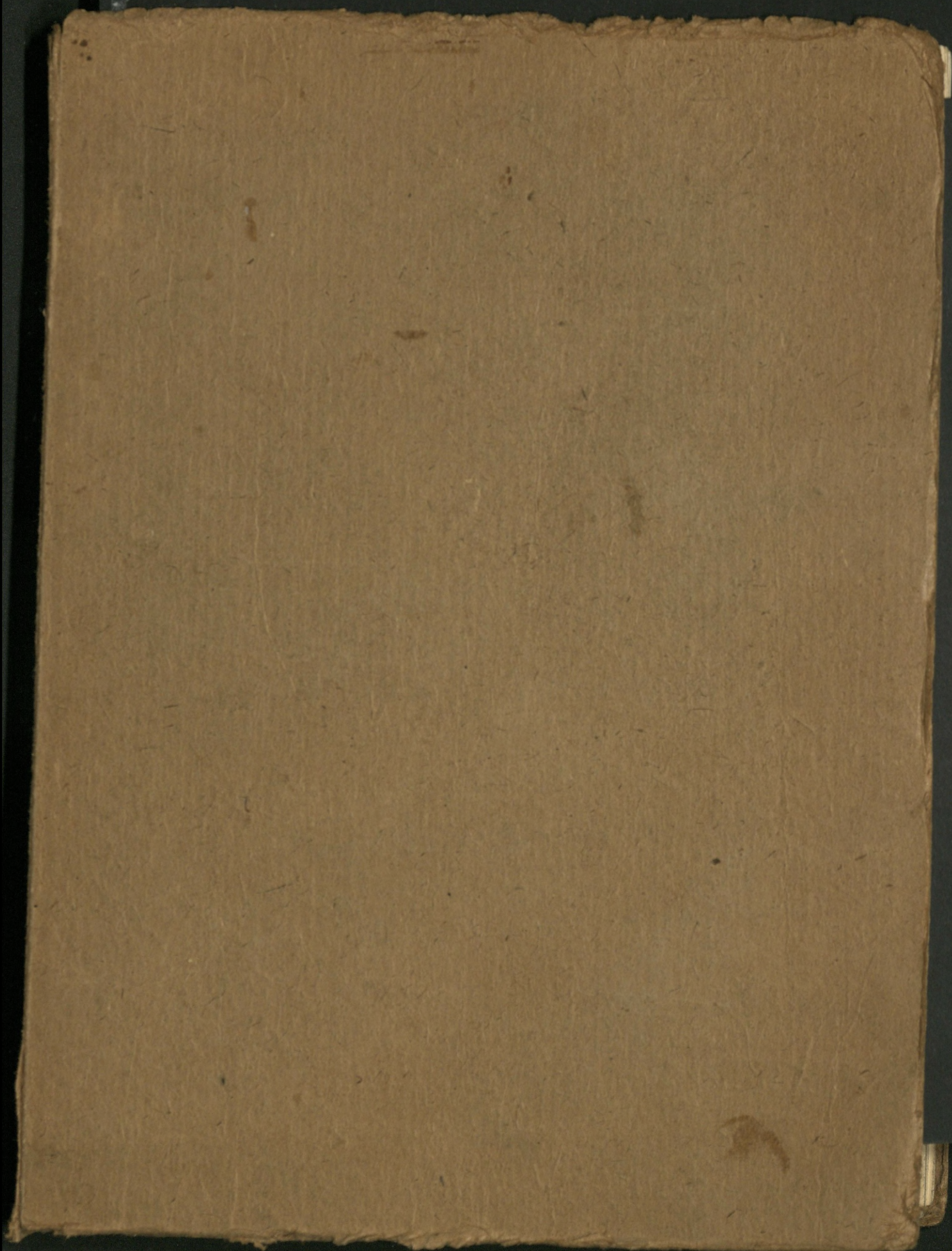
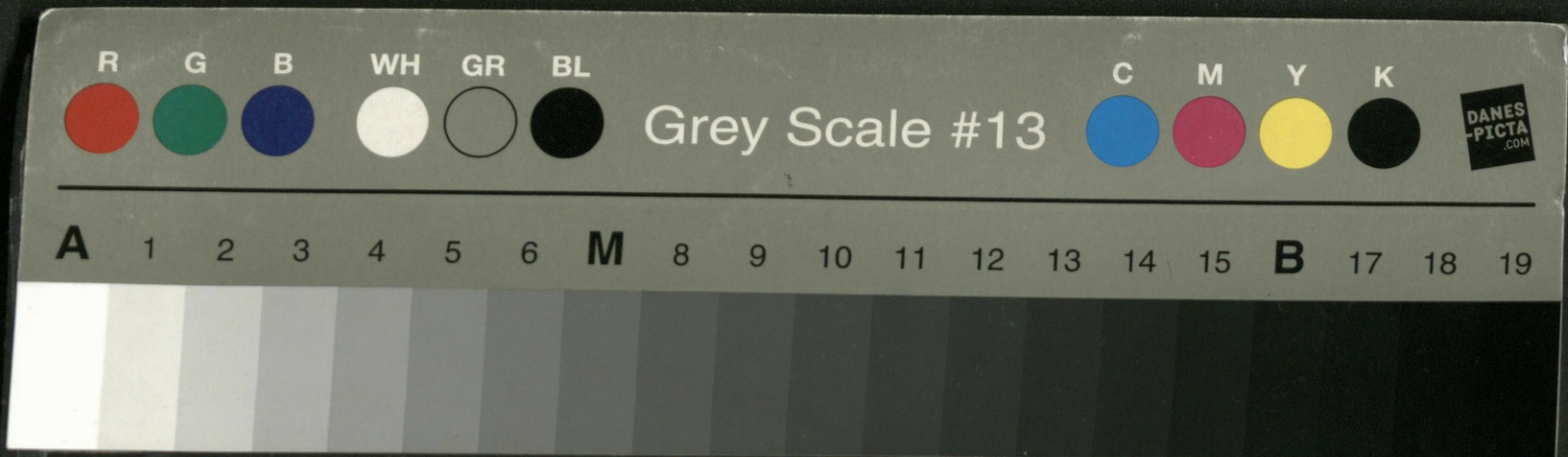
