wkład do wyjaśnienia cyklu aktywności słonecznej.

Na prezentowanym obok zdjęciu widzimy inny przykład aktywnego zjawiska obserwowanego w Obserwatorium Wrocławskim 25 października 1989 roku. Jest to zdjęcie złożone z dwóch zdjęć z dużego koronografu w Białkowie wykonanych przez B. Rompolta i P. Rudawego. Jedno z nich – pokazujące pętle porozbłyskowe – zostało wykonane z tarczą słoneczną przysłoniętą sztucznym księżycem z czasem ekspozycji 1/15 sekundy a drugie – pokazujące plamy na dysku Słońca – z odsuniętym sztucznym księżycem z czasem 1/60 s. Oba zdjęcia były robione przez wąski (3 Å) filtr H–alfa. Widać zgodność struktur pętlowych z rozłożeniem plam na powierzchni Słońca.

W czasie trwania maksimum 22 cyklu aktywności słonecznej prowadzona jest międzynarodowa akcja obserwacyjna MAX'91. W akcji tej brał udział satelita *SMM* do końca swej działalności, obecnie zaś satelita GRO (*Gamma Ray Observatory*), teleskopy radiowe z interferometrem *VLA* (*Very Large Array*), oraz naziemne instrumentarium wielu innych obserwatoriów. Akcja ta miała na celu wszechstronne przebadanie aktywności Słońca w czasie maksimum. Obserwacje były głównie nakierowane na impulsywną fazę transportu energii i cząstek (rozbłyski) i na badanie dynamicznej ewolucji pól magnetycznych i struktur pętlowych oraz ich związku z aktywnością Słońca. Również Obserwatorium Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego bierze udział w tej akcji. Akcja ta zaowocowała ostatnio wspaniałymi obserwacjami sześciu bardzo energetycznych rozbłysków, które zdarzyły się w krótkim okresie 13 dni od 3 do 15 czerwca 1991. Pięć z tych olbrzymich rozbłysków miało klasę rentgenowską X12 a jeden X10. Oznacza to, że ich jasność w miękkim promieniowaniu rentgenowskim w paśmie 1-8 angstremów wynosiła od 1.0 do 1.2 erg $cm^{-2} s^{-1}$. Obszar aktywny AR 6659, w którym zaobserwowano te rozbłyski, był rekordowym źródłem produkcji tak wysoko energetycznych rozbłysków. Rozbłysk z dnia 15 czerwca 1991 był obserwowany również w Obserwatorium Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego na małym koronografie we Wrocławiu oraz dużym koronografie i teleskopie horyzontalnym w Białkowie. Rozbłyskowi temu towarzyszyły wyrzuty materii do korony – jasne spreje i serdże**** oraz intensywne wybuchy radiowe typu II i IV. Tak silna aktywność Słońca może wskazywać, że maksimum aktywności słonecznej jeszcze nie minęło. Prawdopodobnie mamy obecnie tzw. wtórne maksimum aktywności magnetycznej Słońca.

Powyższy artykuł Czytelnik zawdzięcza astronomom, a ściślej heliofizykom wrocławskim. Anna Mińko-Wasiluk jest asystentką Profesora B. Rompolta, współautora pięknego zdjęcia pokazanego na sąsiedniej stronie, w Instytucie Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego. Zainteresowania naukowe Autorki to właśnie wspomniane serdże, rotacja i struktura spiralna w protuberancjach.

*** Minimum Maundera był to długi ponad 70-letni okres bardzo niskiej aktywności Słońca, kiedy obserwowano bardzo niewiele plam słonecznych i innych świadectw aktywności słonecznej (np. zórz polarnych) i niemal wcale nie obserwowano 11-letniego cyklu aktywności słonecznej. Pewne interesujące sugestie na temat wpływu aktywności i dzielności promieniowania Słońca na klimat w epokach historycznych znajdzie Czytelnik w artykule Philipa D. Jones'a i Toma M.L. Wigley'a w pierwszym zeszycie polskiej edycji *Scientific American* z lipca 1991 (*Świat Nauki* 1, 42)

**** Dwa typy protuberancji: spreje i serdże są to silne wyrzuty plazmy z chromosfery do korony. Spreje często towarzyszą rozbłyskom. Materia w nich osiąga prędkości ponad 400 km/s, często przewyższające prędkość ucieczki ze Słońca. Główna część tej materii wraca do chromosfery, pozostała zanika lub ucieka ze Słońca. Serdż jest to materia wyrzucona z chromosfery po torze prostym lub lekko zakrzywionym z prędkościami 100 – 200 km/s. Materia ta zanika w koronie albo opada ku powierzchni po tym samym torze, po którym się wznosiła.

Słońce gwiazdą zmienną !

ZMIANY MOCY PROMIENIOWANIA SŁOŃCA Z 11-LETNIM CYKLEM AKTYWNOŚCI

Grażyna Gawrońska

Nikt z nas nie ma wątpliwości, że dzięki Słońcu istnieje życie na naszej planecie. Słońce wysyła nieustannie w przestrzeń energię w postaci promieniowania w całym zakresie widma elektromagnetycznego, od fal rentgenowskich, poprzez ultrafioletowe, widzialne, podczerwone, aż do radiowych. Jej miarą jest *moc promieniowania*, tzn. całkowita ilość energii wysyłanej przez Słońce w jednostce czasu. Nasza najbliższa gwiazda ogrzewa i oświetla Ziemię na skutek reakcji jądrowych, które zachodzą w jej centrum. Wystarczający zapas paliwa jądrowego (wodoru) we wnętrzu Słońca powoduje, że Ziemia oświetlana była w przybliżeniu tą samą ilością promieniowania przez cały czas swojego istnienia. Takie też wyniki dają badania pokładów geologicznych Ziemi. Jednakże, energia produkowana we wnętrzu Słońca nim zostanie wyświecona w przestrzeń przez jego powierzchnię (fotosferę), musi przebyć trudną i długą drogę przez wszystkie nieprzeźroczyste jego warstwy, od centrum do fotosfery. I właśnie zakłócenia w transporcie energii z wnętrza Słońca na zewnątrz, w warstwach podfotosferycznych, mogą być (podobnie jak w przypadku większości gwiazd zmiennych) przyczyną zmian jego jasności oraz aktywności fotosfery i warstw nadfotosferycznych.

Od czasu włączenia satelitów do obserwacji Słońca pomiary mocy promieniowania są znacznie bardziej dokładne. Na początku 1980 r., na pokładzie wspomnianego w poprzednim artykule (str. 156) satelity wyniesionego w ramach Misji Maksimum Słońca (SMM) znalazł się instrument ACRIM I (*Active Cavity Radiometr Irradiance Monitor*), który dokonywał obserwacji prawie do końca 1989 r. W tym samym czasie niezależnie podobne obserwacje wykonywał satelita Nimbus 7. Już wstępna analiza danych wykazała fluktuacje mocy promieniowania. Są one skutkiem aktywności Słońca, tzn. zjawisk, które występują na jego powierzchni: plam, obszarów aktywnych, granulacji, oscylacji i sieci jasnych plam związanych z polem magnetycznym.

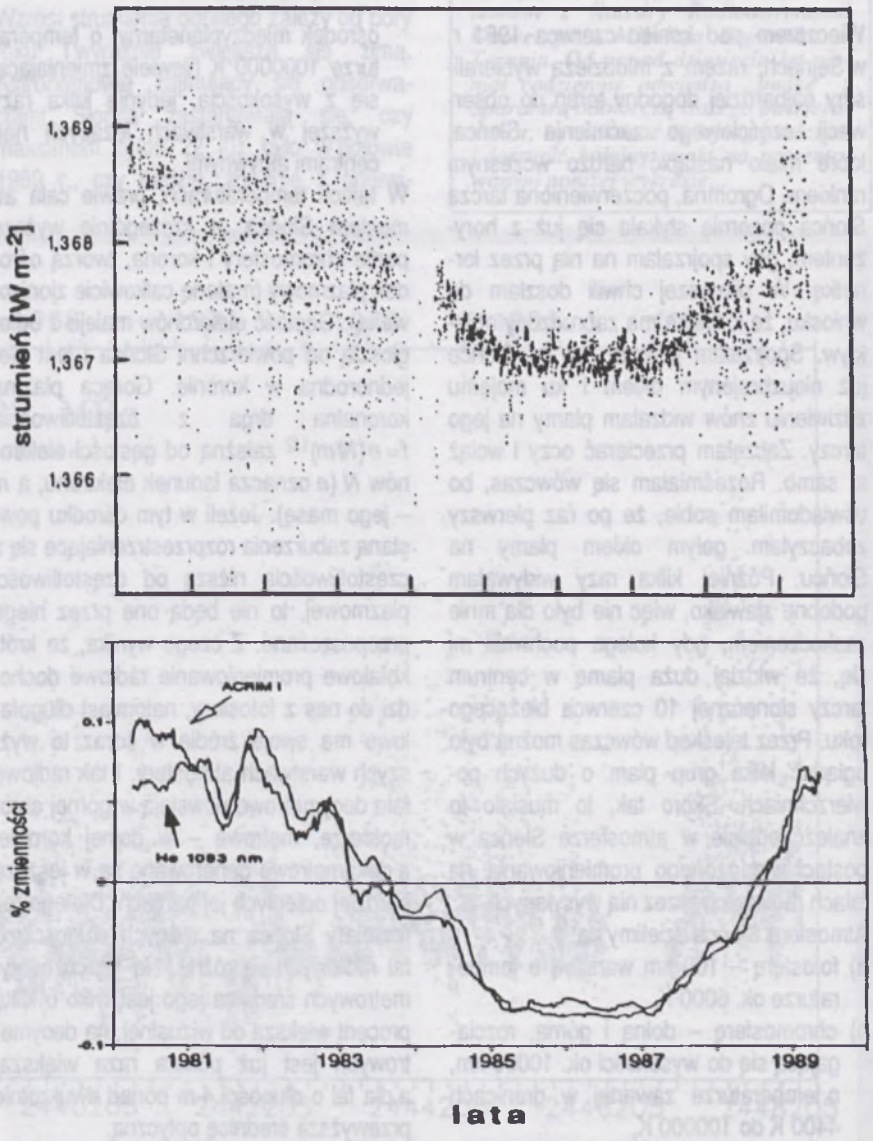
Nim przejdziemy do omówienia odkrycia zmienności całkowitej jasności Słońca w cyklu 11-letnim, przyjrzyjmy się przez chwilę jego powierzchni. Jeśli spojrzymy na nią nawet przez niewielką lunetę, to zwrócimy uwagę na ciemne plamy. Jest ich czasem mniej, czasem więcej. Bywa, że nie widzimy ich wcale, gdyż plamy mają swój określony *czas życia*, od dni, tygodni, z rzadka do miesięcy. Występują one w grupach, pojawiając się na terenie obszarów aktywnych jako maleńkie kropki, rosną i następnie zanikają. Widzimy je jako ciemne plamy, ponieważ temperatura w nich jest obniżona o ok. 1500 K. Wokół ciemnych plam widzimy białe plamy o znacznie dłuższym czasie trwania na powierzchni, które nazywamy pochodniami fotosferycznymi. Ich temperatura jest z kolei wyższa od otoczenia o ok. 800 K. Popatrzmy teraz przez większy teleskop na fotosferę. Zauważymy niezbyt duże białe i ciemne plamy, których układ co 5 do 10 minut się zmienia. Kojarzy się on ze strukturą ziarnistą, stąd mowa o granulacji fotosfery. Warstwa podfotosferyczna – strefa konwekcji – zachowuje się jak wrząca woda w garnku. Duże, gorące pęcherze gazu wynoszone na powierzchnię, widziane jako jasne ziarna, po minutach ochładzają się, ciemnieją i zapadają się pod powierzchnię. W ten sposób energia wynoszona jest na zewnątrz. Głównym dyrygentem ruchu materii w Słońcu i poza nim jest pole magnetyczne. Jeśli sprzęgniemy z teleskopem słonecznym magnetograf, to ujrzymy strukturę pola magnetycznego na powierzchni Słońca: mnóstwo rurek wynurzających się spod fotosfery o dodatnim biegunie magnetycznym i zanurzających się w nią o biegunie przeciwnym. Tworzą one na tarczy Słońca sieć jasnych plamek, gdyż materia wypływa wzdłuż tych rurek. Pole magnetyczne o dużym natężeniu hamuje wypływ materii. Wyobraźmy sobie, że w pewnym obszarze rurki te zaczynają się zagęszczać, co oznacza, że w tym miejscu wzrasta natężenie pola magnetycznego. Tworzy się tam tzw. obszar aktywny. Po pewnym czasie w centrum tego rejonu, po jeszcze większym zagęszczeniu rurek, zaczynają pojawiać się plamy, a w ich otoczeniu pochodnie. Ilość zjawisk oglądanych na tarczy słonecznej nie jest stała, zmienia się w czasie: narasta, osiąga maksimum, a następnie maleje do wartości minimalnej. Stąd mowa o cyklu aktywności słonecznej – jedena-

22-go cyklu aktywności

stoletnim – gdyż kolejne maksima następują po sobie mniej więcej co jedenaście lat. Głównym wskaźnikiem aktywności słonecznej są dzienne liczby Wolfa związane z ilością pojawiających się plam w różnych momentach cyklu, ale równie dobrze wskazują fazę cyklu zmieniające się powierzchnie plam, czy zmiany *szerokości równoważnych** linii widmowych Słońca. Codziennych obserwacji dokonuje się m.in. dla linii helu He I 1083nm. Jest ona dobrym wskaźnikiem zmian w nadwyżce promieniowania jasnych magnetycznych struktur włączając duże pochodnie i sieć jasnych obszarów aktywnych. Ten ostatni wskaźnik nadaje się do porównywania rejestrowanych zmian mocy promieniowania przez satelity ACRIM I i Nimbus 7.

W tym roku (1991) w maju, Richard C. Willson z *California Institute of Technology* oraz Hugh S. Hudson Uniwersytetu w *San Diego* opublikowali w *Nature* (**351**, 42) wyniki dokonanej przez nich po raz pierwszy analizy kompletnej serii danych satelitarnych, które potwierdzają, że moc promieniowania Słońca zmienia się z 11-letnim cyklem aktywności słonecznej. Jej różnica w maksimum i minimum aktywności wynosi ok. 0.2%, czyli Ziemia nie jest oświetlana jednakową ilością światła słonecznego. Obserwacje satelitarne wskazują więc na to, że Słońce jest gwiazdą o zmiennej mocy promieniowania, przy czym maksimum promieniowania przypada w maksimum aktywności, co oznacza, że energia blokowana w plamach, musi być z nadwyżką kompensowana w jasnych polach aktywnych. I rzeczywiście, na ogólny obraz zmian nakładają się szybkie fluktuacje o nawet znacznej amplitudzie: te kilkudniowe identyfikowane są z plamami, a te kilkumiesięczne z pochodniami. Plamy powodują blokowanie wypływającej energii, natomiast pochodnie jej nadwyżkę. Brakujący strumień promieniowania w plamach może być z grubsza porównywalny z nadwyżką strumienia w pochodniach w tych samych aktywnych obszarach, co nie oznacza jednak, że są to energetycznie powiązane zjawiska.

Obraz zmian natężenia (*szerokości równoważnej*) linii He I 1083nm w latach 1980 – 1989 dobrze pokrywa się ze zmianami mocy promieniowania obserwowanymi przez satelity z jednym wyjątkiem: wartości średnie dla 1980 r. (w pobliżu poprzedniego maksimum aktywności) w obu przypadkach są rozbieżne. Dane satelitarne wykazują 0.03% nadwyżkę mocy promieniowania, której nie obserwuje się w linii He I 1083nm. Autorzy sugerują, że istnieje nieznany jeszcze mechanizm, inny niż ten związany z deficytem mocy promieniowania na skutek występowania plam słonecznych. Analiza danych satelitarnych wskazuje na fakt, że w następnych maksimach aktywności należy spodziewać się podobnych efektów. W tym celu satelity nadal mierzą moc promieniowania Słońca i jest rzeczą ciekawą czy w aktualnie obserwowanym, 22-im maksimum aktywności słonecznej, również zarejestrują nadwyżkę mocy promieniowania, nieuchwytną przez dotychczas znane wskaźniki aktywności słonecznej.



Na wyższym rysunku pokazano całkowity obserwowany strumień energii słonecznej zmierzony przez instrument ARCIM I (średnia dobowa). Szybkie dobowe minima wywołane są głównie obecnością plam i widoczne są w pobliżu maksimów aktywności. Kiedy ich brak, czyli podczas minimum aktywności wyraźnie widoczne jest również minimum całkowitej mocy promieniowania Słońca, podczas gdy maksimum promieniowania, skorelowane z maksimum aktywności, ujawnia się wyraźnie **na dolnym rysunku**, gdzie te same dane uśredniono w przedziałach po 81 dni i przedstawiono w formie procentowej zmiany średniego strumienia. Dane te porównano z wartościami strumienia wynikającymi z wartości obserwowanej szerokości równoważnej linii He I 1083nm (Willson i Hudson, *Nature*, vol. 351, str. 42)

* Gdyby daną linię widmową zastąpić linią o profilu prostokątnym i głębokości równej całkowitej absorbcji w tym miejscu (tzn. od kontinuum do zera) i polu powierzchni równym linii obserwowanej, to szerokość tak skonstruowanej linii nazywana jest *szerokością równoważną*. Innymi słowy, *szerokość równoważna* jest miarą całkowitej ilości zaabsorbowanej energii w danej linii absorbcyjnej niezależną od jej profilu (kształtu).

Słońce szaleje – maksimum

Kiedy maksimum?

TORUŃSKIE OBSERWACJE RADIOWE SŁOŃCA NA CZĘSTOTLIWOŚCI 127 MHz*

Grażyna Gawrońska

Wieczorem pod koniec czerwca 1981 r. w Sejnach, razem z młodzieżą wybieraliśmy najbardziej dogodny teren do obserwacji częściowego zaćmienia Słońca, które miało nastąpić bardzo wczesnym rankiem. Ogromna, poczerwieniona tarcza Słońca pozornie stykała się już z horyzontem, gdy spojrzałam na nią przez lornetkę. W pierwszej chwili doszłam do wniosku, że lornetka ma zabrudzony obiektyw. Spojrzałam jeszcze raz na Słońce już nieuzbrojonym okiem i ku mojemu zdziwieniu znów widzałam plamy na jego tarczy. Zaczęłam przecierać oczy i wciąż to samo. Roześmiałam się wówczas, bo uświadomiłam sobie, że po raz pierwszy zobaczyłam gołym okiem plamy na Słońcu. Później kilka razy widywałam podobne zjawisko, więc nie było dla mnie zaskoczeniem, gdy kolega pochwalił mi się, że widział duża plamę w centrum tarczy słonecznej 10 czerwca bieżącego roku. Przez teleskop wówczas można było oglądać kilka grup plam o dużych powierzchniach. Skoro tak, to musiało to znaleźć odbicie w atmosferze Słońca w postaci wzmożonego promieniowania na falach radiowych przez nią wysyłanych.

Atmosferę Słońca dzielimy na:

a) fotosferę – 100 km warstwę o temperaturze ok. 6000 K,
b) chromosferę – dolną i górną, rozciągającą się do wysokości ok. 10000 km, o temperaturze zawartej w granicach 4400 K do 100000 K,
c) koronę – dolną i górną, sięgającą do odległości od 55 do 120 promieni Słońca i następnie przechodzącą w ośrodek międzyplanetarny, o temperaturze 1000000 K niewiele zmieniającej się z wysokością, jedynie kilka razy wyższej w warstwach leżących nad centrami aktywnymi.

W takich temperaturach, prawie cała atmosfera Słońca, a szczególnie wyższe partie chromosfery i korona, tworzą ośrodek plazmowy (materię całkowicie zjonizowaną). Gęstość elektronów maleje z odległością od powierzchni Słońca i jest niejednorodna w koronie. Gorąca plazma koronalna drga z częstotliwością $f = e(N/m)^{1/2}$ zależną od gęstości elektronów N (e oznacza ładunek elektronu, a m – jego masę). Jeżeli w tym ośrodku powstaną zaburzenia rozprzestrzeniające się z częstotliwością niższą od częstotliwości plazmowej, to nie będą one przez niego przepuszczane. Z czego wynika, że krótkofalowe promieniowanie radiowe dochodzi do nas z fotosfery, natomiast długofalowe ma swoje źródła w coraz to wyższych warstwach atmosfery. I tak radiowe fale decymetrowe powstają w górnej chromosferze, metrowe – w dolnej koronie, a dekametrowe generowane są w jeszcze bardziej odległych jej partiach. Dlatego też rozmiary Słońca na różnych długościach fal radiowych są różne. Na falach centymetrowych średnica jego jest tylko o kilka procent większa od wizualnej, na decymetrowych jest już półtora raza większa, a dla fal o długości 4 m ponad dwukrotnie przewyższa średnicę optyczną.

W promieniowaniu radiowym Słońca wyróżniamy dwa podstawowe typy: promieniowanie Słońca spokojnego i promieniowanie Słońca aktywnego. Pierwsze z nich, ma charakter termiczny i wykazuje zmiany z cyklem 11-letnim, a zatem z ilością plam na Słońcu, a także charakteryzuje się powtarzalnością o 27-dniowym okresie, która wynika z istnienia długotrwałych centrów aktywności o silnie kierunkowym promieniowaniu radiowym, rotujących sztywno ze Słońcem. Promieniowanie Słońca aktywnego jest nietermiczne i objawia się w postaci wybuchów. Wówczas jego natężenie przewyższa od kilku do milionów razy natężenie promieniowania Słońca spokojnego.

W Piwnicach pod Toruniem od 23 października 1958 r. prowadzi się obserwacje promieniowania radiowego Słońca na częstotliwości 127 MHz, czyli na fali 2.36 m . Jak wyżej wspomniałam, rejestruje się więc strumień promieniowania docierający z dolnej części korony słonecznej odległej od powierzchni naszej gwiazdy o ok. 1.5 jej promienia. Początkowo obserwowano Słońce 12-metrowym radioteleskopem, od czerwca 1973 r. prostym interferometrem o bazie 10λ (23.6 m). Obserwacje zatem trwają około 33 lata i obejmują 3 cykle 11-letnie – od cyklu 19, w rok po maksimum, do przewidywanego na obecny rok maksimum cyklu 22. Były one 3 razy przerwane: w 1960 (wymiana pojedyńczego radioteleskopu na interferometr) i 1973 (wymiana całego systemu odbiorczego) na pół roku i od czerwca 1985 r. do końca marca 1987 r. (wymiana odbiornika). Na podstawie pomiarów promieniowania radiowego Słońca na częstotliwości 127 MHz określa się:

* O obserwacjach Słońca na wyższej częstości, 810 MHz, przeprowadzanych w Krakowie, piszemy w zeszycie 2 *Postępów Astronomii*, na str. 90

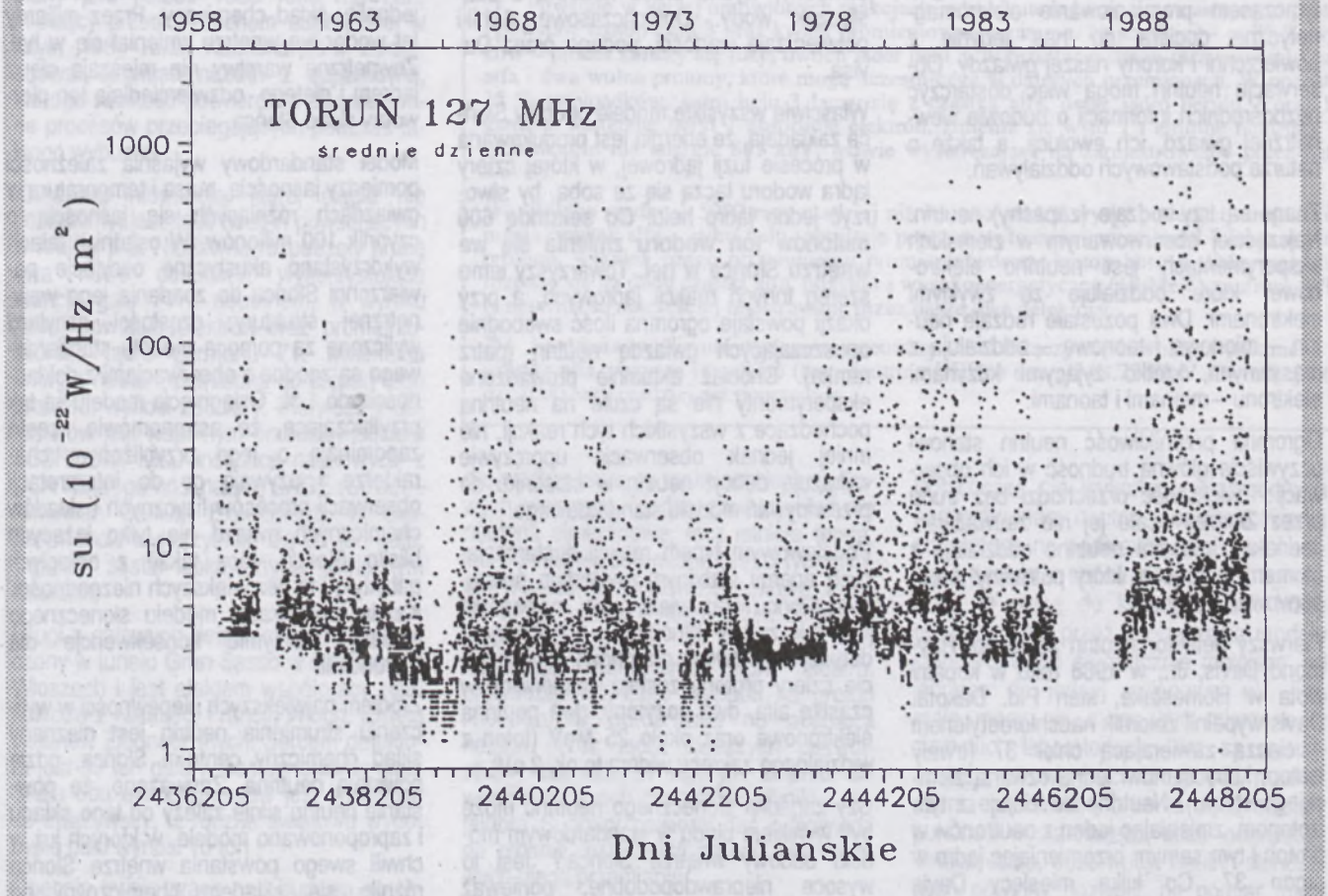
22-go cyklu aktywności

a) średnie dzienne wartości gęstości strumienia promieniowania Słońca w jednostkach słonecznych su (*solar unit*); 1 su = 10^{-22} $WHz^{-1}m^{-2}$,
b) wskaźnik zmienności strumienia promieniowania w umownej skali względnej (względem poziomu kontinuum) od 0 do 3 opisujący dynamikę burz szumowych,
c) zjawiska niezwykłe.

Aktywność Słońca przejawia się poprzez zjawiska (wybuchy) krótko i długotrwale, czyli minutowe i kilkudziesięciominutowe, obserwowane na wszystkich długościach fal radiowych oraz wielogodzinne czy wielodniowe nazywane burzami szumowymi, występujące głównie na metrowych falach radiowych. Wybuchy na falach radiowych stowarzyszone są z tym, co dzieje się na powierzchni Słońca, tzn. plamami, pochodniami, rozbłyskami. Dlatego też wspomnianego już 10 czerwca na częstotliwości radiowej obserwowanej w Piwnicach zarejestrowano burzę szumową, trwającą zresztą kilka dni.

Toruński dorobek obserwacyjny przedstawia rysunek zawierający dane od października 1958 do końca czerwca 1991 r. Widoczne na tle 11-letnich zmian roczne fluktuacje strumienia – szczególnie od 1973 r. – nie są wynikiem aktywności Słońca, a jedynie skutkiem wymiany anten interferometru. Anteny te, o szerokich wiązkach charakterystyki w płaszczyźnie horyzontu, odbierają również promieniowanie odbite od otaczającego je terenu. Wzrost strumienia odbitego zależy od pory roku i wyraźnie zwiększa się zimą. Astronomowie zajmujący się obserwacjami Słońca zastanawiają się, czy maksimum cyklu 22 już było w połowie 1989 r., czy będzie, zgodnie z przewidywaniami, w roku bieżącym. Na częstotliwości radiowej 127 MHz w marcu 1989 r średni miesięczny strumień osiągnął 230 su, jednak największa dotychczasowa wartość cyklu 22 została zarejestrowana w marcu 1991 r. – 252 su: od 21 do 27 marca strumień przekraczał od 115 do 415 razy strumień Słońca spokojnego. Jedynie w lipcu 1988 r. były obserwowane podobne wartości. Jest to jednocześnie największa wartość średniego miesięcznego strumienia jaki zaobserwowano w Piwnicach. Ciekawe czy maksimum cyklu 22 będzie wyższe od maksimum cyklu 19.

