



SPIS TREŚCI

NUMERU 7(67)

Początek Wszechświata <i>Dr Michał Jaroszyński</i>	str. 2
Tajemnicze koincydencje we Wszechświecie <i>Mgr Bronisław Rudak</i>	str. 3
Masery kosmiczne <i>Dr Tomasz Kwast</i>	str. 4
Ramiona spiralne <i>Doc. dr Jerzy Stodótkiewicz</i>	str. 5
Mała Delta	str. 8
Patrz w niebo	str. 9
Utrata masy przez gwiazdy <i>Dr Maciej Kozłowski</i>	str. 10
Polary — podwójne gwiazdy wybuchowe o silnym polu magnetycznym <i>Doc. dr Wojciech Krzemiński</i>	str. 12
Laboratorium w domu	str. 13
Gwiazdy magnetyczne <i>Doc. dr Kazimierz Stępień</i>	str. 14
Zadania	str. 15
Cefeidy <i>Mgr Tomasz Chlebowski</i>	str. 16
O obracającej się kropli — raz jeszcze <i>Doc. dr Jerzy Stodótkiewicz</i>	str. 17

W następnym numerze:

O liczbach p-adycznych
i solenoidzie

„Delta”
 matematyczno-fizyczny miesięcznik
 popularny
 Polskiego Towarzystwa
 Matematycznego, Polskiego
 Towarzystwa Fizycznego i Polskiego
 Towarzystwa Astronomicznego
 wydawany przy poparciu
 Ministerstwa Oświaty i Wychowania

Komitet Redakcyjny:
 doc. dr J. Bartke
 doc. dr A. Bączyński
 doc. dr B. Gleichgewicht
 prof. dr K. Goebel
 doc. dr B. Grabowski
 dr J. Hanasz
 doc. dr B. Iwazkiewicz
 doc. dr T. Iwiński
 doc. dr A. Januszajtis
 doc. dr T. Jarzębowski
 prof. dr L. Jeśmanowicz
 mgr H. Kaczorek
 prof. dr M. Kuczma
 mgr A. Mąkowski
 prof. dr B. Pacyński
 prof. dr Z. Pawlak
 prof. dr A. Piekara
 doc. dr S. Ruciński
 prof. dr K. Rudnicki
 prof. dr Z. Semadeni
 doc. dr G. Sitarski

prof. dr J. Smak
 prof. dr J. Stankowski
 doc. dr K. Stępień
 prof. dr M. Subotowicz
 doc. dr S. Turnau
 prof. dr J. Wdowczyk
 doc. dr A. Woszczyk
 prof. dr Janusz Zakrzewski —
 wiceprzewodniczący
 prof. dr Wojciech Żakowski —
 przewodniczący

Redaguje Kolegium w składzie:
 doc. dr T. Hofmoki — z-ca red. nac.
 B. Jaworska-Kordos — ilustracje
 dr M. Kordos — red. nac.
 dr M. Szurek
 dr K. Frażmowski — red. techn. graf.
 mgr K. Szypcio — sekr. red.
 doc. dr M. Świącki

Adres Redakcji
 ul. Hoża 69 pok. 151,
 00-681 Warszawa

Zakład Narodowy im.
 Ossolińskich — Wydawnictwo
 Wrocław, Oddział w Warszawie
 Nakład 20 000 egz. Objętość 2 ark.
 wyd.; 2,50 ark. druk.;
 papier offsetowy III kl. 80 g. 61×86
 Wydrukowano w Drukarni im.
 Rewolucji Październikowej
 Warszawa, ul. Mińska 65.
 Nr zam. 465/79 C-35

Wydano z pomocą finansową Polskiej Akademii Nauk

WARUNKI PRENUMERATY Cena prenumeraty rocznej zł 60, — cena prenumeraty półrocznej
 zł 30, —

Prenumeratę na kraj przyjmują Oddziały RSW „Prasa—Książka—Ruch” oraz urzędy pocztowe
 i doręczyciele — w terminach:
 — do 25 listopada na styczeń, I kwartał, I półrocze roku następnego i cały rok następny
 — do dnia 10 miesiąca, poprzedzającego okres prenumeraty na pozostałe okresy roku bieżącego.
 Jednostki gospodarki społecznej instytucji i organizacji społeczno-polityczne składają zamówienia
 w miejscowych Oddziałach RSW „Prasa—Książka—Ruch”.
 Zakłady pracy i instytucje w miejscowościach, w których nie ma Oddziałów RSW, oraz prenumeratorki
 indywidualni zamawiają prenumeratę w urzędach pocztowych lub u doręczycieli.
 Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę, która jest o 50% droższa od prenumeraty krajowej,
 przyjmuje RSW „Prasa—Książka—Ruch”, Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw,
 ul. Towarowa 28, 00-958 Warszawa, konto PKO nr 1531-71 w terminach podanych dla
 prenumeraty krajowej

Sprzedż numerów bieżących i uprzednich

Instytucje państwowe i społeczne, zakłady pracy, szkoły i czytelnicy indywidualni mogą nabywać
 „DELTA”:

w Księgarni Ośrodka Rozpowszechniania Wydawnictw Naukowych PAN.
 Sprzedż gotówkowa i wysyłkowa, numerów bieżących i archiwalnych; płatność gotówką, przelewem
 lub za zaliczeniem pocztowym.

Adres: ORPAN 00-901 Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, Konto PKO I OM W-wa 1531-912

w Księgarni Ossolineum, Rynek 8, 50-106 Wrocław

w Głównej Księgarni Naukowej, Krakowskie Przedmieście 7, 00-068 Warszawa

w Księgarni Naukowej, ul. Podwale 6, 31-118 Kraków

Orders for this periodical from abroad can be placed with „Ars Polona” Krakowskie Przedmieście

00-068 Warszawa, Poland or with

— Kubon & Sagner, Inhaber Otto Sagner, D8 Munchen 34, Postfach 68,

Bundesrepublik Deutschland.

— Earls Court Publications Ltd., 130 Shephard Bush Centre, London W 12, Great Britain,

— Licosa Commissionaria Sansoni, Via Lamarmora 45, 50 121 Firenze, Italia

Cena 1 egzemplarza zł 5, — nr indeksu 35723/35550

Jest takie laboratorium, w którym nie jesteśmy zmuszeni do badania zjawisk w mniej lub bardziej nienaturalny sposób przez nas samych wywołanych, w którym przebiegają one spontanicznie, nieprzerwanie, pozwalając nam jedynie przyglądać się i myśleć o tym, co zobaczyliśmy. Laboratorium tym jest Wszechświat, a poznanie jego praw jest jedyną treścią nauk. Spośród nich najstarszą jest astronomia.

Nic więc dziwnego, że gdy nauki tej pracownicy, polscy astronomowie, zwrócili się do nas, matematyków i fizyków, z propozycją uczestniczenia w naszej pracy nad wydawaniem Delt, mogliśmy tylko z szacunkiem i z wielką radością powiedzieć

SERDECZNIE WITAMY

By zaś ową radość mogli dzielić z nami również Czytelnicy i by moment rozpoczęcia współpracy uczynić uroczystszy i donioślejszy jeszcze, oddaliśmy ten numer naszego pisma naszym nowym współpracownikom — Polskiemu Towarzystwu Astronomicznemu — do dyspozycji.

DELTA



Zbadano ten dziwny kraj księżycowy jak najdokładniej; obliczono, odmierzone, odrysowano każdą dolinę, każdą równinę i górę. Zrobiono mapy księżycyca podobnie jak mapy geograficzne ziemi. W ostatnich czasach nawet odfotografowano księżyc, tak jak się fotografuje osobę jakąś lub gmach. Powiedzieć można prawie, że znamy księżyc tak, jak gdybyśmy na nim byli.

Odległość ziemi od księżycyca. — Do stać się na księżyc! Ach, cóżby to była za ciekawa podróż! Jakby to było przyjemnie mieć skrzydła i polecieć tam, albo w balonie tam dotrzeć! Lecz niestety jest to niemożliwe. Już kilka mil ponad ziemią nie ma powietrza do oddychania, ani do podniesienia balonu. A więc nigdy nikt na księżyc się nie dostanie. Co za szkoda!

Gdybyśmy użyli do tej podróży kolei żelaznej, pociągu pospiesznego (który przebiega 10 mil na godzinę), potrzebowałibyśmy na przebycie tej drogi przeszło 200 dni, około 7 miesięcy. Gdybyśmy się uczepili kuli armatniej, która robi kilometr w dwu sekundach, potrzebowałibyśmy zawsze jeszcze prawie 9 dni. Są to rzeczy niemożliwe, nie dające się nigdy urzeczywistnić, ale dające nam jasne pojęcie o odległości księżycyca od ziemi. Lecz światło biegnie o wiele prędzej od kolei i kuli! Promień światła z księżycyca przychodzi do oczu naszych w czasie trochę większym niż sekunda. Myśl nasza z równą szybkością przebiega może tę przestrzeń.



powierzchnia słońca, widziana przez teleskop, robi wrażenie morza wzburzonego. Widać fale i balwany olbrzymie, ścigające się, piętrzące, zderzające się, tak jak fale morza rozhukanego podczas burzy; lecz są to fale ognia. I w istocie ta powierzchnia, którą widzimy, jest jakby warstwą płomieni, t.j. gazów lekkich, palących się i świecących, które ze wszech stron otaczają tę kulę ogromną, mniej jaskrawie świecąca i prawdopodobnie płynną; ta warstwa okrywająca słońce, ta atmosfera świetlana jest bezustannie wzburzona i porusza się tak jak płomień na wietrze. Czasami snop światła wystrzela w górę; w innym miejscu kłęby pary zdają się wydobywać z wnętrza tej atmosfery ognistej, przedzierając ją, robiąc jak gdyby otwór w tem ogniu. Widać wtedy ten otwór w kształcie lejka, którego dno jest ciemne w porównaniu z brzegami, jaśniejącymi żywym światłem: oto jest powstanie tych plam, jakie widzimy na słońcu.



Początek Wszechświata

Dr Michał JAROSZYŃSKI

Wszechświat to wszystko to, co nas otacza, co, przynajmniej w zasadzie, możemy obserwować. Zaczniemy od opisu jego obecnych własności, które są istotne dla badania jego przeszłości. Okazuje się, że jest tu potrzebna bardzo niewielka ilość informacji.

Ważny jest rozkład materii we Wszechświecie i jej ruch. Ten pierwszy można z grubsza opisać, podając rozmieszczenie największych obiektów astronomicznych — gromad galaktyk.

Wewnętrzna struktura tych obiektów nie wpływa na dynamikę Wszechświata jako całości.

Obserwacje astronomiczne wskazują na to, że rozmieszczenie gromad galaktyk

jest równomierne, czyli prawdopodobieństwo wystąpienia gromady galaktyk

w dowolnym miejscu przestrzeni jest takie samo. W tym sensie

Wszechświat jest jednorodny.

Jeśli patrzeć na obiekty pozagalaktyczne w dowolnym kierunku, okaże się, że ich ilość i charakterystyki są, średnio biorąc, stałe. Niezależność cech Wszechświata od kierunku obserwacji nazywamy jego izotropią. 50 lat temu amerykański astronom E. Hubble

zaobserwował, że odległe galaktyki (i ich gromady) oddalają się od naszej.

Prędkość ich ucieczki jest proporcjonalna do odległości od Ziemi (czyli od obserwatora).

Tym samym wykryta została ekspansja Wszechświata, a opisujące ją prawo

nazwane zostało prawem Hubble'a.

Zauważymy tutaj, że przy ekspansji opisanej prawem Hubble'a Wszechświat nie traci jednorodności. Co więcej, obserwator w każdym punkcie przestrzeni zaobserwuje ekspansję zgodną z prawem Hubble'a.

Niezwykle ważna dla kosmologii informacja uzyskana została w roku 1965. Odkryto wówczas obecność docierającego do Ziemi ze wszystkich kierunków promieniowania elektromagnetycznego o długości fali rzędu milimetrów i widmie Plancka. Natężenie tego promieniowania nie zależy od kierunku i nie można go przypisać żadnym dyskretnym obiektom astronomicznym. Takie same obserwacje można by wykonać, gdyby przyrządy pomiarowe umieścić w jakimś naczyniu o doskonale czarnych ścianach i temperaturze 3 K. Promieniowanie to wiąże się z wczesnymi fazami ewolucji Wszechświata i nazywa się reliktywym.

Obecny Wszechświat jest więc mieszaniną materii wchodzącej w skład różnych obiektów astronomicznych i równomiernie rozmieszczonej oraz promieniowania reliktywego.

Z punktu widzenia fizyki można jego zawartość traktować jak wieloskładnikowy gaz.

Siłą rzeczy gaz ten podlega w czasie ekspansji przemianie adiabatycznej — po prostu z braku

„otoczenia”, z którym mógłby wymienić ciepło. Kiedyś musiał więc być gęstszy i gorętszy.

Dla opisu ewolucji Wszechświata potrzebne są nam jakieś prawa dynamiki. Oddziaływaniami,

które gra tu decydującą rolę, jest przyciąganie grawitacyjne. Spowalnia ono rozszerzanie się

Wszechświata. W przeszłości, przy wysokich temperaturach i gęstościach, również ciśnienie

odgrywało rolę w bilansie sił. I wystarczy uwzględnić te dwa czynniki, aby otrzymać

wiarygodny obraz rozszerzania się Wszechświata. Równania ruchu powinny nam

odpowiedzieć na pytanie, jak zmieniła się w czasie średnia gęstość i temperatura materii

we Wszechświecie, dając jako przewidywane wartości obecnej gęstości,

temperatury i tempa ekspansji wielkości obserwowane.

Rozwiązania tych równań mają jedną nieprzyjemną własność — wynika z nich,

że ok. 10 mld lat temu gęstość materii i jej temperatura były nieskończone. Ponieważ nie

znamy teorii grawitacji, która byłaby słuszna przy dowolnie dużych gęstościach (wtedy

dałyby znać o sobie kwanty pola grawitacyjnego), nie możemy zinterpretować

tego osobliwego stanu Wszechświata. Zaczniemy nasz opis „historii” Wszechświata

nieco później, gdy temperatura przekracza nieco 10^{13} K. Temperaturze tej odpowiadają

energii cząstek rzędu GeV, przy których możliwe są reakcje powstawania par cząstek

nieobojętnych na oddziaływania silne — hadronów. Od nich ta wczesna epoka ewolucji

bierze swoją nazwę. Równocześnie każde „spotkanie” hadronu z jego antycząstką

może prowadzić do ich anihilacji i utworzenia pary kwantów promieniowania

elektromagnetycznego — fotonów. Jak wynika z rozważań teoretycznych opartych

na bogatych danych eksperymentalnych fizyki cząstek elementarnych, reakcje kreacji

i anihilacji zachodzą na tyle szybko, że ustala się równowaga termodynamiczna. W tej sytuacji

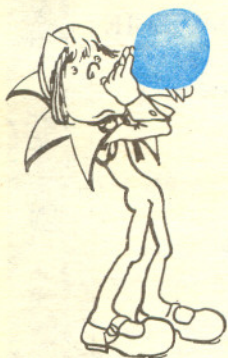
stan materii określony już jest przez podanie jej temperatury i gęstości. To, ile jest hadronów

każdego rodzaju, wynika z równowagi między reakcjami anihilacji i kreacji. Jak widzimy,

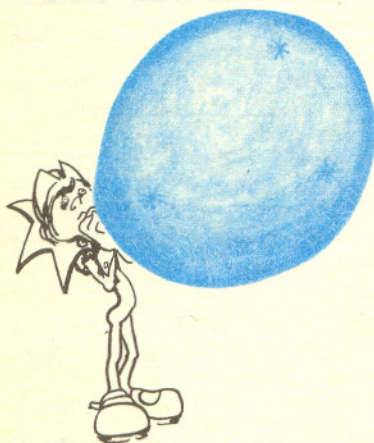
znając fizykę wysokich energii, potrafimy bardzo prosto określić stan wczesnego

Wszechświata — potrzeba na to bardzo niewiele informacji.