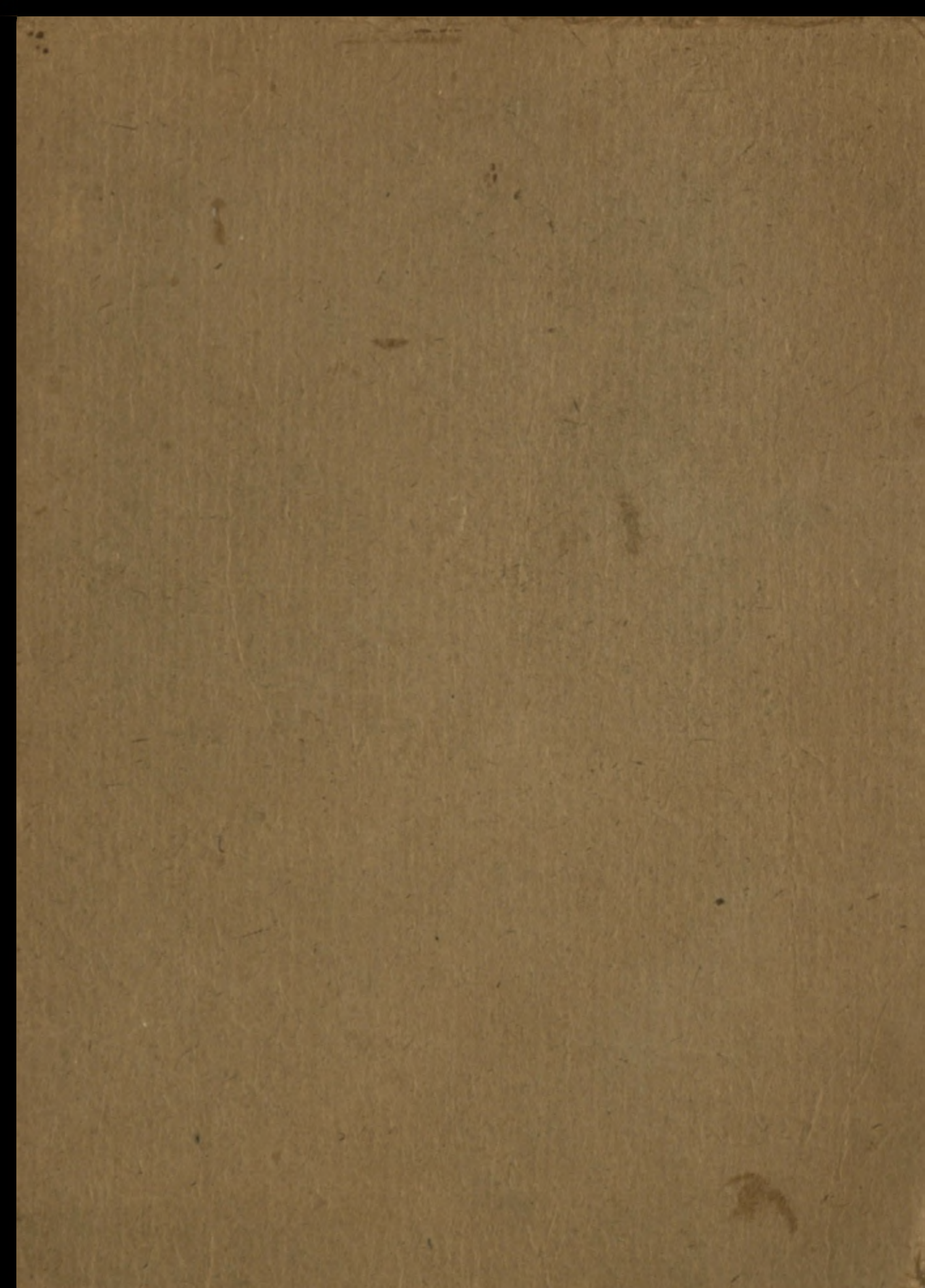