Grażyna Gawrońska jest radioastronomem z Katedry Radioastronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Od ponad dziesięciu lat niemal codziennie odwiedza „budkę" z aparaturą odbiorczą starego interferometru, by dokonać kolejnego odczytu i dorzucić kolejny punkt na prezentowanym poniżej wykresie...



Rysunek przedstawia ponad trzydziestoletnią serię toruńskich radiowych obserwacji Słońca, które są udziałem wielu obserwatorów. Tę piękną formę graficzną uzyskały one dzięki pomocy Pana Janusza Mazurka, któremu Autorka i Redakcja serdecznie dziękują.

Słońce szaleje – maximum

Coś się ciągle nie zgadza !

ZAGADKA SŁONECZNEGO NEUTRINO

Jarosław Pióro

Oprócz promieniowania elektromagnetycznego, którego małą część stanowi światło widzialne, Słońce wypromieniowuje duże ilości nieuchwytnych cząstek elementarnych, zwanych neutrinami. Te dziwne cząstki nie niosą ze sobą ładunku elektrycznego, prawdopodobnie nie mają masy i poruszają się z prędkością bardzo zbliżoną, a być może równą, prędkości światła. Nie ulegają wpływowi nawet tzw. oddziaływań silnych, które są odpowiedzialne za utrzymywanie razem nukleonów wewnątrz jądra atomowego. Neutrina tak słabo oddziałują z materią, że bez przeszkód uciekają z centrum Słońca, gdy tymczasem promieniowanie elektromagnetyczne dociera do nas jedynie z powierzchni i korony naszej gwiazdy. Obserwacje neutrin mogą więc dostarczyć bezpośrednich informacji o budowie wewnętrznej gwiazd, ich ewolucji, a także o naturze podstawowych oddziaływań.

Znane są trzy rodzaje (zapachy) neutrin. Najczęściej obserwowanym w ziemskich eksperymentach jest neutrino elektronowe, które oddziałuje ze zwykłymi elektronami. Dwa pozostałe rodzaje neutrin – mionowe i taonowe – oddziałują z masywnymi, krótko żyjącymi kuzynami elektronu – mionami i taonami.

Ogromna przenikliwość neutrin stanowi oczywiście główną trudność w ich obserwacji: większość przechodzi bez trudu przez Ziemię, wcale jej nie zauważając. Jednakże czasami neutrino oddziałuje z atomem w sposob, który potrafimy zaobserwować.

Pierwszy detektor neutrin zbudował Raymond Davis, Jr., w 1968 roku w kopalni złota w Homestake, stan Płd. Dakota. Davis wypełnił zbiornik nadchloroetylenem – cieczą zawierającą chlor 37 (trwały izotop, który stanowi jedną czwartą ziemskiego chloru). Neutrino oddziałuje z tym izotopem, zmieniając jeden z neutronów w proton i tym samym przemieniając jądro w argon 37. Co kilka miesięcy Davis opróżniał zbiornik, separował atomy argonu i z obserwacji ich rozpadu promieniotwórczego obliczał ilość neutrin, które przeszły przez zbiornik.

Po opracowaniu danych z wielu lat okazało się, że strumień neutrin, przechodzących przez zbiornik, stanowił jedynie 26% ilości, która powinna przez niego przepływać zgodnie ze standardowymi modelami budowy Słońca.

Drugi detektor, zwany Kamiokande II, a zbudowany w japońskiej miejscowości Kamioka, zaczął rejestrować neutrina słoneczne w 1986 roku. Działa on według odmiennej zasady – tu rejestruje się wolne elektrony, wybite przez neutrina z cząsteczek wody. Dotychczasowe wyniki potwierdzają wartości, podane przez Davisa.

Właściwie wszystkie modele budowy Słońca zakładają, że energia jest produkowana w procesie fuzji jądrowej, w której cztery jądra wodoru łączą się ze sobą, by stworzyć jedno jądro helu. **Co sekundę 600 milionów ton wodoru zmienia się we wnętrzu Słońca w hel.** Towarzyszy temu szereg innych reakcji jądrowych, a przy okazji powstaje ogromna ilość swobodnie opuszczających gwiazdę neutrin (patrz ramka). Chociaż aktualnie prowadzone eksperymenty nie są czułe na neutrina pochodzące z wszystkich tych reakcji, nie mniej jednak obserwacje uporczywie wykazują deficyt neutrin w stosunku do przewidywań modelu standardowego.

Podstawowym typem reakcji dostarczających energii stabilnym gwiazdom podobnym Słońcu oraz wielu mniej masywnym jest tak zwany łańcuch p–p (ponieważ dotyczy fuzji dwóch protonów). W rezultacie cztery protony zostają zamienione w cząstkę alfa, dwa pozytony, dwa neutrina elektronowe oraz około 25 MeV (foton z widzialnego zakresu widma to ok. 2 eV).

Czy zagadka słonecznego neutrino może być wynikiem błędu w standardowym modelu budowy wnętrza Słońca? Jest to wysoce nieprawdopodobne, ponieważ astronomowie dokładnie znają masę Słońca, jego jasność, wiek i skład chemiczny na powierzchni. Poza tym, Słońce jest spokojną gwiazdą w najprostszym stadium swej ewolucji. Standardowy model naszej gwiazdy buduje się na wiarygodnych założeniach, popartych danymi obserwacyjnymi. Zakłada się, że Słońce ewoluowało bez znacznych odchyleń od stanu równowagi. Opisane tu reakcje jądrowe, od pięciu miliardów lat dostarczają Słońcu energii. Ciśnienie termiczne oraz ciśnienie promieniowania muszą równoważyć nacisk sił grawitacyjnych – inaczej Słońce skurczyłoby się (lub rozszerzyło) w krótkim czasie. Nasza gwiazda, w chwili swego powstania, miała prawdopodobnie jednolity skład chemiczny. Przez miliardy lat wodór we wnętrzu zmieniał się w hel. Zewnętrzne warstwy nie mieszają się z jądrem i dlatego odzwierciedlają ten pierwotny skład Słońca.

Model standardowy wyjaśnia zależności pomiędzy jasnością, masą i temperaturą w gwiazdach różniących się jasnością o czynnik 100 milionów. W ostatnich latach wykorzystano akustyczne oscylacje powierzchni Słońca do zbadania jego wewnętrznej struktury; częstości oscylacji wyliczone za pomocą modelu standardowego są zgodne z obserwacjami z dokładnością do 1 %. Osiągnięcia modelu są tak przytłaczające, że astronomowie często zapominają o jego przybliżonym charakterze i używają go do interpretacji obserwacji procesów fizycznych i składów chemicznych gwiazd nie tylko leżących blisko Słońca, lecz także z odległych galaktyk, i to bez większych niezgodności. Każda modyfikacja modelu słonecznego miałaby olbrzymie konsekwencje dla astronomii.

Źródłem największych niepewności w wyliczeniu strumienia neutrin jest nieznany skład chemiczny centrum Słońca, gdzie powstają neutrina. Zauważono, że powstanie neutrin silnie zależy od tego składu i zaproponowano modele, w których już w chwili swego powstania wnętrze Słońca różniło się składem chemicznym od warstw zewnętrznych, lecz żaden z tych modeli nie daje tak zgodnych z ob-

22-go cyklu aktywności

serwacjami wyników, jak model standardowy. Co więcej, wszystkie ewolucyjne modele Słońca, opracowane przez niezależne zespoły naukowców, przewidują identyczny (z dokładnością do 10 %) strumień neutrin, przy założeniu tych samych parametrów wejściowych.

Czy zagadka słonecznych neutrin może być spowodowana błędem w przeprowadzeniu eksperymentu? Detektor Davisa jest ulokowany głęboko pod powierzchnią Ziemi, w celu wyeliminowania zakłócającego wpływu promieni kosmicznych. Argon 37 jest oddzielany od chloru z dziewięćdziesięcio-procentową sprawnością i jest liczony za pomocą superczułych liczników, zdolnych zarejestrować rozpad promieniotwórczy o tempie jednego atomu na miesiąc.

Eksperyment Kamiokande II polega na rejestrowaniu promieniowania Czerenkowa, emitowanego przez elektrony rozpędzone do prędkości bliskiej prędkości światła na skutek oddziaływań z wysokoenergetycznymi neutrinami. Pierwotnie detektor Kamiokande miał za zadanie obserwacje postulowanego przez teoretyków rozpadu protonu. Na detektor neutrin został przerobiony pod koniec 1986 roku, na parę miesięcy przed wybuchem supernowej w lutym 1987 roku. Kamiokande II zarejestrował strumień neutrin z supernowej, którego wielkość potwierdziła obecne teorie procesów przebiegających podczas takiego wybuchu.

Kluczową informacją, której ciągle nie posiadamy, jest ilość neutrin powstających w reakcji p-p. Niedawno rozpoczęły pracę dwa nowe detektory, wykorzystujące reakcje galu 71 z neutrinem, w wyniku której powstają elektron oraz promieniotwórcze jądro germanu 71. Minimalna energia neutrin, potrzebna do zajścia tego procesu, wynosi 233 keV. Pierwszy z detektorów jest wspólnym przedsięwzięciem ZSSR oraz kilku instytucji naukowych z USA i dlatego nosi nazwę SAGE (Soviet – American Gallium Experiment). W eksperymencie wykorzystuje się 60 ton galu. Detektor został ulokowany w północnym Kaukazie.

Drugi z galowych detektorów jest umieszczony w tunelu Gran Sasso w środkowych Włoszech i jest efektem współpracy naukowców z Niemiec, Francji, Włoch, Izraela i Stanów Zjednoczonych. Sercem detektora jest 30 ton galu w postaci chlorku galu. Skala obu eksperymentów jest imponująca zważywszy, iż roczne światowe wydobycie galu wynosi 10 ton !

Obecnie trwają prace nad budową detektora, wykorzystującego ciężką wodę, który zostanie umieszczony w starej kopalni niklu w Sudbury. Urządzenie, którego centralną część będzie stanowić zbiornik z tysiącem ton ciężkiej wody, jest inwestycją amerykańsko – kanadyjską. Detektor, który będzie wykorzystywał rozpad jądra deuteru wskutek zderzenia z neutrinem oraz zderzenia neutrin z elektronami, będzie czuły na neutrina z rozpadu boru 8 (o maksymalnej energii 14.06 MeV) oraz z reakcji HEP (18.77 MeV). O ile absorpcja neutrin dotyczy jedynie neutrin elektronowych, o tyle rozpraszanie neutrin na elektronach zachodzi dla wszystkich trzech rodzajów, chociaż dla neutrin mionowych i taonowych prawdopodobieństwo rozproszenia jest znacznie mniejsze niż dla elektronowych. Co prawda, według teorii, w reakcjach termojądrowych wewnątrz Słońca powstają jedynie neutrina elektronowe, lecz istnieją teorie, które postulują przemianę części tych neutrin w neutrina mionowe i taonowe, które nie mogą zostać wykryte przez detektory oparte na chlorze 37 lub galu 71. Absorpcja neutrin przez jądra deuteru, prowadząca do jego rozpadu na proton i neutron, w odróżnieniu od absorbcji neutrin przez jądra cięższych pierwiastków, zachodzi w równym stopniu dla wszystkich trzech zapachów. Wyniki z detektora Sudbury powinny dać odpowiedź na pytanie, czy część neutrin elektronowych ulega przemianie.

Jest też możliwe, że współczesne modele budowy Słońca są poprawne, a błąd tkwi w teorii cząstek elementarnych. Teoretyczny strumień neutrin, który powinien do nas docierać, został obliczony na podstawie wysoce skutecznego standardowego modelu oddziaływań między cząstkami, opracowanego przez Sheldona L. Glashow z Harvardu, Stevena Weinberga z Uniwersytetu Teksasu w Austin oraz Abdusa Salama z Miedzynarodowego Centrum Fizyki Teoretycznej w Trieście, którzy zunifikowali opis oddziaływań elektromagnetycznych i słabych. Według najprostszej wersji modelu standardowego, masa wszystkich trzech rodzajów neutrin wynosi dokładnie zero, lecz rozwinięcia tego modelu dopuszczają dość duży zakres masy tych cząstek.

Dotychczas nie wykonano wiarygodnych pomiarów masy neutrin, lecz oszacowania poczynione na podstawie wyników obserwacji neutrin z supernowej 1987a ograniczają tę masę do kilkunastu eV. Masy przewidywane przez rozszerzenia modelu standardowego są znacznie mniejsze, od jednego do jednej milionowej eV. Tak małe masy nie mogą być mierzone w ziemskich laboratoriach, lecz są wystarczające, by wpłynąć na sposób rozchodzenia się neutrin, o ile te będą musiały pokonać wystarczająco duże odległości. Teoretycznie, obserwacje neutrin słonecznych powinny pozwolić na pomiar masy neutrin z dokładnością do jednej milionowej eV.

Niektóre próby rozszerzenia obecnych teorii dążą do stworzenia jednolitego opisu

PRODUKCJA NEUTRIN WE WNĘTRZU SŁOŃCA

1. Najwięcej słonecznych neutrin powstaje w pierwszej reakcji łańcucha p–p (zwanej właśnie reakcją p–p), w której to jeden z dwóch protonów, biorących w niej udział, zmienia się w neutron i łączy się z drugim, tworząc jądro ciężkiej odmiany wodoru, zwanej deuterem. W tej reakcji powstaje też pozyton i neutrino. Neutrina, będące efektem tej reakcji, mają energie nie przekraczającą 420 keV. Neutrino, które może zostać zarejestrowane w detektorze Davisa musi mieć energię co najmniej 814 keV, a w Kamiokande II jeszcze więcej – 7.5 MeV.

2. Inna, prowadząca do powstania neutrina, reakcja we wnętrzu Słońca polega na fuzji dwóch protonów i elektronu, przy czym otrzymujemy deuter i neutrino. Reakcja tego typu zachodzi 230 razy rzadziej, lecz tym razem neutrina (zwane p-e-p) mają energie 1.442 MeV i mogą być rejestrowane przez detektor z Homestake.

3. Powstałe w wyżej omówionych reakcjach jądra deuteru łączą się z następnym protonem i powstaje izotop helu 3 oraz kwant promieniowania gamma. Najczęściej – w 85 % wypadków – proces kończy się fuzją dwóch jader helu 3, w rezultacie czego otrzymujemy cząstkę alfa i dwa wolne protony, które mogą uczestniczyć w dalszych przemianach. W pozostałych 15 % przypadków, jądro helu 3 łączy się z cząstką alfa, dając jądro berylu 7 oraz kwant gamma; następnie beryl 7 absorbuje elektron, zmienia się w lit 7 i emituje neutrino. 90 % tych neutrin ma energie 861 keV, ledwie wystarczającą na zarejestrowanie przez detektor Davisa.

4. Bardzo rzadko – 5000 razy rzadziej niż we wszystkich wyżej podanych drogach otrzymania cząstek alfa – jądro helu powstaje poprzez wyłapanie przez beryl 7 jeszcze jednego protonu, wskutek czego otrzymujemy promieniotwórczy izotop boru 8, który natychmiast rozpada się na dwie cząstki alfa, pozyton i wysokoenergetyczne (15 MeV) neutrino. Właśnie te neutrina są najczęściej rejestrowane przez nasze dwa detektory.

5. I ostatnia możliwość otrzymania neutrina – hel 3 łączy się z wolnym protonem, dając cząstkę alfa, pozyton i neutrino (tzw. neutrino HEP) o energii 18.77 MeV. Ta reakcja zachodzi 1000 razy rzadziej niż poprzednia.

Słońce szaleje – neutrina

wszystkich czterech podstawowych oddziaływań. Opierając się na jednym z takich modeli dwaj uczeni z Radzieckiej Akademii Nauk, Stanislaw P. Michiejew i Aleksy J. Smirnow, korzystając z wcześniejszej pracy Lincolna Wolfensteina z Uniwersytetu Carnegie-Mellona, otrzymali eleganckie rozwiązanie problemu słonecznych neutrin. Zgodnie z ich wynikami, neutrina mogą oscylować pomiędzy trzema rodzajami. Zjawisko to nazwano efektem Michiejewa-Smirnowa-Wolfensteina (MSW).

Efekt MSW wymaga, by przynajmniej jeden z rodzajów miał niezerową masę. Zgodnie z mechaniką kwantową neutrino można opisywać nie tylko jako cząstkę, lecz także jako falę; falę neutrinową można przedstawić jako kombinację dwóch lub więcej fal, przy czym różnica faz między nimi może się zmieniać, ponieważ opisują one stany o różnych masach. Wewnątrz Słońca, na skutek oddziaływań między neutrinami a gęsto upakowanymi elektronami następuje zmiana różnic między fazami i fala, która początkowo odpowiadała neutrinu eklektronowemu, może wyglądać jak neutrino taonowe lub mionowe, których dotychczas działające ziemskie detektory nie są w stanie zarejestrować. W rezultacie strumień neutrin elektronowych, wychodzący ze Słońca, będzie mniejszy niż przewidywany przez standardowy model budowy Słońca. Aby efekt MSW zachodził, masa najcięższego z neutrin musi wynosić jedynie od 0.001 do 0.01 eV.

Według efektu MSW oscylacje zależą również od energii neutrin, tak więc rozkład energii neutrin słonecznych powinien być inny, niż gdyby efekt nie zachodził – w szczególności strumień neutrin, powstający w reakcji p-p powinien być niższy, niż to przewidują dotychczasowe

Rys. Jacek Drążkowski

teorie. Detektory galowe powinny ten deficyt zarejestrować.

Eksperymenty, które zostaną przeprowadzone w nadchodzącej dekadzie z całą pewnością zwiększą naszą wiedzę na temat procesów, zachodzących wewnątrz gwiazd oraz ich ewolucji, a być może pomogą zbudować bardziej spójną teorię fizyczną. Miejmy nadzieję, że natura okaże się skora do współpracy.

WIMPs

Fascynujące rozwiązanie, które za jednym zamachem wyjaśnia zagadkę neutrin słonecznych i kosmologiczny problem brakującej masy, zaproponowali William H. Press z Harvardu i David N. Spergel z uniwersytetu w Princeton oraz niezależnie John Faulkner z Uniwersytetu Kalifornii w Santa Cruz i Ronald L. Gilliland z Narodowego Centrum Badań Atmosferycznych w Boulder, Kolorado. Postawili oni hipotezę, że nieznane cząstki subatomowe, nazywane słabo oddziałującymi masywnymi cząstkami (Weakly Interacting Massive Particles – WIMPs), powstałe w dużych ilościach we wczesnym Wszechświecie, to owa niewidzialna materia, której istnienie wynika z dynamicznych studiów wielkoskalowej struktury Wszechświata, a której dotychczas nie udało się zaobserwować. Cząstki te mogłyby się skupiać wokół masywnych obiektów (np. Słońca) i gdyby ponadto posiadały odpowiednie cechy – brać udział w redystrybucji energii wewnątrz Słońca, doprowadzając do obniżenia strumienia neutrin z reakcji borowej do poziomu obecnie obserwowanego.

Jarek Pióro jest jeszcze studentem i przygotowuje pracę dyplomową w Katedrze Radioastronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Ma ekscentryczne zainteresowania w postaci wielkoskalowego pola kwantowego we Wszechświecie – kontrowersyjnej teorii Williama G. Tiffta

Odkrycie „dysocjującej" gwiazdy

Zespół astronomów kanadyjskich z Dominion Radio Astrophysical Observatory odkrył interesujący obiekt gwiazdowy identyfikowany z silnym źródłem promieniowania w dalekiej podczerwieni IRAS 23545+6508 i zwartym obszarem emisji 21 cm neutralnego wodoru HI (*Astrophysical Journal* 1991, Vol. 370, str. 243). Obserwacje promieniowania liniowego 21 cm techniką syntezy apertury pokazały, że rozmiary obłoku HI wynoszą 0.9×0.4 pc. Masę obłoku oszacowano na 1.4 $M_{\odot}$. Wykonane tą samą techniką z wysoką rozdzielczością kątową obserwacje radiowego promieniowania ciągłego na fali 6 cm ujawniły obecność obłoku zjonizowanego wodoru HII o średnicy 0.05 pc i gęstości 340 cm^{-3} zanurzonego w obłoku HI. Gęstość strumienia promieniowania 6 cm wynosi tylko 0.97 mJy. Takie parametry fizyczne przy założeniu termicznego mechanizmu promieniowania sugerują, że wodór jest jonizowany przez gwiazdę typu widmowego B3 ZAMS (ciągu głównego) lub B3V.

Obserwacje trzech izotopów molekuły CO w paśmie 3 mm potwierdziły przypuszczenie, że obszar HI znajduje się w obłoku molekularnym o rozmiarach 12 pc i masie około 24×10^3 $M_{\odot}$. Za identyfikacją tych obszarów przemawia zgodność przestrzennego rozkładu emisji oraz identyczność prędkości radialnych linii widmowych w pasmach 21 cm i 3 mm. Stwierdzono, że gęstość molekuł oszacowana z obserwacji CO jest dużo wyższa niż gęstość atomów lub zjonizowanych cząstek. Sugeruje to, że badany obiekt znajduje się na skraju obłoku molekularnego. Za taką interpretacją przemawiają również dane z obserwacji optycznych. Detekcja promieniowania molekuły OH w paśmie 18 cm stanowiła dalsze potwierdzenie obecności gazu molekularnego wokół zwartego obłoku HI. Słabe natężenie linii emisyjnych OH z względnie rozległego obszaru wskazuje na termiczny mechanizm promieniowania. Oszacowana z prędkości radialnych składników linii widmowych odległość obiektu wynosi około 1 kpc.

Analiza danych uzyskanych za pomocą satelity IRAS pokazała, że w obszarze emisji podczerwonej istnieje gradient temperatury wywołany obecnością centralnego źródła podgrzewającego swoje otoczenie. Wskazują na to m.in. występowanie profilu absorpcyjnego w pobliżu fali 9,7 μm wywołanego przez składnik krzemkowy chłodnych ziaren pyłu oraz kształt widma ciągłego z nadwyżką promieniowania w pasmach 25 i 12 μm, który sugeruje obecność kilku warstw pyłu o różnych temperaturach. Początkowo bez powodzenia poszukiwano identyfikacji optycznej badanego obiektu. Dopiero obserwacje 2.1 m teleskopem z kamerą CCD ujawniły bardzo słabe promieniowanie w centrum obszaru emisji radiowej i podczerwonej. Jasność obiektu centralnego w paśmie R (650 nm) wynosi $18.^{m}7$. W pasmach V (546 nm) i I (829 nm) obiekt ten jest niewidoczny. W kierunku północno-zachodnim od gwiazdy zaobserwowano w pasmach V, R, I rozległy obszar (0.'5 × 3.'0) słabej emisji, przypuszczalnie mgławicy refleksyjnej.

Powyższe testy obserwacyjne pokazały, że gwiazda której promieniowanie optyczne jest osłabione o 11^{m}, położona na skraju obłoku molekularnego, koincyduje z silnym źródłem promieniowania podczerwonego, radiowego (21 cm) oraz słabym źródłem ciągłego promieniowania radiowego. W pobliżu obiektu jest słaba mgławica refleksyjna, która również odbija promieniowanie sąsiednich jaśniejszych gwiazd. Przyjmując, że cała mierzona energia w podczerwieni i zakresie radiowym jest dostarczana przez obiekt centralny oraz cała wypromieniowana energia jest absorbowana przez pył i reemitowana w podczerwieni, to z prostych modeli przepływu promieniowania przez ośrodek wokółgwiazdowy wynika, że gwiazda centralna ma temperaturę efektywną $17+18\times10^3$K, co odpowiada typowi widmowemu B4. W przeciwieństwie do gwiazd wczesnych typu O, odkryta gwiazda jonizuje tylko nieznaczną część materii obłoku molekularnego. Wokół obszaru HII tworzy się rozległa strefa dysocjacji wodoru cząsteczkowego przez fotony UV. Obserwowany stosunek promieni obszarów gazu atomowego i gazu zjonizowanego wynosi 12. Z obliczeń modelowych wynika, że dla gwiazdy typu widmowego O4 ten stosunek jest prawie o rząd wielkości mniejszy. Odkryta gwiazda identyfikowana z silnym źródłem promieniowania podczerwonego i radiowego promieniowania HI może być prototypem nowej klasy obiektów o typie widmowym B1-B5, które zanurzone w obłokach molekularnych lub w ich pobliżu wywołują dysocjację cząsteczek wodoru, stąd określenie – gwiazdy „dysocjujące". Obiekty te mogą być ważnym źródłem informacji o warunkach fizycznych w otaczającym je gazie i obłokach molekularnych. Mogą one stanowić pewnego rodzaju fotochemiczny próbnik miejsc gdzie zachodzą złożone reakcje.

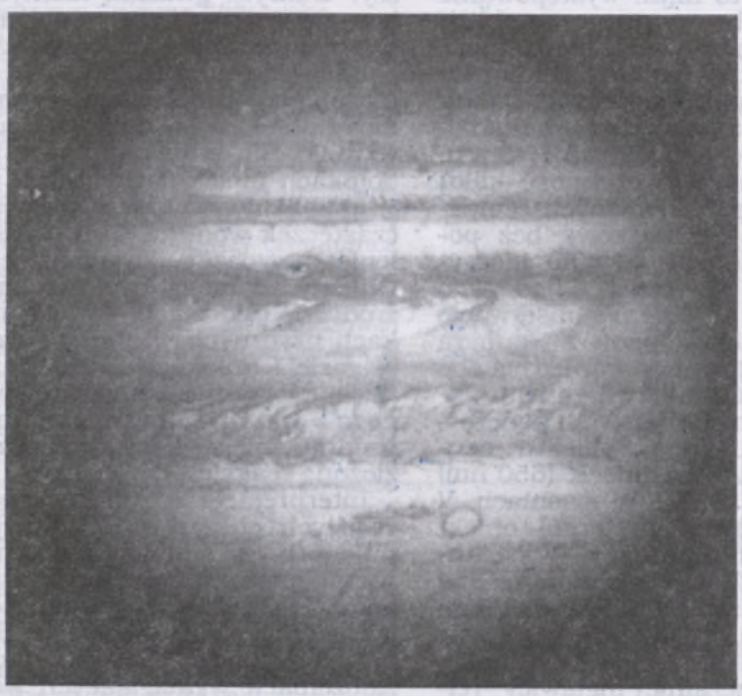
Interpretacja emisji radiowej zwartych obszarów HI koincydujących z silnymi źródłami promieniowania podczerwonego jako wskaźnika obecności gwiazdy typu widmowego B3 lub B4 oparta jest na kilku założeniach wymagających weryfikacji. Kluczowymi testami będą: potwierdzenie termicznego mechanizmu promieniowania ciągłego na fali 6 cm, niezależne określenie typu widmowego gwiazdy poprzez obserwacje widma liniowego w bliskiej podczerwieni oraz detekcja innych tego typu obiektów. Pewne szacunkowe obliczenia m.in. przy założeniu, że gwiazdy typu widmowego B powstają w obłokach molekularnych, ale po pewnym czasie zależnym od dyspersji ich prędkości i średniego promienia obłoku wychodzą z niego, wskazują, że w pobliżu Słońca jest około 10^3 „dysocjujących" gwiazd. Zatem obserwacje zwartych obszarów HI identyfikowanych z silnymi źródłami promieniowania podczerwonego mogą dostarczyć unikalnych informacji o populacji i rozkładzie gwiazd wczesnych typów widmowych zanurzonych w obłokach molekularnych.

Marian Szymczak

JOWISZ

zdjęcie obok

W marcu b.r. kamera planetarna HST (Teleskopu Kosmicznego) została skierowana po raz pierwszy w kierunku Jowisza. Dziś prezentujemy dwa zdjęcia: czarno-białe przedstawiające całą tarczę planety oraz kolorowe ograniczone do południowo-wschodniego jej segmentu. Obydwa obrazy otrzymano 11 marca. Co do ilości szczegółów mogą one konkurować ze zdjęciami uzyskanymi przez



stację Voyager 1 na pięć dni przed największym zbliżeniem z planetą. Zdolność rozdzielcza wynosi około 0.15 sekundy łuku.

Czy są to takie same szczegóły ? Okazuje się że nie! Z obserwacji naziemnych wiemy co prawda, że pasma obłoków jak i słynna Czerwona Plama nie są tworami niezmiennymi, jednak widzimy wszystko na tyle niewyraźnie, że dokładne porównanie ruchów w atmosferze planety nie jest możliwe.

Zdjęcie HST świadczy o wytworzeniu się w atmosferze Jowisza (w ciągu dwunastu lat jakie upłynęły od przelotu Voyagera 1 w pobliżu planety) wyraźnie odmiennej struktury obłoków. Jeden z projektów wykorzystania HST przewiduje obserwacje Jowisza w ciągu najbliższych kilku lat w celu poznania ewolucji ruchów atmosfery – mówiąc prościej – pogody. Zdjęcia będą wykonywane w różnych barwach, co po ich złożeniu pozwoli nie tylko uzyskać obrazy planety w „barwach naturalnych" – jak na kolorowym zdjęciu obok – ale również sięgać do tworów atmosferycznych znajdujących się na różnych głębokościach. Zdjęcia będą wykonywane nie tylko w świetle widzialnym, ale również w ultrafiolecie i podczerwieni.