Żadne złożone struktury nie istniały.



W czasie dmuchania punkty oddalają się od siebie zgodnie z prawem Hubble'a.



Rozwiązanie zadania A1

Rozszerzanie się Wszechświata zgodnie z prawem Hubble'a nie świadczy

o wyróżnionym położeniu naszej Galaktyki,

ponieważ to samo prawo jest spełnione dla

każdego innego punktu Wszechświata. Niech

G_1 i G_2 oznaczają dwa dowolne, odległe

punkty. Z naszej Galaktyki prowadzimy do

tych punktów dwa wektory r_1 i r_2 . Prędkości

oddalania się tych punktów są:

$$v_1 = H \cdot r_1 \quad \text{i} \quad v_2 = H \cdot r_2,$$

czyli prędkość v punktu G_2 względem G_1 jest

proporcjonalna do odległości r między nimi:

$$v = v_2 - v_1 = H \cdot r_2 - H \cdot r_1 = H(r_2 - r_1) = H \cdot r.$$



Era hadronowa trwała ok. 10^{-6} s. Po tym czasie anihilacja wzięta górę i większość hadronów zamieniła się na fotony. Pozostały najbardziej trwale — neutrony i protony. W czasie następnej sekundy średnia energia cząstek była jeszcze na tyle duża, że możliwa była kreacja lekkich cząstek oddziałujących słabo — leptonów. Zalicza się do nich elektrony, miony i bezmasowe neutrino w kilku rodzajach. W tej epoce również mamy do czynienia z równowagą termodynamiczną. Spadek temperatury poniżej 10^{10} K spowodował anihilację mionów i par elektronowo-pozytonowych. Gwałtowny spadek gęstości leptonów łączy się ze zmniejszeniem prawdopodobieństwa oddziaływania neutrino z inną cząstką. Dlatego jeśli neutrino są cząstkami trwałymi (a tak obecnie sądzimy), to do dzisiaj otoczeni jesteśmy gazem neutrin, które od końca epoki leptonowej praktycznie nie oddziałują z innymi formami materii. W tej chwili temperatura neutrinowego gazu powinna wynosić ok. 3 K — nie znamy metody rejestracji neutrin o tak niskiej energii. Aż do końca ery leptonowej neutrony i protony występują w równej ilości, ponieważ różnica ich mas, a co za tym idzie energii, jest niewielka w porównaniu ze średnią energią cząstek (proton i neutron to dwa stany tej samej cząstki — nukleonu). Potem reakcja rozpadu neutronu na proton, elektron i neutrino zaczyna mieć przewagę jako prowadząca do stanu o niższej energii. W ciągu 15 minut wszystkie neutrony powinny się były rozpaść. W tym czasie możliwe są jednak reakcje syntezy jądrowej — protony i neutrony mogą się łączyć w jądra deuteru, a te z kolei w jądra helu. Przy okazji powstają pewne ilości (b. małe) innych lekkich pierwiastków. Rachunki, które uwzględniają wszelkie możliwe reakcje termojądrowe prowadzą do wniosku, że około 1/4 masy zamieniona zostaje na hel. Obserwacje gwiazd potwierdzają wniosek, że materia, z której powstały, zawierała ok. 25% helu. Powstanie innych pierwiastków zawdzięczamy ewolucji gwiazd — głównie ich gwałtownemu, końcowemu stadium — wybuchom supernowych. Jeszcze przez jakieś 100 tysięcy lat Wszechświat wypełniony był zjonizowanym gazem (plazmą) w równowadze termodynamicznej. Po tym czasie rekombinacja, czyli łączenie się elektronów i jąder w atomy spowodowało, że Wszechświat stał się przezroczysty dla promieniowania elektromagnetycznego. Od tego czasu promieniowanie i materia ewoluowały niezależnie. Promieniowanie to obserwujemy jako reliktove. Materia utraciła stan równowagi termodynamicznej. Druga zasada termodynamiki przestała mieć zastosowanie w odniesieniu do materii — możliwy stał się spadek entropii. Wyraził się on powstaniem we Wszechświecie struktur złożonych. Ich bogactwo możemy dzisiaj docenić.

Rozwiązanie zadania A2
 a) W ciągu jednego pełnego obiegu wokół Słońca Uran dokonuje $n = a_U/d_U \approx 68089,70$ obrotów wokół własnej osi. Tyle dób gwiazdowych zawiera rok uranusowy. Jednak dób słonecznych jest o 1 więcej, gdyż Słońce — punkt odniesienia w liczeniu liczby obrotów — dokonuje w rocznym ruchu pozornym jednego obiegu wokół Urana (jest to odbicie obiegu planety wokół Słońca po przeniesieniu środka układu współrzędnych). Ponieważ $\epsilon = 98^\circ > 90^\circ$, więc Uran obiega Słońce obracając się ruchem wstecznym, a więc jeden obrót trzeba dodać (w przeciwieństwie do Ziemi, dla której $\epsilon \approx 23^\circ 5'$ i gdzie dób słonecznych jest o 1 mniej niż gwiazdowych).



Tajemnicze koincydencje we Wszechświecie



Mgr Bronisław RUDAK

Spróbujemy tu zająć się wielkościami opisującymi dwa krańcowo różne światy. Pierwszy — to świat atomów, w którym posługujemy się liczbami niewyobrażalnie małymi. Drugi — to Wszechświat.

Czy konfrontacja odpowiadających sobie parametrów z obu światów nie wyda się Wam czymś sztucznym? Nic dziwnego, co wspólnego może mieć długość klasycznego promienia elektronu z odległościami kosmicznymi mierzonymi milionami, a nawet miliardami lat świetlnych. A jednak przypatrzmy się temu bliżej. Do dalszych rozważań będzie nam potrzebna wielkość, o której, być może, nie każdy z Was słyszał. Obserwując odległe galaktyki znaleziono prostą zależność między prędkościami, z jakimi oddalają się one od nas (V_r), a odległościami do nich (D):

$$V_r(\text{km/s}) = H \cdot D(\text{Mpc}),$$

1 Mpc = 10^6 parseków $\approx 3 \cdot 10^{19}$ km.

Współczynnik proporcjonalności H , tzw. stała Hubble'a, wynosi obecnie $55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ (czyli $1,46 \cdot 10^{-18}$ Hz). Jej sens fizyczny można wyrazić tak: jeśli przyjąć, że wartość H nie zmienia się z czasem, to H^{-1} wyraża czas, jaki upłynął od momentu Wielkiego Wybuchu (kiedy rozpoczęła się ekspansja Wszechświata) do chwili obecnej. Mając już skalę „wieku” Wszechświata możemy obliczyć jego „promień”:

$$R = c/H, \quad c \text{ — prędkość światła.}$$

Bardziej naturalną jednostką czasu niż sekunda jest jednostka związana ze światem atomów. Jest nią czas przejścia światła przez promień elektronu:

$$e^2/(m_e c^3) \approx 10^{-23} \text{ s}, \quad e \text{ — ładunek elementarny, } m_e \text{ — masa elektronu.}$$

Wiek Wszechświata wyrażony w tych jednostkach wynosi

$$t_0 = H_0^{-1} : \frac{e^2}{m_e c^3} \approx 7 \cdot 10^{39}$$

Uwaga: Indeks „0” oznacza obecną wartość parametrów. To wszystko, co będzie nam potrzebne.

Utwórzmy teraz kilka bezwymiarowych wielkości.

$$(a) \quad A_0 = \frac{e^2}{G \cdot m_p \cdot m_e} \approx 2 \cdot 10^{39},$$

G — stała grawitacji, m_p — masa protonu.

A_0 wyraża stosunek wielkości siły elektrostatycznej do siły grawitacyjnej, działających między elektronem a protonem. Zobaczymy też, jaki jest stosunek obecnego promienia Wszechświata do klasycznego promienia elektronu:

$$(b) \quad B_0 \equiv R_0 : \frac{e^2}{m_e c^2} = \frac{c}{H_0} : \frac{e^2}{m_e c^2} \approx 10^{40}.$$

Widać, że z dokładnością do czynnika niewiele różnego od jedności

$$A_0 \approx t_0 \quad \text{oraz} \quad B_0 \approx t_0.$$

Kolejny iloraz to $\frac{\text{masa całej materii Wszechświata}}{\text{masa protonu}} =$

= całkowita liczba nukleonów $\equiv N_0$.

Astrofizycy szacują tę liczbę na 10^{78} .

(c) $N_0 \approx 10^{78} \approx t_0^2$.

Inny przykład to stosunek klasycznego promienia elektronu do długości Plancka l_p :

(d) $C_0 \equiv \frac{\text{kl. prom. elektronu}}{l_p} \approx 10^{20} \approx t_0^{1/2}$

$l_p \equiv (hG/c^3)^{1/2} \approx 10^{-33}$ cm.

Podobnych związków można znaleźć więcej.

Może to tylko przypadek, że udało nam się pewne bezwymiarowe wielkości prosto związać z t_0 , ale ciekawe byłoby założyć, że takie relacje są faktem i zbadać ich konsekwencje.

Tak właśnie zrobił wielki fizyk Paul Dirac. Zaproponował on następującą hipotezę:

HIPOTEZA WIELKICH LICZB

Wielkie bezwymiarowe liczby są proporcjonalne do czasu kosmicznego w pewnych prostych potęgach.

Zgodnie z tą hipotezą związki (a), (b), (c) i (d) są słuszne dla dowolnej chwili czasu kosmicznego t .

$$\begin{array}{ll} \text{(a')} & A = t \\ \text{(b')} & B = t \\ \text{(c')} & N = t^2 \\ \text{(d')} & C = t^{1/2} \end{array}$$

Dirac uczynił jeszcze jedno założenie. Przyjął, że stałe atomowe są istotnie stałe.

Popatrzmy teraz na związek (c'). Ponieważ wartość t rośnie, musi też rosnąć ilość nukleonów. Doszliśmy zatem do warunku ciągłej kreacji materii we Wszechświecie. Względny przyrost masy M dowolnego obiektu (np. pomieszczenia redakcyjnego Delt) w czasie Δt wynosiłby

$$\left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta M}{M} \right)_0 = \frac{2}{t_0} = 2 \cdot 10^{-10} / \text{rok}.$$

Niestety, jest to liczba zbyt mała, aby można było sprawdzić ją doświadczalnie.

Konsekwencją formuły (a') lub (d') jest zmiana stałej grawitacyjnej w czasie:

$$G \sim t^{-1}.$$

Zgodnie z tą formułą względna zmiana G w czasie Δt powinna wynosić

$$-\left(\frac{1}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta G}{G} \right)_0 = \frac{1}{t_0} \approx 8,3 \cdot 10^{-11} / \text{rok}.$$

Zaczęto naturalnie szukać obserwacyjnego potwierdzenia tych zmian. Stwierdzona została względna zmiana G na poziomie $9(\pm 4) \cdot 10^{-11} / \text{rok}$. Jednak nie wszyscy są przekonani o dokładności przeprowadzonych pomiarów.

Należy podkreślić, że ewentualne zmiany stałej grawitacji G mają bardzo istotne konsekwencje astronomiczne i kosmologiczne. Przykładem niech będzie wpływ tych zmian na ewolucję gwiazdy (np. naszego Słońca). Całkowita ilość energii wypromieniowywanej przez gwiazdę w jednostce czasu silnie zależy od G ($\sim G^8$). Jeśli rzeczywiście w poprzednich epokach G było większe, to i ilość wypromieniowanej energii była większa niż obecnie. Reakcje termojądrowe we wnętrzu gwiazdy zachodziły szybciej, a tym samym szybsza była ewolucja gwiazdy. Obliczono, że w takiej sytuacji Słońce wyglądałoby w tej chwili zupełnie inaczej — byłoby tzw. czerwonym olbrzymem. A przecież tak nie jest. Przypomnijmy jeszcze jedną rzecz o kapitalnym znaczeniu. Teoria Einsteina wymaga istotnej stałości stałej grawitacji. Jak z tymi trudnościami poradził sobie Dirac, oraz o niektórych wnioskach z jego hipotezy napiszemy innym razem.

Masery kosmiczne



Dr Tomasz KWAST

Powszechnie przyjętą w fizyce metodą badawczą jest poznawanie zjawisk czy obiektów fizycznych przez badanie własności ich modeli. Takimi modelami są np. ciecz nielepką, gaz doskonały, soczewka cienka, wahadło matematyczne i wiele innych. Jest nim również tzw. równowaga termodynamiczna (RT). Jest to model pewnego specyficznego stanu materii, mianowicie takiego, w którym dokładnie równoważą się wszelkie procesy zachodzące w tej materii. Jeżeli np. jakiś gaz znajduje się w RT, to znaczy, że w każdej chwili tyle samo cząstek porusza się w prawo co i w lewo, w jednostce czasu następuje tyle samo wzbudzeń atomów co i przejść na niższe poziomy energetyczne, tyle samo jonizacji co rekombinacji itd. Również promieniowanie przenikające ten gaz w stanie RT ma specjalny rozkład widmowy i w jednostce czasu zachodzi tyle samo pochłonięć fotonów co ich emisji. Dokładniej, stan RT charakteryzuje się tym, że prędkości cząstek podlegają rozkładowi Maxwella, obsadzenia poziomów energetycznych rozkładowi Boltzmanna, stan jonizacji równaniu Sahy, a rozkład widmowy promieniowania prawu Plancka, przy czym wszystkie te rozkłady obowiązują dla tej samej temperatury.

RT, jak każdy model, jest w przyrodzie realizowana jedynie w lepszym lub gorszym przybliżeniu. Np. w dzień w każdym pokoju prędkości cząstek w powietrzu odpowiadają temperaturze pokojowej, zaś rozkład widmowy promieniowania przenikającego pokój odpowiada temperaturze powierzchni Słońca. Mówimy, że temperatura kinetyczna nie jest równa temperaturze jasnościowej, a to już dowodzi braku RT.

Stan bliski RT panuje natomiast w ciemni fotograficznej przy wygaszonych wszystkich światłach lub w samym centrum gwiazdy.