BIBLIOTEKA „MATHESIS POLSKIEJ“

BIBLIOTEKA

Wyższe! Szkoły Polil. - Wych.

BIBLIOTEKA
„MATHESIS POLSKIEJ”
SERIA NAUK ŚCISŁYCH

SIR JAMES JEANS
WSZECHŚWIAT

Przełożył
DR WŁ. KAPUŚCIŃSKI

Wydanie drugie przerobione

SPÓŁDZIELNIA WYDAWNICZA »CZYTELNIK«
1947

BIBLIOTEKA

Wielkiej Szkoły Polit. - Wych.



J. H. Jeans.

WSZECHŚWIAT

GWIAZDY ★ MGŁAWICE ★ ATOMY

NAPISAŁ

SIR JAMES JEANS

M. A., D. Sc., Sc. D., LL. D., F. R. S.

PRZEŁOŻYŁ

DR WŁ. KAPUŚCIŃSKI

PROFESOR UNIW. WARSZAWSKIEGO

*Wydanie drugie według czwartego
całkowicie przerobionego wydania
oryginału*

BIBLIOTEKA

Wyższej Szkoły Polit. - Wych.



SPÓŁDZIELNIA WYDAWNICZA »CZYTELNIK«

1947

Tytuł oryginału

THE UNIVERSE AROUND US

Pierwsze wydanie oryginału	1929
Przedruki	1929, 1930
Drugie wydanie oryginału	1930
Przedruki	1930, 1931
Trzecie wydanie oryginału	1933
Przedruk	1938
Czwarte wydanie oryginału	1944
Przedruk	1945

Pierwsze wydanie polskiego przekładu
(według drugiego wydania oryginału) 1932
Drugie wydanie polskiego przekładu
(według czwartego wydania oryginału) 1947

Z

~~1453/2~~

27479/2

BIBLIOTEKA

Wyższe Szkoły Politechniczne - Wydz.

d. inż. 1255 8445

WSZELKIE PRAWA ZASTRZEŻONE

Redaktor Stanisław Kosiński

DRUK W. L. ANCZYC I SP. W KRAKOWIE
688

M-14720

PRINTED IN POLAND

PRZEDMOWA

Książka niniejsza zawiera krótki, popularnie ujęty przegląd metod i wyników badań astronomii współczesnej, zarówno opisowej jak teoretycznej. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniom kosmogonii i ewolucji ciał niebieskich oraz ogólnej budowy Wszechświata. Celem moim — być może trudnym do osiągnięcia w całości — było dać książkę zrozumiałą dla czytelników, nie posiadających specjalnego przygotowania naukowego.

Poruszam w niej, między innymi, rzeczy, które były przedmiotem wykładów, wygłoszonych ostatnimi czasy w uniwersytecie, jako też innych odczytów i pogadanek radiowych z jesieni 1928 r. Wprawdzie zmuszony byłem całkowicie przerobić te odczyty, w każdym razie jednak ci, którzy życzyli sobie, bym ogłosił je drukiem, znajdą w książce niniejszej ich treść istotną.

DORKING, 1 maja 1929

J. H. Jeans

PRZEDMOWA DO CZWARTEGO WYDANIA

W czasie, który upłynął od pojawienia się trzeciego wydania, astronomia kroczyła dalej po triumfalnej drodze postępu. Może najbardziej godnym uwagi epizodem było tu odkrycie, że fizyka jądra atomowego nie tylko daje zadowalające wyjaśnienie promieniowania Słońca i gwiazd, lecz również tłumaczy liczne, dotychczas zagadkowe ich cechy: największe i najmniejsze części składowe przyrody — gwiazda i jądro atomu — spotkały się i rzuciły wzajemnie na siebie snop światła, który tak znacznie posunął naprzód naszą wiedzę o nich. Wobec tych oraz innych wybitnych osiągnięć okazało się rzeczą konieczną wprowadzenie licznych zmian i uzupełnień w książce. Znaczna jej część została napisana na nowo, prawie cała reszta zaś gruntownie poprawiona.

DORKING, we wrześniu 1943

J. H. Jeans

OD TŁUMACZA

W dniu 16 września 1946 r. zakończył życie, przeżywszy lat 69, autor niniejszej książki, sir James Hopwood Jeans.

Znakomity ten fizyk i astronom rozpoczął swą karierę naukową badaniami z zakresu teorii kinetycznej gazów i teorii promieniowania. W tej dziedzinie dowiódł ściśle, że panująca podówczas fizyka klasyczna zawodzi całkowicie, że zatem zastąpić ją musi wysunięta niedawno przez Plancka teoria kwantów.

W dalszych swych badaniach Jeans poświęcił się niemal wyłącznie astronomii, a mianowicie zagadnieniom z zakresu dynamiki układów gwiazdowych oraz kosmogonii. Otrzymane wyniki zebrał m. in. w podstawowej pracy pt. «Zagadnienia kosmogonii i dynamiki gwiazdowej» (1919) oraz w obszernym dziele pt. «Astronomia i kosmogonia» (1928). Jakkolwiek nie wszystkie wnioski, do których w pracach tych doszedł, zostały potwierdzone przez badania późniejsze, są to dzieła o wartości nieprzemijającej, pełne myśli świetnych, ujęć mistrzowskich, wspaniałych rozwinięć matematycznych. Teorie kosmogoniczne Jeansa są do dzisiejszego dnia najlepsze, najbardziej spójne i konsekwentne spośród wszystkich istniejących.

Świat naukowy wynagrodził znakomitego badacza licznymi wysokimi zaszczytami i wyróżnieniami. W r. 1928 otrzymał od króla Jerzego V tytuł szlachecki.

Jednakże twórczość ściśle naukowa nie wyczerpywała w całości zainteresowań Jeansa. W ostatnich kilkunastu latach zajął się on żywo filozoficznymi aspektami fizyki nowoczesnej, które — jak wiadomo — wiążą się z rewolucyjnym przeobrażeniem zasadniczych pojęć nauki o przyrodzie. Jedno-

czesnie rozwijał żywą działalność popularyzacyjną, idąc w ślady wielu wybitnych uczonych angielskich, że wymienimy tu tylko Faradaya, Tyndalla, Maxwella. Jeans posiada w wysokim stopniu dar przedstawiania rzeczy nawet trudnych i abstrakcyjnych w sposób niezmiernie żywy i pociągający, przystępny dla szerokich rzesz czytelników interesujących się nauką.

Dotyczy to w szczególności książki niniejszej, której nowe, całkowicie przerobione i uzupełnione wydanie ma służyć teraz czytelnikowi polskiemu.

Po mistrzowsku przedstawił w niej Jeans potężny dramat rozgrywający się ciągle i wszędzie wokół nas — dramat życia Wszechświata. Przesuwają się przed nami wszystkie jego akty: od najdalszej, niewyobrażalnie odległej przeszłości, gdy powstawały mgławice i gwiazdy — do tych wieków przyszłych, równie dalekich, gdy ewolucja Wszechświata dobiegnie kresu; zwiedzamy wszystkie sceny dramatu: od wnętrza jądra atomu — do wizji Kosmosu jako całości...

Jeans nie ogranicza się jednak do przedstawienia wyników badań astronomicznych; porusza on także zagadnienia, przemawiające nie tylko do umysłu, lecz również do wyobraźni i uczucia.