Meteorolodzy mają nadzieję, że posługując się złożonymi programami komputerowymi będą w stanie symulować zachowanie się atmosfery Jowisza (bardzo różnej od atmosfery Ziemi) co mogłoby prowadzić do lepszych programów używanych do przewidywania pogody na Ziemi. W ogólności zagadnienia te są bardzo złożone ze względu na nieliniowość równań hydrodynamiki prowadzącą do bardzo dużej wrażliwości rozwiązań na warunki początkowe. Znajomość tych warunków z bardzo dużą dokładnością nie zapewnia otrzymania jednoznacznego rozwiązania nawet dla stosunkowo krótkich okresów czasu.

Wracając do szczegółów – na zdjęciu czarno-białym widać Wielką Czerwoną Plamę (poniżej równika z prawej strony blisko brzegu tarczy). Jest ona również widoczna na zdjęciu kolorowym. Na obydwu zdjęciach widać również owalny twór przypominający pierścień. Obydwie struktury utożsamia się z prądami atmosferycznymi (dla Ziemi nazywanymi cyklonami i antycyklonami) wynoszącymi z głębszych warstw atmosfery planety kryształy amoniaku. Wydostają się one ponad obłoki złożone również z kryształów ale zabarwionych związkami siarki, fosforu i węgla. W Układzie Słonecznym głównym źródłem energii zapewniającym cyrkulację atmosferyczną jest światło Słońca (przy udziale sił pojawiających się w wyniku rotacji planet). Warto może przy tej okazji wspomnieć, że również i dla Neptuna odległego od Słońca o 30 j.a. zaobserwowano nadspodziewanie silną (w stosunku do ilości energi otrzymywanej od Słońca) aktywność atmosferyczną. Dla przypomnienia – Jowisz znajduje się w odległości około 5 j.a. od Słońca.

Paski widoczne poza tarczą planety na zdjęciu kolorowym są tworami sztucznymi wynikłymi z nałożenia zdjęć w trzech barwach (aby otrzymać zdjęcie w kolorze naturalnym) wykonanych w różnym czasie dla wirującej planety.

Zdjęcie czarno-białe zarejestrowało jeszcze z prawej strony w okolicach równika znikający poza tarczą planety księżyc – Europę. W czerwcowym *STScil Newsletter* (wydawnictwo Instytutu Teleskopu Kosmicznego w Baltimore, USA) opublikowano również to samo zdjęcie z uwagą o Europie – ale w drukarni obcięto nieco lewy i prawy brzeg zdjęcia... Liczymy, że nasi drukarze nie zrobią nam takiego dowcipu!

Roman Schreiber

Konkurs fotograficzny

z powodu druku Kalendarza Astronomicznego zabrakło nam miejsca na prezentację najładniejszych zdjęć ze złączenia planet z Księżycem w czerwcu 1991 (zeszyt 2, str. 71). Zrobimy to w najbliższym czasie! Z powodu zachmurzenia nadeszło w sumie tylko kilkanaście zdjęć i slajdów. A może znajdzie się wśród naszych Czytelników „ranny ptaszek", który sfotografował nieomal analogiczne złączenia Wenus z Jowiszem i Księżycem (niestety bez Marsa), które były widoczne rankiem 4-5 października i 1-2 listopada 1991.

Czekamy!

ZDJĘCIE NA ROZKŁADÓWCE PRZEDSTAWIA . . .

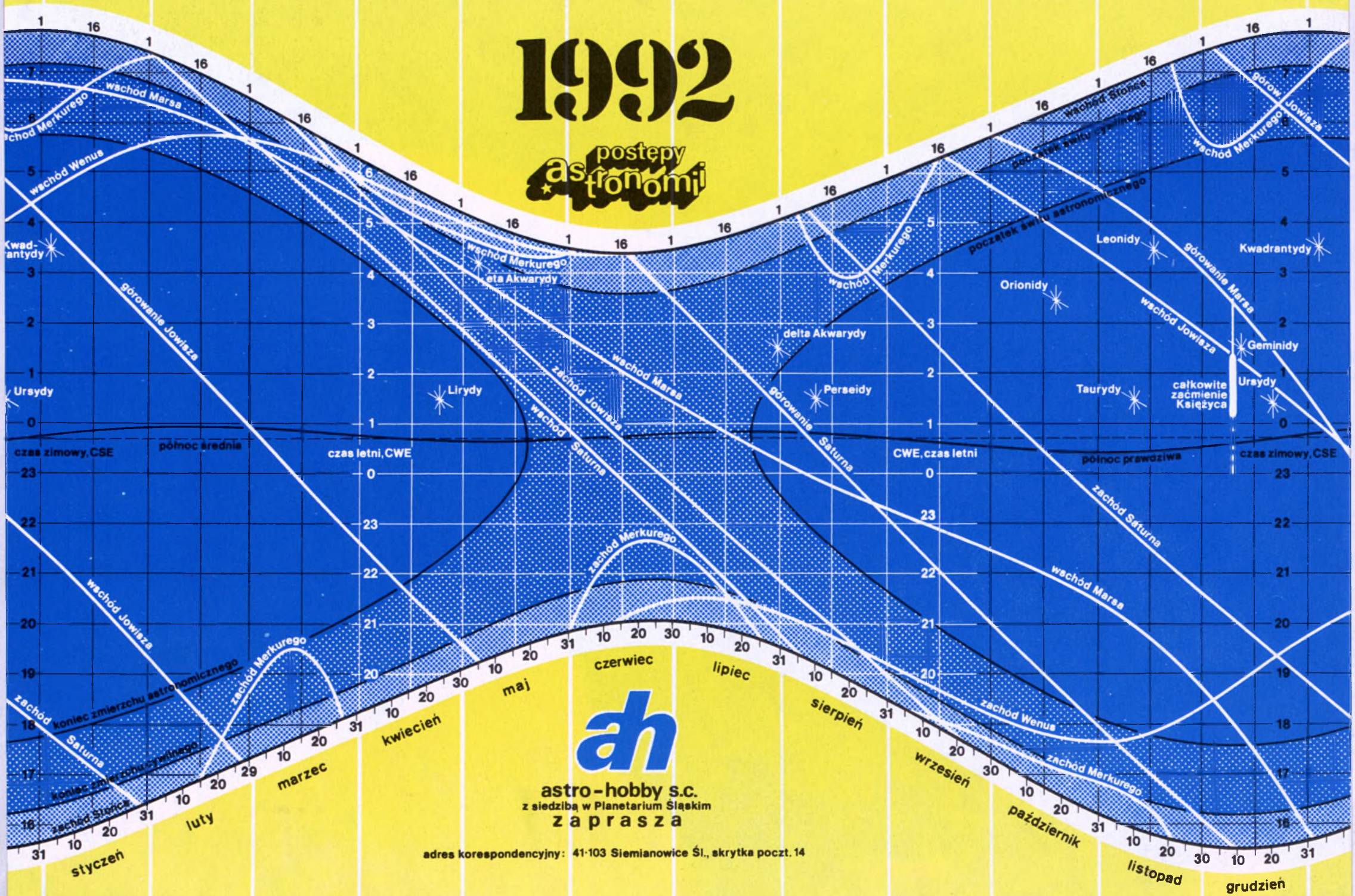
. . . wielką (jedną z rekordowych – szczyt jej łuku sięga na odległość 588 000 km) protuberancję słoneczną z 19 grudnia 1973, sfotografowaną, w świetle ultrafioletowej linii zjonizowanego helu, z pokładu Skylaba. Kolory są więc oczywiście sztuczne. Czas życia tak wielkich protuberancji wynosi najwyżej kilka godzin. Ponieważ Słońce w tej długości fali ma jasność porównywalną z jasnością protuberancji, zdjęcie mogło być wykonane bez koronografu. Widoczne na powierzchni Słońca supergranule (jasne i ciemne plamy, w rzeczywistości większe od rozmiarów Ziemi) miejscami zlewają się w większe, jasne obszary aktywne stowarzyszone z plamami słonecznymi. Więcej na temat Słońca w artykułach na str. 156-166.

JOWISZ

postępy astronomii

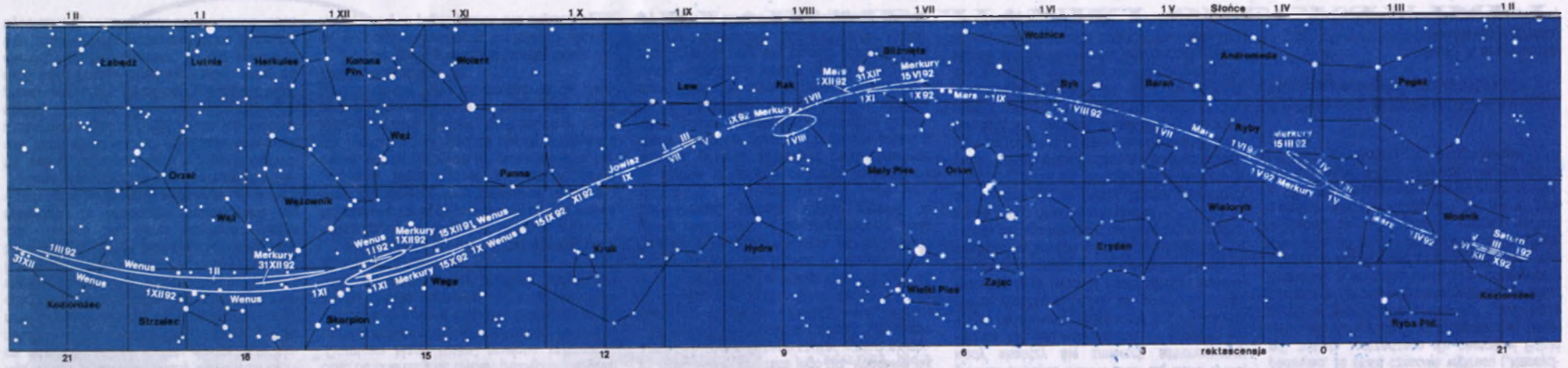
1992

postępy astronomii



astro-hobby s.c.
z siedzibą w Planetarium Śląskim
zaprasza

adres korespondencyjny: 41-103 Siemianowice Śl., skrytka poczt. 14



Kalendarz Astronomiczny 1992

konfiguracje Słońca, Księżyca i planet

styczeń data CSE

01d13h Wenus 5°N od Księżyca
03d02h Merkury 3°N od Księżyca
03d11h Mars 0°·8N od Księżyca (zakrycie – Antarktyda)
04d24h NÓW (obrączkowe zaćmienie Słońca – Pacyfik)
06d24h Saturn 3°S od Księżyca
07d20h Wenus 7°N) od Antaresa (gw. 1 wielkości)
10d21h Merkury 0°·6N od Marsa
13d04h PIERWSZA KWADRA
19d22h PEŁNIA
23d02h Jowisz 7°N od Księżyca
26d16h OSTATNIA KWADRA
29d23h Saturn w złączeniu ze Słońcem
31d18h Wenus 1°N od Księżyca (zakrycie – Antarktyda)

luty data CSE

01d14h Mars 1°·5S od Księżyca
03d20h NÓW
11d17h PIERWSZA KWADRA
12d10h Merkury w gómym złączeniu ze Słońcem
18d09h PEŁNIA
19d08h Jowisz 6°N od Księżyca
19d23h Wenus 0°·9N od Marsa
25d09h OSTATNIA KWADRA
29d02h Jowisz w opozycji
29d03h Wenus 0°·1N od Saturna

marzec data CSE/CWE

01d19h Mars 4°S od Księżyca
02d02h Satum 4°S od Księżyca
02d07h Wenus 4°S od Księżyca
04d14h NÓW
06d07h Merkury 4°S od Księżyca
06d14h Mars 0°·4S od Saturna
09d22h Merkury w maks. odchyleniu wsch. (18°)
12d04h PIERWSZA KWADRA
17d13h Jowisz 6°N od Księżyca
18d19h PEŁNIA
20d10h **równonoc wiosenna**
26d03h OSTATNIA KWADRA
26d16h Merkury w dolnym złączeniu ze Słońcem
29d01h zmiana czasu zimowego (CSE) na letni (CWE)
29d16h Satum 4°S od Księżyca
31d03h Mars 6°S od Księżyca

kwiecień data CWE

01d21h Wenus 7°S od Księżyca
02d10h Merkury 4°S od Księżyca
03d07h NÓW
06d01h Merkury 2°N od Wenus
10d12h PIERWSZA KWADRA
13d18h Jowisz 6°N od Księżyca
17d07h PEŁNIA
23d17h Merkury w maks. odchyleniu zach. (27°)
24d24h OSTATNIA KWADRA
26d04h Satum 5°S od Księżyca
29d09h Mars 7°S od Księżyca
30d23h Merkury 8°S od Księżyca

maj data CWE

02d20h NÓW
09d18h PIERWSZA KWADRA
10d24h Jowisz 6°N od Księżyca
16d18h PEŁNIA
23d14h Satum 5°S od Księżyca
24d18h OSTATNIA KWADRA
28d11h Mars 7°S od Księżyca
31d18h Merkury w gómym złączeniu ze Słońcem

czerwiec data CWE

01d06h NÓW
07d09h Jowisz 7°N od Księżyca
07d23h PIERWSZA KWADRA
13d18h Wenus w gómym złączeniu ze Słońcem
15d07h PEŁNIA (częściowe zaćmienie Księżyca – Antarktyda, Ameryka, Afryka)
19d21h Satum 5°S od Księżyca
21d05h **przesilenie letnie**
23d04h Merkury 5°S od Polluxa (gw. 1 wielkości)
23d10h OSTATNIA KWADRA
26d10h Mars 6°S od Księżyca
30d14h NÓW (całkowite zaćmienie Słońca – płd. Atlantyk)

lipiec data CWE

02d12h Merkury 4°N od Księżyca
04d22h Jowisz 7°N od Księżyca
06d03h Merkury w maks. odchyleniu wsch. (26°)
07d05h PIERWSZA KWADRA
14d21h PEŁNIA
17d01h Satum 5°S od Księżyca
22d24h OSTATNIA KWADRA
25d06h Mars 4°S od Księżyca
25d17h Merkury 6°S od Wenus
29d22h NÓW

sierpień data CWE

01d14h Jowisz 7°N od Księżyca
02d23h Merkury w dolnym złączeniu za Słońcem
05d13h PIERWSZA KWADRA
06d20h Wenus 1°·1N od Regulusa (gw. 1 wielkości)
07d12h Saturn w opozycji
11d11h Mars 5°N od Aldebarana (gw. 1 wielkości)
13d03h Satum 5°S od Księżyca
13d12h PEŁNIA
21d04h Merkury w maks. odchyleniu zach. (18°)
21d12h OSTATNIA KWADRA
22d23h Mars 1°·4S od Księżyca
23d05h Wenus 0°3·N od Jowisza
27d03h Merkury 5°N od Księżyca
28d05h NÓW
29d21h Wenus 7°N od Księżyca

wrzesień data CWE/CSE

03d01h Merkury 1°·2N od Regulusa (gw. 1 wielkości)
04d01h PIERWSZA KWADRA
09d05h Satum 5°S od Księżyca
12d04h PEŁNIA
15d06h Merkury w gómym złączeniu ze Słońcem
17d21h Jowisz w złączeniu ze Słońcem
19d07h Wenus 3°N od Spiki (gw. 1 wielkości)
19d22h OSTATNIA KWADRA
20d11h Mars 0°·9N od Księżyca (zakrycie – Atlantyk)
22d21h **równonoc jesienna**
26d13h NÓW
27d02h zmiana czasu letniego (CWE) na zimowy (CSE)
28d16h Wenus 4°N od Księżyca

październik data CSE

02d23h Merkury 2°N od Spiki (gw. 1 wielkości)
03d15h PIERWSZA KWADRA
06d09h Satum 5°S od Księżyca
11d19h PEŁNIA
18d16h Mars 3°N od Księżyca
19d05h OSTATNIA KWADRA
24d01h Jowisz 7°N od Księżyca
25d22h NÓW
27d08h Wenus 3°N od Antaresa (gw. 1 wielkości)
27d16h Merkury 0°·5S od Księżyca (zakrycie – płn. Afryka)
28d16h Wenus 0°·4S od Księżyca (zakrycie – cent. Afryka)
31d17h Merkury w maks. odchyleniu wsch. (24°)

listopad data CSE

02d10h PIERWSZA KWADRA
02d17h Satum 5°S od Księżyca
04d22h Mars 5°S od Polluxa (gw. 1 wielkości)
10d10h PEŁNIA
15d13h Mars 5°N od Księżyca
17d13h OSTATNIA KWADRA
20d17h Jowisz 7°N od Księżyca
21d23h Merkury w dolnym złączeniu za Słońcem
24d10h NÓW
27d22h Wenus 5°S od Księżyca
30d04h Satum 5°S od Księżyca

grudzień data CSE

02d07h PIERWSZA KWADRA
09d15h Merkury w maks. odchyleniu zach. (21°)
10d01h PEŁNIA (całkowite zaćmienie Księżyca – Europa, Azja)
12d20h Mars 6°N od Księżyca
16d20h OSTATNIA KWADRA
18d06h Jowisz 7°N od Księżyca
19d04h Merkury 6°N od Antaresa (gw. 1 wielkości)
21d16h **przesilenie zimowe**
21d17h Wenus 1°·1S od Saturna
22d15h Merkury 1°·5N od Księżyca
22d22h Mars 3°S od Polluxa (gw. 1 wielkości)
24d02h NÓW (częściowe zaćmienie Słońca – płn. Pacyfik)
27d18h Satum 6°S od Księżyca
28d08h Wenus 7°S od Księżyca

Publikujemy nasz Kalendarz nie bez wątpliwości. Do kogo wszak jest adresowany? Czy do zawodowego astronoma, który i tak wyszuka sobie dokładniejsze dane w którymś z fachowych roczników astronomicznych? Czy do „rasowego" amatora, nierzadko dysponującego pokaźną lunetą lub choćby lornetką? Ten z kolei znajdzie dla siebie daleko bardziej szczegółowy opis zjawisk w świetnie redagowanym, miesięcznym kalendarzyku astronomicznym, publikowanym w Uranii, albo wydanym ostatnio, również przez Polskie Towarzystwo Miłośników Astronomii, „Kalendarzu Miłośnika Astronomii". Szeroka, zainteresowana światem publiczność, informacje o najbardziej spektakularnych zjawiskach, popartych wspaniałymi, kolorowymi szkicami sytuacyjnymi, znajdzie na łamach Wiedzy i Życia? Kim są bowiem nasi Czytelnicy? To i nasi koledzy astronomowie, fizycy, ale również nauczyciele (niekoniecznie fizyki) i ich uczniowie, studenci, mniej lub bardziej zaawansowani miłośnicy i amatorzy astronomii, wreszcie zwyczajni ludzie. Mamy jednak cichą nadzieję, że prostota i zwarta forma naszego Kalendarza może być pomocą dla KAŻDEGO! Oczywiście w poszukiwaniu refleksji i wrażeń estetycznych, a nie odkryć naukowych. Astronomowi pozwoli szybko zorientować się, kiedy warto zaprosić przyjaciół do obserwatorium i pokazać im przez teleskop Saturna, a fizyk–teoretyk pozbędzie się kompleksów, że nie odróżnia Wenus od Jowisza. Początkujący amator być może zachęci się i sięgnie po Uranię i do bardziej zaawansowanych obserwacji np. gwiazd zmiennych czy komet. Może wreszcie ktoś, kto po raz pierwszy, dzięki bliskiemu złączeniu z Księżycem, samodzielnie rozpozna którąś z planet we wskazanym przez nas miejscu na niebie, łatwiej nam uwierzy w głównych bohaterów naszych stronic: w kwazary, czarne dziury i gwiazdy neutronowe, w soczewki grawitacyjne i białe karły... Są one naprawdę tak samo realne, tylko o wiele, wiele dalej ...

Planeta na życzenie, czyli rozkład jazdy Układu Słonecznego

Kalendarz Astronomiczny 1992

Wydawać by się mogło, że w dobie teleskopów kosmicznych i kamer CCD, rola obserwacji prowadzonych przez miłośników astronomii powinna maleć. Czy tak jest w istocie? Zapewne nie. Przecież to amatorzy dostarczają wielu podstawowych faktów obserwacyjnych. To właśnie oni systematycznie obserwują gwiazdy zmienne oraz zakrycia gwiazd przez Księżyc. To oni zbierają dane potrzebne do oceny aktywności Słońca, odkrywają kolejne komety, śledzą ruchy planetoid, a także w każdą noc poszukują gwiazd nowych i supernowych. Wreszcie ostatnio, to oni odkryli wielką, białą plamę na Saturnie, aż skierował na niego swe potężne lustro Teleskop Kosmiczny Hubble'a (patrz PA, zeszyt 2, str. 79). Lista podejmowanych tematów jest o wiele dłuższa i dlatego, bez cienia wątpliwości można stwierdzić, że astronomia profesjonalna ma w nich nadal bardzo istotne wsparcie.

Silna organizacyjnie sieć obserwatorów nieba, zwłaszcza ta działająca w świecie zachodnim, budzi wśród naszych miłośników astronomii uzasadnioną zazdrość. Być może już wkrótce, szybka informacja, wspaniałe wydawnictwa, a przede wszystkim, możliwość posiadania własnych instrumentów obserwacyjnych, staną się również i naszym udziałem, bo bez spełnienia tych podstawowych warunków trudno jest sobie wyobrazić, by rodzimy ruch obserwatorów nieba miał szansę odrodzenia. *Postępy Astronomii* chętnie będą popierać, a nawet patronować takim akcjom.

Rady i pomocy oczekują jednak przede wszystkim początkujący obserwatorzy, ci których jedynym kapitałem są chęci i uzbrojone, co najwyżej w lornetkę, oko. Od czego mają zacząć? Na czym powinni się skupić? Otóż warto rozpocząć od orientacji na niebie. Dostępna na rynku „Obrotowa Mapa Nieba" powinna to zadanie ułatwić. Kolejnym naturalnym krokiem może być śledzenie zjawisk w Układzie Słonecznym. To z kolei zadanie na pewno ułatwi zamieszczony tutaj, swojego rodzaju „rozkład jazdy", jaki stanowi nasz Kalendarz.

Słońce, Księżyc i planety bezustannie przemieszczają się na tle stabilnej konfiguracji gwiazd. Na zamieszczonej na poprzedniej stronie mapce pasa równikowego sfery niebieskiej naniesiono położenia pięciu planet widocznych gołym okiem, w celu ułatwienia ich odszukania na niebie. Nietrudno zauważyć, że planety przebywają stale w pobliżu ekliptyki, czyli pozornej drogi, jaką przemierza Słońce w ciągu roku wśród gwiazd. Należy więc ich szukać na tle gwiazdozbiorów zodiaku.

Poniżej mapki umieszczono tabelkę zawierającą momenty wzajemnych konfiguracji Słońca, Księżyca i tych pięciu planet. Dla złączeń podajemy odległość kątową ze wskazaniem północnego (N) lub południowego (S) kierunku wzajemnego położenia, co nawet zupełnemu laikowi ułatwi ich identyfikację. Najszybciej zmienia swoje położenie na niebie oczywiście Księżyc, obiegając całą sferę niebieską w niespełna miesiąc. Nietrudno jednak przewidzieć jego przybliżone położenie wśród gwiazd, posługując się podanymi w tabelce momentami jego faz. Podobnie jak Słońca i planet, należy go szukać wzdłuż ekliptyki: w PEŁNI – po przeciwnej (różnica 12^h) stronie nieba niż Słońce; w PIERWSZEJ i OSTATNIEJ KWADRZE – odpowiednio 6^h na wschód i 6^h na zachód od Słońca; w NOWIU zaś znajduje się oczywiście w pobliżu Słońca. Położenie Słońca, na początek każdego miesiąca, jest opisane na górnej skali mapki, a dolna godzinowa skala (rektascencja) pomoże szybko określić te różnice.

Wykres w kształcie poziomej klepsydry na wkładce, pozwala wyznaczyć przybliżone momenty wschodów, górowań i zachodów planet, a także momenty wschodów i zachodów Słońca. Na obu osiach tego skomplikowanego wykresu mamy czas, przy czym na osi poziomej umieszczono kalendarz, a wzdłuż osi pionowej zegar. Aby Czytelnik mógł bez kłopotu posługiwać się naszym Kalendarzem, zarówno na osi „klepsydry", jak i w tabelce z konfiguracjami, konsekwentnie używamy czasu urzędowego, przewidując że jak zwykle przejście z czasu zimowego (środkowo-europejskiego – CSE) na letni (wschodnio-europejski – CWE) nastąpi w ostatnią niedzielę marca, i odwrotnie, w ostatnią niedzielę września.

Przykładowo prześledźmy wydarzenia jakie będą miały miejsce jednej wybranej nocy. Niech to będzie noc z 9 na 10 grudnia 1992 roku. Przy dolnej krawędzi wykresu szukamy właściwej daty, tzn. 9 grudnia. Wprawdzie nie jest ona zaznaczona, lecz bez trudu znajdziemy odpowiadający jej punkt. Teraz, w myśli, należy przez ten punkt poprowadzić pionową linię. Przesuwając wzrok ku górze, wzdłuż tej linii, określamy wydarzenia interesującej nas nocy. Zachód Słońca nastąpi przed godziną 16:00, wtedy też będzie górował Saturn. Szybko zapadający (16:10) zmierzch cywilny (Słońce 6° pod horyzontem) umożliwi nam łatwe odszukanie Saturna, jako łatwo wyróżniającą się na tle słabych gwiazd Koziorożca (mapka), gwiazdę pierwszej wielkości, nisko nad południowym horyzontem. Tylko nie pomylmy go z Wenus: ta świeci niżej i bardziej na zachód, 100-krotnie (!) większym blaskiem (jasność $-4^m.2$). Przesuńmy się 10 dni do przodu, a zobaczymy, że Wenus i Saturn będą zachodzić równocześnie, tzn. muszą być bardzo blisko siebie. I rzeczywiście, w tabelce odnajdujemy, że 21 grudnia Wenus „wyminie" Saturna w odległości 1° od strony południowej (S). Będziemy więc mieli wyjątkowo efektowną, bożonarodzeniową „pierwszą gwiazdkę na niebie". Kto wie czy ta prawdziwa, Gwiazda Betlejemska, sprzed dwóch tysięcy lat, nie była podobnym zjawiskiem. Już dziś możemy obiecać Czytelnikowi piękny artykuł na tę okazję.

Powróćmy jednak do naszej nocy z 9 na 10 grudnia. Zupełnie ciemno zrobi się około 17:40, kiedy skończy się zmierzch astronomiczny (Słońce 18° pod horyzontem). Po przeszło godzinie definitywnie pożegnamy się tej nocy z Wenus (zachód o 18:50), ale powinien już być widoczny Mars (wschód około 18:00) i zrekompensować tę stratę. I to z nawiązką! Ziemia na swej orbicie właśnie zaczęła „doganiać" Marsa i zbliża się jego opozycja. Jasność Marsa szybko rośnie i tego dnia wynosi prawie $-1^m.0$. Od 12 dni porusza się na niebie ruchem wstecznym (mapka) i zbliża do Polluxa, jasnej gwiazdy w gwiazdozbiorze Bliźniąt. Rzut oka w tabelkę pokazuje, że zbliży się do niego na odległość 3°S (od południa) na dwa dni przed Bożym Narodzeniem. Czyżbyśmy więc mieli tym razem aż dwie „gwiazdki betlejemskie"? No cóż, „Bóg się rodzi, moc truchleje", tym razem niemal dosłownie: dokładnie w Boże Narodzenie zniknie częściowo ta najważniejsza gwiazda, Słońce... z bożej łaski nie u nas, tylko na Pacyfiku.

Ale znów odbiegliśmy od naszej przykładowej nocy. Wróćmy więc do Marsa. Ten jednak znajduje się niemal w najwyższym punkcie ekliptyki i czeka go długa droga po nieboskłonie nim będzie górował (ok. 2:20), ale warto czekać bo wzejdzie bardzo wysoko, zaledwie 30° od zenitu i ukaże się nam w pełni swego blasku, zwłaszcza, że będzie musiał „spuścić z tonu" pobliski (złączenie za dwa dni – tabelka) będący w pełni Księżyc. Oto bowiem, o godzinie 23:00 zacznie się najciekawsze wydarzenie tej nocy. W tym momencie Księżyc zacznie wchodzić w półcień Ziemi, a tuż po północy zacznie zanurzać się w cieniu rzucanym przez Ziemię. Maksymalna faza całkowitego zaćmienia Księżyca przypadnie na godzinę 0:45 – już 10 grudnia. Całe zjawisko skończy się o 2:30. Będzie to jedyne zaćmienie widoczne u nas w przyszłym roku. W międzyczasie (1:20) wzejdzie Jowisz, który z Lwa dotarł już do Panny (mapka) i mozolnie zbliża do Kłosa (Spika), będąc jednak od niej kilkunastokrotnie jaśniejszym (jasność Jowisza $-1^m.9$). Nie kładźmy się jednak spać. Oto bowiem właśnie Merkury osiągnął maksymalne zachodnie odchylenie od Słońca (tabelka) i wschodzi na tle jeszcze nieomal ciemnego nieba („klepsydra") w gwiazdozbiorze Skorpiona (mapka), na południowo-wschodnim horyzoncie. Kto go wypatrzy (przyda się jednak lornetka) będzie zaskoczony jego jasnością ($-0^m.5$), 4-krotnie większą od Antaresa do którego się szybko zbliża (złączenie 19 grudnia – tabelka). Być może jeszcze dostrzeżemy wiele meteorów z roju Geminidów („klepsydra") nim wschód Słońca o 7:40 zakończy tę bogatą w wydarzenia noc. Oby tylko dopisała pogoda.