Rozpatrzmy, co dzieje się z promieniowaniem o natężeniu I przechodzącym przez jakiś ośrodek. Przyjmijmy dla uproszczenia, że atomy ośrodka mają tylko dwa stany energetyczne. Gęstość atomów w stanie niższym o energii E_1 oznaczmy przez N_1 , zaś znajdujących się w stanie wyższym o energii E_2 przez N_2 . Naturalnie, część promieniowania zostanie pochłonięta przez niektóre z atomów znajdujących się akurat w stanie niższym, z kolei niektóre atomy znajdujące się w stanie wyższym wyświecą nieco tego promieniowania. Zjawisko to wygodnie jest opisać przy pomocy tzw. współczynników Einsteina A_{21} , B_{21} i B_{12} , które oblicza się metodami mechaniki kwantowej, a które są tak określone, że $N_1 B_{12} I$ jest liczbą atomów w jednostce objętości, które w jednostce czasu przechodzą na poziom wyższy (a więc pochłaniają część promieniowania), $N_2 A_{21}$ jest analogiczną liczbą atomów, które spontanicznie przechodzą z poziomu wyższego na niższy, wreszcie $N_2 B_{21} I$ liczbą atomów, które również dokonują przejścia „w dół”, ale przejścia wymuszonego pod wpływem promieniowania przenikającego ośrodek. W stanie RT oczywiście liczba przejść w dół musi być równa liczbie przejść w górę. Inaczej można też powiedzieć, że ilość energii wyświeconej musi być równa ilości energii pochłoniętej. Zatem skoro przy każdym przejściu jest pochłaniany lub wyświecany kwant o energii $E_2 - E_1 = h\nu$, to

$$N_2 A_{21} h\nu + N_2 B_{21} I h\nu = N_1 B_{12} I h\nu.$$

Stan RT, jak mówiliśmy, jest tylko fizycznym modelem, zatem ostatnia równość na ogół nie jest spełniona. Zawsze natomiast jest prawdą, że przyrost natężenia promieniowa ΔI po przebyciu jednostkowej drogi jest równy nadwyżce energii wyświeconej nad pochłoniętą, czyli

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I}{\Delta s} &= N_2 A_{21} h\nu + N_2 B_{21} I h\nu - N_1 B_{12} I h\nu = \\ &= N_2 A_{21} h\nu - N_1 B_{12} \left(1 - \frac{N_2 B_{21}}{N_1 B_{12}} \right) I h\nu. \end{aligned}$$

I teraz widać ciekawą rzecz. W stanie RT obsadzeniem poziomów rządzi rozkład Boltzmanna, według którego

$$N_2 B_{21} / N_1 B_{12} = \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{kT}\right) < 1. \text{ Jeżeli natomiast}$$

dałoby się w ośrodku zrealizować taką sytuację, że $N_2 B_{21} / N_1 B_{12}$ stałoby się większe od jedności (czyli jak gdyby temperatura wzbudzeniowa T stała się „ujemna”), to całe wyrażenie po prawej stronie równości stałoby się dodatnie, a w konsekwencji ΔI stałoby się dodatnie, czyli ośrodek wzmacniałby promieniowanie. Powstałby w ten sposób tzw. laser lub maser — słowa te składają się z początkowych liter angielskiej nazwy tego zjawiska: *Light* (albo *Microwave*) *Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, w zależności od tego, czy zjawisko dotyczy światła widzialnego czy mikrofal.

W jaki sposób wywołuje się zjawisko maserowe? Najczęściej robi się w ten sposób, że atomy ośrodka wzbudza się (przez oświetlenie silnym promieniowaniem lub przez przepuszczenie iskry elektrycznej) na jakiś trzeci poziom wyższy od obu poziomów maserowych. Proces ten nazywa się „pompowaniem”. Następnie atomy „spadają” z niego na wyższy poziom maserowy powodując jego obsadzenie obfitsze, niż wynika z rozkładu Boltzmanna. Tym samym powstają warunki sprzyjające wystąpieniu zjawiska maserowego i ośrodek jest gotów wzmacniać promieniowanie.

Okazało się, że zjawisko maserowe, którego opanowaniem tak się chlubiśmy, przyroda wykorzystuje już od dawna. Mianowicie w 1963 r. radioastronomowie amerykańscy zidentyfikowali w pasmie 18 cm cztery linie radiowe (o częstościach 1612, 1665, 1667 i 1720 MHz) pochodzące od międzygwiazdowych cząsteczek OH. Po bliższym badaniu stwierdzono, że każda z tych czterech linii składa się z licznych blisko siebie leżących i bardzo ostrych maksimumów. Zinterpretowano to w ten sposób, że każde maksimum jest promieniowane przez inny obłok cząstek OH, zaś same obłoki widocznie poruszają się względem siebie. Ostrość maksimumów świadczyłaby o niskiej temperaturze obłoków, gdyż wtedy ruch cząsteczek jest stosunkowo powolny i dopplerowskie rozmycie linii jest niewielkie. Z drugiej strony, duże natężenie tych linii świadczyłoby, przeciwnie,

o temperaturze niezwykle wysokiej. Dowodzi to natychmiast braku RT w tych obłokach, a obserwowana sytuacja daje się wytłumaczyć hipotezą, że wspomniane cztery linie radiowe powstają w wyniku zjawiska maserowego. Powstaje pytanie, w jaki sposób pompowane są owe kosmiczne masery. Nie mamy możliwości przesłania tu dość żmudnej analizy danych obserwacyjnych, która dałaby jasną odpowiedź na to pytanie. W skrócie, okazało się, że w dobrej zgodzie z obserwacjami jest hipoteza wysunięta przez radzieckiego astronoma J. Szklowskiego. Według niej pompowanie maserów kosmicznych odbywa się przy pomocy podczerwonego promieniowania przenikającego obłoki OH. Znalazienie tego rozwiązania nie było proste, gdyż radioźródła maserowe nie stanowią jednorodnej grupy obiektów. Wyróżniono wśród nich trzy typy różniące się względnymi natężeniami poszczególnych linii i dwa z nich, poza wspólnym mechanizmem pompowania, mają jeszcze jedną cechę wspólną, o której powiemy na końcu.

Otóż radioźródła typu I o silnych liniach 1665 i 1667 MHz obserwuje się w zwartych strefach zjonizowanego wodoru międzygwiazdowego, zaś typu II z silną linią 1612 MHz utożsamiane są z punktowymi źródłami podczerwieni. Strefa wodoru zjonizowanego może istnieć wtedy, gdy w jej wnętrzu znajduje się dostatecznie gorąca gwiazda, zdolna swoim krótkofalowym promieniowaniem jonizować otaczający ją wodór międzygwiazdowy. Tych gwiazd jednak się w źródłach maserowych nie obserwuje, czego przyczyną może być ogromna warstwa pyłu pochłaniającego światło, a emitującego następnie podczerwone promieniowanie pompujące. Lecz wewnątrz takiego obłoku będzie wtedy panować ciśnienie powodujące szybkie jego rozproszenie. Zatem każde tego rodzaju źródło maserowe stowarzyszone ze strefą zjonizowanego wodoru jest obiektem młodym, jak również młoda musi być centralna gorąca gwiazda. Z kolei obiektami pompującymi źródła maserowe II typu okazały się obłoki materii międzygwiazdowej o temperaturze zaledwie rzędu setek kelwinów. Sądząc po obserwowanej mocy, obłok taki powinien mieć rozmiary rzędu nawet setek jednostek astronomicznych i dostatecznie dużą masę, aby w ogóle mógł istnieć przez rozsądny czas. Wtedy okazuje się jednak, że nie może on być wotrem stabilnym, lecz musi znajdować się w stadium zapadania się pod wpływem własnej grawitacji. Jest to zatem tzw. protogwiazda, czyli obiekt, który dopiero w przyszłości stanie się gwiazdą.

I tu dochodzimy do niezwykle ważnego wniosku. Tą drugą cechą wspólną maserowych źródeł typu I i II jest ich młodość. Ich promieniowanie maserowe jest sygnałem dla astronomów, że gdzieś niemal na naszych oczach lub bardzo niedawno powstała gwiazda. I chyba godne uwagi jest, że o swoich narodzinach gwiazdy sygnalizują nam przy pomocy tego, co w technice nazwalibyśmy „najnowszym osiągnięciem optyki kwantowej”, czyli przy pomocy naturalnego masera.

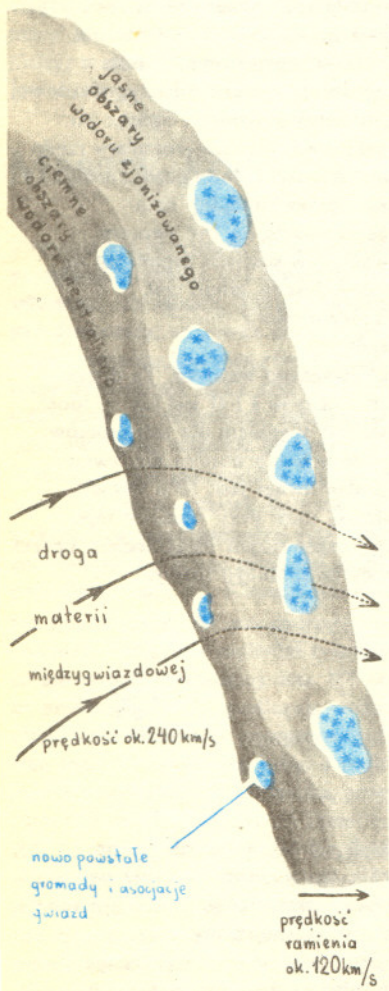


Ramiona spiralne

Doc. dr Jerzy STODÓŁKIEWICZ

Jest paradoksem, że łatwiej poznać wygląd odległych galaktyk niż tej, w której żyjemy. Podobnie, znajdując się w lesie, w gęstwinie drzew i krzewów, nie jesteśmy w stanie ogarnąć wzrokiem jego ogólnych zarysów, rozmieszczenia w nim polan i zagajników, przecinających go dróg i ścieżek. Dopiero gdy wzniesiemy się w górę i okiem ptaka spojrzymy na rozciągający się pod nami teren, możemy dostrzec całe jego bogactwo: kształt lasów i pól, piaszczyste wydmy, rzeki, łąki i jeziora. Uwięzieni w płaszczyźnie Drogi Mlecznej, otoczeni przez nieprzezroczystą materię międzygwiazdową, z trudem zdobywamy wiadomość

Gwiazdy podzielono w kolejności malejących temperatur powierzchniowych na typy widmowe O — B — A — F — G — K — M.



Przekrój przez ramię spiralne Galaktyki

o rozmieszczeniu w dysku galaktycznym różnych typów gwiazd. Bardziej szczegółowe informacje odnoszą się jedynie do położenia wodoru neutralnego. Wiemy, że skupia się on w potężnych ramionach spiralnych o szerokości rzędu kiloparseka, przebiegających przez cały dysk Galaktyki. Znacznie mniej wiemy o położeniach gwiazd, dostrzegamy tylko bliżej leżące, a pomiary ich odległości obarczone są znacznymi błędami. Dlatego nasza wiedza o ich przynależności do ramion spiralnych ograniczona jest jedynie do tych części, które przebiegają w pobliżu Słońca. Na podstawie obserwacji tej ograniczonej próbki gwiazd możemy wnioskować o tym, że ramiona spiralne naszej Galaktyki to nie tylko skupiska materii międzygwiazdowej, ale także siedlisko młodych gwiazd. W nich, prawie wyłącznie, obserwuje się asocjacje, układy na tyle nietrwałe, że muszą się składać z gwiazd narodzonych nie dawniej niż kilkanaście milionów lat temu. W ramionach spiralnych lub w ich otoczeniu skupiają się gorące gwiazdy typów widmowych O i B szybko ewoluujące, a więc także niedawno powstałe. Natomiast nie stwierdzamy grupowania się w ramionach spiralnych gwiazd starszych. Nasze informacje byłyby znacznie kompletniejsze i odnoszą się do struktury ramion w obrębie całego dysku, gdybyśmy mogli wznieść się wysoko ponad płaszczyznę Galaktyki. Widziana z odległości około 10 kiloparseków Galaktyka rozpościerałaby się jak olbrzymia tarcza na niebie, rozjarzająca tysiącami błyszczących punktów i świecących obłoków jonizowanego gazu większą część firmamentu. Jej wygląd możemy sobie wyobrazić zestawiając wiadomości o niej uzyskane z Ziemi ze zdjęciami wielu podobnych do niej galaktyk spiralnych. Na tle jasnego dysku dostrzegliśmy wówczas rozciągający się od odległości około 3–4 kiloparseków od świecącego jako mglista, niewielka plamka gorącego gazu jądra Galaktyki, olbrzymie ramiona sięgające aż po brzeg układu. Na ich wewnętrznych brzegach ciągnąłby się ciemny, wąski pas neutralnego gazu i pyłu, dalej, już w obrębie ramion dominowałyby olbrzymie, świecące obłoki zjonizowanego wodoru i tysiące gorących jasnych gwiazd. Obszary między ramionami śkłyby w świetle ramion, ich blada poświata pochodziłaby od miliardów gwiazd niewidocznych już gołym okiem, gdzieś tam zaledwie błyszczałyby pojedyncze jasne gwiazdy lub obłoki. Ten wyraźny obraz struktury spiralnej naszej Galaktyki nie oddaje jednak właściwie jej rozkładu masy. Gęstość gwiazd (ich liczba w jednostce objętości) jest niewiele większa w obrębie ramion spiralnych niż między nimi. Większą część masy w Galaktyce zawarta jest w słabo świecących, chłodnych gwiazdach rozmieszczonych dość równomiernie w Galaktyce. Natomiast najjaśniejsze obiekty: duże obłoki zjonizowanego wodoru i gorące młode gwiazdy skupiają się w obrębie ramion. To właśnie powoduje ich znacznie większą jasność niż obszarów leżących między ramionami.

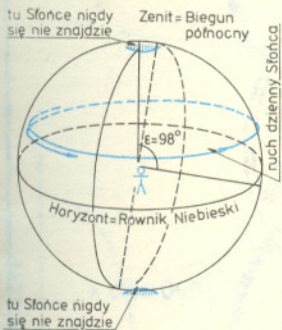
Struktura spiralna jest bardzo powszechna wśród galaktyk. Około 50% większych galaktyk posiada wyraźnie zarysowane ramiona spiralne. Wszystkie one cechują się dobrze ukształtowanym dyskiem skupiającym dużą część ogólnej masy galaktyki. A więc tworzenie się ramion spiralnych nie jest cechą szczególną naszej Galaktyki, lecz musi być bardzo naturalną właściwością dysków. Wydaje się to tym bardziej dziwne, że dyski obracają się nie jak ciała sztywne, lecz z różną prędkością kątową w różnych odległościach od jądra ich macierzystej galaktyki: najszybciej w pobliżu jądra, coraz wolniej w obszarach zewnętrznych. Gdyby więc ramiona potraktować jako twory składające się stale z tej samej materii, to wskutek tego nierównomiernego obrotu dysku powinny się one stale nawijać, jak nić na szpulę w coraz większą liczbę zwojów, a po paru obrotach galaktyki (po kilkuset milionach lat) ich kontury powinny ulec zatarciu. Ramiona powinny więc zaniknąć i już w przyszłości (a przynajmniej do czasu ich ponownego odtworzenia się w wyniku jakiegoś nieznanego procesu) galaktyka nie powinna mieć struktury spiralnej. Przeczyłoby to jednak możliwości obserwowania w przyrodzie tak dużej liczby galaktyk spiralnych. Pozostaje więc przyjąć, że ramiona są tworami dostatecznie trwałymi, samorzutnie tworzącymi się w dyskach galaktycznych.

Najlepiej tłumaczy zjawiska zachodzące w ramionach spiralnych teoria, która traktuje je jako zjawisko falowe: jako obszary w Galaktyce, przez które przepływa materia międzygwiazdowa i gwiazdy. Same ramiona obracają się jak ramiona wiatraka wokół centrum Galaktyki ze stałą prędkością kątową, około dwukrotnie mniejszą niż prędkość Słońca. Dokonują one pełnego obrotu w ciągu 400 milionów lat. Materia międzygwiazdowa i gwiazdy biegną szybciej. Doganiają więc ramię spiralne, przez pewien czas w nim przebywają i uchodzą znów z niego, by po pewnym czasie dotrzeć do następnego.