Książka taka jak niniejsza sprzyja oderwaniu myśli choć na chwilę od zamętu i niepokoju życia codziennego i uczy patrzeć na świat wokół nas z punktu widzenia kosmicznego — *sub specie aeternitatis*.

WARSZAWA, w marcu 1947 r.

W. K.

TREŚĆ

	Str.
<i>Wstęp</i> — Astronomia	1
<i>Rozdział I</i> Niebo	14
II Atom	109
III Czas	169
IV Gwiazdy	181
V Geneza światów	235
VI Układ słoneczny	266
VII Początek i koniec	309
<i>Skorowidz</i>	325

TABLICE

Portret J. H. Jeansa Tablica tytułowa

Tablica		Str.
I	Odkrycie Plutona	obok 20
II	Droga Mleczna w okolicy Krzyża Południowego . .	po 20
III	Droga Mleczna w okolicy ρ Wężownika	po 20
IV	Najjaśniejsza część Drogi Mlecznej — Chmura gwia- zdowa w Strzelcu	obok 21
V	Wycinek części zewnętrznej wielkiej mgławicy <i>M</i> 31 w Andromedzie	obok 24
VI	Mgławice planetarne	po 24
VII	Mgławica w Łabędziu	po 24
VIII	Mgławica «Trójdzielna» <i>M</i> 20 w Strzelcu	obok 25
IX	«Koński łeb» w wielkiej mgławicy w Orionie	obok 28
X	Wielka Mgławica <i>M</i> 31 w Andromedzie	po 28
XI	Mgławica N. G. C. 891 w Andromedzie widziana od strony krawędzi	po 28
XII	Mgławica N. G. C. 7217	obok 29
XIII	Obłoki Magellana	obok 32
XIV	Gromada kulista <i>M</i> 13 w Herkulesie	obok 33
XV	Widma gwiazd	obok 36
XVI	Zjawisko Dopplera w widmach gwiazdowych . .	obok 37
XVII	Obszar środkowy wielkiej mgławicy <i>M</i> 31 w Andro- medzie	obok 72
XVIII	Mgławica <i>M</i> 33 w Trójkącie	po 72
XIX	Mgławica N. G. C. 7331 w Pegazie oraz odległa gro- mada słabych mgławic	po 72

Tablica	Str.
XX Widma mgławic okazujące przesunięcia linii	obok 73
XXI Mgławica N. G. C. 4594 w Pannie	obok 80
XXII Ciasna gromada słabych mgławic w Pegazie	obok 81
XXIII Mgławice bliźniacze N. G. C. 4567—8	obok 82
XXIV Mgławica <i>M</i> 81 w Wielkiej Niedźwiedzicy	obok 83
XXV Tory cząstek α i β	obok 136
XXVI Zderzenia cząstek α z atomami azotu	obok 137
XXVII Mgławica <i>M</i> 51 w Psach Gończych	obok 248
XXVIII Szereg konfiguracji mgławicowych	obok 249
XXIX Mgławice (N. G. C. 4395, 4401) nasuwające myśl o działaniu przyptywowym	obok 276
XXX Mgławica N. G. C. 7479	obok 277
XXXI Mgławica <i>M</i> 101 w Wielkiej Niedźwiedzicy	obok 284
XXXII Saturn i jego pierścienie	obok 285

WSTĘP

Astronomia

WIECZOREM pamiętnego w dziejach ludzkości dnia 7 stycznia 1610 r., Galileo Galilei, profesor matematyki uniwersytetu padewskiego, zasiadł do obserwacji nieba przy własnoręcznie zbudowanym teleskopie.

Na trzy przeszło stulecia przedtem, Roger Bacon, wynalazca okularów, objaśnił, w jaki sposób zbudować można przyrząd, który «ukazywałby nam gwiazdy w dowolnym zbliżeniu». Okazał on, że nadając soczewce kształt odpowiedni, można zebrać z jej pomocą promienie światła biegnące od jakiegoś przedmiotu oddalonego, tak aby po załamaniu się w niej przecięły się w ognisku i przeszedłszy przez źrenicę padły na siatkówkę oka. Przyrząd taki wzmocniłby wzrok ludzki, podobnie jak trąbka akustyczna wzmacnia słuch, zbierając fale głosowe, które wpadają w otwór o znacznej średnicy i kierując je przez przewód słuchowy na błonę bębenkową.

Dopiero jednak w r. 1608 Lippershey, flamandzki fabrykant okularów, zbudował pierwszy *teleskop*. Zasłyszawszy o tym przyrządzie, Galileusz zdołał odnaleźć zasadę jego konstrukcji i wkrótce sporządził sobie teleskop, o wiele przewyższający oryginał. Była to wielka sensacja w Italii; o przyrządzie tym opowiadano sobie takie nadzwyczajne dziwy, że polecono Galileuszowi przywieźć go do Wenecji i zademonstrować doży i senatowi. Obywatele weneccy byli świadkami, jak najstarsi senatorowie wspinali się na wysokie wieże, by oglądać przez teleskop okręty tak bardzo jeszcze odległe od miasta, że nie było ich wcale widać gołym okiem. Teleskop ów zbierał około sto razy więcej światła niż źrenica oka nieuzbrojonego i, według Galileusza, ukazywał przedmioty odległe o pięćdziesiąt mil tak wyraźnie, jakby znajdowały się one w odległości zaledwie pięciu mil.

Nie potrzeba zapewne podkreślać, że jest to bardzo niewiele w porównaniu z siłą przyrządów nowoczesnych. Największy obecnie istniejący teleskop świata, w obserwatorium na Mount Wilson w Kalifornii, o średnicy dwa i pół metra, chwytą 2500 razy więcej światła od maleńkiej lunety Galileusza, a więc 250 000 razy tyle, co oko nieuzbrojone. Teleskop o średnicy dwa razy większej, budowany obecnie w Kalifornii, będzie zbierał cztery razy więcej światła niż dwu- i półmetrowy, a milion razy więcej od gołego oka.