W podobny sposób, posługując się „klepsydrą", mapką i tabelką zdołamy rozszyfrować wydarzenia dotyczące każdej nocy w roku. Warto pamiętać, że skala czasowa wykresu („klepsydry") została sporządzona dla centralnej Polski i wskutek różnicy długości geograficznej poszczególne zjawiska we wschodniej Polsce będą zachodziły (w czasie urzędowym) odpowiednio wcześniej, a w Polsce zachodniej, odpowiednio później od odczytanych z wykresu. Różnice mogą sięgać 30 minut. Szczególnie pięknie będą wyglądały złączenia jasnych planet i gwiazd z wąskim sierpem Księżyca i tak jak to było w 1991 roku w przypadku czerwcowego spotkania Księżyca, Wenus, Jowisza i Marsa (patrz str. 168), zachęcamy do fotografowania tych zjawisk.

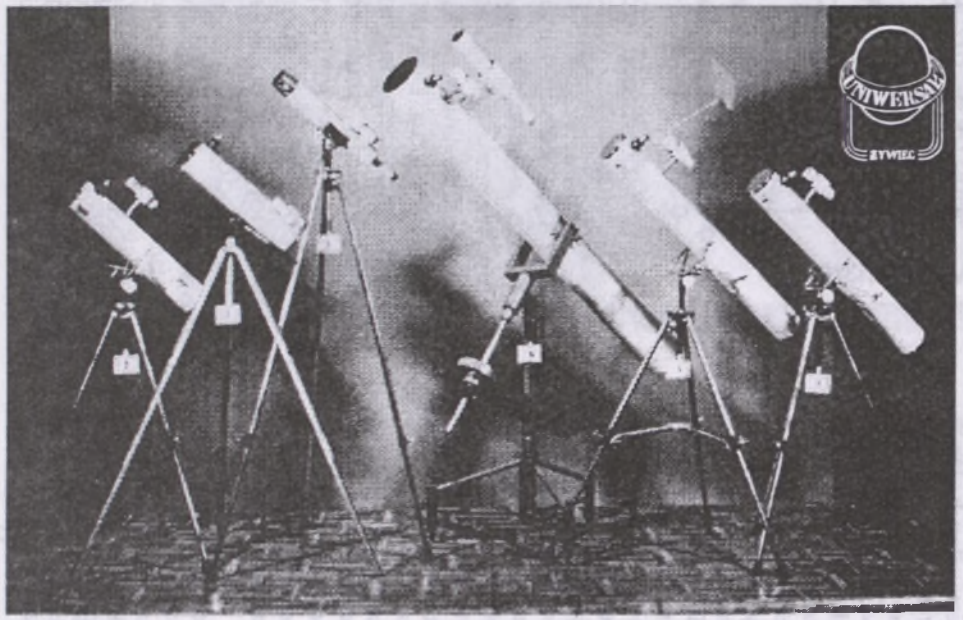
Opracowanie na podstawie plakatowej wersji Kalendarza wydanego przez *ASTRO-HOBBY*:

Marek T. Szczepański
***Jan Desselberger** (grafika)*
***Maciej Mikołajewski** (konfiguracje planet)*

ZAKŁAD MECHANIKI PRECYZYJNEJ
Wytwarzanie Astronomicznych Teleskopów Zwierciadlanych i Lunet

mgr inż. Jacek Uniwersał
34-300 ŻYWIEC, ul. Poniatowskiego 9
tel. 33-74

OFERTA



TELESKOPY ZWIERCIADLANE System Newtona

MODEL Nr 1		
— średnica zwierciadła	67 mm	Cena na małym statywie — 400 tys.zł lub na dużym statywie azymutalnym — 500 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (lunetka celownicza 5 x 30, ekran do obserwacji plam na Słońcu) — 100 tys.zł. Razem 500 lub 600 tys.zł.
— ogniskowa zwierciadła	400 mm	
— powiększenie	30x, 80x	
— zasięg	11 m	
MODEL Nr 2		
— średnica zwierciadła	70 mm	Cena na dużym statywie azymutalnym — 700 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (jak wyżej) cena — 100 tys.zł. Razem 800 tys.zł.
— ogniskowa zwierciadła	350 mm	
— powiększenie	40x, 65x, 100x	
— zasięg	11 m	
MODEL Nr 3		
— średnica zwierciadła	70 mm	Cena na dużym statywie azymutalnym — 900 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (jak wyżej) cena — 100 tys.zł. Razem 1.000.000 zł.
— ogniskowa zwierciadła	800 mm	
— powiększenie	60x, 100x, 160x	
— zasięg	11 m	
MODEL Nr 5		
— średnica zwierciadła	90 mm	Cena na dużym statywie azymutalnym — 1,2 mln zł lub na statywie paralaktycznym — 1,3 mln zł. Mikroruchy — 200 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (jak wyżej) cena — 100 tys.zł. Razem 1.300 lub 1.600 mln zł.
— ogniskowa zwierciadła	900 mm	
— powiększenie	70x, 120x, 200x	
— zasięg	11,5 m	
MODEL Nr 6		
— średnica zwierciadła	150 mm	Cena na dużym statywie paralaktycznym z prowadzeniem mikroruchami — 4,4 mln zł. Dodatkowe oprzyrządowanie: lunetka celownicza 20x50 i 5x30, ekran do obserwacji plam na Słońcu, możliwość podłączenia aparatu fotograficznego — 300 tys.zł. Razem 4.700 mln zł.
— ogniskowa zwierciadła	1500 mm	
— powiększenie	50x, 120x, 200x, 300x	
— zasięg	12,5 m	

W modelach 1, 2, 3 można instrumenty zakupić na statywie paralaktycznym z mikroruchami. Cena w/w modeli wzrasta o 300 tys.zł.

LUNETY REFRAKTORY

MODEL Nr 0		
— średnica obiektywu	47 mm	Cena samej lunety — 300 tys.zł. Na małym statywie — 400 tys.zł.
— ogniskowa obiektywu	500 mm	
— powiększenie	40x lub 60x	
MODEL Nr 4		
— średnica obiektywu	65 mm	Cena samej lunety — 600 tys.zł, na dużym statywie azymutalnym — 1,1 mln zł. Luneta może być wyposażona w mieszek fotograficzny (do podłączenia aparatu fotograficznego) cena — 100 tys.zł, mikroruchy — 200 tys.zł. Skala godzinowa i skala kątowa — 100 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (jak w MODELU Nr 1) cena — 100 tys.zł. Razem 1.300 lub 1.500 mln zł (z montażem paralaktycznym).
— ogniskowa obiektywu	400 mm	
— powiększenie płynne	od 30x do 100x	
— zasięg	10,5 m	
MODEL Nr 7		
— średnica obiektywu	65 mm	Cena samej lunety — 1,2 mln zł. Cena lunety na statywie azymutalnym — 1,6 mln zł, na statywie paralaktycznym — 1,7 mln zł, z mikroruchami — 1,9 mln zł, mieszek fotograficzny — 100 tys.zł. Dodatkowe oprzyrządowanie (jak w MODELU Nr 1) cena — 100 tys.zł. Skala godzinowa i skala kątowa — 100 tys.zł. Razem 1.600 lub 2.100 mln zł.
— ogniskowa obiektywu	800 mm	
— powiększenie	70x, płynne od 100x do 200x	
— zasięg	10,5 m	

Wszystkie lunety posiadają obraz prosty, ziemski.

oferowane instrumenty umożliwiają obserwacje:

- plam na Słońcu
- faz WENUS i MERKUREGO
- kraterów i gór na KSIĘŻYCU
- księżyców JOWISZA oraz plam i pasów na planecie
- pierścieni SATURNA
- URANA oraz MARSA
- gwiazd, gromad gwiazd, galaktyk i mgławic

β PICTORIS:
RODZĄCY SIĘ UKŁAD PLANETARNY ?

Poszukiwanie życia pozaziemskiego, a co się z tym ściśle wiąże, poszukiwanie podobnych do naszego systemów planetarnych wokół innych gwiazd jest od dawna przedmiotem poważnych programów badawczych. Z jednej strony bowiem najbardziej obiecującym miejscem powstania życia jest powierzchnia planety, a z drugiej badania pozasłonecznych układów planetarnych może dostarczyć niezbędnych danych dla zrozumienia genezy Ziemi i całego Układu Słonecznego.

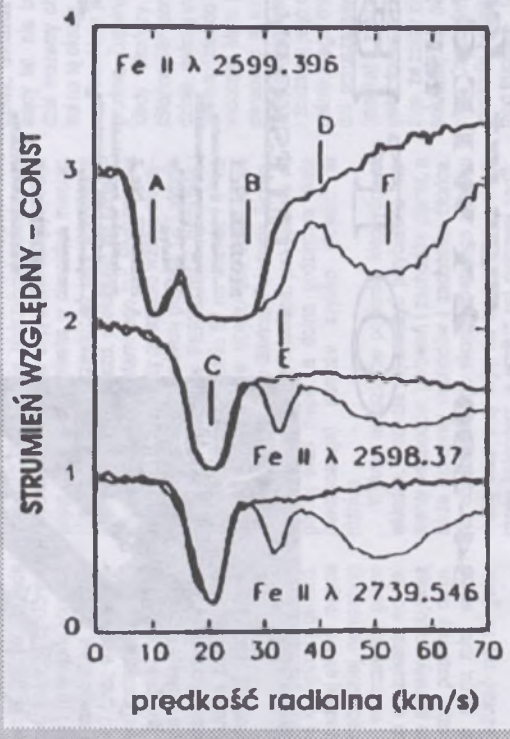
Dzisiejsze poglądy na pochodzenie Układu Słonecznego mają swoje korzenie w XVIII-wiecznej koncepcji Kanta i Laplace'a, według której Słońce i planety wyodrębniły się z wielkiej wspólnej mgławicy. Mówimy obecnie, że Słońce i planety uformowały się ze wspólnej dyskopodobnej struktury określanej jako mgławica słoneczna.

Jeżeli nasze poglądy na narodziny gwiazd są prawidłowe, to wokół młodych gwiazd powinny występować dyski. Niektóre z tych dysków mogą przechodzić przez podobne stadia ewolucyjne przez jakie przechodził rodzący się, nasz Układ Słoneczny.

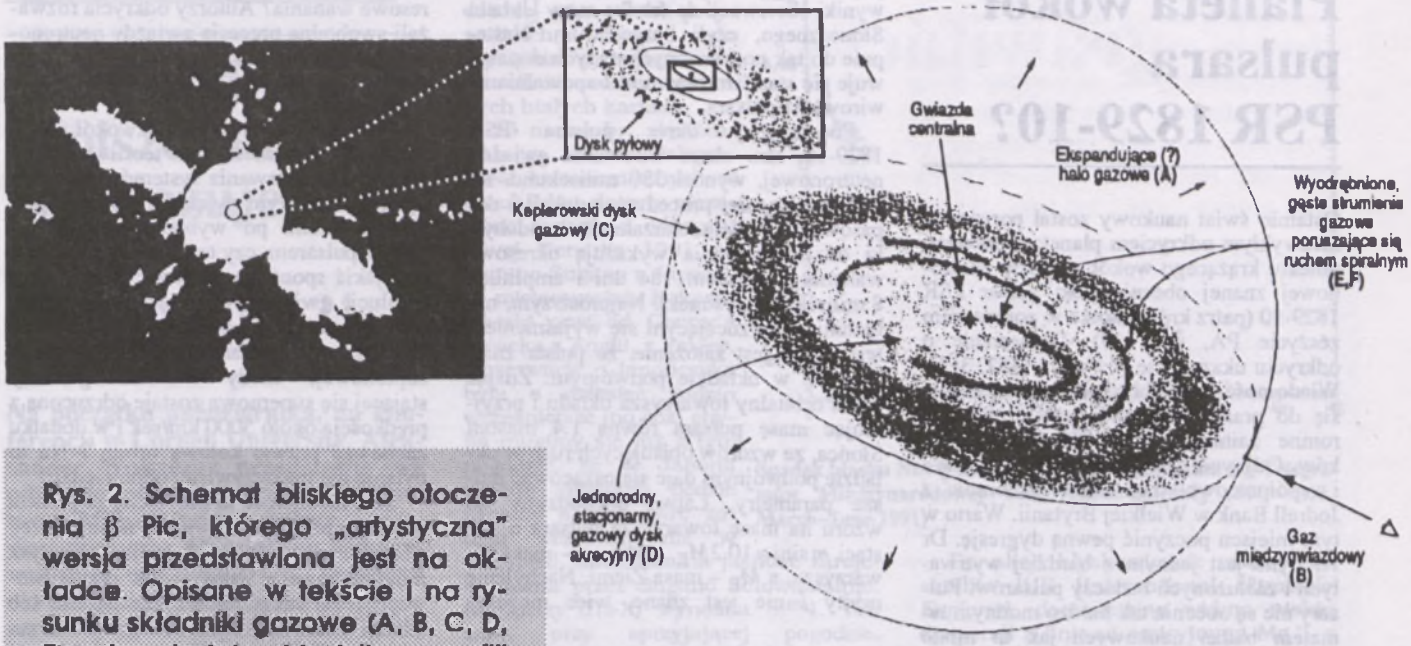
Pierwszą wskazówką świadczącą o tym, że wokół młodych gwiazd rzeczywiście istnieją struktury dyskowe było odkrycie, że obiekty te są źródłami silnych dżetów i wiatrów złożonych z gazu i pyłu. Gdy cząstki pyłu absorbują światło gwiazdy, stają się gorętsze i zdradzają swoja obecność w podczerwonym zakresie widma. Takie młode obiekty jak HL Tauri, R Monocerotis i L1551/IRS5 emitują niewiarygodnie duże ilości promieniowania podczerwonego, wskazującego niewątpliwie na istnienie wokół nich cząstek pyłu. Określono nawet średnicę tych cząstek: wynosi ona od jednego do kilkudziesięciu mikrometrów. Są to rozmiary znacznie większe od cząstek istniejących w obłokach międzygwiazdowych, co sugeruje, że wokół tych gwiazd rozpoczął się proces tworzenia planet. Posiadamy też dowody na istnienie kondensującego się dysku wokół młodych gwiazd typu T Tauri, a obserwacje satelity–teleskopu pracującego w podczerwieni IRAS odkryły, że wiele gwiazd, nawet starszych, takich jak α Lyrae (Wega) i β Pictoris, otoczone jest przez dyskopodobne struktury pyłowe. Obserwacje radiowe oraz badania prowadzone przez satelitę IUE w ultrafiolecie dowodzą istnienia w tych dyskach również gazu.

Odkrycie okołogwiazdowego dysku, prawdopodobnie dysku protoplanetarnego, wokół podobnej do Słońca gwiazdy β Pictoris jest oceniane jako jedno z największych odkryć astronomicznych ostatniej dekady. Nic więc dziwnego, że obiekt ten stał się przedmiotem badań przy pomocy Teleskopu Kosmicznego Hubble'a, a w szczególności badań spektroskopowych przeprowadzonych przy pomocy spektrografu o dużej zdolności rozdzielczej GHRS (*Goddard High Resolution Spectrograph*). Obserwacje miały na celu określenie rozkładu i ruchu jednokrotnie zjonizowanych atomów żelaza, jako wyznaczników rozkładu i zachowania innych, mniej czytelnych składników chmury gazowej wokół β Pictoris. Przeprowadzone one zostały w dwóch terminach oddzielonych od siebie okresem 23 dni w celu uchwycenia ewentualnych zmian jakie mogą zajść w turbulentnej okołogwiazdowej otoczce gazowej.

Widma uzyskane w dniu 12 stycznia 1991, różnią się znacznie od widm uzyskanych w dniu 4 lutego 1991. Rys. 1 daje przykłady profili trzech linii FeII (zjonizowanego żelaza), pokazujące ogromną zmianę jaka zaszła w ciągu zaledwie 23 dni i świadczące o istnieniu „ kłaczkowatych", turbulentnych chmur przemieszczającego się gazu, dramatycznie zmieniającego strukturę otoczki w krótkim okresie



Rys. 1. Trzy profile linii zjonizowanego żelaza w ultrafiolecie. Widma zostały otrzymane w odstępie 23 dni, 12 stycznia (gruba linia) i 4 lutego (cienka linia) 1991 roku. Dramatyczne zmiany w tych profilach, tłumaczone poprzez kłaczkowatą strukturę turbulentnych elementów w rotującym gazie, stały się podstawą do sporządzenia „artystycznej" wizji obiektu przedstawionej na okładce.



Rys. 2. Schemat bliskiego otoczenia β Pic, którego „artystyczna" wersja przedstawiona jest na okładce. Opisane w tekście i na rysunku składniki gazowe (A, B, C, D, E) odpowiadają składnikom profili linii zjonizowanego żelaza na Rys. 1. Wewnętrzny dysk, którego strukturę opisano na podstawie spektroskopowych obserwacji z Kosmicznego Teleskopu Hubble'a, otoczony jest zewnętrznym dyskiem pyłowym, rozciągającym się na odległość 100 miliardów kilometrów (~700 jednostek astronomicznych) i znany był wcześniej z podczerwonych obserwacji naziemnych. Pył ten zanurzony jest w rozległej otoczce gazowej, której naziemny obraz teleskopowy, uzyskany przez dr. Chrisa Burrowsa z Europejskiego Obserwatorium Południowego (ESO), przedstawiono w lewym górnym rogu rysunku. Obraz struktury wewnętrznego dysku w β Pic w oparciu o własne obserwacje spektroskopowe z Teleskopu kosmicznego przygotował Dr. Al Boggess z zespołem obsługującym spektrograf GHRS.

czasu. Plastyczny obraz wywodzący się z interpretacji otrzymanych widm, przedstawiony jest na okładce niniejszego numeru, a Rys. 2 prezentuje schemat i niezbędne objaśnienia tej wizji. Ilustracja przedstawia główne składowe obszaru w pobliżu gwiazdy, który jest mniej więcej rozmiarów orbity Marsa. Czerwony pierścień zewnętrzny (C) jest dyfuzyjnym dyskiem gazowym, który ma stabilną orbitę wokółgwiazdową. Dysk ten otacza wewnętrzny dysk gazowy (D), który wolno dryfuje w kierunku gwiazdy centralnej. Białe, kometo–podobne struktury w tym niebieskim dysku (E, F) są gęstymi strumieniami gazu poruszającymi się spiralnie w studni potencjału grawitacyjnego gwiazdy z szybkością około 200 km/s. Zewnętrzne, kłaczkowate struktury (A i B) mogą być ekspandującym pod wpływem ciśnienia promieniowania gwiazdy centralnej gazowym halo lub elementami tła lokalnego ośrodka międzygwiazdowego.

Podobnie jak Słońce, β Pictoris jest gwiazdą ciągu głównego, ale jej masa jest około dwa razy większa, a jasność dziesięć razy większa niż Słońca. Jej wiek jest oceniany na kilka milionów do miliarda lat. Ostatnio F. Paresce sugeruje, że β Pic jest młodym karłem typu A5, który dopiero co osiągnął ciąg główny. Jego wiek nie przekracza 200 mln lat, średnica wynosi 1.2 średnicy Słońca, a masa 1.5 masy Słońca. Według Paresce gwiazda ta wyróżnia się też małą obfitością *metali* w stosunku do Słońca: [M/H]=–0.6*. Cząsteczki stałe tworzą wokół β Pictoris dysk, którego średnica sięga kilkuset jednostek astronomicznych, podczas gdy otoczka gazowa rozpościera się tylko w promieniu paru jednostek astronomicznych od gwiazdy.

Pochodzenie okołogwiazdowego gazu w β Pictoris nie jest znane. Może on być produkowany przez powolny rozpad cząstek pyłu w dysku, może być uwalniany przez gwiazdę lub też pochodzić z „parowania" z zimnych obiektów, np. przypominających komety, które mogły się utworzyć w tym prawdopodobnym systemie protoplanetarnym. Te, lub jeszcze inne procesy mogą zachodzić równocześnie. Być może dalsze obserwacje, prowadzone przy pomocy Teleskopu Kosmicznego, pomogą rozwiązać te problemy.

Andrzej Woszczyk

* W żargonie astrofizycznym, metalami nazywa się praktycznie „wszystko" cięższe od wodoru i helu, a ich zawartość względem Słońca podaje się w skali logarytmicznej i tradycyjnie oznacza nawiasami kwadratowymi. Innymi słowy, podana wartość dla β Pic oznacza, że jest ona czterokrotnie uboższa w pierwiastki ciężkie niż Słońce (przyp. red.).

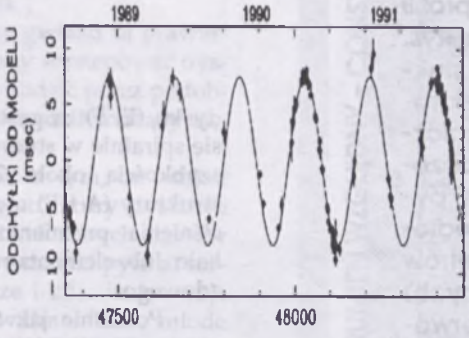
Planeta wokół pulsara PSR 1829-10?

Ostatnio świat naukowy został poruszony niezwykłym odkryciem planetopodobnego obiektu krążącego wokół gwiazdy neutronowej znanej obecnie jako pulsar PSR 1829-10 (patrz krótka notka w poprzednim zeszycie PA, str. 119). Doniesienie o odkryciu ukazało się w Nature (**352**, 311). Wiadomość lotem błyskawicy przedostała się do prasy codziennej wzbudzając ogromne zainteresowanie wśród czytelników. Odkrycie jest dziełem Dr A. Lyne'a i współpracowników, radioastronomów z Jodrell Bank w Wielkiej Brytanii. Warto w tym miejscu poczynić pewną dygresję. Dr A. Lyne jest jednym z bardziej wytrwałych i zasłużonych badaczy pulsarów. Pulsary nie są obecnie tak bardzo modnym tematem badań naukowych jak to miało miejsce zaraz po ich odkryciu i tylko parę zespołów prowadzi ich dalsze badania. Obserwacje pulsarów są żmudne i długotrwałe, dlatego badacz nie może liczyć na rychłą publikację wyników badań. Odkrycie Lyne'a dobitnie pokazuje jak bardzo potrzebny w badaniach astronomicznych jest czas i wytrwałość. Mamy nadzieję, że nasz komentarz pomoże Czytelnikom *Postępów Astronomii* lepiej zrozumieć w jaki sposób doszło do odkrycia i jakie jest jego znaczenie dla astronomii.

Przegląd obszaru nieba blisko płaszczyzny galaktyki wykonany w 1985 roku za pomocą 76 metrowego radioteleskopu Lowella doprowadził do odkrycia czterdziestu nowych pulsarów, a wśród nich PSR 1829-10. Od momentu odkrycia prowadzono systematycznie obserwacje, celem dokładnego ustalenia ich pozycji na niebie oraz pomiary momentów nadejścia impulsów, dla wyznaczenia tempa spowalniania ich ruchu wirowego.

Promieniowanie radiowe pulsarów ma charakter impulsowy. Impulsy pojawiają się okresowo z bardzo dużą dokładnością, przy czym ich amplituda wykazuje znaczną zmienność. Obserwowany okres pulsara zmienia się w wyniku efektu Dopplera wywołanego przez różne ruchy w układzie pulsar–Ziemia, a więc w wyniku ruchu wirowego i orbitalnego Ziemi, ruchu pulsara w układzie podwójnym, itp. Pulsar wysyłając promieniowanie elektromagnetyczne traci swoją energię kinetyczną. W rezultacie następuje zwolnienie jego obrotów, a więc okres systematycznie się wydłuża. W jaki sposób mierzy się momenty nadejścia impulsów pulsara? Ze względu na dużą zmienność amplitudy impulsów splata się je z odpowiednim impulsem wzorcowym, czyli szablonem. Szablonem jest po prostu średni profil pulsara uzyskany w wyniku synchronicznej (z okresem pulsara) integracji dużej liczby kolejnych impulsów. Maksimum funkcji splotu szablonu z obserwacjami, określa moment nadejścia impulsu od pulsara. Wprowadzając poprawki na ruch Ziemi sprowadza się wyniki obserwacji do środka masy Układu Słonecznego, czyli barycentrum. Następnie do tak poprawionych danych dopasowuje się standardowy model spowalniania wirowania pulsara.

Podstawowy okres pulsara PSR 1829-10, tzn. okres wirowania gwiazdy neutronowej, wynosi 330 milisekund. Po wykonaniu całej procedury redukcji i dopasowaniu modelu, okazało się, że odchyłki od dopasowania wykazują okresowe wahania z okresem 184 dni i amplitudą 8 milisekund (rysunek). Najprostszym, natychmiast narzucającym się wyjaśnieniem tego faktu jest założenie, że pulsar znajduje się w układzie podwójnym. Znając okres orbitalny towarzysza układu i przyjmując masę pulsara równą 1.4 masom Słońca, ze wzorów opisujących ruch w układzie podwójnym daje się oszacować dalsze parametry. Łatwo dochodzimy do wzoru na masę towarzysza pulsara o postaci $m \sin i = 10.2 M_E$, gdzie m – masa towarzysza, a M_E – masa Ziemi. Nachylenie orbity i nie jest znane, więc możemy



Odchyłki w chronometrii PSR 1829-10 względem prostego modelu spowalniania wirowania. Krzywa ciągła przedstawia rozwiązanie dla układu podwójnego z planetą (wg *Nature*, vol. 252, str.311)

określić tylko dolną granicę masy towarzysza. Jednakże, dla przypadkowej orientacji płaszczyzny orbity, prawdopodobieństwo tego, że nachylenie orbity jest mniejsza niż pewna wartość i wynosi $1-\cos i$. Stąd można łatwo pokazać, że dla każdej rozsądnej wartości nachylenia orbity (tzn. nie leżącej niemal dokładnie w płaszczyźnie nieba) masa towarzysza pulsara wypadnie w zakresie mas planetarnych. Mamy 50 procentową szansę na to, że masa towarzysza jest mniejsza od $12 M_E$. Prawdopodobieństwo tego, że jest to obiekt o masie większej od masy Jowisza, czyli $300 M_E$ wynosi tylko 0.0005. Większą półoś orbity daje się łatwo obliczyć znając okres orbitalny i masę gwiazdy neutronowej. Wynosi ona 1.06×10^8 km, czyli jest to orbita porównywalna z orbitą Wenus. Mamy zatem dość przekonujący dowód na istnienie pierwszej planety poza Układem Słonecznym. Planeta ta ma masę rzędu $10 M_E / \sin i$ i porusza się prawie po kołowej orbicie o promieniu 0.7 jednostek astronomicznych z okresem 6 miesięcy.

Czy jakieś inne przyczyny nie mogłyby być odpowiedzialne za obserwowane okresowe wahania? Autorzy odkrycia rozważali swobodną precesję gwiazdy neutronowej oraz pewien typ oscylacji w jej nadciekłym wnętrzu. Oba efekty jednak wykluczono.

Odkrycie planety krążącej wokół pulsara jest wyzwaniem dla teorii ewolucji gwiazd i powstawania systemów planetarnych. Kluczowym pytaniem jest, czy planeta powstała po wybuchu supernowej wraz z pulsarem, czy też istniała wcześniej i w jakiś sposób przetrwała późne stadia ewolucji gwiazdowej, włącznie z procesem formowania gwiazdy neutronowej. Czy planeta mogłaby przetrwać wybuch supernowej, kiedy otoczka gwiazdy stającej się supernową zostaje odrzucona z prędkością około 5000 km/sek i w dodatku zachować prawie kołową orbitę ? Na to pytanie nie ma oczywistej odpowiedzi.