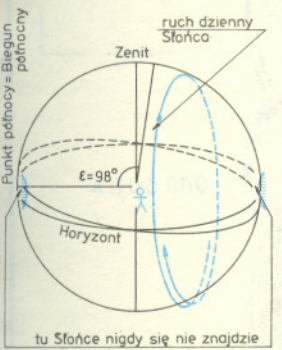
Prześledźmy los obłoku materii międzygwiazdowej. Najpierw biegnie on po prawie kołowej orbicie w płaszczyźnie Drogi Mlecznej wśród rozrzedzonej materii rozproszonej w obszarze pomiędzy ramionami. Ponieważ w tych okolicach mało jest gwiazd gorących, obłok jest chłodny, jego temperatura nie przekracza na ogół 100 K, z wyjątkiem krótkich okresów, w których po zderzeniu się z któryś z sąsiadów ogrzeje się do temperatury rzędu 1000 K. Szybko jednak ostygnie znów wypromieniowując swą energię w przestrzeń. Gdy obłok taki zbliży się do ramienia spiralnego, wówczas przyciąganie grawitacyjne przez materię

Rozwiązanie zadania A2.

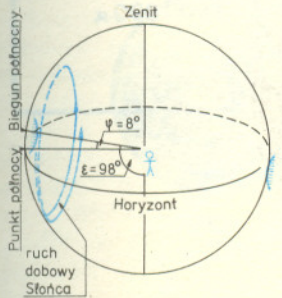
b) Oś obrotu Urana jest, jak u wszystkich planet, zorientowana zawsze w ten sam sposób w przestrzeni. Ponieważ $\epsilon = 98^\circ$, więc oś nigdy nie jest skierowana prosto w Słońce, zawsze kąt między kierunkiem na Słońce a osią obrotu jest nie mniejszy niż 8° . A więc patrząc z powierzchni planety: wokół obu biegunów niebieskich istnieją czapy o promieniu 8° , gdzie Słońca nigdy nie ma. Krążą ono w ruchu dziennym po spirali prawie prostopadłe do osi świata zblizając się raz w roku do każdej z „czap biegunowych”. A więc dni i noce polarne nie występują na takich szerokościach, na których czapy (będące na danej szerokości zawsze w tym samym miejscu) przecinają się z horyzontem, czyli dla wąskiego pasa równikowego o szerokości 16° ($-8^\circ < \varphi < 8^\circ$). Na innych szerokościach Słońce, zblizając się w ruchu rocznym do czapy leżącej nad horyzontem, ma szansę okrążyć ją w ruchu dobowym nie zachodząc pod horyzont (czyli występuje dzień polarny). Z rysunków wynika, że w okolicy równika zima (Słońce nisko nad horyzontem) i lato (Słońce wysoko) występują dwa razy w roku!



Rys. 1. Obserwator na biegunie uranowym.



Rys. 2. Obserwator na równiku.



Rys. 3. Obserwator na równoleżniku 8° .

aktualnie znajdującą się w ramieniu (o gęstości o kilkanaście procent większej niż w obszarach między ramionami) zmusi go do zбочenia z kursu ku wewnętrznemu brzegowi ramienia. Niedługo potem obłok wtargnie do obszaru, w którym gęstość gazu jest znacznie większa. Następuje zderzenie materii ze znajdującą się już w ramieniu. Obłok nasz, wraz ze swymi sąsiadami, zostaje gwałtownie sprężony. To właśnie teraz znajduje się on w tym z daleka widocznym ciemnym pasie gęstego wodoru neutralnego u wewnętrznego brzegu ramienia, który obserwowaliśmy po wzniesieniu się wysoko ponad płaszczyznę Galaktyki. W tym pasie gęstej i jednocześnie chłodnej materii międzygwiazdowej istnieją warunki sprzyjające powstawaniu gwiazd. Materia teraz powoli przesuwa się ku wnętrzu śpychana jednocześnie wzdłuż niego. Wkrótce rozbłyskują pierwsze, najmasywniejsze z nowo zrodzonych gwiazd. Tworzą się one na ogół w ugrupowaniach: asocjacji i gromadach. Swymi promieniami ogrzewają otaczającą materię rozproszoną, jonizują ją wokół siebie. Rozprężający się gorący ośrodek pcha przed sobą niezjonizowany i chłodny gaz powodując dalsze jego zagęszczenie. Pojawiają się bardzo gęste krople zimnego gazu, w których formują się następne gwiazdy. Trwa to dopóty, dopóki rozgrzana światłem nowo narodzonych gwiazd materia nie rozproszy się na tyle, że proces powstawania gwiazd wygaśnie. Obserwujemy wówczas dużą liczbę asocjacji i gromad młodych gwiazd otoczonych rozległymi obłokami zjonizowanego wodoru. Biegą one na ukos przez ramię spiralne, w kierunku, w którym ramię jest zakorzenione w pobliżu centrum Galaktyki, z lekkim odchyleniem ku jego brzegowi zewnętrznemu. Osiągnęły już środek ramienia. Teraz one przyciągają ku sobie nowe masy gazu docierające do ramienia. Moment pędu, który wniósł obserwowany przez nas obłok gazu, rozdzielony teraz między powstałe z niego gwiazdy (na które została zużyta jedynie niewielka część masy obłoku) i pozostały po obłoku gorący, zjonizowany gaz, zmusza te gwiazdy i ten gaz do szybszego obrotu wokół środka Galaktyki niż czyni to ramię spiralne. Dlatego poruszają się one ku zewnętrznemu brzegowi ramienia i po pokonaniu sił przyciągania grawitacyjnego przez materię, która w nim jeszcze przebywa, wydostają się do obszarów między ramionami. Uplłynęło już kilkadziesiąt milionów lat od wtargnięcia naszego obłoku gazu do ramienia spiralnego i narodzin w nim gwiazd. Te najgorętsze, odpowiedzialne za jonizację otaczającego gazu, gwiazdy typów O i B zdążyły zakończyć już swą ewolucję. Pozostały jedynie gwiazdy chłodniejsze. Dlatego też gaz szybko stygnie. I znów w przestrzeni między ramionami płyną obłoki neutralnego gazu i pyłu po prawie kołowych orbitach, by po 200 milionach lat dogonić następne ramię i wziąć ponownie udział we wszystkich wyżej opisanych procesach.

Widzimy więc, że ramiona spiralne są jak gdyby olbrzymimi falami płynącymi przez Galaktykę, w których następuje sprężenie się gazu międzygwiazdowego, aż do stanu, w którym mogą w nim powstawać gwiazdy. Jednocześnie te nowe gwiazdy, które początkowo mogą współdziałać w dalszym zagęszczeniu materii i tworzeniu się nowych gwiazd, przerywają ten proces: ogrzewają materię i powodują jej rozproszenie w przestrzeni. Ramiona spiralne są więc kliniką położniczą naszej Galaktyki: w nich następuje stałe, choć powolne przetwarzanie materii rozproszonej we wciąż rodzące się młode gwiazdy, rozsiewane następnie w obrębie dysku galaktycznego.

Wzajemnie sprężone procesy decydują o istnieniu ramion spiralnych w dysku galaktycznym. W ramionach gęstość materii jest większa, dlatego że przepływający przez nie gaz zwalnia swój bieg i częściowo płynie wzdłuż nich. Ale tego rodzaju ruch materii w ramionach spiralnych spowodowany jest właśnie tym, że w ramionach gęstość jest nieco większa niż w obszarach między nimi. Teraz łatwo już określić, dlaczego w ramionach spiralnych nie skupiają się gwiazdy starsze. Oczywiście i te z nich, które należą do I populacji, przy każdym obiegu wokół centrum Galaktyki trafiają do ramion. Ale ich prędkości swoiste, z jakimi poruszają się względem siebie, są znacznie większe niż obłoków międzygwiazdowych. Dlatego nie poddają się tak łatwo jak materia międzygwiazdowa potencjałowi grawitacyjnemu ramion i prawie nie odczuwając go przebiegają w poprzek ramion. I Słońce powstało niegdyś w jednym z ramion spiralnych naszej Galaktyki. Oczywiście, nie sposób już dziś odtworzyć, w którym to było miejscu. Od tego czasu regularnie co 200 milionów lat przebiega ono przez ramiona spiralne. Powoduje to, że warunki w przestrzeni międzygwiazdowej wokół Słońca zmieniają się w tym długim okresie. Czasami biegnie ono w prawie kompletnej pustce, kiedy indziej, gdy wchodzi w ramię spiralne, dostaje się w obszary o znacznie większej gęstości gazu i pyłu. A może to mieć istotny wpływ na warunki klimatyczne panujące na Ziemi. Opadający na Słońce pył międzygwiazdowy powodować może jego ogrzanie. Ten sam pył docierający do atmosfery Ziemi może stać się przyczyną zmniejszenia jej przezroczystości, a opadający na powierzchnię Ziemi może zwiększyć jej zdolność odbijania promieni słonecznych. W ten sposób wynikiem przejścia Słońca przez ramiona spiralne Galaktyki mogą być cykliczne zmiany klimatu na naszej planecie. Podejrzewa się nawet, że powodować one mogą powtarzające się co paręset milionów lat epoki lodowcowe na Ziemi. Ponieważ epoki lodowcowe w sposób istotny zmieniające warunki ekologiczne na dużych obszarach naszej planety są ważnym stymulatorem ewolucji życia, pozwala nam to przypuścić, że istnieniu ramion spiralnych zawdzięczamy nie tylko powstanie naszego Układu Słonecznego, ale nawet wpływ na rozwój życia na Ziemi.

Mała delta

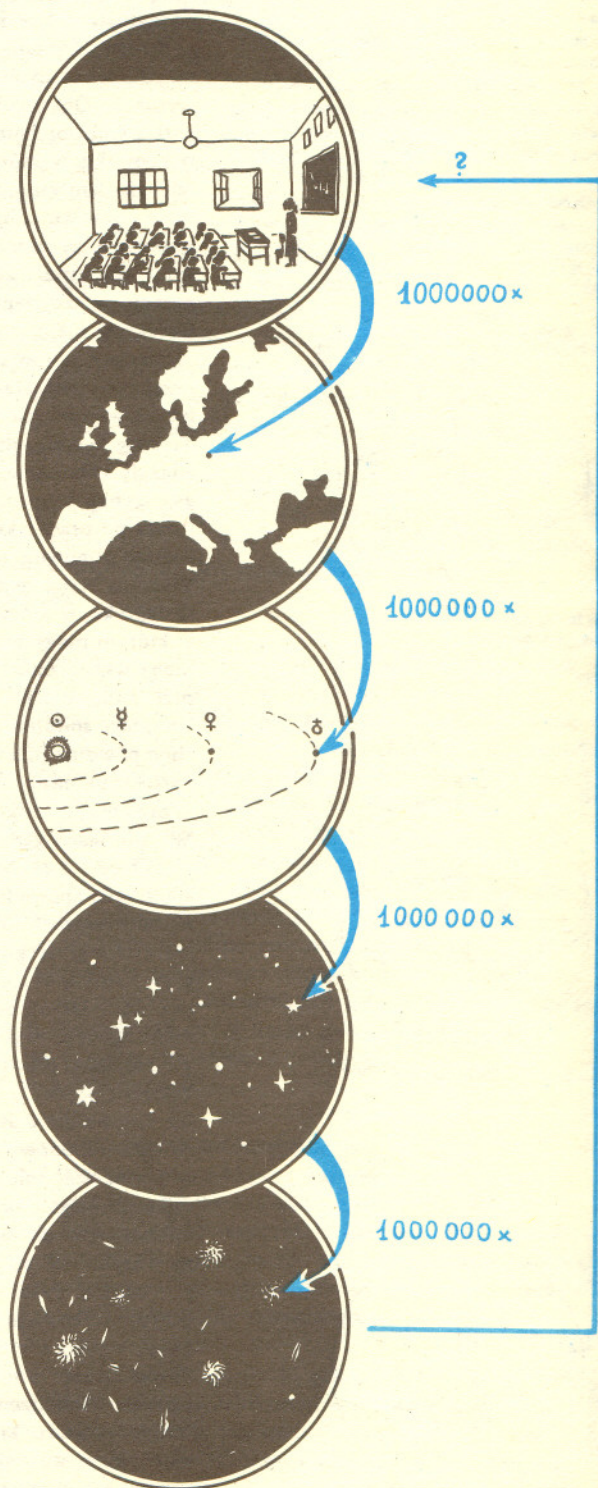


Wyobraźcie sobie Wszechświat

Co oznacza zwrot „wyobraź sobie”? Może on znaczyć między innymi to, że porównujemy coś, czego nie znamy, a chcemy sobie „wyobrazić”, do czegoś, co już znamy. A więc wyobrazić sobie Wszechświata nie można, bo poza nim nic nie istnieje, do czego można by go porównać. Można jednak zbudować (a raczej właśnie wyobrazić sobie) model Wszechświata lub jakiejś jego części. I tak się często robi.

Zbudujmy więc model Wszechświata. Czy kiedy zmniejszymy go milion razy, to zmieści się on w Waszej klasie? Na pewno nie. Ledwo Europa zmieściłaby się tam po takim zmniejszeniu. Więc musimy Wszechświat zmniejszyć jeszcze raz milion razy. To już coś. Teraz cała Ziemia jest tak mała, że prawie niewidoczna. Księżyc krąży wokół niej po orbicie o promieniu pół milimetra. Słońce jest kulką o średnicy półtora milimetra — jak łebek szpilki. Najodleglejsza planeta — *Pluton* — obiega teraz Słońce w odległości 6 metrów. Najbliższa gwiazda — *Proxima Centauri* — znajduje się 40 km od nas. Znowu nie mieści się w naszej klasie, a więc jeszcze raz — milionkrotnie! Teraz cały układ planetarny jest mniejszy niż poprzednio Ziemia. Najbliższa gwiazda odległa jest od nas tylko o 4 cm. A cała nasza Galaktyka — *Droga Mleczna* — wielkie skupisko ponad 100 000 000 000 gwiazd (znowu liczba niewyobrażalnie duża) — ma teraz średnicę ponad kilometr. Jeśli znowu zmniejszymy wszystko milion razy, to nasza Galaktyka będzie wielkości łebka od szpilki. Najbliższa nasza sąsiadka — *Wielka Mgławica Andromedy*, też tej wielkości — jest od nas tylko o 2 cm. Najdalsze galaktyki i kwazary — najodleglejsze znane nam obiekty Wszechświata ledwo do nas mrugają z odległości 300 metrów. To sobie teraz potrafimy wyobrazić. Ale czy z kolei potrafimy sobie wyobrazić w tej skali — jak mała jest Ziemia?