Nowy instrument pochłaniał Galileusz tak dalece, że zapomniał on niemal o problemacie, którym niegdyś gorliwie się zajmował. Mianowicie, już przeszło dwa tysiące lat temu Pytagoras i Filolaos nauczali, że Ziemia nie jest nieruchoma w przestrzeni, lecz obraca się dokoła osi raz w przeciągu dwudziestu czterech godzin, powodując w ten sposób zmianę dnia i nocy. Arystarch z Samos, największy może z matematyków greckich, utrzymywał nawet, że Ziemia nie tylko obraca się dokoła osi, lecz że zakreśla również roczną orbitę dokoła Słońca, dzięki czemu zachodzi zmiana pór roku.

Poglądy te jednak nie zdołały się wówczas utrzymać. Arystoteles wypowiedział się przeciw nim twierdząc, że Ziemia stanowi nieruchomy środek Wszechświata. Ptolemeusz wytłumaczył później ruchy planet na sklepieniu nieba przy pomocy skomplikowanego układu kół i *epicyklów*: w hipotezie tej planety miały również krążyć dokoła nieruchomej Ziemi. Kościół dał tej nauce swą sankcję i udzielał jej czynnego poparcia. Istotnie, trudno byłoby oczekiwać czegoś innego: jakże bowiem można było przypuszczać bez narażenia się na zarzut braku pobożności, że wielki dramat upadku i odkupienia człowieka, w którym sam Syn Boży wziął udział, rozegrał się na jakiejś scenie mniej ważnej niż środek Wszechświata?

A jednak nawet w łonie Kościoła nauka ta nie została przyjęta zupełnie jednomyślnie. Oresme, biskup z Lisieux i kardynał Mikolaj z Kuzy wypowiedzieli się przeciw niej; ten ostatni pisał w r. 1440:

Od dawna przypuszczałem, że Ziemia nie jest nieruchoma, lecz porusza się jak inne gwiazdy. Według mego zdania Ziemia obraca się dokoła swej osi raz jeden w przeciagu jednego dnia i nocy.

W czasach późniejszych zwolennicy tych poglądów spotykali się z prześladowaniami ze strony Kościoła. W r. 1600 Giordano Bruno został spalony na stosie. Jednym z punktów oskarżenia przeciw niemu było to, iż z uporem głosił doktrynę o wielości światów. Pisał on:

Wydawało mi się rzeczą niegodną dobroci i potęgi boskiej, by świat miał być skończony, gdyż Bóg mógł był stworzyć nieskończenie wiele światów; dlatego też twierdziłem, że istnieje nieskończenie wiele światów odrębnych, podobnych do naszej Ziemi. Wraz z Pythagorasem uważam ją za gwiazdę; podobne do niej są Księżyc, planety i inne gwiazdy, których liczba jest nieskończona, a wszystkie te ciała są światami.

Najpotężniejszy jednak atak przeciw nauce ortodoksyjnej był dziełem duchownego i astronoma polskiego, Mikołaja Kopernika (1473—1543). W wielkim swym dziele «De revolutionibus orbium coelestium» Kopernik wykazał, że skomplikowany układ epicyklów Ptolemeusza jest zbyt ciężki, gdyż ruch planet na niebie wytłumaczyć można w sposób o wiele prostszy przez założenie, iż zarówno Ziemia, jak planety obiegają dokoła nieruchomego centralnego Słońca. W ciągu sześćdziesięciu sześciu lat, które upłynęły od czasu ogłoszenia tego dzieła do odkrycia Galileusza, nowe teorie były przedmiotem gorących dyskusyj, nie zostały jednak ani potwierdzone, ani obalone. Samego Galileusza pociągały one silnie, uważał jednak za rzecz bardziej wskazaną nie ujawniać zbyt otwarcie swego zdania pod tym względem.

Galileusz wiedział już wówczas, że nowy jego przyrząd umożliwia sprawdzenie szeregu teorii astronomicznych. Z chwilą, gdy skierował go na Drogę Mleczną, rozwiały się jak dym baśnie i legendy o jej naturze i budowie: okazało się, że jest ona po prostu zbiorowiskiem ogromnej liczby słabych gwiazd, rozsypanych jak złoty pył na czarnym tle nieba. Spojrzenie w teleskop wyjaśniło również istotną naturę Księżyca. Są na nim góry, rzucające cienie, a więc musi to być, jak nauczał Giordano Bruno, świat podobny do

naszego. A może przy pomocy teleskopu będzie można teraz rozstrzygnąć, która teoria odpowiada prawdzie: prawowierna doktryna, że Ziemia stanowi środek Wszechświata, czy nowa nauka, iż jest ona tylko jedną z wielu brył, krążących dookoła Słońca, jak ćmy wokół promienia świecy?...

I otóż owego wieczoru Galileusz kieruje swój teleskop na Jowisza i spostrzega *cztery małe gwiazdki, krążące, jak owe ćmy, dookoła wielkiej bryły planetarnej!* Ma oto przed sobą dokładny obraz układu słonecznego, jak go sobie przedstawiał Kopernik, obraz świadczący bezpośrednio, naocznie o tym, że układy takie nie są w każdym razie obce architektonice Wszechświata. Dnia 30 stycznia pisze do Belizariusza Vinty, że gwiazdki owe poruszają się dookoła o wiele większej bryły Jowisza «zupełnie tak, jak Wenus i Merkury, a być może i inne planety, poruszają się dookoła Słońca».