Inna możliwość to przyjęcie, że planeta powstała później od gwiazdy neutronowej, z dysku materii wokół niej. Taki dysk mógłby powstać jako wynik przypływowego rozerwania towarzysza pulsara lub akrecji materiału odrzuconego przez supernową. Dwa inne wyjaśnienia proponują w jednym z kolejnych zeszytów *Nature* (**352**, 783) M. Rees i współpracownicy z Cambridge. W ich pierwszej wersji, pulsar powstaje z połączenia się dwóch białych karłów, a planeta kondensuje się z materii pozostającej w masywnym dysku. W wersji drugiej, gwiazda neutronowa zderza się z systemem planetarnym podobnym do słonecznego i niejako „pożera" jego centralną gwiazdę. Zderzenie zmienia kształt orbit wewnętrznych planet na eliptyczny, który po pewnym czasie powraca do kołowego na skutek działania sił tarcia, wywołanych przez rozciągłą lecz krótkotrwałą otoczkę, pozostałość po rozerwanej gwieździe. W tym samym numerze *Nature*, na stronie 763, jeszcze jedno wyjaśnienie proponuje P. Dawson. Przyjmuje on, że przodkiem supernowej był gorący masywny biały karzeł i że wybuch supernowej był typu Ia. Hipoteza Dawsona ma pewne zalety i niektóre wcześniejsze kwestie stają się w jej kontekście nieistotne

Nie wgłębiając się dalej w szczegóły różnych hipotez, których zapewne wkrótce przybędzie, możemy jedynie stwierdzić, że opierając się na obecnych teoriach formowania gwiazd neutronowych i supernowych trudno zrozumieć obecność planety w systemie pulsara PSR1829-10. Jest też całkiem możliwe, że w wyniku dalszych badań okaże się, że nie ma tam żadnej planety. Historia poszukiwań innych systemów planetarnych we Wszechświecie zna wiele takich przypadków, kiedy to w miarę dalszego zbierania materiału obserwacyjnego i gruntownej analizy problemu okazywało się, że odkrycia są po prostu pomyłkami obserwacyjnymi lub interpretacyjnymi. Na zakończenie podkreślmy raz jeszcze, że odkrycie Lyne'a i współpracowników dostarcza tylko pośredniego dowodu na istnienie planety przy pulsarze PSR1829-10.

Jerzy Usowicz

Z ostatniej chwili

Aleksander Wolszczan rozwiązuje worek z planetami?!

Na początku października, na konferencji w Cornell University, Aleksander Wolszczan przedstawił swe odkrycie nowego układu planetarnego. Milisekundowy pulsar, obserwowany przez 18 miesięcy wykazywał duże odchyłki $O-C$, sięgające okresu pulsów. Odchyłki udało się zredukować o czynnik 1000 (tak, tysiąc!) wprowadzając dwie planety o masach 2 i 3 masy Ziemi z okresami orbitalnymi 66 i 99 dni, blisko rezonansu 2:3. Ekscentryczności są małe, lecz mierzalne, ok. 0.02. Wolszczan czeka jeszcze miesiąc z publikacją, aby mieć pewność, że efemeryda się sprawdza.

Bohdan Paczyński

Od Redakcji: Aleksander Wolszczan jest wyraźnie „na fali". Po raz drugi pojawia się jego nazwisko na naszych łamach (patrz zeszyt 3, str. 113) jako odkrywcy i to w nadzwyczaj gorącej dziedzinie. Ostatnio skontaktował się z Redakcją za pomocą poczty elektronicznej i obiecał napisać dla nas o swoich odkryciach, zaraz po wysłaniu wzmiankowanych wyżej wyników do publikacji. Dlatego nie zdradzamy nawet nazwy pulsara i wraz z Czytelnikami, niecierpliwie czekamy na tekst.

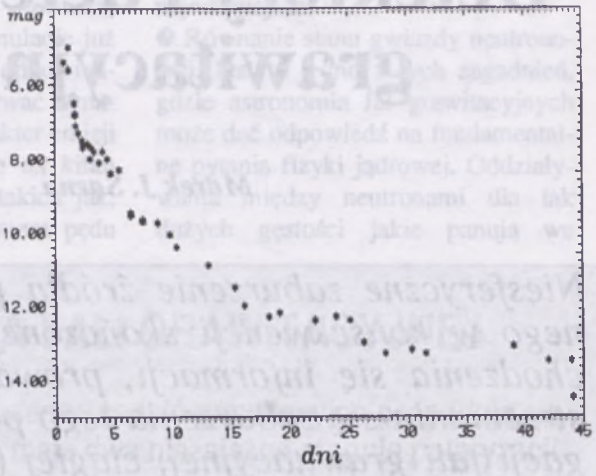
Nowa *nowa*: Nova Herculis 1991

Być może Czytelnik pierwszego zeszytu „*Postępów Astronomii*" (str. 19) pamięta nazwę V 1500 Cyg (inaczej Nova Cygni 1975, „przebój" sprzed 16 lat), wspomnianą przy okazji opisu toruńskiego spektrografu i kampanii obserwacyjnej przeprowadzonej przy jego użyciu.

Wiosna br. dostarczyła okazji do obserwacji innej Nowej, Novej Herculis 1991 – obiektu o podobnej prawdopodobnie naturze. Świadczą o tym duże prędkości wyrzutu materii, gwałtowny spadek blasku, oraz podobne dla obydwu gwiazd widma optyczne. Najprawdopodobniej więc, w obu przypadkach, mamy do czynienia z wybuchami na silnie namagnesowanych białych karłach.

25 marca br., do Centralnego Biura Telegramów Astronomicznych w Cambridge, dotarły niezależne raporty o odkryciu Novej Herculis 1991 od Matsuo Sugano z Japonii, z miejscowości Kakogawa-shi oraz od George'a Alcocka z Anglii, z Yaxley. Obserwacje Japończyka były o dziesięć godzin wcześniejsze (no cóż, chyba musimy się już z tym pogodzić, że w Japonii zawsze zmierzch będzie zapadał o tych parę godzin wcześniej niż w Europie!). Maksymalna jasność zarejestrowana przez Sugano (fotowizualnie, na kliszy Tri-X) wynosiła $5.^m4$. Tak więc, przy sprzyjającej pogodzie, mogliśmy tej nocy zaobserwować gwiazdę nową gołym okiem! Pozycja nowej, uzyskana przez T. Harrisona na 2.3 metrowym teleskopie w Siding Spring wynosiła: $\alpha = 18^h44^m12.^s5$, $\delta = +12°10'51''$. W otoczeniu 10″ od tej pozycji w Atlasie Palomarskim nie ma żadnego obiektu do jasności 14^m włącznie. Prawdopodobnie *prenową* była gwiazda dziewiętnastej wielkości. Na zdjęciach zrobionych jeszcze na 3 dni przed odkryciem nie widać w tym miejscu żadnego obiektu jaśniejszego niż 10^m.

Spektroskopia podczerwona wykonana tuż po odkryciu ukazała emisję bardzo szerokich linii wodoru neutralnego H I i Fe II oraz brak linii helu neutralnego He I, które wystąpiły dopiero później, podobnie jak to miało miejsce w przypadku V 1500 Cyg.



Spadek blasku Novej Herculis 1991 po maksimum wg Telegramów Międzynarodowej Unii Astronomicznej (*IAU Circ.*, March–June 1991)

Do akcji błyskawicznie włączył się satelita IUE (*International Ultraviolet Explorer*), dostarczając widma niskiej dyspersji z liniami emisyjnymi Mg II, a potem także N V. W pięć dni od wybuchu zarejestrował sygnał satelita rentgenowski ROSAT, a mówiąc dokładniej – 194 zliczenia uzyskane w czasie 1235 sekundowej ekspozycji. Tym samym, po raz pierwszy udało się zaobserwować rentgenowsko klasyczną nową w tak krótkim czasie od jej wybuchu (wcześniejsze obserwacje klasycznych nowych, wykonane przez takie satelity jak SAS 3, Ariel V, czy EXOSAT – podawały jedynie górny limit na strumień pochodzący od nowej). Dzięki przeglądowi nieba, wykonanemu przez ROSATa we wrześniu ubiegłego roku, wiemy, że w miejscu zajmowanym przez Novą Herculis 1991 nie było wówczas żadnego źródła rentgenowskiego z górnym limitem do 0.01 zliczeń na sekundę. Obserwacje VLBI (jednoczesne pomiary radioteleskopami o średnicy anten 25.90 m, na bazie pomiędzy Green Bank a Gilmore Creek, tj. 5035 km) dostarczyły górnych oszacowań na strumień pochodzący od nowej zakresie radiowym: 80 mJy na częstotliwości 8391 MHz oraz 65 mJy częstotliwości 2260 MHz.

Pomiary fotoelektryczne i pomiary przeprowadzone przy pomocy CCD świadczą o modulacji jasności, jednak poszczególne doniesienia różnią się co do oszacowań jej amplitudy oraz okresu. E.M. Leibowitz ze współpracownikami podają, że minima (być może spowodowane zaćmieniem) mają głębokość $0.^m15$ i powtarzają się z okresem $P = 71.424 \pm 0.002$ h. Prawdopodobieństwo znalezienia tego typu okresowości w rozkładzie całkowicie losowym jest mniejsze niż 1%. Nie jest też wykluczone, że okres wynosi P/2, P/4, lub P/7. Wyścig o prawidłowe wyznaczenie okresu orbitalnego trwa. Niebawem rozpocznie się następny: o potwierdzenie magnetycznej natury tej gwiazdy.

Ewa Kuczawska

Nova Cygni 1975

Nowa ta, „najszybsza" znana do tej pory, zarówno pod względem tempa spadku blasku po maksimum jak i prędkości wyrzutu materii (do 5000 km/s) swoje osobliwości zawdzięcza najprawdopodobniej faktowi, że do wybuchu termonuklearnego doszło na powierzchni silnie namagnesowanego białego karła. Odkrycia, że gwiazda jest *polarem* (tzn. ciasnym układem podwójnym złożonym z czerwonego karła położonego wewnątrz magnetosfery akreującego poprzez kolumny akrecyjne białego karła) dokonali, ponad dziesięć lat po wybuchu, warszawscy astrofizycy Janusz Kałużny i Tomasz Chlebowski. Nic więc dziwnego, że od tego czasu astronomowie „polują" na wybuch następnego polara, by tym razem już w pełni świadomie śledzić jego przebieg. (MaMiko)

Detektory i detekcja fal grawitacyjnych

Marek J. Sarna

Niesferyczne zaburzenie źródła pola grawitacyjnego w konsekwencji skończonej prędkości rozchodzenia się informacji, prowadzi do rozprzestrzeniania się zaburzenia tego pola, czyli propagacji fali grawitacyjnej, ciągłej (np. układy podwójne gwiazd) lub impulsowej (np. wybuch supernowej). Bliska już, rutynowa rejestracja takich fal daje nadzieję na rozstrzygnięcie podstawowych problemów teorii grawitacji, astrofizyki i kosmologii. Jak zwykle bywa, kiedy chodzi o pieniądze, autorzy przedstawionego tu, fantastycznego projektu, a za nimi Autor artykułu, nie wspominają ile nowych pytań i zagadek stanie przed nauką po zarejestrowaniu tych fal ...

Odwracając kolejność z tytułu, na początku omówię w jakich astrofizycznych sytuacjach mogą być emitowane fale grawitacyjne i jakie fundamentalne problemy fizyki współczesnej ich rejestracja mogłaby zweryfikować. Następnie przedstawię angielsko-niemiecki projekt budowy interferometrycznego detektora fal grawitacyjnych.

Istnienie fal grawitacyjnych jest proponowane przez te teorie grawitacji, które zakładają skończoną prędkość propagowania się informacji. Jedynie einsteinowska teoria była intensywnie testowana. Jednym z takich ważnych testów ilościowych było zmierzenie skracania się okresu podwójnego pulsara PSR 1913+16*). Nie jest to jednak metoda bezpośrednia – rejestruje skutki emisji fal grawitacyjnych nie zaś same fale.

Miarą charakteryzującą intensywność procesu emisji fal grawitacyjnych jest jej *amplituda*, h. Jej bezwymiarowa wartość posłuży nam do określenia możliwych progów detekcji tych fal dla różnych procesów astrofizycznych. Nie wchodząc w szczegóły, zadowolmy się definicją podaną w ramce na sąsiedniej stronie i zwróćmy uwagę na powiązanie tej wielkości z energią fali i odległością do źródła.

*) Pulsar ten był bohaterem artykułu T. Jarzębowskiego w poprzednim zeszycie *Postępów Astronomii* (PA 3/91, str. 106, przyp. red.)

Źródła promieniowania grawitacyjnego

Mając określoną wielkość skalującą intensywność procesu emisji (ramka) przystąpimy teraz do przedstawienia w jakich procesach astrofizycznych zjawisko fal grawitacyjnych może występować. Zasadniczo wymieniane są cztery główne:

1. *Wybuchy gwiazd supernowych.* Teoria wybuchu gwiazd supernowych, a bardziej ogólnie, kolapsu grawitacyjnego, dała pierwszy asumpt do budowy detektorów fal grawitacyjnych. Jeżeli założymy, że kolaps jest sferycznie symetryczny – tzn. nie ma rotacji – to emisja fal nie następuje. Słaba rotacja powoduje, że kolaps jest niesferyczny ale osiowo-symetryczny. Komputerowe symulacje takiego procesu pokazują, że fale grawitacyjne unoszą $10^{-6} + 10^{-4}\ M_\odot c^2$ masy spoczynkowej gwiazdy. Jeżeli rotacja jest znaczna to kolaps nie będzie osiowo-symetryczny a w procesie formowania się gwiazdy neutronowej może być wyniesione $0.1 M_\odot c^2$ energii. Przy założeniu że błysk trwa 1 msek i jest nie dalszy niż z gromady Virgo to dla słabej rotacji $h \sim 10^{-23} + 10^{-22}$, a dla niesymetrycznego osiowo kolapsu mamy $h \sim 4\times10^{-21}$. Zapamiętajmy te liczby!
2. *Zlewające się układy podwójne.* Dla nikogo choć trochę znającego teorię ewolucji gwiazd nie jest zaskoczeniem, że wiele obserwowanych gwiazd jest członkami układów podwójnych czy wielokrotnych. Kresem życia każdej gwiazdy, uwarunkowanym początkowym zasobem materii wodorowej (a więc masą), są: białe karły, gwiazdy neutronowe, czarne dziury. Obiekty takie występują również w układach podwójnych. Niektóre z tych układów są na tyle ciasne, że utrata energii – momentu pędu na skutek emisji fal grawitacyjnych efektywnie skraca okres orbitalny, w czasie krótszym niż wiek Wszechświata (tzw. czas Hubble'a: $t = 1/H_0 \sim 10^{10}$ lat). Gdy odległość między gwiazdami stanie się porównywalna z ich rozmiarami, systemy takie będą zlewać się w jeden zwarty obiekt. O ile białe karły nie są ciekawe z punktu widzenia detekcji fal grawitacyjnych (zbyt słaby impuls), o tyle zlanie się dwóch gwiazd neutronowych, czarnych dziur czy gwiazdy neutronowej i czarnej dziury powinno dać mierzalne efekty. Rachunki pokazują że fale grawitacyjne unoszą w wyniku takiego procesu ok. $5\times10^{-3}\ M_\odot c^2$. Daje to błysk grawitacyjny o amplitudzie $\sim 10^{-21}$.
3. *Pulsary i inne źródła promieniujące w sposób ciągły.* Istnieje wiele długo żyjących i promieniujących w sposób ciągły, źródeł fal grawitacyjnych. Są to przede wszystkim pulsary w różnym okresie czasu po narodzinach. A więc takie, które wypromieniowywują nadmiar momentu pędu (młode), takie gdzie na sku-

tek naprężeń w skorupie następują trzęsienia powierzchni, wreszcie gwiazdy neutronowe rotujące niestabilnie na skutek asymetrycznej akrecji materii. Wszystko to będą źródła stosunkowo słabe, ale przez to, że promieniujące w sposób ciągły, przy długich czasach integracji sygnałów, możliwe do rejestracji. Niewiele jest wiadomo jak dużo takich źródeł istnieje w najbliższym otoczeniu Słońca, w naszej Galaktyce, itd.?

4. *Stochastyczne, grawitacyjne promieniowanie tła.*
Określenie to pojawiło się jako produkt pewnych teorii kosmologicznych starających się wyjaśnić takie sprawy jak fazę przejściową czy formowanie się galaktyk. Jednym z „modnych" ostatnio, lecz zarazem bardzo ciekawych zagadnień, jest wpływ tzw. *strun kosmicznych* na formowanie się galaktyk. Jeśli struny kosmiczne były zarodzią, wokół której powstawały galaktyki i było to zjawisko uniwersalne, to na skutek tego iż struny ginęły emitując fale grawitacyjne – powinno po nich pozostać grawitacyjne promieniowanie tła. Byłoby ono słabe ale możliwe do zarejestrowania metodą różnicową przy użyciu dwóch detektorów fal.

Fizyczne konsekwencje detekcji

Jakie więc problemy rejestracja fal grawitacyjnych może wyjaśnić bądź postawić do rozwiązania przed teoretykami? Lista jest dość długa, ale jej zawartość treściowa, jak sami Czytelnicy przekonają się, kapitalna!!!

● Test na polaryzację fal grawitacyjnych. Wiele teorii przepowiada istnienie fal grawitacyjnych o różnych jednak charakterystykach. Sieć czterech czy więcej detektorów daje możliwość, w oparciu o daną teorię, wydedukowania amplitudy, polaryzacji i kierunku przychodzących fal. Jeśli wynik jest konsystentny z teorią to znakomicie. Jeśli nie oznacza to, że potrzebna jest nowa teoria grawitacji. Decydującą będzie tu polaryzacja.

● Prędkość propagacji fal grawitacyjnych. Jeżeli np. wybuchła gwiazda supernowa w odległości 15Mps i zostanie zarejestrowana w dziedzinie optycznej, to prawie równocześnie (tolerancja jednego dnia) winna nastąpić rejestracja fal grawitacyjnych.

● Testowanie słuszności teorii grawitacji dla silnych pól. Jeśli nastąpi zlanie się dwóch czarnych dziur to detektory zarejestrują pewną czasową charakterystykę błysku grawitacyjnego. Komputerowe symulacje już niedługo będą w stanie, z odpowiednią dokładnością, przewidywać dynamikę takiego procesu, charakter emisji itd – opierając się jedynie na kilku parametrach wejściowych takich jak: masa, spin, całkowity moment pędu układu, parametr zderzenia. Porównując więc obserwacje z przewidywaniami teoretycznymi, będzie można testować zachowanie się materii w silnych polach grawitacyjnych.

● Morfologia jądra supernowej. Obserwując błysk grawitacyjny podczas kolapsu, możemy dowiedzieć się wielu interesujących rzeczy o supernowej. Na przykład: ile faktycznych kolapsów nie prowadzi do optycznego wybuchu; jak ważną rolę odgrywa rotacja w procesie grawitacyjnego zapadania się; co powstaje w wyniku wybuchu (gwiazda neutronowa czy czarna dziura); jaką masę i moment pędu ma zwarty obiekt? To może te najważniejsze.

● Równanie stanu gwiazdy neutronowej. Jest to jedno z tych zagadnień, gdzie astronomia fal grawitacyjnych może dać odpowiedź na fundamentalne pytania fizyki jądrowej. Oddziaływania między neutronami dla tak dużych gęstości jakie panują we wnętrzu pulsara, są niemożliwe do zbadania w laboratorium. Są więc bardzo słabo poznane. Obserwacje natury kolapsu (błysku grawitacyjnego) pozwoli teoretykom przetłumaczyć go na równanie stanu. To zaś da odpowiedź jakie są masy pulsarów, prędkości obrotowe podczas narodzin, jaki jest górny limit na masę stabilnej konfiguracji neutronów, a więc dolny na masę czarnej dziury.

● Statystyka zwartych obiektów. Obserwując w dziedzinie grawitacyjnej:

AMPLITUDA FALI GRAWITACYJNEJ

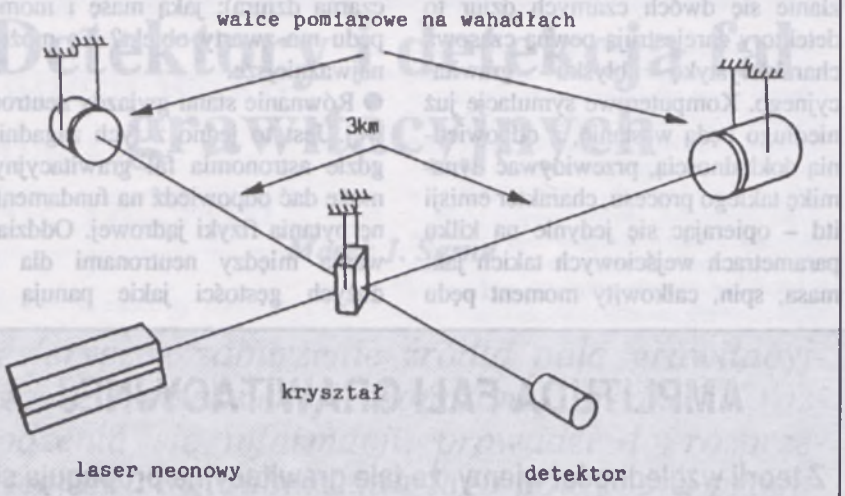
Z teorii względności wiemy, że fale grawitacyjne propagują się z prędkością światła, mają dwa niezależne stopnie polaryzacji oraz amplitudę. Zdefiniujmy strumień energii fal grawitacyjnych o częstotliwości f i amplitudzie h następująco:

$$F_x = 3.2\times10^{-3}(f/1\text{kHz})^2(h/10^{-22})^2$$

Jeżeli wycałkujemy powyższe równanie po sferze o promieniu r to dla pewnego przedziału czasu rejestracji sygnału τ otrzymamy zależność pomiędzy amplitudą h izotropowej fali, a energią E przez nią niesioną w postaci:

$$h = 1.4\times10^{-21}(E/10^{-2}M_\odot c^2)^{1/2}(f/1\text{kHz})^{-1}(\tau/1\text{msek})^{-1/2}(r/15\text{Mps})^{-1}$$

gdzie czynniki skalujące oznaczają: $10^{-2}M_\odot c^2$ – energię unoszoną przez fale grawitacyjne z typowej supernowej, 1msek – czas błysku grawitacyjnego, 15Mps – odległość do gromady Virgo. Definiujemy tak dokładnie wielkość h gdyż jest ona podstawą do porównywania obliczeń teoretycznych z technicznymi progami detekcji. Dla zobrazowania co ta wielkość znaczy powiedzmy, że maksymalna amplituda fali grawitacyjnej emitowanej z supernowej wybuchającej w naszej Galaktyce wynosi 10^{-18}, zaś w gromadzie Virgo 10^{-21}. Jeszcze inaczej, gdy wielkość impulsu 10^{-22} przetłumaczymy na wielkości gwiazdowe dostajemy -13^m czyli 10^5 razy jaśniejsze źródło niż najjaśniejsza gwiazda.



Rys. 1. Schematyczne przedstawienie zasady pracy detektora fal grawitacyjnych z zaznaczeniem najważniejszych urządzeń.

pulsary, stare gwiazdy neutronowe, czarne dziury, zlewające się obiekty, będziemy mieli informację o rozkładzie mas dla nich, tempie powstawania itd.

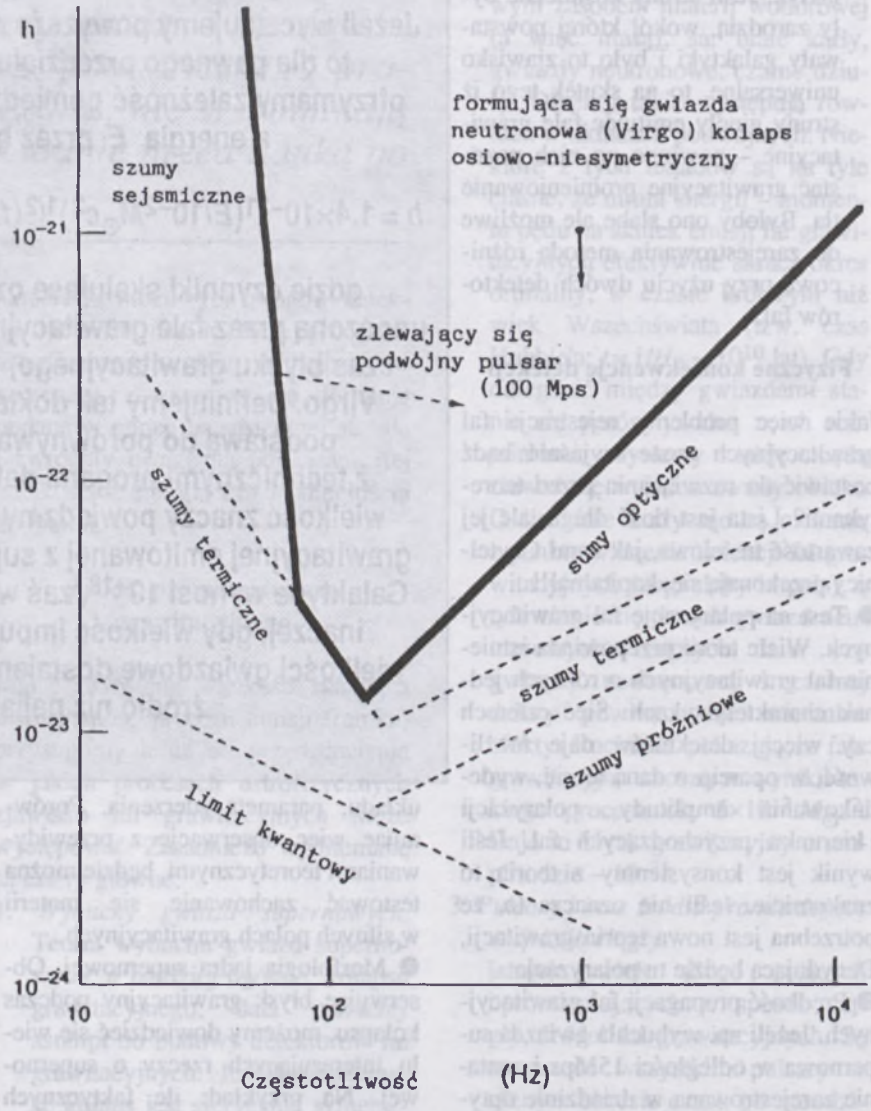
● Stała Hubble'a. Jeżeli zlewające się układy podwójne dadzą kilka rejestrowalnych impulsów rocznie, to w związku z tym, że są one znakomitymi wyznacznikami odległości będzie można już po dwóch latach obserwacji określić stałą Hubble'a z dokładnością do kilku procent. To zaś da nam rozmiary i wiek obserwowanego Wszechświata.

● Rozkład masy w skalach kosmicznych. Zlewające się gwiazdy neutronowe czy czarne dziury wysyłając impuls grawitacyjny, powiedzą nam o swoim rozmieszczeniu. Znając jaka jest procentowa zawartość takich obiektów wśród normalnych gwiazd, będziemy mogli określić rozkład świecącej materii do odległości ok. 1 Gps. Znajomość tego rozkładu (przewidywana zdolność rozdzielcza 10 + 100Mps) pozwoli rozstrzygnąć problem jednorodności i izotropowości Wszechświata.

● Wczesny Wszechświat. Odkrycie stochastycznego, grawitacyjnego promieniowania tła może dostarczyć rozstrzygających argumentów dla teorii formowania się galaktyk. Czy miały w tym swój udział struny kosmiczne, czy może supermasywne obiekty?

Angielsko-Niemiecki detektor

Projekt ten przewiduje zbudowanie dwóch identycznych detektorów działających w oparciu o interferometrię Michelsona*). Jeden z przyrządów będzie znajdował się w Glasgow, drugi w Monachium. Schematyczne przedstawienie zasady działania tego detektora widzimy na Rys. 1. Dwie walcowate masy, każda ważąca 400kg, zawieszone jak wahadła, w czołowej części posiadające odbijające lustro, umieszczone są w odległości 3km każda od kryształu rozszczepiającego światło lasera argonowego. Skomplikowany system detektorów mierzących wzajemne odchylenie wiązek odbitych – na skutek ruchu mas



Rys. 2. Diagram pokazujący możliwy obszar rejestracji impulsowych błysków grawitacyjnych. Na osiach: amplituda fal grawitacyjnych oraz częstość emitowanego sygnału. Przy zlewaniu się dwóch gwiazd neutronowych częstotliwość emitowanych fal będzie się zmieniać w czasie zachodzenia procesu. Pokazane są ograniczenia nakładane na czułość urządzenia przez różnego rodzaju szumy.