Małą Deltę opracował Tomasz CHLEBOWSKI

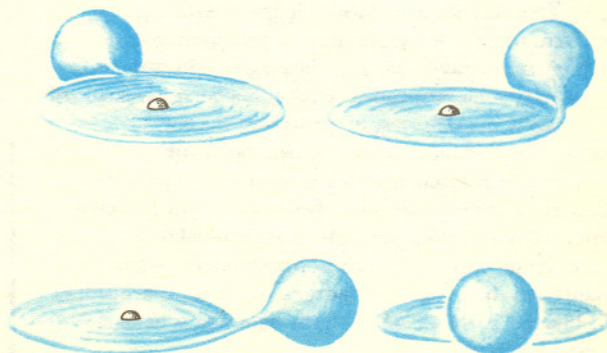
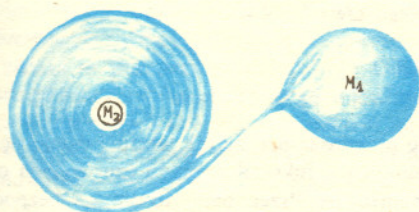
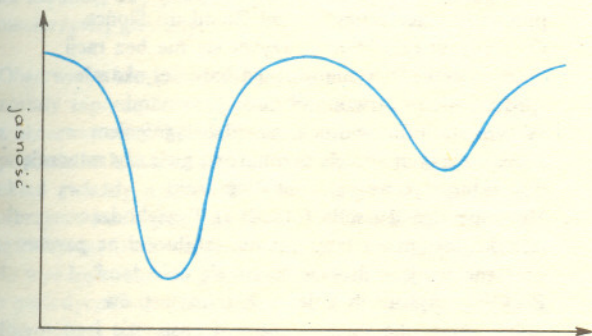
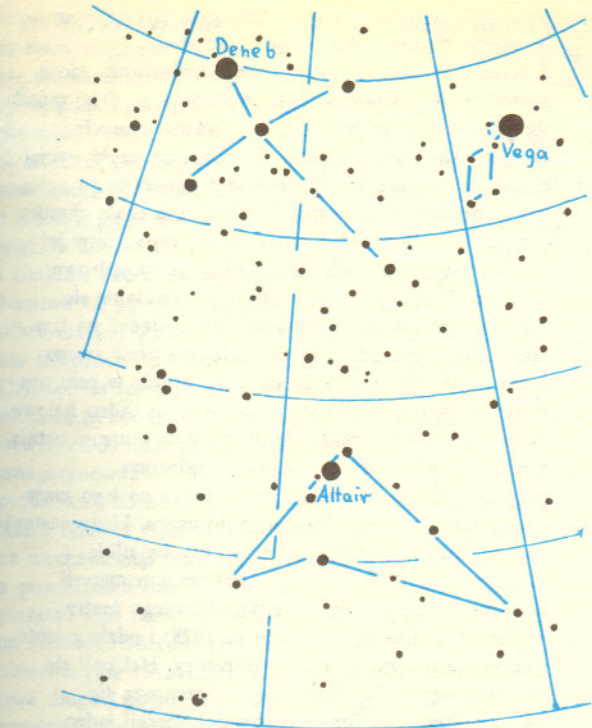


Patrz w niebo

Najbardziej charakterystycznym układem gwiazd widocznym w lipcu jest tzw. *Wielki Trójkąt Letni*. Składają się nań gwiazdy: *Altair* z gwiazdozbioru Orła (*Aquila*), *Deneb* z gwiazdozbioru Łabędzia (*Cygnus*) i *Wega* z gwiazdozbioru Lutni (*Lyra*). Najjaśniejszą z tych gwiazd jest *Wega* — latem najjaśniejsza gwiazda na naszym niebie. Obok niej widać słabszą gwiazdę — β *Lyrae* — jedną z najlepiej poznanych gwiazd zmiennych zaćmieniowych. Okres obiegu obu składników układu β *Lyr* wokół wspólnego środka masy wynosi obecnie 12,93 dni. Krzywa zmian jasności układu narysowana jest obok. Wydaje nam się, że β *Lyr* przechodzi ostatnio dość dramatyczne fazy swojej ewolucji. Wyobraźmy je sobie następująco: w przeszłości był to układ dwóch gwiazd o masach $M_1 \approx 10 M_\odot$ i $M_2 \approx 3,7 M_\odot$ obiegających wspólny środek masy w czasie 3,44 dnia. Gwiazda cięższa, starzejąc się szybciej, spęcznieła do tego stopnia, że 63 500 lat temu zaczęła przelewać część swojej materii na drugi składnik. Był to proces bardzo gwałtowny — szybkość przepływu osiągnęła 1% masy gwiazdy na rok (M_*/rok), jednak po niedługim czasie ustabilizowała się na poziomie ok. $10^{-5} M_*/rok$. Masa cięższej gwiazdy systematycznie zmniejszała się i dzisiaj wynosi tylko $2,04 M_\odot$ (80% wypłynęło!). Natomiast masa składnika wtórnego osiągnęła aż $11,66 M_\odot$. Jednak nie cała materia opadła na powierzchnię początkowo lżejszej gwiazdy. Niosąc ze sobą dużą ilość momentu pędu materia ta utworzyła najprawdopodobniej grubo „dysk akrecyjny” wokół wtórnego składnika, z którego to dysku dopiero opada powoli na powierzchnię gwiazdy. W wyniku przepływu materii odległość obu składników zwiększyła się oraz wydłużył się okres orbitalny.

Na najbliższe tysiące lat przewidywania są następujące: Przepływ masy będzie trwał jeszcze ok. 70 tysięcy lat, okres obiegu osiągnie ponad 20 dni, masa składnika pierwotnego będzie wynosić tylko $1,7 M_\odot$. Po 5 milionach lat gwiazda ta osiągnie ostatni etap swojej ewolucji — stanie się białym karłem lub gwiazdą neutronową. Za około 14 milionów lat wtórny składnik o masie $12 M_\odot$ z kolei zacznie puchnąć i materia zacznie przepływać w drugą stronę, tzn. opadać na lżejszy składnik o dużo większej gęstości, tworząc teraz dysk akrecyjny po przeciwnej stronie.

Mgr Tomasz CHLEBOWSKI





J. Stodółkiewicza) materia międzygwiazdowa może zostać skondensowana do tego stopnia, że dalej zapada się pod wpływem własnych sił grawitacyjnych.

W tym czasie gaz ogrzewa się emitując część swojej energii w postaci promieniowania maserowego (patrz artykuł T. Kwasta). Wewnętrzna część chmury już po ok. milionie lat jest na tyle gorąca, że w jej środku zaczynają zachodzić reakcje termojądrowe („palenie” wodoru), co zatrzymuje zapadanie się. Po pewnym czasie gwiazda powoli „osiada” na tzw. ciągu głównym, gdzie spędza większość swego życia aż do momentu, kiedy cały wodór w centrum gwiazdy będzie spalony i wytworzy się jądro helowe. Jądro to powoli zapada się. Reakcje w centrum ustają, a pali się tylko cienka warstwa wodorowa przylegająca do helowego jądra, przez co jego masa i temperatura powoli rosną aż do czasu, kiedy nastąpi zapłon helu albo kiedy jądro stanie się silnie zdegenerowane. Degeneracja jest stanem materii, w którym ważną rolę gra zakaz Pauliego (patrz artykuł J. P. Lasoty w *Delcie* 10/1978) i gdzie gęstość i ciśnienie nie zależą od temperatury. Hel pali się tworząc węgiel. Reakcje znowu przenoszą się na zewnątrz, a pozbawione źródeł energii jądro kurczy się pod wpływem własnej grawitacji. Zewnętrzna otoczka gwiazdy staje się w tym czasie tak rozdęta, że osiąga nierzadko rozmiary kilkakrotnie przewyższające odległość od Ziemi do Słońca. Gwiazdy w tym stanie nazywa się nie bez racji czerwonymi olbrzymami, a najbardziej okazałe spośród nich czerwonymi nadolbrzymami. W tym stadium ewolucji, przed osiągnięciem swoich maksymalnych rozmiarów, gwiazdy zataczają charakterystyczne pętle na diagramie Hertzsprung-Russella (okładka). Przechodząc kilkakrotnie przez tzw. pas niestabilności na pewien czas zaczynają pulsować stając się cefeidami. Po kilku zapłonach kolejnych pierwiastków jądro może stać się niestabilne i następuje jego implozja, związana z eksplozją zewnętrznej otoczki gwiazdy. Jest to zjawisko supernowej. Otoczka zostaje odrzucona tworząc tzw. mgławicę planetarną, natomiast jądro zapada się tworząc gwiazdę neutronową lub czarną dziurę. Jednak życie większości gwiazd kończy się w sposób mniej dramatyczny. Kiedy temperatura jądra nie pozwala na zapalenie się kolejnej reakcji lub jest ono dostatecznie zdegenerowane, zaczyna powoli stygnąć i zapadać się, kończąc swoje życie jako biały karzeł dopalający resztki materii na swojej powierzchni. Niezależność między jądrem i otoczką jest na tyle silna, że gdyby otoczka odpłynęła w przestrzeń, to jądro zupełnie by tego nie odczuło.

Utrata masy przez gwiazdy

Dr Maciej KOZŁOWSKI

Gwiazdy nie są wieczne. Część z nich powstała wtedy, gdy formowała się nasza Galaktyka, inne rodzą się i w naszych czasach gdzieś w gęstych obłokach materii międzygwiazdowej. Masywniejsze spośród gwiazd pierwszego pokolenia dawno już zdołały wypalić swe paliwo jądrowe i po mniej lub bardziej gwałtownych wydarzeniach kończących ich życie przestały świecić. Mniej masywne nie zdążyły zgasnąć. Co więcej, sądzi się, że te, które powstały jako lżejsze niż $0,7 M_{\odot}$ (przez M_{\odot} oznacza się w astronomii masę równą masie Słońca, wynoszącą $1,97 \cdot 10^{33}$ g), niewiele się zmieniły od czasu uformowania się przed kilkunastu miliardami lat i przez cały czas palą spokojnie wodór w centrum. Jest jednak coś, co pozwala odróżnić je od młodszych gwiazd. Właściwie są dwie takie cechy. Jedną z nich są właściwości kinematyczne, a drugą skład chemiczny. Gwiazdy, o których wiadomo, że są stare, składają się w skrajnych przypadkach w 99,9 procentach z wodoru i helu z niewielką domieszką cięższych pierwiastków. Natomiast najmłodsze gwiazdy zawierają czasem aż 3—4% pierwiastków cięższych niż hel. Jasne więc, że od czasu powstania Galaktyki materia międzygwiazdowa, z której wyłaniają się nowo powstające gwiazdy, wzbogaciła znacznie swój skład chemiczny. Mogło się to stać tylko w jeden sposób: przez utratę materii z gwiazd kończących swoje życie i to znaczną utratę, bo obejmującą swym zasięgiem położone głęboko we wnętrzu gwiazd rejony, w których na różnych etapach ich życia przebiegały przemiany jądrowe. Głównych dostarczycieli produktów nukleosyntezy do materii międzygwiazdowej trzeba upatrywać w gwiazdach najbardziej masywnych. Procentowo jest ich co prawda niewiele, ale mają to do siebie, że ewoluują bardzo szybko, w każdym razie jak na kosmiczne skale czasowe. Z tego powodu więc, za część materii międzygwiazdowej zdążyła już zapewne wielokrotnie znaleźć się we wnętrzu masywnych gwiazd, wzbogacając za każdym razem swój skład chemiczny. Masywne gwiazdy kończą życie bardzo efektywnie, wybuchając jako gwiazdy znane pod mianem supernowych. Wybuch jest prawdziwą katastrofą w życiu gwiazdy. Znaczna część jej masy, bogata w centralnych regionach w hel i węgiel i dodatkowo jeszcze wzbogacana w ciężkie pierwiastki przez rozmaite egzotyczne reakcje jądrowe pobudzone w procesie samego wybuchu, rozlatuje się w przestrzeń z olbrzymimi prędkościami przekraczającymi 5000 km/s, by zmieszać się z materią międzygwiazdową. Najbardziej centralne warstwy, nie mogąc przeciwstawić się potężnym siłom samograwitacji, zapadają się gwałtownie, co zresztą jest przyczyną samego wybuchu. Na miejscu eksplozji pozostanie gwiazda neutronowa, albo niezbyt masywna czarna dziura, a niewykluczone, że czasem zgoła nic. Gwiazdy o średnich masach również wcześniej czy później tracą większą część swojej materii, a świadczy o tym istnienie w przyrodzie białych karłów oraz obserwacje obiektów będących przynajmniej w części ich poprzednikami — jąder mgławic planetarnych. Droga prowadząca od świeżo narodzonej gwiazdy do białego karła da się w swym ogólnym schemacie streścić bardzo krótko:

Astronomowie przypuszczają, że tak właśnie dzieje się na niebie i że bezpośrednimi produktami rozpadu czerwonych olbrzymów są mgławice planetarne. Przekonanie to nie jest bezpodstawne. Jądra mgławic planetarnych mają właściwości świadczące i o tym, że są tak gęste jak białe karły, i o tym, że głównym źródłem ich jasności jest paląca się tuż pod powierzchnią warstwa materii, a resztki odpływającej otoczki czerwonego olbrzyma po prostu widać przez teleskop

w postaci gorącej mgławicy otaczającej jądro. Ocenia się, że masy mgławic planetarnych są niewielkie, rzędu $0,1 M_{\odot}$, ale nie oznacza to, że łączne ilości wyrzuconej materii są tak małe, ponieważ widać tylko to, co jest ogrzane przez jonizujące promienie obiektu centralnego. Cała reszta ukrywa się w mrokach przestrzeni i o tym, że tak jest rzeczywiście, zaświadczy porównanie mas gwiazd zaczynających ewolucję z masami jej produktów: masy białych karłów nie mogą być większe niż $1,4 M_{\odot}$, co wynika z przesłanek teoretycznych i znajduje swe potwierdzenie w obserwacjach.

Nasuwają się pytania: czy wyrzucenie otoczki czerwonego olbrzyma jest wydarzeniem jednorazowym w życiu gwiazdy, czy też procesem trwającym powoli i przez dłuższy czas? Dziesięć lat temu przedstawiono argumenty za tym, że może to być zjawisko jednorazowe. Następowałoby ono w wyniku dynamicznego rozhuśtania się otoczki, bowiem zmagazynowana w niej energia cieplna wystarcza, aby nadać jej prędkości potrzebne do wyniesienia jej dowolnie daleko. Rzecz tylko w tym, w jaki sposób zamienić energię cieplną na mechaniczną. Nawiasem mówiąc, prędkości ucieczki z powierzchni czerwonego olbrzyma są ciągle niemałe, pomimo jego rozdęcia, bo rzędu kilkudziesięciu kilometrów na sekundę. Obecnie gromadzi się coraz większy materiał obserwacyjny świadczący o tym, że proces utraty masy trwa długo i powoli i co więcej, że jest zjawiskiem powszechnym, obejmującym swym zasięgiem w mniejszym lub większym stopniu większość gwiazd, także i te, w których materia musi rozpędzić się do prędkości tysiąca kilometrów na sekundę, aby pokonać przyciąganie grawitacyjne macierzystej gwiazdy.

Obserwacje bezpośredniej utraty masy z czerwonych olbrzymów zostały zapoczątkowane w 1956 roku odkryciem A. Deutscha z obserwatorium Mt. Wilson, o którym to odkryciu warto powiedzieć kilka słów. Deutsch obserwował spektroskopowo układ gwiazdy α Herculis, składający się z czerwonego olbrzyma i odległego od niego o 4,7 sekundy łuku żółtego towarzysza. Obserwacje żółtego składnika doprowadziły do wyodrębnienia w jego widmie dwu układów linii o periodycznie zmieniających się z niewielką amplitudą długościach fali. Interpretacja tej właściwości doprowadziła do stwierdzenia, że składnik ten jest również podwójny, a przesunięcia linii są dopplerowskim odbiciem ruchu jego komponentów wokół wspólnego środka masy. Nie było w tym jeszcze nic szczególnego, bo takie wielokrotne układy nie są rzadkością wśród gwiazd. Ciekawe natomiast były wąskie linie absorpcyjne, widoczne zarówno w widmie czerwonego olbrzyma, jak i w widmie żółtej gwiazdy. Najbardziej interesujące było to, że nie brały one udziału w dopplerowskim ruchu widma ciasnej pary, z czego natychmiast wypływał wniosek, że powstają na drodze pomiędzy układem a obserwatorem. Dokładniejsza analiza materiału obserwacyjnego pozwoliła stwierdzić, że źródłem linii jest materia wypływająca z czerwonego olbrzyma z prędkością 20 km/s i w tempie $3 \cdot 10^{-8} M_{\odot}/\text{rok}$.