Wszelkie wątpliwości dotyczące znaczenia tego odkrycia, które mogły być jeszcze pozostać w umyśle Galileusza, rozwiały się w dziewięć miesięcy później, gdy dostrzegł on fazy Wener y: błyszcząca powierzchnia planety okazywała ten sam cykl zmian postaci, co Księżyc — od wąskiego sierpa poprzez półkole czyli «kwadrę» do pełni i z powrotem przez kwadrę do sierpa. Fakt ten dowodził jasno, że planeta nie świeci własnym światłem, gdyż wówczas musiałaby stale ukazywać w teleskopie okrągłą jasną tarczę. Pozostawały tu jednak jeszcze dwie możliwości. Gdyby Wenus, będąc bryłą ciemną, obiegała Ziemię dookoła po epicyklu Ptolemeusza, wówczas — jak to wskazał już sam Ptolemeusz — nie moglibyśmy nigdy widzieć więcej niż połowę oświetlonej tarczy. Jeśliby natomiast, zgodnie z poglądem Kopernika, zarówno Wenus jak i Ziemia obiegały Słońce po okręgach kół (przy czym Wenus po orbicie o mniejszym promieniu), wówczas jasna część powierzchni tej planety powinna by okazywać całkowity cykl faz, podobnie jak Księżyc. Cała zwrócona ku nam tarcza musiałaby być zupełnie ciemna w chwili przejścia planety między Ziemią a Słońcem; to samo odnosiłoby się również do Merkurego. Istotnie też, jako zarzut przeciwko

teorii Kopernika wysuwano to, że Wenus i Merkury nie ujawniają takiego pełnego cyklu faz.

Teraz zaś teleskop Galileusza okazał, że kształt tarczy Wenus przechodzi przez *cały* cykl faz, jak to przepowiedział Kopernik; zgodnie z własnymi słowami Galileusza, «uzyskaliśmy najbardziej przekonujące i naoczne rozstrzygnięcie dwu bardzo ważnych zagadnień, na które do dziś dnia najpotężniejsze umysły dawały odpowiedzi rozbieżne: po pierwsze, że planety nie świecą własnym światłem; po wtóre, że Wenus i Merkury niewątpliwie obiegają dokoła Słońce, podobnie jak i inne planety. Prawdę tę przyjmowała szkoła pytagorejska, Kopernik oraz Kepler, nigdy jednak dotychczas nie stwierdzono jej bezpośrednim świadectwem naszych zmysłów, jak to ma miejsce obecnie w przypadku Wenus i Merkurego».

Odkrycia Galileusza wykazały jasno, że Arystoteles, Ptolemeusz oraz większość tych myślicieli, którzy zastanawiali się nad tymi zagadnieniami w ciągu ostatnich dwu tysięcy lat, *mylili się najzupełniej*. Dotychczas kierowały człowiekiem w ocenie jego stanowiska we Wszechświecie głównie jego pożądanja i miłość własna; żywiony przez wieki bezkresnymi nadziejami, gardził skromniejszym pokarmem, ofiarowanym mu przez cierpliwą myśl naukową. Nieublagane fakty strąciły go teraz z samowolnie zajętego tronu w środku Wszechświata; od tej chwili musiał pogodzić się ze skromniejszym położeniem mieszkańca ziarnka pyłu i dostosować do tego swe poglądy na znaczenie i wagę ludzkiego życia.

Przystosowanie to nie odbyło się od razu. Próżność ludzka, wzmocniona autorytetem Kościoła, umiała utrudniać życie tym, co ośmielali się wskazywać na to, jak małe znaczenie ma Ziemia we Wszechświecie. Galileusz zmuszono do wyparcia się swych poglądów. Jeszcze w XVIII w. w starożytnym uniwersytecie paryskim uczono, że ruch Ziemi dokoła Słońca jest dogodną, lecz *fałszywą* hipotezą, na młodszych zaś uniwersytetach amerykańskich Harvarda i Yale wykładano *równolegle* oba systemy astronomiczne, kopernikański i ptolemeuszowski, jak gdyby oba one były jednakowo możliwe do

przyjęcia. Nie udało się jednak na zawsze schować światła pod korzec; gdy wreszcie przyjęte zostały wszystkie wnioski, wynikające z rewolucji myślowej zapoczątkowanej przez obserwacje Galileusza z 7 stycznia 1610, okazało się, że *jest to najbardziej katastrofalna rewolucja w dziejach ludzkości*. Katakлизм ów nie ograniczał się do dziedziny czystej myśli: od tej chwili samo *istnienie człowieka pojawiło się w nowym świetle*, a cele i aspirację ludzkie trzeba było poddać ocenie z nowego punktu widzenia.

Przytaczając tu raz jeszcze te tak często omawiane rzeczy, kierowałem się myślą, że może pozwoli to wyjaśnić, w części przynajmniej, zainteresowanie, jakie budzi astronomia w chwili obecnej. Nauki bardziej «światowe» dowodzą swej wartości przez zwiększanie wygod i powabów życia, lub przyznoszenie ulgi w cierpieniach i nędzach ludzkich — można by jednak zapytać, co daje nam astronomia? Po co astronom poświęca pełne trudu noce i jeszcze może bardziej znojne dni na badanie budowy, ruchów i przemian ciał tak odległych, że nie mogą mieć one najmniejszego wpływu na życie ludzkie?

Częściowo przynajmniej przyczyną jest tu fakt, że według zdania wielu, astronomia współczesna ma, podobnie jak w czasach Galileusza, coś do powiedzenia w palących zagadnieniach dotyczących *stosunku życia ludzkiego do otaczającego Wszechświata* i w zagadnieniach o początku, losach i przeznaczeniu rodu ludzkiego. U B e d y czytamy, że — dwaście wieków temu — porównywano życie ludzkie w poetyckiej przenośni do przelotu ptaka przez jasną i ciepłą salę biesiadną, gdy na dworze sroży się burza zimowa:

Ptak zdoła skryć się przed burzą na chwilę, lecz natychmiast znowu ogarnia go zamieć. Tak i życie ludzkie zjawia się na krótką chwilę, lecz co było przed nim i co po nim nastąpi — nie wiemy... Jeśli więc nowa nauka mówi nam o tym coś pewnego, zasługuje na to, aby pójść za nią.