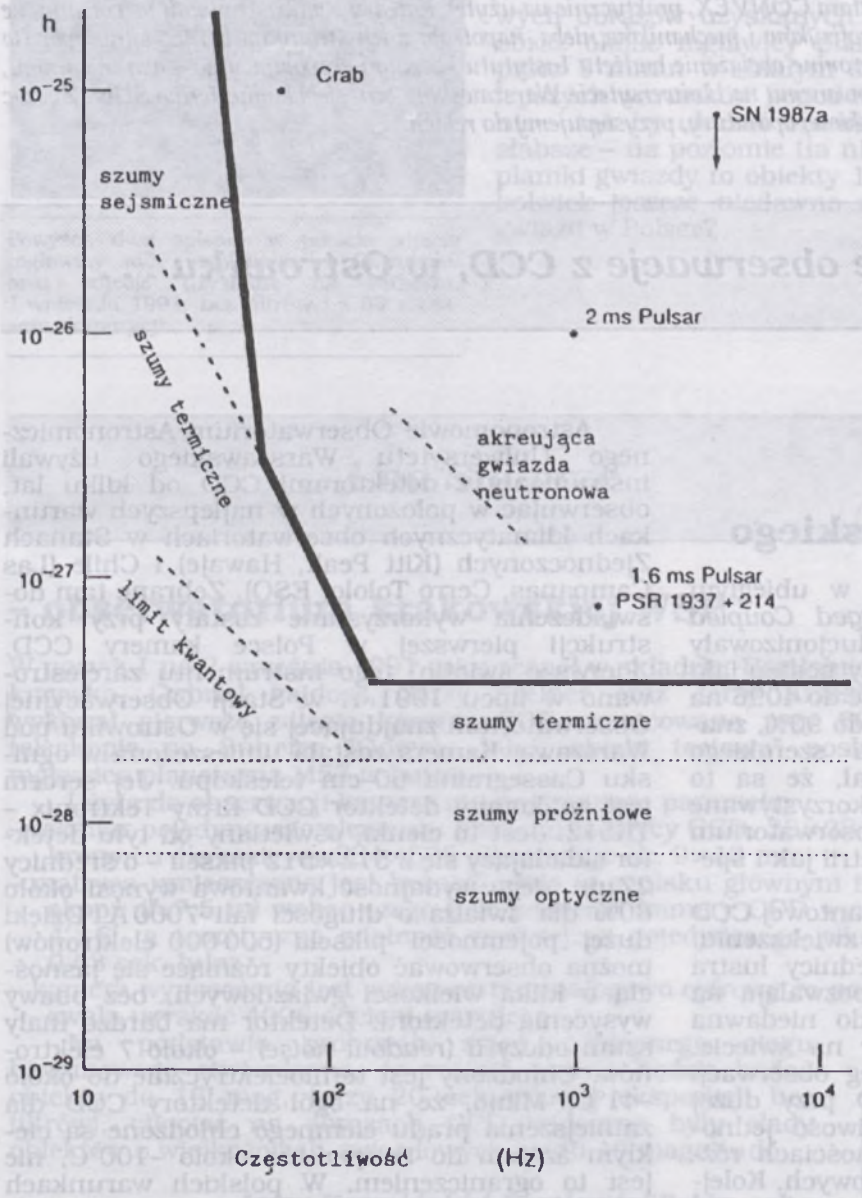
*) Albert Abraham Michelson (1852–1931) pierwszy amerykański laureat Nagrody Nobla, aczkolwiek urodził się w ... Trzemesznie (lub Strzelnie) w rodzinie żydowskiej. Szczegółowy opis jego słynnego interferometru znajdzie Czytelnik w każdym podręczniku fizyki (przyp. red)

pomiarowych wywołanego impulsem grawitacyjnym – umieszczony jest na przedłużeniu jednego z 3km ramion. Cały ten system będzie znajdował się w specjalnej osłonie zapewniającej warunki próżniowe, odpowiednio amortyzowanej dla uniknięcia wibracji zewnętrznych. Dodajmy do tego system stabilizujący pracę lasera oraz skomplikowaną optykę i elektronikę detektora – a może choć w części wyobrazimy sobie jaka masa czysto technicznych problemów będzie stała przed konstruktorami. Planowana czułość tego urządzenia na rejestrację błysku grawitacyjnego (Rys. 2), w pierwszym roku pracy, przewidywana jest na 10^{-21}. W czasie tego roku będą rozwijane systemy kompensacyjne, dla różnych rodzajów szumów, co pozwoli osiągnąć docelowo wartość mierzalnej amplitudy impulsu grawitacyjnego $h \sim 10^{-22}$ dla milisekundowego błysku.

Oczywistym jest, że przy długich czasach integracji sygnału (Rys. 3), możliwym dla źródeł promieniujących w sposób ciągły, czułość ta będzie większa i wynosić będzie $10^{-25} \sim 10^{-26}$.

Zasadniczo będą trzy mody pracy:

- rejestracja błysków grawitacyjnych $h \sim 10^{-21} \div 10^{-22}$;
- rejestracja źródeł ciągłych o $h \sim 10^{-25}$ przy czasie integracji $\sim 10^7$sek;
- pomiary różnicowe (przy użyciu dwóch lub więcej detektorów) dla wykrycia stochastycznego tła grawitacyjnego



Rys. 3. Diagram charakteryzujący możliwości rejestracyjne źródeł promieniujących w sposób ciągły. Założony czas integracji 10^7sek (ok. czterech miesięcy). Zaznaczono położenia pulsarów, supernowej SN 1987a dla optymalnego ustawienia w przestrzeni zarówno źródła jak i detektora. Dla rzeczywistych przypadków, amplitudy h trzeba przeskalować o czynnik $5^{-1/2}$. Wszystkie rysunki zaczerpnięto z raportu Max-Planck-Institut fur Quanteoptik, MPQ-147.

Jakie czynniki narzucają ograniczenia na czułość detektora? Jest ich oczywiście wiele. My omówimy pięć najważniejszych.

- Szumy optyczne. Związane są z fluktuacjami w częstości, mocy i geometrii wiązki światła. Eliminacja tych szumów będzie wymagała odpowiedniej kontroli pracy lasera i kompensacji w systemie optycznym.
- Szumy sejsmiczne. Wibracje gruntu mogą indukować przypadkowe ruchy walców. Potrzebny jest skomplikowany system izolacji całego urządzenia od wpływów zewnętrznych.
- Szumy termiczne. Związane są z termicznymi ruchami mas i wahadeł (niezerowe temperatury).
- Szumy próżniowe. Pojęcie próżni w takim urządzeniu jest czymś umownym. W przypadku tego detektora próżnia oznacza ciśnienie wodoru $\leq 10^{-8}$mbar, a cząstek, wody i tlenu $\leq 10^{-9}$mbar. Nawet przy założeniu termodynamicznej równowagi takiej „próżni" (co wcale nie musi być prawdą), niewielkie zmiany ilości cząstek czy atomów na drodze promienia laserowego, będą wywoływać zmiany tegoż promienia.
- Limit kwantowy. Jest oczywistym, że zasada nieoznaczoności Heisenberga narzuca ograniczenie na nieprzekraczalną dokładność pomiarów.

Wszystkie te szumy oraz obszar gdzie pomiary będą możliwe są pokazane na Rys. 2 i 3 dla dwóch modów pracy.

Opisany przeze mnie projekt jest jednym z czterech będących obecnie w fazie planowania, bądź realizacji. Najbardziej zaawansowana jest budowa dwóch amerykańskich detektorów LIGO. Włosko – francuski VIRGO i australijski AIGO są w sferze planów. Może się jednak okazać, że do końca XX wieku na Ziemi będzie działać aż sześć urządzeń tego typu. Możliwości pomiarowe nieograniczone – może jedynie zasada nieoznaczoności Heisenberga wtrąci swoje trzy grosze.

Marek Sarna, znakomity sekretarz naszego Towarzystwa w poprzedniej kadencji, człowiek, dzięki któremu „Postępy Astonomii" wciąż mogą być tak tanie, jest astrofizykiem w Centrum Astronomicznym im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie. Najbardziej znaczące Jego prace naukowe dotyczą teoretycznych aspektów procesów akrecji w ciasnych układach podwójnych. Obecnie przebywa i pracuje za granicą.

W KRAJU... W KRAJU...

Zebrało się bardzo dużo aktualności z naszego astronomicznego podwórka. Nie wszystkie jesteśmy w stanie zmieścić w tym numerze. Nie potrafiliśmy zrezygnować z barwnej opowieści o historii Planetarium Grudziądzkiego, która powinna zrelaksować Czytelnika przytłoczonego ilością megabajtów pamięci omawianych wcześniej komputerów. Przy okazji gratulujemy kolegom grudziądzkim jubileuszu, i życzymy sukcesów w dalszej, jakże przecież pożytecznej i owocnej pracy w tym niewielkim mieście. Przede wszystkim jednak chcemy zrelacjonować interesujący wyścig między ośrodkami (i do Europy!): raz o uzyskanie obserwacji z użyciem kamer CCD, między Obserwatorium Uniwersytetu Warszawskiego, a prężną grupą astronomów krakowskiej WSP; dwa, o uzyskanie optymalnej mocy obliczeniowej, w postaci systemu komputerowego, przez wspomnianych wyżej warszawiaków i ośrodek toruński (głównie radioastronomiczny). Czytelnik, mamy nadzieję, uzyska jakiś obraz do oceny tych działań, a Redakcja obiecuje śledzić dalej ich rozwój, pamiętając, że ostatecznym kryterium do takich ocen powinny być wyniki naukowe i ich publikacja. Astronomowie Uniwersytetu Warszawskiego w innym miejscu tego numeru (str. 148) uzasadniają „po co im to wszystko?"; taką samą szansę stwarzamy i radioastronomom z Torunia i oczekujemy na ich artykuł w jednym z najbliższych numerów. Nie jest bowiem tak , aby proponowane przez te ośrodki projekty nie budziły kontrowersji, a nawet emocji, często jednak opartych na nikłych podstawach merytorycznych. Chodzi w końcu o pieniądze i to, jak na nasze dotychczasowe astronomiczne warunki , niemałe. W miarę naszych objętościowych możliwości i w formie takiej aby nie zanudzić Czytelników, będziemy się starali wypełniać lukę informacyjną między ośrodkami. Sami bowiem jesteśmy ciekawi, czy kierunek rozwoju proponowany przez Obserwatorium Uniwersytetu Warszawskiego nie zniszczy uprawianej tam (patrz zeszyt 3, str. 133) do tej pory, arcyciekawej i różnorodnej tematyki? Mamy nadzieję, że okrzepnie wreszcie jakaś tematyka badawcza w Obserwatorium na Suhorze, o czym wspomina również zachwycony placówką Andrzej Sołtan (str. 188). Z reporterskiego obowiązku obiecujemy wrócić za jakiś czas do Torunia i zapytać, czy i ilość publikacji wzrosła proporcjonalnie do uzyskanej mocy obliczeniowej (40-krotnie!)? Gwoli ścisłości należy uzupełnić, że decyzja zakupu komputara CONVEX, praktycznie na użytek Katedry Radioastronomii w Toruniu, ze środków Instytutu Astronomii, a więc astrofizyków i mechaników nieba, napotkała z ich strony na bardzo silny opór (w tym i Redaktorów PA). Choćby poprzez ogromne obciążenie budżetu Instytutu kosztami eksploatacyjno–gwarancyjnymi, skłaniano się raczej ku rozwiązaniu zrealizowanemu na Uniwersytecie Warszawskim, tzn. sieci komputerów SUN. Życząc wszystkim sukcesów w wykorzystaniu uzyskanej aparatury, przystępujemy do relacji.

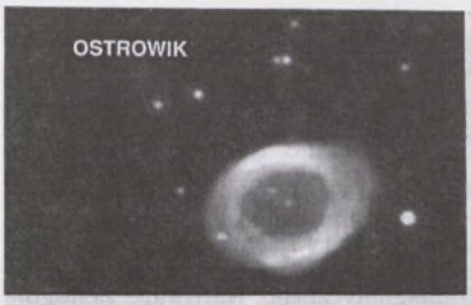
Pierwsze w Polsce obserwacje z CCD, w Ostrowiku . . .

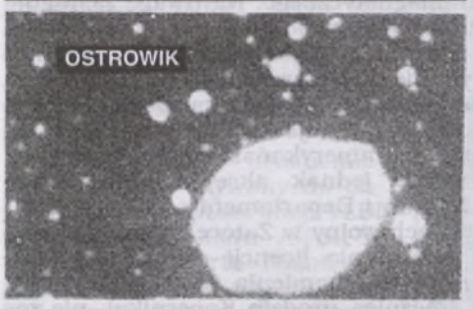
– stacji obserwacyjnej Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego

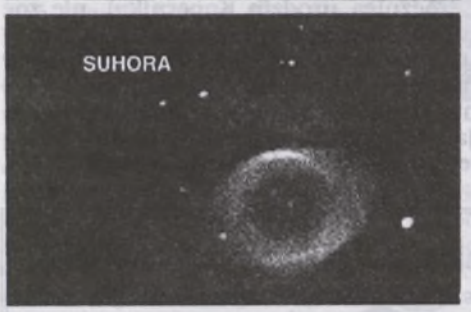
Podobnie jak klisza fotograficzna w ubiegłym wieku, tak detektory CCD (*Charged Coupled Device*) w ostatnich latach zrewolucjonizowały obserwacje astronomiczne. Ogromny postęp jaki nastąpił w ich konstrukcji – wielkość do 4096 na 4096 pikseli, wydajność kwantowa do 90%, znakomita liniowość zachowana dla szerokiego przedziału oświetleń – spowodował, że są to praktycznie jedyne detektory wykorzystywane obecnie w każdym nowoczesnym obserwatorium astronomicznym zarówno do fotometrii jak i spektroskopii optycznej.

Dzięki ogromnej wydajności kwantowej CCD zasięg teleskopów uległ znacznemu zwiększeniu. Teleskopy średniej wielkości (o średnicy lustra rzędu 1–2 m) z detektorem CCD pozwalają na obserwacje obiektów dostępnych do niedawna tylko dla największych teleskopów na świecie. Podobnie wielokrotnie wzrósł zasięg obserwacji spektroskopowych. Liniowość CCD przy dużej skali dynamicznej zapewnia możliwość jednoczesnej obserwacji obiektów o jasnościach różniących się o kilka wielkości gwiazdowych. Kolejną ich wielką zaletą jest fakt, że dają obraz od razu w postaci cyfrowej. Dzięki temu jest on gotowy do obróbki za pomocą komputerów czyli tzw. *image processing*.

Astronomowie Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego używali instrumenty z detektorami CCD od kilku lat, obserwując w położonych w najlepszych warunkach klimatycznych obserwatoriach w Stanach Zjednoczonych (Kitt Peak, Hawaje) i Chile (Las Campanas, Cerro Tololo, ESO). Zebrane tam doświadczenia wykorzystane zostały przy konstrukcji pierwszej w Polsce kamery CCD. „Pierwsze światło" tego instrumentu zarejestrowano w lipcu 1991 r. w Stacji Obserwacyjnej Obserwatorium znajdującej się w Ostrowiku pod Warszawą. Kamera została umieszczona w ognisku Cassegraina 60–cm teleskopu. Jej sercem jest znakomity detektor CCD firmy Tektronix – TK512. Jest to cienki, oświetlany od tyłu detektor składający się z 512×512 pikseli – o średnicy 27 μm. Jego wydajność kwantowa wynosi około 80% dla światła o długości fali 7000 Å. Dzięki dużej „pojemności" piksela (500 000 elektronów) można obserwować obiekty różniące się jasnością o kilka wielkości gwiazdowych, bez obawy wysycenia detektora. Detektor ma bardzo mały szum odczytu (*readout noise*) – około 7 elektronów. Chłodzony jest termoelektrycznie do około –41°C. Mimo, że na ogół detektory CCD dla zmniejszenia prądu ciemnego chłodzone są ciekłym azotem do temperatur około –100°C, nie jest to ograniczeniem. W polskich warunkach głównym czynnikiem limitującym zasięg obserwacji jest jasne tło nieba i nawet przy chłodzeniu detektora do zaledwie –41°C prąd ciemny jast znacznie mniejszy od tła nieba (podczas nowiu).







Powyżej, dwa opisane w tekście zdjęcia mgławicy M57, uzyskane w Ostrowiku oraz zdjęcie uzyskane na Suhorze, 1 września 1991, bez filtrów i z 30 s czasem ekspozycji

Kamera sterowana jest komputerem PC-386. Zarejestrowane obrazy zapisywane są na dysku. Ze względu na dużą wielkość jednego obrazu (0.5 MB) konieczne jest posiadanie odpowiednio pojemnego dysku. Obserwacje z nocy zapisywane są następnie na taśmach magnetycznych typu EXABYTE (2.2 GB na kasetce magnetowidowej systemu 8 mm), które są transportowane do Obserwatorium dla dalszej redukcji.

Oczywiście sama kamera to tylko połowa sukcesu. Aby efektywnie wykorzystywać zebrane dane konieczny jest odpowiedni sprzęt komputerowy i oprogramowanie. W Obserwatorium Astronomicznym od kilkunastu miesięcy pracuje nowoczesny, porównywalny z pracującymi w najlepszych obserwatoriach światowych, system komputerowy, złożony z kilkunastu połączonych siecią typu Ethernet (protokół TCP/IP) komputerów. Pracujące pod systemem UNIX komputery firmy Sun i PC-386 umożliwiają efektywną pracę m.in. nad obróbką obrazu. System wyposażony jest w nowoczesne urządzenia peryferyjne – szybkie dyski o pojemności 6 GB, stacje taśmy magnetycznej EXABYTE czy czytnik CD-ROM. Najpopularniejsze na świecie pakiety programów do redukcji obserwacji jak *IRAF*, *MIDAS*, *DAOPHOT*, *DoPHOT* pozwalają na pełne wykorzystanie materiału obserwacyjnego. Błyskawiczny kontakt z ośrodkami astronomicznymi i naukowymi całego świata zapewniony jest przez pocztę elektroniczną dzięki pracującemu w Obsewatorium węzłowi sieci BITNET (*plwau61.bitnet*).

Zamieszczone zdjęcia pokazują jeden z pierwszych testowych obrazów uzyskanych kamerą CCD w Ostrowiku. Jest to obraz okolic mgławicy planetarnej w Lutni M57, naświetlany przez 5 minut w „białym świetle" (bez filtru) w czasie nie najlepszych warunków pogodowych. Obraz pokazany jest dwukrotnie – tak by ukazać obiekty najjaśniejsze (mgławicę) oraz najsłabsze – na poziomie tła nieba. Najsłabsze widoczne jako słabe plamki gwiazdy to obiekty 19–20 wielkości gwiazdowej. Czy ktokolwiek jeszcze niedawno marzył o obserwacjach tak słabych gwiazd w Polsce?

Andrzej Udalski

... i na Suhorze

– obserwatorium krakowskiej WSP

W nocy z 1 na 2 września 1991 roku zespół w składzie: Bartłomiej Pokrzywka, Gabriel Pajdosz, Jerzy Kreiner oraz Jerzy Krzesiński, wykonał pierwsze zdjęcia kamerą CCD zamocowaną przy 60 cm teleskopie na Suhorze (Gorce). Jako „obiekt testowy" posłużyła mgławica planetarna M57 w Lutni

Użyta do obserwacji kamera ma następujące parametry :

- rozmiar pojedynczego elementu (piksela) matrycy CCD, 23×23 mikrony co dla matrycy 384×576 pikseli daje ok. 9×13 mm.
- matryca umieszczona jest bezpośrednio w ognisku głównym teleskopu (f=7.5 m) wobec czego pole widzenia kamery CCD wynosi 4′×6′, a teoretyczna zdolność rozdzielcza pojedynczego piksela 0.63 sek. łuku.
- kamera wyposażona jest w konwerter analogowo cyfrowy co pozwala uzyskać 4096 odcieni szarości.

Na podstawie próbnych zdjęć północnego ciągu biegunowego stwierdzono, że realnie można będzie badać obiekty do 16 mag. (przy 20 sekundowej ekspozycji bez filtrów), chociaż na obrazach CCD widoczne były ślady obiektów o wielkościach gwiazdowych rzędu 19 magnitudo.

Jerzy Krzesiński i Bartłomiej Pokrzywka

Zdjęcie obok przedstawia fragment powierzchni Księżyca, które złożono z 5 osobnych obrazów. Ekspozycja 0.1 sekundowa bez filtrów.

CONVEX C120 w Toruniu

W sierpniu b.r. toruńskie placówki astronomiczne Uniwersytetu M. Kopernika wzbogaciły swoje narzędzia badawcze o system nowoczesnych komputerów zakupionych przez Instytut Astronomii UMK, z amerykańskim superkomputerem CONVEX C120 na czele. Środki na zakup tych komputerów otrzymano z Centralnego Funduszu Nauki (dawniej Urząd do Spraw Wdrożeń i Postępu Naukowo-Technicznego – obecnie Komitet Badań Naukowych) i pierwotnie miały służyć finansowaniu tematów „badawczych" typowych dla minionego ustroju (oczywiście nie astronomicznych!). Można zatem dosadnie powiedzieć, że inwestycja ta jest bezpośrednim efektem dekomunizacji nauki polskiej w 1990 r. Przemiany ekonomiczne, a w szczególności wymienialność złotówki miały także niebagatelne znaczenie. I tak oto, bodaj po raz pierwszy w powojennej historii, możliwy stał się zakup światowej klasy, profesjonalnego sprzętu komputerowego z własnych środków finansowych dla potrzeb astronomii.

Przed podjęciem ostatecznej decyzji dotyczącej wyboru typu komputera zapoznano się dokładnie z ofertami takich firm jak IBM, Alliant, DEC, SUN, HP-Apollo i CONVEX. Jednocześnie zasięgnięto opinii u wielu naszych zagranicznych współpracowników na temat aktualnie używanych komputerów, ich przydatności i niezawodności, poziomu serwisu, istniejącego oprogramowania astronomicznego oraz na temat planowanej rozbudowy lub modernizacji istniejących u nich systemów.

Wszystkie te opinie i materiały wraz z bardzo zróżnicowanymi zdaniami miejscowej społeczności astronomów dały asumpt do szerokiej i bardzo burzliwej dyskusji na temat stosownego typu komputera czy komputerów. Zgodzono się, że spełnione być powinny następujące kryteria:

1. *Kompatybilność* – tzn. możliwie jak najdalej posunięta zgodność sprzętowa i programowa naszej instalacji z posiadanymi przez ośrodki zagraniczne, zwłaszcza te, z którymi współpracujemy.
2. „Rozwojowość" – tzn. aby kupić taki sprzęt, który w innych ośrodkach aktualnie uchodzi za nowoczesny i będzie tam stosowany przynajmniej przez najbliższe lata.
3. Niezawodność i wysoki poziom serwisu.
4. Duża wydajność przetwarzania, tak w sensie szybkości procesora jak i pojemności pamięci stałych, aby zaspokoić również potrzeby astronomów mających szczególnie ostre wymagania w tej materii.
5. Możliwość pracy w sieci.

Sens postulatów 1 i 3 jest oczywisty: chodziło o to, by po latach działania metodami nierzadko zgoła „garażowymi" pozwolić sobie na ten komfort, iżby astronomowie skazani na posługiwanie się komputerem mogli się poświęcić wyłącznie nauce, a nie rozwijaniu oprogramowania. Natomiast w postulacie 4 chodziło o to, by nie realizować wymagań minimalnych, nawet jeśli satysfakcjonowałyby większość, lecz maksymalne (w granicach dostępnych środków) satysfakcjonujące wszystkich. Tak więc propozycje w rodzaju „PC dla każdego" zostały dość wcześnie oddalone i w grę wchodził tylko zakup takiego komputera, na którym natychmiast ruszą prace obliczeniowe w oparciu o sprawdzone i powszechnie w świecie używane pakiety programów astronomicznych i matematycznych.

Wbrew początkowym iluzjom wiele z ofert okazało się nierealnymi z uwagi na opieszałość firm i długi czas realizacji zamówienia. Proponowane ceny nierzadko nie należały do niskich. Biorąc pod uwagę wszystkie wspomniane wyżej kryteria stwierdziliśmy, iż nasze potrzeby najpełniej zaspokoją komputery firm CONVEX i SUN. Atutem CONVEXa jest to, iż stał się on najbardziej typową maszyną dla potrzeb radioastronomii, natomiast SUN jest bardzo popularny wśród astronomów związanych z wszystkimi zakresami widma elektromagnetycznego. Na uwagę zasługuje ponadto fakt, iż CONVEX zaoferował ponad 70% rabatu. Możliwość zakupu superkomputera za „jedyne" 165 tys. USD była nie do pogardzenia.

Otrzymanie maszyny C120, która mogła być wykorzystywana do celów wojskowych (do niedawna główny komputer na amerykańskich łodziach podwodnych), wymagało jednak akceptacji ze strony Departamentu Handlu i Departamentu Obrony rządu USA. Niestety wybuch wojny w Zatoce Perskiej zatrzymał procedurę przyznania licencji eksportowej, tak iż pierwotny termin uruchomienia C120, mianowicie 19 lutego 1991 (rocznica urodzin Kopernika), nie został dotrzymany. Niestety, równie opieszale postępowała realizacja równoległego zamówienia na dwa komputery SparcStation1+ firmy SUN. Szczęśliwie wszystkie te problemy są już za nami – komputery są na miejscu, pracują bez zarzutu, a ponadto zostały połączone w sieć obejmującą budynki obserwatoriów.

Dane techniczne systemu komputerowego

CONVEX

w Piwnicach k. Torunia:

1. Superkomputer CONVEX C120 z procesorem skalarnym i wektorowym (13 MIPS, 40 MFLOPS), 32 MB pamięci operacyjnej (z możliwością bardzo łatwego jej rozszerzania do setek MB), 2 GB (gigabajtami) przestrzeni na twardych dyskach, przewijakami taśmy pół- i ćwierćcalowej oraz sterownikiem sieci Ethernet. Maszyna ta ma architekturę wzorowaną na superkomputerach CRAY, z tym że w przeciwieństwie do CRAYa nie wymaga chłodzenia cieczowego i pobiera tylko ok. 4 kW mocy z sieci. Pracuje ona pod systemem operacyjnym UNIX z możliwością generowania grafiki w standardzie X-WINDOWS. Posiada kompilatory FORTRAN 77 (wektoryzujący) i C oraz bardzo dobrą, zoptymalizowaną dla procesora wektorowego, bibliotekę procedur matematycznych VECLIB zawierającą wiele funkcji znanych z bibliotek takich jak np. EISPACK i LINPACK.

2. Dwa komputery SUN SparcStation1+, połączone z CONVEXem przez Ethernet, wyposażone w kolorowe monitory o bardzo wysokiej rozdzielczości, twarde dyski (200 i 660 MB) oraz jednostki taśmy magnetycznej i napęd dysków optycznych.

3. Komputery osobiste PC/XT, PC/AT 386 i 486 połączone z C120 albo jako terminale (przez łącza szeregowe RS-232) albo przez Ethernet z możliwością pracy zarówno w modzie tekstowym jak i graficznym w standardzie X-WINDOWS.

4. Dwie drukarki laserowe oraz inne urządzenia peryferyjne.

CONVEX C120 zainstalowany jest w budynku radioastronomii, pozostałe komputery i urządzenia sieci rozmieszczone są na terenie obydwu obserwatoriów w Piwnicach. W najbliższym czasie uruchomione zostanie stałe łącze telefoniczne do centralnego komputera UMK i do sieci EARN/BITNET.

Przeznaczenie poszczególnych członów systemu jest różne. CONVEX C120 jest szybką maszyną zwłaszcza do operacji wektorowych (np. przetwarzanie obrazów). Zadaniem SUN-ów jest prowadzenie obliczeń o mniejszych wymaganiach co do mocy obliczeniowej oraz graficzna prezentacja wyników otrzymanych z C120. Komputery osobiste pełnić mają, tę samą funkcję jak dotychczas, a dodatkowo ułatwią

komunikację z pozostałymi elementami sieci i służą jako terminale.

Posiadane oprogramowanie, to: pakiet AIPS (*Astronomical Image Processing System*), pakiet CALTECH do obróbki danych z interferometrów VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*), biblioteki procedur graficznych PGPLOT, MONGO i S-MONGO, pakiet ANTS do obróbki widm i pakiet MIDAS (*Munich Image Data Analysis System*) do wszechstronnego przetwarzania optycznych danych obserwacyjnych.

Od momentu uruchomienia C120 jest używany do obróbki danych z obserwacji VLBI przy użyciu pakietu AIPS. W tym miejscu warto dodać, że pakiet AIPS jest używany na 345 maszynach w 230 ośrodkach przez 1505 użytkowników. Wśród maszyn tych dominują wciąż VAX-y, jednak są one wypierane przez CONVEX-y i SUN-y. Na liście 20 najbardziej aktywnych i efektywnych w tym względzie instalacji znalazło się 8 CONVEX-ów i 8 SUN-ów (dane z 1990 roku wg AIPS Memo #70). Rozpoczęły się także numeryczne symulacje i modelowanie procesów fizycznych w otoczkach gwiazd OH/IR (źródła emisji maserowej molekuły OH). Zakres prac, które będą prowadzone na naszych nowych komputerach jest bardzo szeroki i będzie omówiony w odrębnej publikacji na łamach *Postępów Astronomii*. CONVEX C120 pozwoli prowadzić prace obliczeniowe, a więc

nasze prace badawcze, na zupełnie innym, niedostępnym dotychczas poziomie. Znacząco powiększy się szybkość przetwarzania danych i szybkość numerycznych symulacji. Proste testy numeryczne pokazują 40 krotne przyśpieszenie obliczeń w stosunku do PC/386+387. Staranna optymalizacja programów pod kątem wykorzystania procesora wektorowego oraz wykorzystanie bibliotek systemowych powinny przyśpieszyć takie obliczenia jeszcze kilkakrotnie. Spodziewamy się, że w praktyce roczna praca obliczeniowa na PC 386, będzie mogła być wykonana w przeciągu kilku dni!