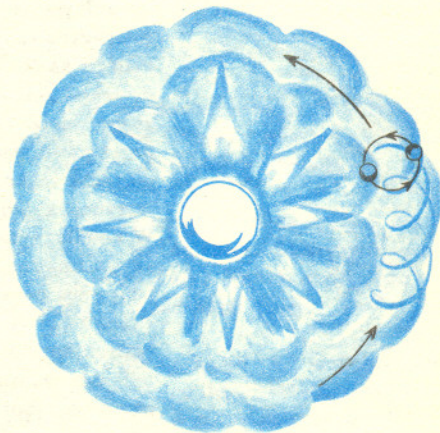
Od czasu pionierskiego odkrycia Deutscha opracowano nowe techniki obserwacyjne, rozciągnięto dziedzinę obserwacji chłodnych gwiazd na podczerwień i mikrofałę. Odkryto produkowane przez czerwone olbrzymy pyły grafitu i silikatów oraz molekuly objawiające swe istnienie efektem maserowym, przepompowującym schwytaną w różny sposób energię do promieniowania o pewnych uprzywilejowanych długościach fali. Udało się stwierdzić, że tempo utraty masy rośnie wraz ze stopniem rozdęcia gwiazdy. Powszechności utraty materii przez wszystkie chłodne gwiazdy dotychczas jeszcze nie ogłoszono, ale kto wie, czy za kilka lat do tego nie dojdzie.

Czerwone olbrzymy nie są jedyną klasą gwiazd tracących

w sposób ciągły materię. Jej intensywny wypływ, sięgający do $10-4 M_{\odot}/\text{rok}$, obserwuje się także wśród masywnych, gorących, jasnych gwiazd. W większości są to młode gwiazdy, które powstały zapewne nie dawniej niż przed kilku milionami lat, ale są wśród nich i bardziej zaawansowane wiekiem, o nienormalnym składzie chemicznym, prawie zupełnie pozbawione wodoru, za to bogate w hel, tzw. gwiazdy Wolfa-Rayeta. Ciekawe, że utratę masy z gorących gwiazd odkryto jeszcze w latach trzydziestych, ale większość odkryć i wyznaczeń w tej dziedzinie pochodzi z ostatnich lat. Powód jest prosty: gwiazdy te są gorące i mają jeszcze bardziej gorące otoczki, promieniujące najchętniej w ultrafiolecie, zaś badania w dalekim ultrafiolecie można wykonywać tylko spoza atmosfery ziemskiej przy użyciu rakiet i sztucznych satelitów Ziemi.

Przyczynę do przemyśleń nad powszechnością utraty materii z gwiazd dały ostatnio wyznaczenia mas niektórych pojedynczych zaawansowanych wiekiem gwiazd, znacznie niższe od wspomnianych na początku granicznych $0,7 M_{\odot}$. I tak masy tzw. cefeid karłowatych są szacowane na poziomie $0,2-0,25 M_{\odot}$, zaś masa *Aldebarana* (α Tauri) na $0,4 M_{\odot}$. Gdyby to były składniki układów podwójnych, to nie należałoby się niczemu dziwić, bowiem w układach podwójnych, a szczególnie ciasnych, możliwe jest wszystko. W tym przypadku, o ile przyszłe obserwacje potwierdzą wiarygodność tych wyznaczeń, oznaczałoby to silną utratę masy z gwiazd, które nie są ani bardzo jasne, ani bardzo rozdęte i w dodatku lekkie.

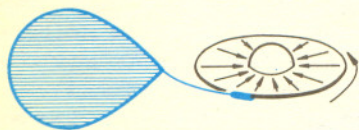
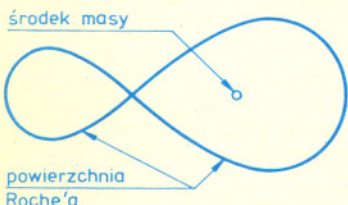
Do kompletu gwiazd tracących masę wypada na zakończenie dołączyć Słońce z jego wiatrem słonecznym. Wiatr słoneczny niesie bardzo mało masy, zaledwie dwukrotnie więcej niż ilość wypromieniowywana w postaci energii świetlnej ($E = m \cdot c^2$), ale zrozumienie mechanizmów decydujących o jego istnieniu (wiadomo, że bardzo skomplikowanych) jest bardzo ważne. Niewykluczone bowiem, że przyczyny utraty masy na znacznie większą skalę, szczególnie wśród chłodnych gwiazd, mogą być podobne jak w przypadku wiatru słonecznego. Wśród gorących gwiazd mechanizmy są zapewne inne, ale zamiast o tym pisać, skwitujmy to stwierdzeniem, że ciągle na ten temat za mało wiadomo.



Układ potrójny α Herculis.

Polary — podwójne gwiazdy wybuchowe o silnym polu magnetycznym

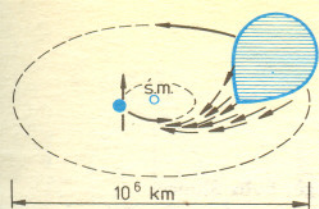
Doc. dr Wojciech KRZEMIŃSKI



Wśród gwiazd zmiennych niezmiernie interesującą grupę stanowią gwiazdy eruptywne nazywane też zmiennymi kataklizmicznymi. Do grupy tych gwiazd należą gwiazdy nowe, nowe powrotne, nowe karłowate (nazywane też gwiazdami typu U *Geminorum*) i nowopodobne. Najbardziej charakterystyczną obserwowaną cechą tych gwiazd są ich wybuchy, które dla gwiazd nowych czasami prowadzą do ponad milionkrotnego wzrostu ich jasności. Te zastanawiające wybuchy były już obserwowane w starożytności i zawsze stanowiły i stanowią źródło wielu pytań zadawanych astronomom, tak antycznym jak i współczesnym. Badania ostatnich dwudziestu pięciu lat, zintensyfikowane w ostatnim dziesięcioleciu, pokazały, że zmienne kataklizmiczne są układami ciasnych, oddziaływających ze sobą gwiazd podwójnych na zaawansowanych etapach ewolucji. Koncepcja modelu systemu eruptywnego, a w ogólności ciasnego systemu podwójnego, opiera się na podstawowym założeniu, że jeden ze składników wypełnia tzw. powierzchnię ekwipotencjalną (powierzchnię Roche'a) i wskutek ekspansji ewolucyjnej traci materię do wnętrza analogicznej powierzchni wokół swojego towarzysza. Gwiazda tracąca masę jest — dla większości systemów — około dwóch razy chłodniejsza od Słońca o rozmiarach niewiele odeń mniejszych, jej towarzysza jest natomiast „białym karłem”, gwiazdą o rozmiarach Ziemi, lecz temperaturze kilkunastu lub więcej tysięcy stopni. Strumień materii niosącej znaczny moment pędu tworzy szybko wirujący dysk wokół białego karła. W miejscu zetknięcia strumienia z dyskiem powstaje obszar o podwyższonej temperaturze, nazywany umownie „gorącą plamą”. Ponieważ składnik tracący masę jest gwiazdą chłodną, zaś masywny dysk pochłania większość promieniowania leżącego wewnątrz niego białego karła, obraz, jaki widzimy, jest różny od stereotypowych wyobrażeń: gwiazdy dają niewielki przyczynek do rejestrowanego promieniowania, które jest zdominowane przez przyczynki od źródeł pozagwiazdowych — gorącą plamę i dysk. Ten — jak się wydaje — niesprzeczny i ogólny model podwójnej gwiazdy eruptywnej wywodzi się z danych obserwacyjnych odnoszących się tak do stanu spokojnego, jak i wybuchowego tych gwiazd.

Oto krótkie zestawienie danych oparte na analizie około 30 podwójnych systemów eruptywnych: blisko 90% układów ma okresy orbitalne pomiędzy 1,3 i 10 godzin, masy składnika tracącego materię $0,1 \div 1,2 M_{\odot}$, masy białego karła $0,7 \div 1,2 M_{\odot}$; jasności nowych karłowatych wynoszą poza erupcjami około 40% L_{\odot} (jasności Słońca), nowych co najmniej dziesięć razy więcej. Nie ma zależności między masą składników gwiazdowych i charakterem wybuchu: całkowite energie są $\sim 10^5$ razy większe u nowych niż u nowych karłowatych, masy zaś identyczne. Promieniowanie gorącej plamy odbywa się kosztem energii kinetycznej dopływającego strumienia. Rozmiar plamy jest rzędu 10 tys. km (mniej niż 10% rozmiarów dysku). Zarówno plama jak i dysk są źródłem krótkookresowych (rzędu sekund) fluktuacji blasku. Masę nieprzezroczystego dysku szacuje się na $\sim 10^{-5} M_{\odot}$. Pomimo istnienia wielu niemal identycznych parametrów (np. masy) dla rozpatrywanej grupy gwiazd i kuszącej tendencji traktowania erupcji nowej karłowatej jako mini-wybuchu nowej, należy rozpatrywać je jako odrębne zjawiska. Najbardziej przekonującym mechanizmem erupcji nowej karłowatej (gdzie obserwuje się wielokrotne pojaśnienie centralnych części dysku bez jego znacznej ekspansji) jest uwolnienie energii grawitacyjnej zmagazynowanej w dysku przez gwałtowną akrecję (czyli osadzanie) materii na powierzchni białego karła. Problem powstania niestabilności w masywnym dysku prowadzącej do takiej zmasowanej akrecji jest obecnie przedmiotem wielu prac teoretycznych grupy warszawskich astrofizyków. Wybuchy gwiazd nowych są zadowalająco tłumaczone przez gwałtowną ekspansję zewnętrznych warstw białego karła, spowodowaną zainicjowaniem łańcucha reakcji termojądrowych w wyniku akrecji znacznej ilości materii bogatej w wodor; wyrzucona otoczka ma masę $\sim 10^{-5} \div 10^{-4} M_{\odot}$ i energię kinetyczną $\sim 10^{44} \div 10^{45}$ ergów. W konkluzji należy więc podkreślić, że u podłoża wszelkich mechanizmów powodujących kataklizmiczne wybuchy leży przepływ masy w osobliwym ciasnym układzie podwójnym, jakim jest gwiazda eruptywna.

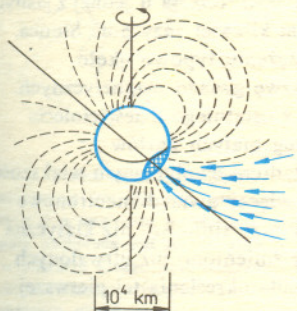
Prace obserwacyjne ostatniego dziesięciolecia pokazały, że około 6÷7% pojedynczych białych karłów posiada silne pole magnetyczne o natężeniu miliona do kilkunastu milionów gausów. Kuszącym było zatem sprawdzenie, czy i białe karły w podwójnych układach eruptywnych nie są również gwiazdami magnetycznymi. W latach 1976–1977 odkryto trzy układy eruptywne o silnych polach magnetycznych (100÷300 megagausów): *AM Herculis*, *AN Ursae Majoris*, *VV Puppis*. Wszystkie te układy charakteryzują się bardzo silnymi efektami działania pola magnetycznego, m.in. tzw. kołową polaryzacją ich promieniowania w dziedzinie optycznej i bliskiej podczerwieni ($\sim 1 \mu\text{m}$).



Obserwowana jest również i liniowa polaryzacja ich promieniowania. Właściwości polaryzacyjne doprowadziły do zaproponowania nazwy „polary” dla tej podklasy zmiennych kataklizmicznych.

Silne pole magnetyczne białego karła o natężeniu ~ 100 milionów gausów modyfikuje szereg procesów fizycznych w klasycznej zmiennej kataklizmicznej: (1) Akrecja nie jest już wtedy izotropowa, lecz zachodzi w „kolumnie akrecyjnej” wzdłuż linii sił pola magnetycznego. (2) Biały karzeł, który w systemie erupcyjnym bez pola magnetycznego szybko rotuje (okres rotacji rzędu jednej minuty), zostaje wyhamowany tak, że jest zwrócony do drugiej gwiazdy zawsze tą samą stroną (podobnie jak nasz Księżyc). (3) Istnienie dysku staje się mało prawdopodobne, gdyż gęstość energii magnetycznej jest na tyle duża, że „wypycha” materię znajdującą się w dysku niemal aż do orbity składnika tracącego masę w takim układzie podwójnym.

Jak widzimy, istnienie pola magnetycznego wokół białego karła otwiera ogromne bogactwo zjawisk towarzyszących akrecji materii na jego powierzchnię. Z akrecją tą związana jest emisja promieniowania, które nazywamy cyklotronowym i które jest wysyłane przez naładowane cząstki poruszające się w silnym polu magnetycznym. Promieniowanie to dotychczas można było wytwarzać i badać w bardzo kosztownych akceleratorach cząstek lub też badać za pomocą równie drogich satelitów. Poprzez obserwacje astronomiczne polarów w dziedzinie optycznej i podczerwieni również możemy uzyskiwać informacje o naturze promieniowania cyklotronowego i to w sposób znacznie mniej kosztowny.



Laboratorium w domu

Co i czym obserwować

Astronomia aż do najnowszych czasów nie była nauką eksperymentalną. Dzisiaj również nasze „Laboratorium w domu” nie będzie zaczynało się od słów „weź kamień księżycowy i polej go wodą królewską...”

Astronomowie mają do swojej dyspozycji największe laboratorium świata — bezgraniczny Wszechświat; jednak, niestety, nie są w nim jedynymi panami, więcej — nie są żadnymi panami i pozostaje im tylko podglądanie eksperymentów przeprowadzanych przez Naturę. Najpopularniejszym instrumentem służącym do podglądania i dostępnym dla każdego jest jego oko. Rejestruje ono przeważnie energię kwantów światła (czyli kolor) i jego natężenie. Czułość tego instrumentu można opisać wzorem

$$\text{wrażenie} = \text{stała} \times \log(\text{świetlenie}) + \text{inna stała}.$$

Z tego powodu jasność gwiazd podawana jest w tzw. wielkościach gwiazdowych m (z łac. *magnitudo*)

$$m = -2,5 \log(I) + c,$$

gdzie I jest ilością energii wpadającej do źrenicy, natomiast c jest dobrane tak, żeby było wygodnie.

Najjaśniejsza gwiazda — *Syriusz* — ma w tych jednostkach $-1^m,4$, natomiast najśłabsze gwiazdy widoczne gołym okiem mają jasność $+6^m$.

Niestety większość ciekawych obiektów na niebie ma jasność mniejszą i gołym okiem można oglądać tylko: Księżyc, niektóre planety, jasne komety i meteory, kilkadziesiąt gwiazd zmiennych, kilka gromad gwiazd i ledwo widoczne: mgławicę w Orionie i Wielką Galaktykę Andromedy.