Słowa te, wypowiedziane pierwotnie w obronie religii chrześcijańskiej, wyrażają dobrze znaczenie astronomii dzisiejszej. Człowiek —

widzący tylko małą lampkę życia wśród ciemności bezbrzeżnych

— usiłuje przeniknąć w przyszłość i przeszłość głębiej, niż pozwala na to krótkie jego życie. Chce wiedzieć, *czym był Wszechświat*, zanim on się pojawił; *czym będzie* kiedyś, gdy ostatni człowiek zniknie w ciemnościach, z których ludzkość wyszła przed wiekami. Nie jest to jedynie wynik czysto intelektualnej ciekawości, chęci zdobycia szczytu górskiego, z którego rozciąga się widok rozległy, chociażby nawet owa ziemia obiecana była na wieki nieosiągalna: — odgrywają tu rolę względy głębsze i bardziej osobiste. Nim człowiek będzie mógł pojąć samego siebie, musi najpierw pojąć Wszechświat, którego proch jest tworzywem jego ciała, i z którego płyną wszystkie jego wrażenia zmysłowe. Chce zbadać Wszechświat w czasie i przestrzeni, ponieważ sam jest częścią Wszechświata, a Wszechświat — częścią jego.

Musimy wprowadzić przyznać, że nauka nie może obecnie dać ostatecznej odpowiedzi na pytania o bycie i przeznaczeniu ludzkości, lecz fakt ten nie usprawiedliwiałby nieznamości tego, co mówi ona już teraz. Nauka rzadko bowiem daje ostateczną odpowiedź «tak» lub «nie» na postawione jej pytanie. Jeśli potrafimy pytanie to wyrazić w formie tak określonej, że możliwa byłaby jedna z tych odpowiedzi, to zazwyczaj odpowiedź tę możemy już dać sami. Nauka postępuje naprzód, uzyskując raczej szereg *przybliżeń* do prawdy, z których każde następne jest lepsze od poprzedniego, lecz może być zastąpione nowym, jeszcze dokładniejszym. Na pytanie: «Jakie jest stanowisko człowieka we Wszechświecie?» pierwszą odpowiedź — stosunkowo niezbyt dawną — starała się dać astronomia P t o l e m e u s z a: «W środku Wszechświata». Teleskopowi G a l i l e u s z a zawdzięczamy następną, o wiele lepsze przybliżenie: «Ojczyzna człowieka jest jednym z drobnych ciał niebieskich, krążących dokoła wielkiego słońca centralnego». Astronomia wieku dziewiętnastego poszła jeszcze dalej w tym samym kierunku, mówiąc: «We Wszechświecie istnieją miliony gwiazd podobnych do naszego Słońca, otoczonych bez wątpienia również rodzinami planet, na których kwitnąć może życie, zasilane ciepłem i światłem ciała centralnego». Jak zobaczymy w dalszym ciągu, astronomia wieku dwudziestego jest

zdania, że wiek XIX posunął się zbyt daleko; mniejsza część Wszechświata wydaje się być odpowiednim podłożem życia niż to przypuszczali nasi ojcowie — lub raczej: niż przypuszczaliby, gdyby puścili wodze swej fantazji intelektualnej.

Mamy zamiar przedstawić w tej książce to przybliżenie do prawdy, jakie daje nam astronomia wieku dwudziestego. Bez wątpienia nie jest to prawda ostateczna, w każdym razie jednak — k r o k k u p r a w d z i e, znacznie jej bliższy — jeśli nie mylimy się całkowicie — niż teorie astronomiczne w. XIX. Przeświadczenie to opiera się nie na przypuszczeniu, że astronomowie w. XX umieją lepiej snuć domysły, niż ich poprzednicy z zeszłego stulecia, lecz na tym, że mają do rozporządzenia nieporównanie większy materiał faktyczny. Domysły wyszły z mody w nauce, były one bowiem co najwyżej marną «namiastką» wiedzy. Nauka współczesna, surowa w swych sądach, ogranicza się — z bardzo rzadkimi wyjątkami — do faktów niezbitych oraz do wniosków wynikających z nich w sposób jednoznaczny.

Byłoby oczywiście rzeczą niesłuszną utrzymywać, że znaczenie astronomii polega wyłącznie na wspomnianych tutaj dążeniach do osiągnięcia ogólnego poglądu na świat. Posiada ona poza tym znaczenie przynajmniej w trzech jeszcze dziedzinach, które można określić jako: *praktyczną, naukową i estetyczną*.

Podobnie jak i inne nauki, astronomię uprawiano początkowo głównie w celach *p r a k t y c z n y c h*. Dbała ona o rachubę czasu, pozwalała człowiekowi śledzić wieczystą zmianę lat i miesięcy, uczyła go szukać dróg w pustyni i na oceanie. W masce *a s t r o l o g i i* ludziła go nadzieją przepowiadania przyszłości. Nie było w tym, jako takim, nic absurdalnego, gdyż nawet obecnie astronomowie są w znacznej mierze zajęci przepowiadaniem przyszłych ruchów ciał niebieskich — prawda, że nie spraw ludzkich; spora część niniejszej książki mówi o próbach przewidzenia przyszłych losów oraz ostatecznego końca materialnego Wszechświata. Astrologowie błędzili w tym, że według ich przypuszczenia ziemskie państwa, władcy i w ogóle ludzie odgrywają tak ważną rolę we Wszech-

świecie, iż ruchy ciał niebieskich są ściśle związane z ich losami. Skoro człowiek począł zdawać sobie sprawę z nic nie znaczącego stanowiska swego we Wszechświecie, astrologia musiała umrzeć naturalną i nieuniknioną śmiercią, przynajmniej w środowisku ludzi wykształconych.