Pragniemy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, iż posiadanej przez nas instalacji komputerowej nie rezerwujemy zazdrośnie dla siebie – wręcz przeciwnie, jest ona dostępna dla wszystkich zainteresowanych nią astronomów.

Na zakończenie dodajmy, że C120 zainstalowany w Piwnicach k. Torunia jest jedną z trzech tego typu maszyn w Polsce: pierwszą z nich uruchomiono w międzyuczelnianym ośrodku obliczeniowym CYFRONET w Krakowie w czerwcu br., a druga pracuje w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku pod Warszawą od sierpnia br.

Andrzej J. Kus i Andrzej Marecki

PLANETARIUM GRUDZIĄDZKIE

Dwadzieścia świeczek w „planetaryjnym" torcie, czyli mały jubileusz Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego w Grudziądzu

Planetarium powstało w 1972 roku z inicjatywy miłośnika (astronomii, pana Jerzego Szwarca, ówczesnego przewodniczącego Sekcji Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Otwarcie nastąpiło 26 marca podczas Dni Astronomii, z okazji 450 rocznicy pobytu Mikołaja Kopernika w Grudziądzu i na rok przed 500 rocznicą Jego urodzin, obchodzoną szczególnie uroczyście w całej Polsce. W Grudziądzu mówi się, że grudziądzki Kopernik, to Kopernik – ekonomista. Tu bowiem, 21 marca 1522 roku w ratuszu miejskim stojącym wówczas pośrodku Rynku, na Sejmiku Generalnym, przedstawił Mikołaj Kopernik swoje poglądy o wartości i szacunku pieniądza, zawarte w traktacie „De aestimatione monetae". Stąd też dzień 21 marca jest dla grudziądzkich miłośników astronomii nie tylko pierwszym dniem astronomicznej wiosny, a w okolicach tej daty odbywają się wszystkie najważniejsze imprezy astronomiczne, m.in. takie jak Ogólnopolskie Młodzieżowe Seminarium Astronomiczne.

Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne ulokowane zostało na gmachu Technikum Chemiczno-Elektrycznego (obecnie Zespół Szkół Chem-El.). Powstało z funduszy Kuratorium, dzięki staraniom ówczesnej Dyrekcji szkoły i przychylności władz miejskich i oświatowych. Było to wówczas pierwsze w Polsce międzyszkolne Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne, a drugie po największym Planetarium w Chorzowie (obecnie jedno z 11 planetariów w Polsce).

W marcu 1992 roku minie 20 lat od tamtych wydarzeń i prawie tyle samo od momentu, gdy prof. Andrzej Woszczyk zaproponował mi pracę w nowootwartym szkolnym Planetarium, czekającym właśnie na astronoma . . .

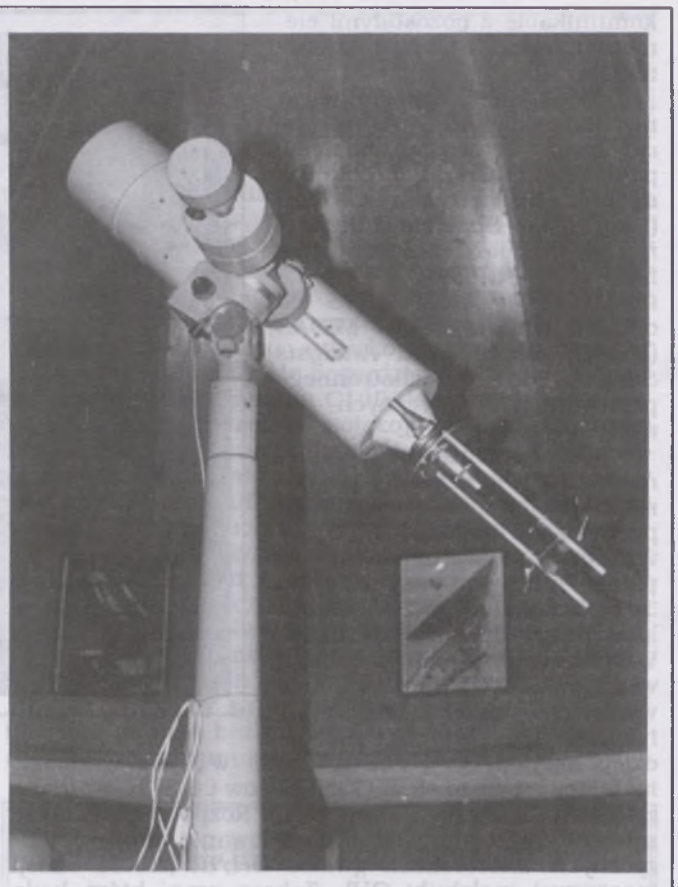
. . . a wydaje się, że to było tak niedawno.

Co kryje się pod kopułami?

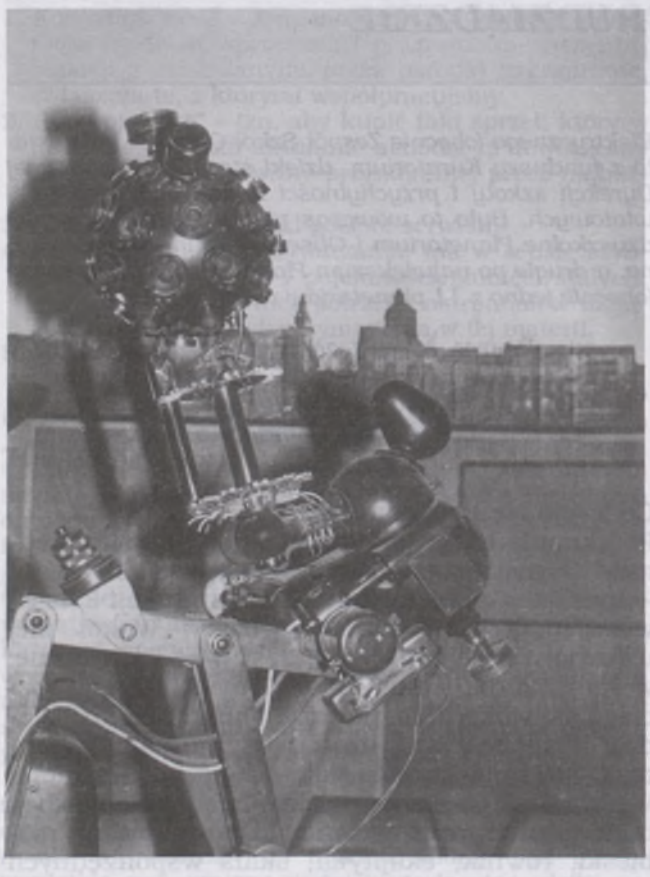
Pod kopułą **Planetarium**, w okrągłej sali o średnicy 6 metrów stoi najważniejszy instrument – aparatura planetarium ZKP1 produkcji Zeissa, wyświetlająca na ekran gwiazdy. Wokół niej ustawionych jest 40 foteli. Jest więc kameralnie, w sam raz dla jednej klasy. Ponad boazerią rozciąga się wokół fotograficzna panorama Grudziądza. Tutaj wszystko to, co trudno sobie wyobrazić studiując podręcznik, widać jak na dłoni. Wyświetlane linie i punkty sfery niebieskiej, takie jak horyzont astronomiczny, południk niebieski, równik, ekliptyka, skala współrzędnych równikowych – pomagają wyobraźni. W wyposażeniu znajdują się również projektorki 5 planet

widocznych gołym okiem, Słońca i Księżyca oraz projektor przeźroczy z rysunkami gwiazdozbiorów. Aparatura odtwarza wygląd nieba i ruch sfery niebieskiej w szerokościach geograficznych północnych od 0° do 90°. Można się tu również przekonać, jak wyglądało niebo np. za czasów Kopernika, czy przed tysiącami lat, lub jak będzie wyglądało w przyszłości – czyli po prostu można pokazać ruch precesyjny osi ziemskiej, a ściślej co z tego wynika. Uwzględniając wszystkie te możliwości aparatury, pokazać tu można to wszystko, czego nie da się zademonstrować w zwykłej szkolnej pracowni przy pomocy tablicy i kredy.

Jest więc nasze Planetarium międzyszkolną pracownią astronomiczną, wykorzystywaną nie tylko przez szkoły podstawowe i średnie Grudziądza i okolic, ale również przez szkoły województw: toruńskiego, bydgoskiego, włocławskiego i gdańskiego. Najbliższe sąsiednie planetaria to Planetarium w Olsztynie, Fromborku i Warszawie. Jest to więc jedyne Planetarium w dosyć dużym regionie. Zapotrzebowanie na specjalistyczne lekcje astronomii w Planetarium jest olbrzymie. Z tej formy uzupełnienia wiedzy astronomicznej korzystają przede wszystkim II i IV klasy liceów ogólnokształcących i innych szkół średnich w ramach lekcji fizyki, V klasy szkół podstawowych w ramach lekcji geografii, klasy VII w ramach lekcji fizyki, studenci astronomii i geografii, uczniowie z kół zainteresowań, a Kuratorium i Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli wykorzystuje Planetarium na konferencje i szkolenia nauczycieli fizyki i geografii. Można to krótko zawrzeć w cyfrach: rocznie korzysta z usług Planetarium ok. 250 grup szkolnych,co daje liczbę ok. 10 000 dzieci i młodzieży. Najczęściej ostatnio pokazywanym programem jest seans pt „Niebo na różnych szerokościach geograficznych", uzupełniany wiadomościami stosownie do wieku, klasy i zainteresowań, oraz „Gwiaździsta przygoda" dla najmłodszych. Dla przybywających od czasu do czasu grup zagranicznych, wyświetlany jest program w języku niemieckim i rosyjskim.



Teleskop zwierciadlany *Meniscas* pod kopułą obserwatorium.



Aparatura planetarium ZKP–1, z jedną kulą projekcyjną, zawierającą 32 obiektywy rzutujące obraz nieba na kopułę.

Oczywiście każda grupa szkolna po lekcji w Planetarium udaje się piętro wyżej, do **Obserwatorium** Astronomicznego, oglądając po drodze rekonstrukcje instrumentów Mikołaja Kopernika : astrolabium, trikwetrum i kwadrant słoneczny, przechodząc tym samym od niegdyś używanych przyrządów do współcześnie stosowanych teleskopów. Kopuła obserwatorium ma średnicę 4 m. Początkowo główne wyposażenie kopuły stanowił stary XIX–wieczny refraktor Sendtnera o średnicy obiektywu 130 mm i ogniskowej 2800 mm, stojący obecnie w Muzeum Kopernika we Fromborku. Od 1978 roku pod tą kopułą stoi teleskop zwierciadlany *Meniscas* (Maksutow/Cassegrain) produkcji Zeissa, o średnicy obiektywu 150 mm i ogniskowej 2250 mm. Komplet 5 okularów od 40 do 6 mm umożliwia stosowanie powiększeń od 56 do 375 razy. Zasięg wizualny teleskopu wynosi $12^m.3$.

Drugi teleskop, wystawiany na taras obserwacyjny okalający kopułę obserwatorium, dwukrotnie mniejszy, jest refraktorem o średnicy obiektywu 80 mm i ogniskowej 1250 mm. Maksymalne stosowane tu powiększenie wynosi 125 razy, a zasięg wizualny teleskopu wynosi $11^m.1$. Ten refraktor, podobnie jak i *Meniscas*, mają montaż paralaktyczny i wyposażone są w filtr i

ekran słoneczny. W bezchmurny dzień można więc zobaczyć tu plamy na Słońcu.

Podstawową formą działalności Planetarium jest **Międzyszkolne Koło Astronomiczne**, skupiające młodzież miejscową w różnych grupach wiekowych i o różnych stopniach zaawansowania. Wspólnie z Polskim Towarzystwem Miłośników Astronomii i Polskim Towarzystwem Astronautycznym organizuje się dla tej młodzieży i społeczeństwa piątki astronomiczne, pokazy nieba, przeglądy filmów o tematyce astronomicznej i astronautycznej, przeglądy filmów S–F, poranki astronomiczne dla przedszkolaków, quizy wiedzy o Wszechświecie, wystawy, muzyczne spotkania w Planetarium z cyklu „My, muzyka i gwiazdy" oraz Seminaria Astronomiczne.

Sala Kinowa Planetarium podczas Ogólnopolskiego Seminarium Młodzieżowego pęka w szwach. Uczestnicy pilnie słuchają wielokrotnego uczestnika seminarium, Krzysia Rumińskiego, który referuje wyniki swoich obserwacji gwiazd zmiennych, m.in. ρ Cas (por. str. 155)

Imprezą o zasięgu ogólnopolskim są odbywające się od 17 lat w Grudziądzu (początkowo międzywojewódzkie) **OGÓLNOPOLSKIE MŁODZIEŻOWE SEMINARIA ASTRONOMICZNE**. Jest to finał Seminariów wojewódzkich, na którym spotykają się laureaci wojewódzkich konkursów na referat o tematyce astronomiczno-astronautycznej z ponad 20 województw.

Planetarium było organizatorem 2 wypraw na zaćmienie Słońca: obrączkowe w 1980 roku w Peru i całkowite w 1981 roku w Bracku. Przedmiotem zainteresowania i badań pracowników Planetarium są Kręgi Kamienne w Odrach (Bory Tucholskie). Wg. hipotez pochodzących z początku XX w., kręgi miały być rodzajem kalendarza astronomicznego, zbudowanego przez ludy przemieszczające się przez tereny Polski północnej w II i III w. naszej ery.

Planetarium i Obserwatorium Astronomiczne w Grudziądzu

zaprasza do odwiedzin

Zgłoszenia grup przyjmujemy pod nr telefonu (0-51) 227-94 w poniedziałki, wtorki i środy w godzinach od 12.00 do 13.00
nasz adres: Planetarium i Obserwatorium Astr., ul. Krasickiego 1-7, 86-300 Grudziądz.

W Planetarium nabyć można, za jedyne 6000 zł
Obrotową mapę nieba
(autorów: M. Śróbki–Kubiak i Sł. Kruczkowskiego)
oraz najnowsze zeszyty
POSTĘPÓW ASTRONOMII

HUMOR ZESZYTÓW Z GRUDZIĄDZKICH KLASÓWEK

... i pomyśleć, że za niegdysiejszych ministrów edukacji, w Planetarium odbywały się normalne lekcje astronomii ...

- *Widmo Słońca jest widmem emulsyjnym*
- *Atmosfera Słońca składa się z chromosomów i korony słonecznej*
- *Widmo Słońca jest widmem absorpcyjnym w prążki*
- *Planeta jest to gwiazda pod Słońcem*
- *Meteor o dużych rozmiarach to polip*
- *Zjawiska w koronie słonecznej: petrybucje*
- *Gdy Księżyc znajduje się po przeciwnej stronie Słońca niż Ziemia, jest w pierwszej kwarcie*

Obecnie w Planetarium pracują: Małgorzata Śróbka–Kubiak, Mirosław Kubiak i Sławomir Kruczkowski.

Tyle, w telegraficznym skrócie, o dwu dziesięcioleciach bytności Planetarium i Obserwatorium Astronomicznego i naszych dokonaniach. A w planach? – śmiałe zamierzenia i nadzieja na ich spełnienie.

Małgorzata Śróbka-Kubiak

zdjęcia: Gerard Szukany

ZASADA NIEOCZYWISTOŚCI

*Trwa wielki wyścig ku Ogólnej Teorii Wszystkiego. Raporty z wyścigu docierają do szerokiej publiczności z trudem. To zrozumiałe — dziedzina jest dość hermetyczna i brak jest dostatecznie biegłych dziennikarzy. Ostatnio roli sprawozdawcy podjął się sławny Stephen W. Hawking w książce „A Brief History of Time: From the Big Bang to Black Holes", opublikowanej w 1988 roku i już(?) przetłumaczonej na język polski[1]. Książka odniosła wielki sukces i doczekała się mnóstwa recenzji. Czytelnik spragniony fachowej i krytycznej oceny może zwrócić się ku artykułom M. Hellera (**Problemy 2/89**) i P. Amsterdamskiego (**Postępy Astronomii 1/91**). W tym miejscu pozwólmy sobie na spojrzenie z pewnej specjalnej perspektywy, którą nazwiemy „Zasadą Nieoczywistości".*

Jak powstają nowe wielkie teorie fizyczne? W pierwszych sześciu rozdziałach książki Hawkinga znajdziemy wspaniałą, napisaną z wielką swobodą i elegancją, dyskusję ewolucji naszych pojęć czasu i przestrzeni, koncepcji powstania Wszechświata i praw nim rządzących. To jakby „krótki kurs" historii obowiązujących kanonów wiedzy kosmologicznej; dodać trzeba, że powszechnie akceptowany. Przedstawiony model powstawania nowej teorii naukowej składa się z trzech etapów:

Etap 1 *Uczciwi doświadczalnicy (tzn. tacy, którzy nie naginają rezultatów do teorii) wynajdują dziury (niekoniecznie czarne) w obowiązującej teorii. Dziury te skwapliwie omijane są w większości wykładów akademickich, ale stanowią rację bytu dla czołowych teoretyków.*

Etap 2 *Pewna oczywista część obowiązującej teorii zostaje zakwestionowana i zastąpiona przez rozważania zupełnie nieoczywiste, które jednakże usuwają przynajmniej część dziur.*

Etap 3 *Nowa, nieoczywista teoria uzyskuje status obowiązującej i staje się oczywista – ale już w węższym gronie.*

Treść etapów drugiego i trzeciego — a więc zastąpienie oczywistego przez nieoczywiste, które staje się oczywistością tylko dla elit — to właśnie nasza tytułowa zasada.

Żeby nie być gołosłownym i odwołać się do podstawowego (zwłaszcza w Polsce) przykładu: w rewolucji kopernikańskiej etapem pierwszym były niezgodności między obserwowanym ruchem planet a przewidywaniami opartymi na systemie geocentrycznym, etap drugi miał miejsce, gdy Kopernik „wstrzymał Słońce, ruszył Ziemię", a etap trzeci rozpoczął się wraz z odkryciami Keplera i Galileusza. Przy tym „oczywistość" teorii jest raczej czysto werbalna: nawet współcześnie trudno jest wyjaśnić maturzyście, dlaczego planety muszą krążyć po elipsach.

W idealnie czystej formie Zasada Nieoczywistości przejawia się przy powstaniu obu teorii względności: szczególnej i ogólnej. W pierwszym przypadku relatywizacja czasu (tzn. zastąpienie czasu absolutnego przez czas związany z danym układem odniesienia), a w drugim podobieństwo sił bezwładności i ciążenia stanowią kluczowe, genialnie proste obserwacje umożliwiające budowę spójnej teorii.

Sam Einstein włożył wiele wysiłku w uczynienie „oczywistymi" swoich nieoczywistych innowacji. Zaraz po ukończeniu badań nad Ogólną Teorią Względności publikuje broszurę popularyzującą podstawowe idee obu swoich teorii. W roku 1922 broszurę tę „z upoważnieniem autora przełożył z 11-go wydania oryginału" M.T. Huber, profesor Politechniki

[1] *S.W. Hawking, „Krótka historia czasu: od Wielkiego Wybuchu do czarnych dziur", tłum. P. Amsterdamski, Wydawnictwo „Alfa", Warszawa 1990*

Lwowskiej i aktywny propagator idei Einsteina[2]. Zwróćmy uwagę na ilość wydań niemieckich w ciągu pięciu-sześciu lat (w tym trzech lat wojny) — broszura musiała cieszyć się ogromnym powodzeniem, tak, jak współczesna nam książka Hawkinga.

Paralele sięgają tu dalej: obaj autorzy chcieli spopularyzować własne osiągnięcia, obaj byli w momencie pisania książek uznanymi autorytetami naukowymi, z każdym związana była legenda zwiększająca zainteresowanie osobą autora (u Hawkinga są to zmagania z nieuleczalną chorobą, u Einsteina jego pacyfistyczna postawa podczas Wielkiej Wojny i syjonizm).

Różny natomiast jest przewidywany adresat książek. Hawking, zgodnie z dewizą „każde równanie zmniejsza liczbę sprzedanych egzemplarzy o połowę", konsekwentnie unika wzorów. To zwykła kokieteria: matematyka leżąca u podstaw treści prezentowanych w drugiej części książki jest (niestety) dostatecznie skomplikowana, aby wykluczyć próby jej redukcji do wzorów typu $E = mc^2$. A samoograniczenie polegające na używaniu pojęć matematycznych wyłącznie w postaci obrazków eliminuje np. możliwość wprowadzenia czasu jako parametyzacji krzywych maksymalizujących pewną gęstość prawdopodobieństwa. Tego fascynującego pomysłu (współautorstwa Hawkinga zresztą) próżno by szukać w książce.

Inaczej Einstein: jego książka skierowana jest w stronę odbiorcy bez przygotowania profesjonalnego, ale z wykształceniem, i stanowi w zasadzie raport z intelektualnej przygody autora, łącznie z próbami zrozumienia aparatu matematycznego używanego w teorii względności. Wiadomo, że opanowanie tego aparatu kosztowało Einsteina sporo wysiłku. David Hilbert, jeden z największych matematyków przełomu XIX i XX wieku mawiał: „Byle jaki chłopak na ulicach Getyngi rozumie w czterowymiarowej geometrii więcej niż Einstein", dodając jednak z widocznym zakłopotaniem „Niemniej właśnie Einstein, a nie matematycy, wykonał tę pracę". Z drugiej strony sytuacja Einsteina była stosunkowo wygodna — matematyka, której potrzebował, istniała już od wielu lat. Takiego luksusu byli pozbawieni np. twórcy mechaniki kwantowej. Również dziś, fizycy teoretycy zmuszeni są do współtworzenia niezbędnych metod matematycznych, co znacznie zwiększa skalę trudności.

Bardziej istotna różnica między książkami Einsteina i Hawkinga pojawia się, gdy zastosujemy Zasadę Nieoczywistości. Broszura Einsteina to historia sukcesu: przedstawia teorię niemal doskonałą. Książka Hawkinga jest raportem przygotowanym w pół drogi. I to nie dlatego, że jak on sam twierdzi, na razie wiemy tylko jak kwantowa teoria grawitacji powinna wyglądać. Otóż, być może, nawet tego nie wiemy. W drugiej części swej książki (począwszy od rozdziału siódmego), Hawking przedstawia wiele pojęć, faktów i teorii w ten sam sposób, co w pierwszej części, z czego czytelnik może wynieść wrażenie, że posiadają one ten sam, powszechnie akceptowany status. Tymczasem są wśród nich i ryzykowne spekulacje, i rezultaty typu „ślepa uliczka". Kontredans z modelami inflacyjnymi, supergrawitacją, superstrunami świadczy raczej o szamotaninie w poszukiwaniu rozwiązań, co jest działaniem twórczym i ekscytującym, ale niekoniecznie prowadzącym do celu. Tym bardziej, że każdy rok przynosi nowe odkrycia („Wielki Atraktor", „Wielki Mur") domagające się wyjaśnień i kwestionujące uznane teorie.

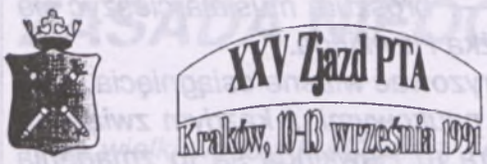
Raz jeszcze okazuje się, że znalezienie nieoczywistości, która byłaby wielką syntezą, jest zagadnieniem niesłychanie trudnym i danym tylko nielicznym wśród największych. W tym sensie książka Hawkinga jest równie cenną, co broszura Einsteina, ilustracją Zasady Nieoczywistości.

Adam Jakubowski

28 sierpnia 1991

[2] *A. Einstein, „O szczególnej i ogólnej teorii względności" (Wykład przystępny), tłum. M.T. Huber, Książnica Polska Towarzystwa Nauczycieli Szkół Wyższych, Wyd. II przejrzane i uzupełnione, Lwów – Warszawa 1922.*

Głębocki zostaje!



Polskie Towarzystwo Astronomiczne

W poprzednim numerze PA pisaliśmy o nadchodzącym Zjeździe PTA. Dziś, gdy XXV Zjazd mamy za sobą, chciałbym przekazać o nim kilka informacji, tych formalnych – które można znaleźć w protokołach Walnego Zebrania, jak również parę refleksji i wrażeń.

Zjazd odbył się w dniach 10 – 13 września 1991 r. w Przegorzałach pod Krakowem. Lista zgłoszonych uczestników liczyła 112 osób. Średnia liczba uczestników biorących udział w poprzednich pięciu Zjazdach wynosi 114. A zatem, używając terminologii stosowanej obecnie często do naszej gospodarki, można powiedzieć, ze PTA nie przeżywa recesji, a co najwyżej stagnację.

Oczywiście, głównym celem każdego Zjazdu PTA jest odbycie Walnego Zebrania Towarzystwa, na którym nie tylko wybierane są Władze Towarzystwa na najbliższą kadencję, ale – to jest chyba najważniejsze – dyskutuje się wszystkie istotne dla naszego środowiska sprawy. Co to są *sprawy istotne dla środowiska*? Jeszcze do niedawna z pewnością był to problem obrony przed prześladowaniami za działalność polityczną. Nie przeceniam naszych osiągnięć w tej dziedzinie – Towarzystwo niewiele mogło zrobić, gdy np. jeden z jego członków był usunięty z pracy w szkole. Podejmowaliśmy w takich przypadkach uchwały kierowane do właściwych instytucji, czy organów władzy domagając się cofnięcia niesprawiedliwych decyzji. Dziś na szczęście takie problemy mamy już za sobą. Na ostatnim Walnym Zebraniu *istotną sprawą* były ... *Postępy Astronomii*. Tak, społeczności polskich astronomów wydają się nie trapić żadne inne problemy. Ważne były tylko *Postępy*. Co więcej, niemal wszyscy zabierający głos w dyskusji byli przekonani, że *Postępy* stoją obecnie na bardzo dobrym poziomie, zarówno edytorskim, jak i merytorycznym. Ponieważ pojawiły się jednak również opinie krytyczne, a te są z reguły najciekawsze (i najbardziej wartościowe), należy je chyba tu przytoczyć. Najpierw sprawa prosta: *Postępy* cierpią na „niedomagania techniczne". W każdym numerze zdarza się zbyt duża liczba błędów literowych, a np. w numerze 3/91 co najmniej w dwu miejscach tekst jest źle „złamany". *Postępy* obiecały poprawę. Zobaczymy. Obiły mi się o uszy również bardziej zasadnicze zarzuty: niechlujstwo językowe i – na szczęście nieliczne – nieścisłości (raczej, po prostu: błędy) merytoryczne. Druga grupa problemów z *Postępami* wynika ze zmiany ich profilu. Aktualni P.T. Czytelnicy są zapewne z tego zadowoleni, ale niektórzy dyskutanci na Zebraniu ubolewali, że w *Postępach* nie ma już miejsca na bardziej fachowe publikacje, np. przedstawiające jakieś astronomiczne zagadnienia na poziomie wykładu dla studentów.

O ile dyskusja o *Postępach* była gorąca, o tyle wybory Władz Towarzystwa, a więc prezesa, wiceprezesa, Zarządu Głównego, Komisji Rewizyjnej i Sądu Koleżeńskiego nie wywołały silniejszych emocji. Prezesem Towarzystwa na lata 1991 – 1993 został ponownie Robert Głębocki, a wiceprezesem – również ponownie – Kazimierz Stępień. Nie chcąc zanudzić do reszty naszych Czytelnikow, na tym zakończę wymienianie „prominentów" PTA. Niech mi tylko jeszcze będzie wolno wyrazić żal, że nie zechciała kandydować do Zarządu, pełniąca po wyjeździe Marka Sarny obowiązki Sekretarza Towarzystwa, Magdalena Kożuchowska. Jestem przekonany, że w wyborach „przeszłaby" ogromną większością głosów, a Towarzystwo korzystałoby nadal z Jej ofiarności i zaangażowania.

Oprócz Walnego Zebrania, pobyt w Przegorzałach wypełniły niemal w 100% referaty przeglądowe i sesje plakatowe. Mimo, że udział w Zjeździe PTA nie miał wiele wspólnego z odpoczynkiem, miła atmosfera skutecznie łagodziła zmęczenie. Słowo „atmosfera" należy rozumieć w przenośni. Ziemskiej atmosfery w okolicy Krakowa, niestety, na pewno nie można uznać za „miłą". Być może zanieczyszczenie środowiska, w tym powietrza, zostanie w rejonie Krakowa w przyszłości ograniczone. Obecnie jednak pod tym względem niewiele się zmienia. Pewną nostalgią napawa wspomniany przez Macieja Mazura w referacie przeglądowym fakt, że jeszcze parę lat po wojnie z podkrakowskich wzgórz można było oglądać Tatry, a – przy pomocy astronomicznej lunety umieszczonej na Stacji Obserwacyjnej w Przegorzałach – stację kolei linowej na Łomnicy.