Jednym z najprostszych i najłatwiej dostępnych przyrządów astronomicznych jest lornetka, zarówno teatralna, jak i pryzmatyczna. Im większa jest średnica obiektywów lornetki, tym większy jest jej zasięg. Lornetka o średnicy obiektywów 50 mm dodatkowo umieszczona na statywie (żeby nie drgała) roztacza przed nami nowy, wspaniały świat.

Można postarać się również o lunetę, a nawet o teleskop. Kupno ich w Polsce jest praktycznie niemożliwe. Trzeba je więc albo przywieźć z zagranicy, co drogo kosztuje, albo zrobić samemu, co nie jest bardzo trudne. Wszelkich rad oraz pomocy merytorycznej i technicznej udzielają oddziały Polskiego Towarzystwa Miłośników Astronomii. Oddział Warszawski PTMA mieści się w Centrum Astronomicznym im. M. Kopernika PAN, Warszawa, ul. Bartycka 18.

Mgr Tomasz CHLEBOWSKI

Gwiazdy magnetyczne

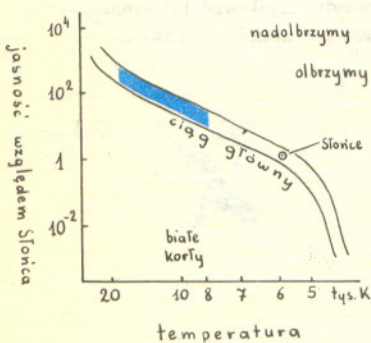
Doc. dr Kazimierz STĘPIEŃ



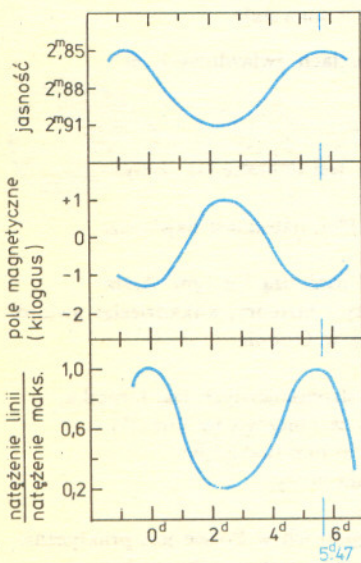
Pierwszą gwiazdą, u której wykryto istnienie pola magnetycznego, było Słońce. Ogólne pole magnetyczne Słońca jest jednak słabe, porównywalne z polem ziemskim. Poszukiwania pól magnetycznych u innych gwiazd nie przynosiły pozytywnych wyników przez wiele lat. Dopiero w 1947 r. astronom amerykański H. Babcock odkrył u jednej z jasnych gwiazd w gwiazdozbiornie Panny pole przewyższające natężeniem kilkaset razy pole Słońca. W następnych latach odkryto u wielu innych gwiazd pola o natężeniu typowo około $1000 \div 10\,000$ gausów ($= 0,1 \div 1$ tesli). Gwiazdy te otrzymały nazwę gwiazd magnetycznych. Do dziś zachowała ona swoje znaczenie, choć w świetle odkryć z ostatniego dziesięciolecia stała się nieco myląca. Okazało się mianowicie, że istnieje szereg białych karłów (zdegenerowanych, bardzo gęstych gwiazd, będących ostatnim stadium ewolucyjnym większości gwiazd) mających pola magnetyczne rzędu $10^7 \div 10^8$ gausów. Co więcej, gwiazdy neutronowe posiadają pola o natężeniu $\sim 10^{12}$ gausów, a więc sto milionów razy silniejsze niż klasyczne gwiazdy magnetyczne! Mimo to, dla uniknięcia zamieszania, nie zmieniono już utrwalonych w literaturze nazw i zachowano termin „gwiazdy magnetyczne” dla określenia tej pierwszej grupy gwiazd.

Dokładniejsze badania gwiazd magnetycznych pokazały, że tworzą one dość wyraźnie oddzieloną klasę gwiazd o charakterystycznych własnościach obserwacyjnych. Wszystkie leżą na ciągu głównym, a więc są w stadium palenia wodoru w jądrze. W tym samym stadium znajduje się Słońce, ale gwiazdy magnetyczne są od niego wyraźnie gorętsze. Ich temperatury na powierzchni wynoszą od 8000 K do około 18 000 K (rys. 1). Ciekawą ich własnością są okresowe zmiany blasku. Typowe okresy zmian są rzędu tygodnia, a typowe amplitudy — kilku procent. W niektórych wypadkach zmiany blasku zostały wykryte zanim stwierdzono obecność pola magnetycznego. Samo pole jest też zmienne, a okresy zmian pokrywają się z okresami zmian blasku. Ponadto gwiazdy magnetyczne posiadają widma istotnie różniące się od widm normalnych gwiazd. Jak wiemy, widmo daje nam informacje o składzie chemicznym atmosfery gwiazdowej. Otóż w widmach gwiazd magnetycznych, poza normalnymi liniami wodoru i wielu innych pierwiastków, występują silne linie niektórych egzotycznych pierwiastków nie obserwowanych w normalnych gwiazdach, np. europu, cyrkonu, skandu, gadolinu, a nawet uranu czy prometu, a linie innych, np. żelaza, chromu czy tytanu, są wyraźnie silniejsze niż w podobnych gwiazdach nie mających pola magnetycznego. Co więcej, w wielu wypadkach natężenia linii zmieniają się z tym samym okresem, co blask i pole magnetyczne (rys. 2). Nieobecność linii np. europu w normalnych gwiazdach nie oznacza, że nie ma go tam wcale. Badania Słońca pokazują, że europ (jak i inne wspomniane pierwiastki) jest obecny w atmosferze, ale w znikomych, śladowych ilościach. W efekcie linie widmowe tych pierwiastków są niezmiernie słabe i można je wykryć tylko w widmie Słońca. Jeżeli linie tych pierwiastków należą do najsilniejszych linii w widmach gwiazd magnetycznych, to zawartość ich musi być rzeczywiście znaczna. Jest to o tyle osobliwe zjawisko, że gwiazdy ciągu głównego mające w atmosferach materię, która nie uległa przemianom z wnętrzem, wykazują jednakowy skład chemiczny, charakterystyczny dla materii międzygwiazdowej, z której powstały. Skąd nagle więcej niektórych pierwiastków w gwiazdach magnetycznych? Należy dodać, że zwiększenie zawartości różnych pierwiastków nie jest jednakowe we wszystkich gwiazdach magnetycznych. Zawartości te różnią się znacznie od gwiazdy do gwiazdy i czasami danego pierwiastka jest tysiąc razy więcej niż na Słońcu, a czasami aż sto tysięcy razy więcej.

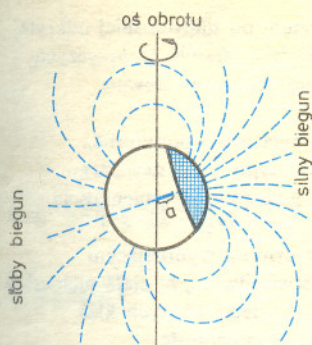
Tyle obserwacje. Rodzą one szereg pytań, na które musi odpowiedzieć teoria. A więc: skąd się biorą tak silne pola magnetyczne? Dlaczego występują tylko w podanym wyżej zakresie temperatur? Co powoduje obserwowaną zmienność pola, blasku i natężeń linii? Skąd się wzięły osobliwości składu chemicznego? Nie na wszystkie z tych pytań mamy jednoznaczną odpowiedź. Nie będziemy tu jednak dyskutować szczegółowo różnych hipotez i teorii dotyczących tego zjawiska, a przedstawimy raczej te najbardziej prawdopodobne, które zyskały największe poparcie obserwacyjne i są najbardziej zaawansowane w sensie szczegółowego opracowania. Otóż wydaje się, że obserwowane pola magnetyczne są pozostałościami słabych pól występujących w materii międzygwiazdowej. Gdy z obłoku takiej materii powstaje gwiazda przez jego zagęszczenie, pole magnetyczne ulega też ściśnięciu wraz z materią i jego natężenie znacznie rośnie. Gwiazdy chłodniejsze niż wymieniona poprzednio dolna granica temperatury mają grubą otoczkę, w której występuje gwałtowne mieszanie materii (turbulencja). Wciąga ono zapewne pola magnetyczne do wnętrza gwiazdy, tak że nie obserwujemy go na powierzchni (przynajmniej z natężeniami rzędu kilogausa). Gwiazdy gorętsze niż górna granica tracą materię przez intensywny wiatr gwiazdowy, a więc atmosfery ich są też w stanie turbulencji. Ponadto wirują one



Rys. 1. Położenie gwiazd magnetycznych na diagramie Hertzsprunga-Russella (obszar zakreślony).



Rys. 2. Zmiany jasności w barwie żółtej, pola magnetycznego i natężenia linii pierwiastków ziem rzadkich w jednej z najjaśniejszych gwiazd magnetycznych $\alpha^2 CVn$, mającej okres 5,47 doby.



Rys. 3. Model gwiazdy magnetycznej. Pole magnetyczne jest dipolem, przesuniętym na odległość a względem środka gwiazdy. Oś dipola nachylona jest do osi rotacji, a w obszarze silnego pola magnetycznego (zakreskowanym) występuje koncentracja niektórych pierwiastków.

bardzo szybko, co wywołuje w nich wielkoskalowe tzw. prądy południkowe mogące również wciągnąć pole pod powierzchnię. Przedział $8000 \div 18\,000$ K jest pod tym względem najspokojniejszy, choć i tu gwiazdy szybko wirujące nie powinny mieć pól magnetycznych. Istotnie, obserwuje się taką korelację. Samo pole jest dipolem i to dość osobliwie umiejscowionym: nie dość, że jego oś nachylona jest do osi rotacji gwiazdy, to jeszcze jest on przesunięty od środka gwiazdy wzdłuż osi magnetycznej. W efekcie jeden biegun magnetyczny jest wyraźnie silniejszy niż drugi (rys. 3). Brak konwekcji i wiatru gwiazdowego powoduje, że atmosfery tych gwiazd są stabilne, a pole magnetyczne dodatkowo je stabilizuje. Przy braku jakichkolwiek ruchów w atmosferze pierwiastki mogą swobodnie dyfundować przez wodorowy gaz stanowiący *gros* atmosfery. Grawitacja ściąga pierwiastki w dół, ale ciśnienie promieniowania, powstające wskutek pochłaniania kwantów światła w liniach absorpcyjnych, wypycha je do góry. W zależności od tego, która z tych sił jest większa (i o ile), pierwiastek „tonie” w atmosferze lub zbiera się w jej górnej części. Szereg obliczeń pokazało, że te pierwiastki, których obserwujemy nadobfitość w stosunku do Słońca, ulegają wypychaniu w różnym tempie. Szczegółowe rachunki są bardzo złożone i wymagają znajomości wielu niepewnych wciąż parametrów. Na dyfuzję ma istotny wpływ pole magnetyczne, stąd w niektórych miejscach gwiazdy obserwujemy więcej, a w innych mniej danego pierwiastka. Mamy więc jakby plamy chemiczne związane z polem magnetycznym. Tam, gdzie pierwiastków ciężkich jest więcej, pochłaniają one w liniach więcej promieniowania, szczególnie w nadfiolecie, gdzie mają bardzo dużo linii i reemitują je w postaci promieniowania termicznego, a więc głównie w części widzialnej. Dlatego obserwacje fotometryczne w danym pasmie widmowym dają kilkuprocentowe fluktuacje blasku związane z plamami chemicznymi. Okres wszystkich zmian jest równy okresowi rotacji gwiazdy, która powoduje, że raz oglądamy okolice bieguna, potem równika magnetycznego, a potem drugiego bieguna.

Zadania



Redaguje mgr Tomasz CHLEBOWSKI

A1. Zasada kosmologiczna mówi, że Wszechświat jest w każdym punkcie taki sam. Innymi słowy, jego geometria nie wyróżnia żadnych punktów. Czy to stwierdzenie nie jest sprzeczne z prawem Hubble'a?

Prawo Hubble'a mówi, że prędkości oddalania się galaktyk od nas są proporcjonalne do odległości

$$v_r = H \cdot r,$$

gdzie H jest tzw. stałą Hubble'a i wynosi $H = 50 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$, Mpc — megaparsek, czyli milion parseków.

Rozwiązanie na str. 2

A2. a) Dobą słoneczną nazywamy czas pełnego obiegu Słońca w ruchu dobowym wokół osi świata (tzn. prostej przechodzącej przez bieguny planety: północny i południowy). Ile dób słonecznych ma rok na Uranie, jeśli trwa on $a_U = 84,02$ lat ziemskich, a obrót planety w układzie inercyjnym trwa $d_U = 10^4 49^m$?

Uwaga! Uran toczy się po orbicie jak beczka w swoim ruchu wokół Słońca; kąt nachylenia osi obrotu (osi świata) do wektora normalnego do płaszczyzny orbity wynosi aż $\varepsilon_U = 98^\circ$.
Rozwiązanie na str. 3

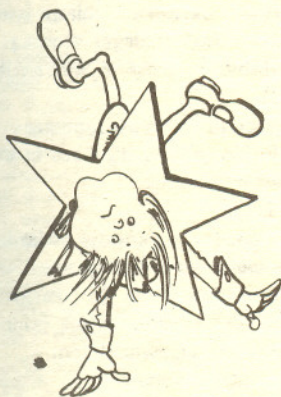
b) Na jakich szerokościach „uranograficznych” φ nie występują dnie i noce polarne. Dzień polarny oznacza, że Słońce znajduje się ponad horyzontem dłużej niż jedna doba słoneczna.

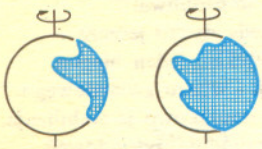
Rozwiązanie na str. 7

A3. Obrazy wielu obiektów astronomicznych oglądanych z różnych stron lub w różnych miejscach sfery niebieskiej są kołami.

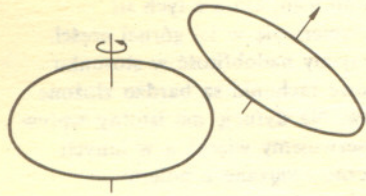
Wykazać, że powierzchnią bryły, której rzut prostokątny na dowolną płaszczyznę jest kołem, musi być powierzchnia kuli.

Rozwiązanie na str. 17

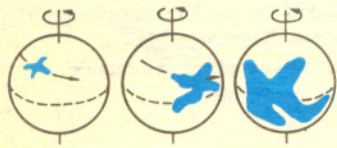




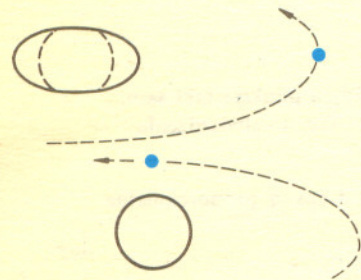
Rys. 1



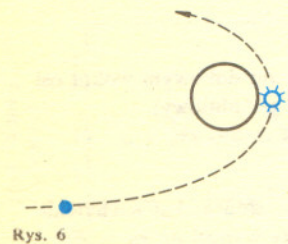
Rys. 2



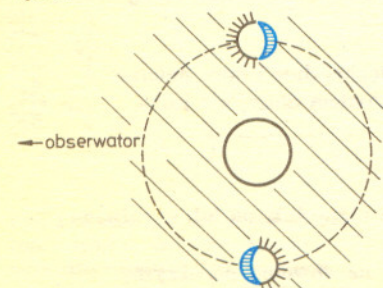
Rys. 3



Rys. 5



Rys. 6



Rys. 7

Jedną z ciekawszych klas gwiazd są cefeidy, które swą nazwę wzięły od najwcześniej odkrytej δ Cefeusza. Są to gwiazdy zmienne o okresie od 1 do 100 dni. Dzisiaj wiemy, że przyczyną zmian jasności tych gwiazd są pulsacje — okresowe zmiany objętości spowodowane niestabilnym wypływem energii z wnętrza gwiazdy.