Organizatorzy Zjazdu dołożyli starań, aby możliwie maksymalnie uatrakcyjnić nasz pobyt w Krakowie. W środę, 11 września zwiedzaliśmy Obserwatorium Astronomiczne Krakowskiej WSP, zbudowane na górze Suhora (1000 m npm) niedaleko Turbacza. Nie musieliśmy jednak wspinać się pod górę tak wysoko na własnych nogach: mimo, że do obserwatorium prowadzi droga jezdna, można tam też wjechać wyciągiem krzesełkowym. Podstawowym instrumentem jest teleskop o średnicy zwierciadła 60 cm. Obecnie przechodzi próby techniczne nowoczesny detektor typu CCD i wkrótce zacznie się tam prowadzić obserwacje „pełną parą". Obserwatorium, kierowane przez Jerzego Kreinera, zajmuje się głównie badaniami fotometrycznymi gwiazd zmiennych i w przyszłości zapewne też ta dziedzina będzie dominować w programie naukowym placówki. Mam nadzieję, że to najnowsze polskie obserwatorium zostanie wkrótce obszernie przedstawione w *Postępach Astronomii*. Na pewno na to zasługuje.

Tego samego dnia mieliśmy okazję być świadkami jednego z bardziej „eleganckich" doświadczeń fizycznych: w kościele Świętych Piotra i Pawła w Krakowie obserwowaliśmy ruch długiego wahadła zawieszonego u szczytu kopuły. Pierwszy taki pokaz przeprowadził w 1851 r. Jean Bernard Foucault w Paryżu i od tego czasu eksperyment „wahadla Foucaulta" niezmiennie wzbudza emocje zarówno wśród ludzi nie specjalnie zainteresowanych prawami przyrody, jak i zawodowych fizyków i astronomów. Wahadło w oglądanym przez nas eksperymencie miało długość 46.5 m, okres – 13.68 s Po kilku minutach obserwacji nawet najbardziej zatwardziali przeciwnicy teorii Kopernika musieli dać za wygraną: Ziemia rzeczywiście się obraca!

Andrzej Sołtan.

---

*Od Redakcji: Dyskusja, a może raczej sąd nad nami, czyli „Postępami Astronomii„ były rzeczywiście burzliwe. Za słowa otuchy i uznania bardzo dziękujemy. Za krytyczne uwagi również. Pracujemy nad sobą. Mamy nadzieję, że widać? Niemerytorycznych napadów jednak, nie przyjmujemy. Za demagogię uważamy, odosobnione zresztą, twierdzenia, że jesteśmy pismem „dla licealistów". No cóż, czytają nas tacy licealiści jak Wiceprezes Stępień, a licealista Głębocki obiecuje dalsze wsparcie finansowe. A dzisiejsi uczniowie, ci którzy są naszymi Czytelnikami, są naprawdę mądrzejsi niż studenci sprzed 30-tu, czy 15-tu lat. Świat idzie do przodu, i nic na to się nie da poradzić! Nasze pismo rozumiemy jako niepowtarzalną szansę zaistnienia naszego niewielkiego środowiska w społeczeństwie. Czyta nas kilka tysięcy osób! Nauka to nie tylko wiedza, ale i specyficzna **kultura** pojmowania świata. I tę kulturę chcemy propagować! Mamy wciąż nadzieję spełnić też pewną rolę w naszym środowisku. Chcielibyśmy w jakiś sposob wypełnić lukę informacyjną między ośrodkami. Chcemy lansować to co w polskiej astronomii najlepsze i najciekawsze, ale też i kontrowersyjne. Literówki, a nawet błendy ortograficzne, będą pewnie jeszcze się zdarzały. Ale cóż, na przykład, zrobić z autorem, który w każdym zdaniu stosuje po dziesięć cudzysłowów? Błędy merytoryczne? My naprawdę nie mamy pojęcia ile księżyców ma Saturn? I o wielu innych rzeczach też! Ale mamy przecież Kolegów, Astronomów. I będziemy umieszczać każde ich uzasadnione sprostowanie! I spójrzcie na stopkę: ilu nas jest?!*

postępy astronomii
1991

STYCZEŃ-MARZEC 1991, strony 1-48 ZESZYT 1
KWIECIEŃ-CZERWIEC 1991, strony 49-96 ZESZYT 2
LIPIEC-WRZESIEŃ 1991, strony 97-144 ZESZYT 3
PAŹDZIERNIK-GRUDZIEŃ 1991, strony 145-192 ZESZYT 4

INDEKS do Tomu 39

Tytuły

Artykuły

Czarna dziura w Monocerosie X-1 – zagadka rozwiązana?, *Maciej Mikołajewski*, 62
Detektory i detekcja fal grawitacyjnych, *Marek J. Sarna*, 172
Gdyby Einstein dożył naszych czasów..., *Tadeusz Jarzębowski*, 106
Gwiazdy, które parują, *Andrzej Niedzielski*, 74
Gwiazdy symbiotyczne, *Joanna Mikołajewska*, 81
Ile pulsarów zawierają gromady kuliste?, *Michał Czerny*, 57
Komety, które muskają Słońce, *Bożenna Todorovic-Juchniewicz*, 114
Kwantowanie grawitacji, *Krzysztof Maślanka*, 11
16 lat pracy toruńskiego spektrografu, *Maciej Mikołajewski*, 19
Najdalsze i najjaśniejsze obiekty we Wszechświecie, *Stanisław Bajtlik*, 101
Niezwykłe dzieje ρ Casiopeiae, *Krzysztof Gęsicki*, 150
O pewnej linii żelaza, *Bożena Czerny*, 99
Poszukiwania czarnych dziur, *Bożena Czerny*, 24
Projekt obserwacji mikrosoczewkowania grawitacyjnego, *Marcin Kubiak, Andrzej Udalski*, 148
ROSAT, *Tomasz Chlebowski, John P. Hughes, Aneta Semiginowska*, 15
Struktura i rozmiary Wszechświata, *R. Brent Tully*, 5
Teleskop Kosmiczny Hubble'a, *Tadeusz Jarzębowski*, 53

Pozostałe

Aleksander Wolszczan rozwiązuje worek z planetami, *Bohdan Paczyński*, 175
Astronomiczne Obserwatorium Orbitalne ISO, *Bogdan Wszołek*, 70
Antoni Wilk i jego komety, *Krzysztof Ziołkowski*, 46
β Pictoris: rodzący się układ planetarny?, *Andrzej Woszczyk*, 172
Bujne życie Koninek, *Marek Sikora*, 39
Ciemna materia ogrzewa gaz galaktyczny, *Marek Urbanik*, 18
CONVEX C120 w Toruniu, *Andrzej J. Kus, Andrzej Marecki*, 182
22 cykl aktywności Słońca, *Anna Mińko-Wasiluk*, 156
Dziwny rozbłysk z SMC X-1, *Michał Czerny*, 23
Funkcja mas SS 433, *Maciej Mikołajewski*, 67
GRO na orbicie, *Marek Sikora*, 105
Jak gorąca jest materia międzygalaktyczna?, *Marek Sikora*, 119
Jak zmierzyć stała grawitacji, *Kazimierz M. Borkowski*, 69
Jan Mergentaler kończy 90 lat, 129
Jądro galaktyki NGC 1068 i stożek jonizujący, *Bożena Czerny*, 121
Jowisz, *Roman Schreiber*, 168
Kalendarz Astronomiczny 1992, *Marek T. Szczepański, Jan Desselberger, Maciej Mikołajewski*, 169
Kosmiczna menażeria – najdziwniejsze gwiazdy na niebie, *Maciej Mikołajewski*, 61
XXII Krakowska letnia Szkoła Kosmologii, *Konrad Rudnicki*, 40
Krótki kurs konferencjologii, *Michał Czerny*, 137
33-letnia seria krakowskich obserwacji radiowych Słońca, *Adam Michalec*, 90
Mars, *Joanna Mikołajewska*, 72
Masywny nadolbrzym czy obiekt post–AGB, *Krzysztof Gęsicki*, 68
Mgławica Oriona, *Jacek Krełowski*, 72
Milisekundowa struktura radiowa kwazara 3C 273, *Bożena Czerny*, 9
Milisekundowe pulsary zaćmieniowe, *Michał Czerny*, 17
MWC 560 nowy typ gwiazdy zmiennej, *Toma Tomov, Maciej Mikołajewski*, 32
Nowa nowa: Nova Herculis 1991, *Ewa Kuczawska*, 175
Nowe Towarzystwo, *Bożena Czerny*, 43
Obłok międzygalaktyczny okazał się galaktyką, *Marek Urbanik*, 23
Obserwatorium Astronomiczne UMK w Piwnicach, *Marek Muciek*, 36
Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego, *Michał Różyczka*, 136
Odkrycie „dysocjującej" gwiazdy, *Marian Szymczak*, 167
Olsztyńska wyprawa na zaćmienie Słońca 22.07.1990, *Ewa Janaszak*, 127
Olsztyńskie Obserwatorium Astronomiczne, *Bogdan Kulesza*, 89
Olsztyńskie Planetarium, *Jadwiga Biała*, 87
O szczególnym przypadku kanibalizmu, *Tomasz Plewa*, 32
Pierwsze w Polsce obserwacje CCD na Suhorze, *Jerzy Krzesiński, Bartłomiej Pokrzywka*, 181
Pierwsze w Polsce obserwacje CCD w Ostrowiku, *Andrzej Udalski*, 180
Pierścień wokół SN1987A i nowa ocena odległości do Wielkiego Obłoku Magellana, *Joanna Mikołajewska*, 73
Pierwsza planeta poza Układem Słonecznym, *Michał Czerny*, 119
Pierwsze udane spektroskopowe obserwacje kwazara UM675, 60
Planetarium Grudziądzkie, *Małgorzata Śróbka-Kubiak*, 183
Planeta wokół pulsara PSR 1829-10?, *Jerzy Usowicz*, 174
Pluton i Charon - podwójna planeta, *Joanna Mikołajewska*, 55
Pochodzenie rentgenowskiego tła, *Bożena Czerny*, 30
Polskie Towarzystwo Astronomiczne, 94
Marek Sarna, 48,
Andrzej Sołtan, 188
Magdalena Sroczyńska, 142
Przewrót w poglądach na strukturę ośrodka międzygalaktycznego, *Marek Urbanik*, 10
Przystąpić do konsorcjum Astronomy & Astrophysics?, *Bożena Czerny*, 100
Pulsar w SN1987A nadal niewidoczny, *Michał Czerny*, 10
R136 - młoda gromada gwiazd, *Joanna Mikołajewska*, 78
R Aquarii, *Joanna Mikołajewska*, 80
Recenzja?, *Bożena Czerny*, 93
Recenzje: S. Hawking, „Krótka historia czasu", *Piotr Amsterdamski*, 47
ROSAT odkrywa nowe źródło rentgenowskie w Dużym Obłoku Magellana, *Michał Czerny*, 126
Saturn, *Bożena Czerny*, 120
Skawińskie Centrum Amatorskiej Astronomii, Lotnictwa i Astronautyki, *Bożena Czerny*, 100
Słońce – rewolucjonista?, *Mirosław Panek*, 140
Teleskop Horyzontalny Instututu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego, *Paweł Rudawy*, 42

Teleskop Kosmiczny odkrywa strukturę dżetową w Mgławicy Oriona, *Bożena Czerny*, 120
Test wiedzy astronomicznej: Jak to wygląda w szkołach..., *Marek Muciek, Jacek Papaj, Walter Wegner*, 44
Toruńskie obserwacje radiowe Słońca na częstotliwości 127 MHz, *Grażyna Gawrońska*, 162
Udana misja BBXRT, 105
Wielka biała plama na Saturnie, *Joanna Mikołajewska*, 79
Zagadka słonecznego neutrino, *Jarosław Pióro*, 164
Zasada nieoczywistości, *Adam Jakubowski*, 186
Z czego radioastronomowie mogą być dumni?, *Andrzej Marecki*, 36
Zmiany mocy promieniowania Słońca z 11-letnim cyklem aktywności, *Grażyna Gawrońska*, 160
Zmierzch „supergwiazd", *Marek Urbanik*, 14

Autorzy

Amsterdamski Piotr, Recenzje: S. Hawking, „Krótka historia czasu", 47
Bajtlik Stanisław, Najdalsze i najjaśniejsze obiekty we Wszechświecie, 101
Biała Jadwiga, Olsztyńskie Planetarium, 87
Borkowski M. Kazimierz, Jak zmierzyć stała grawitacji, 69
Chlebowski Tomasz, Hughes John P., Aneta Seminginowska, ROSAT, 15
Czerny Bożena, Jądro galaktyki NGC 1068 i stożek jonizujący, 121
Milisekundowa struktura radiowa kwazara 3C 273, 9
Nowe Towarzystwo, 43
O pewnej linii żelaza, 99
Pochodzenie rentgenowskiego tła, 30
Poszukiwania czarnych dziur, 24
Przystąpić do konsorcjum Astronomy & Astrophysics?, 100
Recenzja?, 93
Saturn, 120
Skawińskie Centrum Amatorskiej Astronomii, Lotnictwa i Astronautyki,
Teleskop Kosmiczny odkrywa strukturę dżetową w Mgławicy Oriona, 120
Czerny Michał, Dziwny rozbłysk z SMC X-1, 23
Ile pulsarów zawierają gromady kuliste?, 57
Krótki kurs konferencjologii, 137
Milisekundowe pulsary zaćmieniowe, 17
Pierwsza planeta poza Układem Słonecznym, 119
Pulsar w SN1987A nadal niewidoczny, 10
ROSAT odkrywa nowe źródło rentgenowskie w Dużym Obłoku Magellana, 126
Desselberger Jan patrz *Szczepański Marek T.*
Gawrońska Grażyna, Toruńskie obserwacje radiowe Słońca na częstotliwości 127 MHz, 162
Zmiany mocy promieniowania Słońca z 11-letnim cyklem aktywności, 160
Gęsicki Krzysztof, Masywny nadolbrzym czy obiekt post-AGB, 68
Niezwykłe dzieje ρ Casiopeiae, 150
Hughes John P., patrz *Chlebowski Tomasz*
Jakubowski Adam, Zasada nieoczywistości, 186
Janaszak Ewa, Olsztyńska wyprawa na zaćmienie Słońca 22.07.1990, 127
Jarzębowski Tadeusz, Teleskop Kosmiczny Hubble'a, 53
Gdyby Einstein dożył naszych czasów..., 106
Krełowski Jacek, Mgławica Oriona, 72
Krzesiński Jerzy, Pokrzywka Bartłomiej, Pierwsze w Polsce obserwacje CCD na Suhorze, 181
Kubiak Marcin, Udalski Andrzej, Projekt obserwacji mikrosoczewkowania grawitacyjnego, 148
Kuczawska Ewa, Nowa nowa: Nova Herculis 1991, 175
Kulesza Bogdan, Olsztyńskie Obserwatorium Astronomiczne, 89
Kus Andrzej J., Marecki Andrzej, CONVEX C120 w Toruniu, 182
Marecki Andrzej, Z czego radioastronomowie mogą być dumni?, 36
patrz *Kus Andrzej J.*
Maślanka Krzysztof, Kwantowanie grawitacji, 11
Michalec Adam, 33-letnia seria krakowskich obserwacji radiowych Słońca, 90
Mikołajewska Joanna, Gwiazdy symbiotyczne, 81
Mars, 72
Pierścień wokół SN1987A i nowa ocena odległości do Wielkiego Obłoku Magellana, 73
Pierwsze udane spektroskopowe obserwacje kwazara UM675, 60
Pluton i Charon – podwójna planeta, 55
R136 – młoda gromada gwiazd, 79
R Aquarii, 80
Wielka biała plama na Saturnie, 79
Mikołajewski Maciej, Czarna dziura w Monocerosie X-1 – zagadka rozwiązana?, 62
Funkcja mas SS 433, 67
Kosmiczna menażeria – najdziwniejsze gwiazdy na niebie, 61
16 lat pracy toruńskiego spektrografu, 19
patrz *Szczepański Marek T.*
patrz *Tomov Toma*
Mińko-Wasiluk Anna, 22 cykl aktywności Słońca, 156
Muciek Marek, Obserwatorium Astronomiczne UMK w Piwnicach, 36
i Papaj Jacek, Wegner Walter, Test wiedzy astronomicznej: Jak to wygląda w szkołach..., 44
Niedzielski Andrzej, Gwiazdy, które parują, 74
Paczyński Bohdan, Aleksander Wolszczan rozwiązuje worek z planetami, 175
Panek Mirosław, Słońce – rewolucjonista?, 140
Papaj Jacek, patrz *Marek Muciek*
Pióro Jarosław, Zagadka słonecznego neutrino, 164
Plewa Tomasz, O szczególnym przypadku kanibalizmu, 32
Pokrzywka Bartłomiej, patrz *Krzesiński Jerzy*
Różyczka Michał, Obserwatorium Astronomiczne Uniwersytetu Warszawskiego, 136
Rudawy Paweł, Teleskop Horyzontalny Instytutu Astronomicznego Uniwersytetu Wrocławskiego, 42
Rudnicki Konrad, XXII Krakowska letnia Szkoła Kosmologii, 40
Sarna Marek, Detektory i detekcja fal grawitacyjnych, 172
Polskie Towarzystwo Astronomiczne, 48
Schreiber Roman, Jowisz, 168
Seminginowska Aneta, patrz *Chlebowski Tomasz*
Sikora Marek, Bujne życie Koninek, 39
GRO na orbicie, 105
Jak gorąca jest materia międzygalaktyczna?, 119
Sołtan Andrzej, Polskie Towarzystwo Astronomiczne, 188
Sroczyńska Magdalena, Polskie Towarzystwo Astronomiczne, 142
Szczepański Marek T., Desselberger Jan, Mikołajewski Maciej, Kalendarz Astronomiczny 1992, 169
Szymczak Marian, Odkrycie „dysocjującej" gwiazdy, 167
Śróbka-Kubiak Małgorzata, Planetarium Grudziądzkie, 183
Todorovic-Juchniewicz Bożenna, Komety, które muskają Słońce, 114
Tomov Toma, Mikołajewski Maciej, MWC 560, nowy typ gwiazdy zmiennej, 32
Tully R. Brent, Struktura i rozmiary Wszechświata, 5
Udalski Andrzej, Pierwsze w Polsce obserwacje z CCD w Ostrowiku, 180
patrz *Kubiak Marcin*
Urbanik Marek, Ciemna materia ogrzewa gaz galaktyczny, 18
Obłok międzygalaktyczny okazał się galaktyką, 23
Przewrót w poglądach na strukturę ośrodka międzygalaktycznego, 10
Zmierzch „supergwiazd", 14
Usowicz Jerzy, Planeta wokół pulsara PSR 1829-10?, 174
Wegner Walter, patrz *Marek Muciek*
Woszczyk Andrzej, β Pictoris: rodzący się układ planetarny?, 172
Wszołek Bogdan, Astronomiczne Obserwatorium Orbitalne ISO, 70
Ziołkowski Krzysztof, Antoni Wilk i jego komety, 46

Gdzie i jak kupić postępy astronomii?

Wszystkich zainteresowanych zawiadamiamy, że **najpewniejszym** i zarazem **najtańszym** sposobem zapewnienia sobie stałego dostępu do *Postępów Astronomii* jest

prenumerata.

Warunki prenumeraty na rok 1992 podajemy na następnej stronie. *Postępy Astronomii* można ponadto nabyć w niektórych (staramy się, żeby w tych najlepszych!) księgarniach oraz w większości planetariów i obserwatoriów astronomicznych na terenie kraju. Przy okazji wszystkim Księgarzom oraz Kolegom Astronomom zaangażowanym w dystrybucję naszego pisma, pragniemy serdecznie podziękować.

● Adresy księgarń, w których można kupić *„Postępy Astronomii"*:

- Bydgoszcz, Księg. *„WSPÓŁCZESNA"*, ul. Gdańska 5
- Czersk, księg. *„ALEKSANDRA"*, ul. Starogardzka 32
- Częstochowa, *Księgarnia Techniczna*, ul. Wilsona 8
- Gdańsk, księg. *„HEWELIUSZ"*, ul. Heweliusza 19/21, Gdańsk
- Gdańsk, Księg. *Naukowo-Techniczna*, ul. Rajska 6
- Gdańsk, księg. *„BESTSELER"*, Salon Sprzed. Nr.2, ul. Dubois 2a
- Grójec, ul. Piłsudskiego 6
- Jastrowie, księg. *„Levi"*, ul. 2 Lutego 30
- Katowice, księg. *„Nauka"*, ul. Warszawska 11
- Kraków, księg. *„Ossolineum"*, Rynek Główny 4
- Kraków, Księg. Wydawnictw Naukowych *„Elefant"*, ul. Podwale 6
- Kraków, księg. *„Irys"*, Rynek Główny 23
- Kraków, księg. *„Skarbnica"*, os. Centrum C Bl. 1
- Lidzbark Warmiński, *Księg. im. J. Krasickiego*, ul. Powst. Warszawy 14
- Lublin, ul. Krakowskie Przedm. 62
- Łódź, księg. *„Pegaz"*, ul. Piotrkowska 47/49
- Olkusz, ul. Kościuszki 14
- Olsztyn, *Księg. Naukowa „LOGOS"*, ul. Kołobrzeska 5
- Piła, ul. 14 Lutego 2
- Piotrków Tryb., ul. Słowackiego 1
- Poznań, *Księg. Naukowa „BOOK SERVICE"*, ul. Podgórna 8
- Puławy, KMPK, ul. Lubelska 25
- Radom, księg. naukowo-techniczna *„Bis"*, ul. 25 czerwca 26/32
- Rzeszów, *Salon Wydawniczy KAW*, ul. 3-go Maja 8
- Sopot, ul. Bon. Monte Cassino 26
- Warszawa, *Główna Księg. Naukowa im B. Prusa*, ul. Krakowskie Przedm. 7
- Warszawa, *ORWN PAN*, Pałac Kultury i Nauki
- Warszawa, księg. *„MDM"*, ul. Piękna 31/37
- Warszawa, *Główna Księg. Techniczna*, ul. Świętokrzyska 14
- Toruń, księg. *„BOOKINISTA"*, ul. Konstytucji 3 Maja 10
- Toruń, *Księgarnia Uniwersytecka*, ul. Gagarina 11
- Toruń, *Wojewódzka Księg. Naukowa*, Rynek Staromiejski 30
- Wrocław, *Księg. „Akademicka"*, ul. Curie-Skłodowskiej 39
- Zawiercie, ul. 3 Maja 11
- Złotów, księg. *„DOLORES"*, ul. Dworzaczka 4,

● Ponadto *„Postępy Astronomii"* można nabyć w planetariach i obserwatoriach:

- Śląskim Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym w Parku Kultury i Wypoczynku w Chorzowie
- Olsztyńskim Planetarium i Obserwatorium Astronomicznym, al. J. Piłsudskiego 38
- Planetarium i Obserwatorium we Fromborku, Muzeum Kopernika, Wzgórze Katedralne
- Planetarium Grudziądzkim, ul. Krasickiego 1/7, Zespół Szkół Chemiczno-Elektrycznych
- Planetarium Warszawskim, Muzeum Techniki w Pałacu Kultury i Nauki
- Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Piwnice pod Toruniem
- Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Warszawskiego, Al. Ujazdowskie 4

● oraz osobiście w Redakcji: Bartycka 18, 00-716 Warszawa u B. Czerny, wtorki 12-14 tel. 41-00-41 w.48

WYPEŁNIĆ I WYCIĄĆ

Dla wpłat na rachunki w innych bankach

Pokwitowanie dla wpłacającego

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla posiadacza rachunku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

Odcinek dla banku

zł .....

Słownie złotych .....

wpłacający .....

Dokładny adres .....

Dokładna nazwa: na r-k *„Postępy Astronomii"* Polskie Towarzystwo Astronomiczne Bartycka 18 00-716 Warszawa

nazwa banku: BANK GDAŃSKI IV Oddział w Warszawie

Nr r-ku 300009–6536–132

stempel ..... Podpis przyjmującego

Pobrano opłatę zł .....

postępy astronomii

Prenumerata na rok 1992

Najtańszym *i zarazem* ***najpewniejszym*** *sposobem zapewnienia sobie stałego dostępu do „Postępów Astronomii" jest* ***prenumerata****. Z przykrością zawiadamiamy, że musimy zwiększyć cenę naszego pisma. Cena ta i tak będzie w dalszym ciągu znacznie niższa (ok. 30%) od kosztów produkcji, dzięki finansowej pomocy Polskiej Akademii Nauk oraz pomocy zaprzyjaźnionych instytucji astronomicznych (Centrum Astronomicznego im. Mikołaja Kopernika PAN w Warszawie, Instytutu Astronomii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu), pokrywających część wydatków związanych z korespondencją, telefonami i udostępniających sprzęt i materiały do składania pisma. Nakłaniamy do prenumeraty wszystkie szkoły – na pewno będziemy stanowili istotną pomoc w pracy nauczycieli i na pewno znajdą się w szkołach uczniowie, dla których możemy być wymarzoną lekturą. Jedynie prenumeratorzy indywidualni, na których nam najbardziej zależy, mogą nam zapewnić nakład wystarczający do utrzymania proponowanej ceny.*

- *Postępy Astronomii są* ***kwartalnikiem*** *i można wykupić prenumeratę całoroczną, lub na dowolny okres (zeszty 1/92 – 4/92)*
- ***Cena jednego zeszytu w prenumeracie wynosi 12,000 zł (płatne do 31 marca 1992)*** *lub 14,000 zł (płatne po 31 marca 1992) i jest niższa od ceny sprzedaży w księgarniach*
- ***Cena prenumeraty całorocznej (4 zeszyty) na rok 1992 wynosi 48,000 zł (płatne do 31 marca 1992)*** *lub 56,000 zł (płatne po 31 marca 1992)*
- *„Postępy Astronomii" dostarczne będą drogą pocztową i koszt przesyłki krajowej wliczony jest w cenę prenumeraty*
- *Prenumeratę można opłacić we wszystkich urzędach pocztowych posługując się zamieszczonym poniżej przekazem*
- *Istnieje jeszcze możliwość zamówienia* ***zaległych zeszytów*** *rocznika 1991 (tom 39) w cenie 9,000 zł za egzemplarz*
- *Cena prenumaraty* ***za granicę*** *jest zwiększona o 50% w Europie i 100% poza Europą (przesyłka zwykła) lub 75% w Europie i 150% poza Europą (przesyłka lotnicza)*
- *Prosimy o bardzo czytelne wypełnienie wszystkich rubryk (zwłaszcza adresu!)*

BIBLIOTEKA UNIWERSYTECKA W TORUNIU

Na wszystkich częściach blankietu należy wpisać czytelnie atramentem, długopisem lub pismem maszynowym jednakowo kwotę cyframi, imię i nazwisko wpłacającego, jego adres, siedzibę oddziału banku, w którym prowadzony jest rachunek oraz numer i nazwę tego rachunku.

Symbol planu kasowego .....

5-31-4020/I
Zam. 938/S WA-Gk zam. z 29.III.90 DIA/90 109/90 W&P Malbork

Rodzaj zobowiązania:

Prenumerata na następujące numery *„Postępów Astronomii"* w roku **1992 (niepotrzebne skreślić):**

1 – 2 – 3 – 4

oraz zamówienie na zaległe numery rocznika 1991 (niepotrzebne skreślić):

1 – 2 – 3 – 4

razem: ..... zł

Bank nie odpowiada za treść korespondencji pochodzącej od osób trzecich

Za skutki wynikłe z mylnego wypełnienia blankietu ponosi odpowiedzialność wyłącznie wpłacający.

W przyszłym roku w *Postępach Astronomii:*

- **Zderzenia gwiazd neutronowych**
- **Teleskop Kecka**
- **Meteoryt Tunguski na poważnie**
- **Czy Wszechświat wybuchł w jednej chwili?**
- **Powstawanie mgławic planetarnych**
- **Wszystko o czasie**
- **Hercules X-1**

i wiele innych atrakcyjnych tematów

postępy astronomii

zapraszają

na serie odczytów przeznaczonych dla wszystkich miłośników astronomii. Odczyty odbywają się w semestrze jesiennym i wiosennym.

Warszawa: *Centrum Astronomiczne im. Mikołaja Kopernika, Bartycka 18, poniedziałki, godz. 17.00*

Toruń: *Biała Sala Domu Kopernika, poniedziałki, godz. 18.00; po wykładzie herbatka w piwnicach domu Kopernika*

Olsztyn: *Planetarium Olsztyńskie, piątki, godz. 17.00; po wykładzie „kalendarzyk astronomiczny" i krótkie informacje na temat najnowszych wydarzeń astronomicznych, pod kopułą planetarium.*

Dokładne terminy i nazwiska wykładowców podawane są na plakatach i w prasie.

ZDJĘCIE NA OKŁADCE PRZEDSTAWIA . . .

. . . kopuły Grudziądzkiego Planetarium (niższa) i Obserwatorium (wyższa) Astronomicznego. Te kopuły właśnie kończą 20 lat! A co się mieści pod nimi? Odpowiedź na to i wiele innych, dotyczących tej placówki pytań, może Czytelnik znaleźć wewnątrz numeru (str. 183).

Biblioteka Główna UMK
300048429979