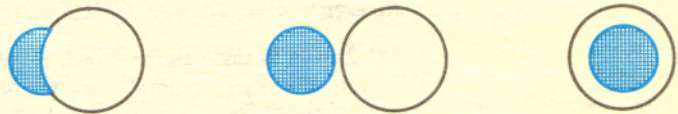
W przeszłości jednak taka teoria wyjaśniająca zmienność cefeid była mało popularna. Wymyślano dziesiątki innych hipotez, myląc przy tym zmienność typu geometrycznego i mechanicznego (kiedy jest to efekt zaćmień lub obrotu stałej gwiazdy) ze zmiennością fizyczną (kiedy jasność gwiazdy istotnie zmienia się w czasie).

W starożytności uważano, że wahania jasności są zjawiskiem pozornym, wynikającym z okresowego przybliżania i oddalania się gwiazd. Jednak kiedy stwierdzono, że ciała niebieskie znajdują się w ogromnych odległościach i kiedy odkrywano coraz więcej różnych klas gwiazd zmiennych, zaczęto poszukiwać teorii lepiej tłumaczących tę zmienność.

W 1651 roku — 55 lat po odkryciu pierwszej zmiennej okresowej — *Miry Ceti* (czyli *Cudownej Gwiazdy Wieloryba*) i 41 lat po pierwszej obserwacji plam na Słońcu — Riccioli opublikował hipotezę, że przyczyną wszelkich zmian jasności gwiazd jest jednostajny obrót ciał o nierówno jasnej powierzchni (rys. 1). Przez prawie sto lat była to jedyna teoria próbująca tłumaczyć to zjawisko. W połowie XVIII wieku powstały dwie następne hipotezy. Maupertuis twierdził, że ruch osi symetrii elipsoidalnych gwiazd o różnych spłaszczeniach wywołany oddziaływaniem hipotetycznych planet krążących wokół nich powinien tłumaczyć wszelkie zmiany, natomiast Cassini utrzymywał, że wystarczy uwzględnić precesję czyli obrót osi bezwładności wokół osi rotacji (ruch bąka, rys. 2), aby wyjaśnić zmienność gwiazd. Dopiero w 1852 roku Wolf — słynny szwajcarski badacz plam słonecznych — wysunął pierwszą czysto fizyczną interpretację wahań jasności gwiazd długookresowych. Stwierdził on, że istnieje duże podobieństwo między wykresami zmian jasności gwiazd i występowania plam na Słońcu. Doprowadziło to do powstania hipotezy, że raczej okresowe powstawanie i zanikanie plam na powierzchni gwiazdy jest czynnikiem odpowiedzialnym za zmiany jasności. Nieco wcześniej Zöllner opublikował przypuszczenie, że może okresowo na pewnej części powierzchni gwiazdy rozbudowuje się czapa stygnącego żużlu, która w wyniku obrotu dryfuje w kierunku równika.

Obrót kuli z czapą powoduje więc zmiany jasności.

Blisko 200 lat temu, w 1783 roku Goodricke wysunął pogląd, że zmiany blasku gwiazdy *Algol* (nazwa prawdopodobnie pochodzi z arabskiego „zmienny duch”) wynikają z zasłaniania jaśniejszej gwiazdy przez obiegające ją ciemne ciało (rys. 4). Rzeczywiście istnieją takie układy zaćmieniowe, ale nie każdą zmienność gwiazd można wytłumaczyć tym zjawiskiem.



Rys. 4

Efekty „podwójności” inne niż zaćmienia mogą jednak wywoływać okresowe zmiany jasności. W 1865 r. Klinkerfues, rozważając gwiazdę jako sztywną kulę z dość rozległą otoczką gazową stwierdził, że zniekształcenie przepływowe powodowałoby, że czasami wiodlibyśmy wydłużoną tarczę gwiazdy, co zwiększałoby jej jasność (rys. 5).

Dokładnie sto lat temu, w 1879 roku, niemiecki astrofizyk Ritter przedstawił hipotezę, że przyczyną zmienności niektórych gwiazd mogą być ich pulsacje, jednak hipoteza ta nie była dostatecznie silnie umotywowana i w dalszym ciągu powstawały inne, próbujące wyjaśnić dziwne zachowanie chociaż niektórych gwiazd.

Na przełomie XIX i XX wieku wysunięto dwie kolejne teorie wiążące zmienność gwiazd z ich podwójnością. Jedną z nich upatrywała źródło zmian w ciemnym towarzyszu, który, krążąc po silnie wydłużonej orbicie eliptycznej, podczas zbliżania się do jasnego składnika rozgrzewa się i przez pewien czas świeci zwiększając tym samym ogólną jasność układu (rys. 6); inna teoria próbowała tłumaczyć zjawisko zmienności gwiazd tym, że mniej masywna gwiazda, okrążając środek ciężkości układu, „trze o materię międzygwiazdową” rozgrzewając przez to jeden ze swoich boków, który zaczyna świecić jaśniej. W wyniku obrotu układu obserwujemy zmiany jasności (rys. 7).

Następne dwie hipotezy, które powstały w pierwszych latach naszego wieku, odnosiły się do jeszcze innego zjawiska. Brester w 1908 roku rozwinął teorię, zgodnie z którą zmiany jasności mogą być spowodowane okresową kondensacją chmur nieprzezroczystej materii (kropel lub pyłu), które następnie parują ogrzane przez ciepło zgromadzone w głębszych warstwach.

Kilka lat później pojawiła się tzw. „teoria gejzerów”, według której powierzchnia gwiazdy mogłaby być skorupą rozpadającą się w pewnych miejscach po dłuższym lub krótszym okresie pod wpływem rosnącego ciśnienia magazynowanego ciepła.

W przededniu I wojny światowej Shapley opublikował teorię nieradialnych oscylacji gwiazd, tzn. okresowych zmian kształtu na skutek niestabilnego wypływu energii.



O obracającej się kropki — — raz jeszcze



Rozwiązanie zadania A3

Rzutem prostokątnym bryły K na dowolną płaszczyznę P_1 jest koło k_1 o promieniu r_1 i środku O_1 . Bryła K zawiera się w walcu, którego osią jest prosta l_1 prostopadła do płaszczyzny P_1 i przechodząca przez punkt O_1 , jego promień wynosi r_1 . Każda prosta prostopadła do płaszczyzny P_1 i przebijająca ją w punkcie należącym do k_1 ma przynajmniej jeden punkt wspólny z K . Wykażemy, że osie wszystkich walców zbudowanych w ten sposób przecinają się (lub pokrywają) a ich promienie są równe ($= r$). Gdyby osie l_1 i l_2 dwóch walców W_1 i W_2 nie miały punktów wspólnych, lub r_1 nie było równe r_2 , to na prostej prostopadłej do obu osi i przecinającej je można by znaleźć taki punkt P , że $P \in W_1$ i $P \notin W_2$, albo $P \in W_2$ i $P \notin W_1$. Jeśli $P \in W_1$, to prosta $p_1 \parallel l_1$ przechodząca przez punkt P musiałaby jednocześnie mieć punkt wspólny z K ($p_1 \in W_1$) i być rozłączna z K , (gdyż $p_1 \notin W_2$). Tak samo w przypadku, gdy $P \in W_2$. Wykażemy teraz, że osie wszystkich rozważanych walców przecinają się w jednym punkcie. Niech O będzie punktem przecięcia dwóch dowolnych osi l_1 i l_2 . Dowolna oś l_3 nie leżąca na płaszczyźnie wyznaczonej przez l_1 i l_2 przecina te płaszczyzny w jednym punkcie. Musi jednak przecinać zarówno l_1 jak i l_2 . Zatem osie nie leżące w tej płaszczyźnie muszą przechodzić przez O . O osiach leżących w powyższej płaszczyźnie można powiedzieć to samo, rozważając punkty przecięcia płaszczyzny wyznaczonej przez np. l_1 i l_2 z różnymi osiami. Zatem częścią wspólną wszystkich rozważanych walców jest kula K_0 o środku O i promieniu r . Każdy punkt powierzchni tej kuli należy do bryły K . Istotnie, każda styczna s do kuli K przebija rzutnię w punkcie należącym do rzutu bryły K . A więc s zawiera przynajmniej jeden punkt należący do K . Może być nim jedynie punkt styczności prostej s i kuli K_0 . Z powyższego wcale nie wynika, że wszystkie punkty wnętrza kuli K_0 należą do bryły K — może być ona zrobiona z sera szwajcarskiego. Podobnie z faktu, że obraz Słońca oglądane z różnych stron jest kołem nie wynika, że Słońce wewnątrz nie jest puste.

Oczywiście każda z wyżej wymienionych hipotez wiąże się z wieloma konsekwencjami i ograniczeniami. W wyniku dokładnej analizy obserwacji zmian jasności oraz analizy widm cefeid trzeba było odrzucić *wszystkie* hipotezy oprócz teorii pulsacji, za którą przemawiają obecnie wszystkie znane argumenty.

Jednak kolejny kłopot sprawiła próba odpowiedzi na pytanie, dlaczego cefeidy pulsują, co je napędza, jak sprawny jest to silnik i jak długo może działać.

Doc. dr Jerzy STODÓŁKIEWICZ

W numerze 11 (59) Deltę zamieszczony był fragment starego podręcznika M. Heilperna „Pogadanki o Tajemnicach Przyrody”, w którym wskazano, jak doświadczalnie można symulować spłaszczony (elipsoidalny) kształt obracających się ciał niebieskich. I rzeczywiście, obracające się obiekty astronomiczne: Ziemia, inne planety, gwiazdy, galaktyki w wyniku obrotu przybierają kształty w mniejszym lub większym stopniu (zależnie od szybkości rotacji) odbiegające od kul. Lecz to, co podpowiada nam intuicja, że tak musi być zawsze, okazuje się złudne. Można wyobrazić sobie obiekty, które, mimo iż obracają się, mogą przez długi czas (przez wiele obrotów) zachować kształt kuli. Właśnie „wyobrazić”, a nie „odkryć je na niebie”, gdyż trudno wskazać naturalne sposoby, które mogłyby prowadzić do ich powstania. Można jednak przeprowadzić doświadczenie myślowe, które prowadziłoby do powstania obracającego się, a mimo to kulistego układu gwiazdowego. Układem gwiazdowym nazywamy zbiorowisko (zwykle wielu) gwiazd poruszających się w przestrzeni pod wpływem wzajemnych sił grawitacji. Wyobraźmy sobie nie obracający się sferyczno-symetryczny układ gwiazdowy. Gwiazdy poruszają się w nim po orbitach obejmujących środek masy układu a leżących w płaszczyznach dowolnie zorientowanych w przestrzeni. Załóżmy, że w układzie naszym mamy bardzo dużo gwiazd. Dobrymi przykładami układów spełniających te warunki są gromady kuliste (składające się z setek tysięcy lub milionów gwiazd), albo galaktyki typu E0 (na zdjęciach nieba wyglądają one jak okrągłe plamki, a są zbudowane z setek miliardów gwiazd).

Decydującą rolę w określeniu kształtu torów gwiazd w gromadzie gra siła oddziaływania całego układu na poszczególne gwiazdy; w pierwszym przybliżeniu gwiazdy poruszają się tak, jak gdyby siła grawitacyjna pochodziła nie od poszczególnych gwiazd, lecz od ośrodka ciągłego wypełniającego gromadę z gęstością proporcjonalną w każdym miejscu do średniej liczby gwiazd w jednostce objętości. Ponieważ gęstość ta prawie nie zmienia się w czasie, przeto i orbity gwiazd pozostają niezmiennie. Dopiero bliskie przejścia gwiazd w pobliżu siebie powodują znaczniejsze zmiany ich orbit. Ale zachodzi to bardzo powoli, wymaga okresów trwających miliardy lat. Jeżeli interesują nas okresy krótkie (powiedzmy, jakieś kilkadziesiąt milionów lat), to możemy uznać, że orbity gwiazd nie zmieniają się. Żaden zwrot ruchu gwiazd po ich orbitach nie jest wyróżniony, stąd moment pędu gwiazd w każdym miejscu w gromadzie (tzn. suma momentów pędu gwiazd znajdujących się w dowolnej części gromady) wynosi zero.

A więc, mimo iż każda z gwiazd obiega środek masy gromady i ma moment pędu na ogół od zera różny, gromada jako całość nie obraca się i nie dziwnie, że ma kształt kulisty. Przywołajmy teraz na pomoc demona Maxwella. Wiadomo, że osobnik ten umie bardzo wiele. Potrafi z naczyń z gazem wybierać określone cząstki, zmieniać kierunek biegu gwiazd, przenosić różne obiekty z jednych układów do innych... Jest w stanie robić jeszcze wiele innych rzeczy, o których nie mamy nawet pojęcia. W naszej gromadzie demon Maxwella najpierw zamontuje półpłaszczyznę (ma on w swym magazynie dowolne twory, figury i bryły geometryczne) tak, by jej krawędź przechodziła przez środek gromady. Następnie usiądzie on na tej krawędzi i będzie chwycił każdą gwiazdę przelatującą przez półpłaszczyznę. Ponieważ gromada nie obraca się, gwiazdy będą nadlatywać z obu stron. Połowa z nich przebijając będzie półpłaszczyznę z jednej strony, połowa — z przeciwnej. Demon Maxwella przepuszczać będzie jednak bez zakłóceń ich ruchu tylko gwiazdy nadlatujące ku nam. Pozostałe — te, które docierają z naszej strony, zostają przez niego zawrócone na swych orbitach; zwrot ich prędkości zostaje zmieniony na przeciwny. Gwiazdy te poruszają się będą teraz wzdłuż tych samych torów co poprzednio, ale w przeciwnym kierunku. Nie uległ jednak zmianie rozkład gwiazd w gromadzie, nie zmieniły się orbity gwiazd, zachował się więc kulisty kształt gromady. Ale gromada już obraca się (jej moment pędu i zwrot prędkości katowej skierowane są teraz wzdłuż krawędzi półpłaszczyzny), gwiazdy biegną po swych orbitach wszystkie w tym samym kierunku.

Przy pomocy demona Maxwella uzyskalimy więc taki układ, o jaki nam chodziło: kulisty i obracający się. Demon Maxwella podczas naszego doświadczenia dostarczał układowi momentu pędu (nie zmienił jednak jego energii). Teraz już na zawsze gromada zachowa nadany jej moment pędu (chyba, że — jak to bywa w rzeczywistości — byłby on unoszony przez gwiazdy stopniowo uciekające z gromady) i zawsze się będzie obracać. Ale istotna zmiana jej kulistego kształtu będzie mogła zaznaczyć się dopiero po tysiącach obrotów gromady wtedy, kiedy po miliardach lat bliskie spotkania między gwiazdami doprowadzą do znacznych perturbacji ich orbit.