Praktyczna strona astronomii ogranicza się obecnie do bardzo skromnych rozmiarów. Obserwatoria rozsyłają wprawdzie sygnały czasowe przez radio i pomagają kierować ruchem okrętów na oceanie, lecz ośrodek zainteresowań astronomii przesunął się tak silnie, że najdalsze mgławice wzbudzają daleko większy entuzjazm, niż «gwiazdy zegarowe», a przeciętny astronom zaniedbuje całkowicie nasze najbliższe sąsiadki w przestrzeni, planety, dla gwiazd tak odległych, że światło ich biegnie do nas setki, tysiące czy nawet miliony lat.

W czasach nowszych astronomia rozszerzyła swe znaczenie n a u k o w e przez utrwalenie swej pozycji jako integralnej części składowej ogólnego gmachu wiedzy. Różnych nauk nie można już bowiem uważać za zupełnie odrębne gałęzie wiedzy; postęp jej idzie szerokim frontem, rozciągającym się od elektronu o średnicy bilionowej części milimetra, do mgławic o średnicach setek tysięcy bilionów kilometrów. Postęp w dziedzinie astronomii może przynieść pożytek fizyce czy chemii i vice versa. Gwiazdy przestały być dla nas od dawna prostymi punktami świetlnymi: każdą z nich uważamy teraz za *doświadczenie prowadzone w gigantycznej skali*, za tygiel, w którym przyroda operuje temperaturami i ciśnieniami przekraczającymi o wiele te, jakie możemy osiągnąć w laboratorium. Śledząc przebieg tego «doświadczenia», napotykamy nieraz własności materii, które uszły uwadze fizyków ziemskich z powodu zbyt ciasnego zakresu warunków, w których zmuszeni są pracować. Tak np. w mgławicach istnieje materia o gęstości co najmniej milion razy mniejszej od tej, jaką w ogóle możemy osiągnąć na Ziemi, w niektórych gwiazdach zaś — materia o gęstości blisko milion razy większej od gęstości ciał ziemskich. Czyż możemy poznać wszystkie własności materii w doświadczeniach laboratoryjnych, gdzie rozporządzamy b i-

li o n razy mniejszym zakresem gęstości, niż ten, jaki ma do swego rozporządzenia przyroda?

W ostatnich czasach astronomia pozyskała bezpośrednio znaczenie dla filozofii dzięki światłu, jakie rzuciła na metafizyczne pojęcia czasu i przestrzeni. Astronomia dostarczyła ważkich dowodów na korzyść zasadniczego twierdzenia teorii względności: że przestrzeń i czas stanowią jedną i nierozdzieloną całość. Istotnie, jeśli pominąć świat zawodowych uczonych, powszechne zainteresowanie teorią względności obudziły dopiero wyniki, otrzymane przez astronomów podczas zaćmienia Słońca w r. 1919, prowadząc w ten sposób do wytworzenia się obecnych naszych poglądów na związek pomiędzy przestrzenią a czasem. Jeszcze nowsze fakty, dotyczące hipotetycznego rozszerzania się samej przestrzeni, zawierają, być może, nowe i jeszcze głębsze dane o tym, jakie jest właściwe znaczenie naszych podstawowych pojęć metafizycznych.

Na jednego człowieka, który odczuwa naukowy lub filozoficzny urok astronomii, przypada zapewne z dziesięciu takich, których pociąga jej urok estetyczny. Wielu nawet spośród tych, którzy szukają wiedzy dla niej samej, wskutek owego popędu intelektualnego, będącego najbardziej podstawową różnicą pomiędzy człowiekiem a zwierzęciem — zwraca się do astronomii, jako najbardziej poetycznej i przemawiającej do zmysłu piękna z wszystkich nauk. Inni, żyjąc w świecie dręczonym przez wojny i zatargi, chcą zatrzymać myśl na czymś dalekim od okropności życia codziennego, by znaleźć zadowolenie i spokój ducha w kontemplacji niezmierzzonego Wszechświata. Wielu ludziom dostarcza astronomia nieco tych wizji, bez których by zmarnieli.

Zanim przejdziemy do omówienia wyników uzyskanych przez astronomię nowoczesną, spróbujemy ocenić w należytej perspektywie stanowisko, z którego owych obserwacji dokonywamy.

Zobaczymy w dalszym ciągu, że Ziemia narodziła się ze Słońca jakieś trzy miliardy lat temu; narodziła się w postaci, w której trudno by nam było poznać Ziemię dzisiej-

szą, z jej morzami, rzekami, bogatą roślinnością i bujnie rozkrzewionym życiem. Ojczyzna nasza we Wszechświecie powstała jako kula rozżarzonego gazu, na której nie mógłby istnieć najmniejszy nawet ślad życia.

Stopniowo ów glob gazowy stygnie, przechodząc naprzód w stan ciekły, potem w stały plastyczny; na koniec skorupa zewnętrzna krzepnie, a jej skały i góry stanowią trwały ślad nierównomierności istniejących w dawniejszej plastycznej formie. Para wodna skrapla się w ciecz, powstają rzeki i oceany, gazy «trwałe» zaś — tlen, azot, hel, neon — gromadzą się w postaci atmosfery. Stopniowo Ziemia przechodzi do stanu, w którym możliwe jest pojawienie się życia; zjawia się ono, nie wiadomo jak, ani skąd, ani w jakim celu.

Nie łatwo ocenić czas istnienia życia na Ziemi; jest to zapewne niewielki ułamek całego okresu jej istnienia. W każdym bądź razie, życie krzewiło się na Ziemi prawdopodobnie już 300 milionów lat, a może nawet już miliard lat temu. Początkowo gnieździło się ono wyłącznie w wodzie, stopniowo jednak ryby przekształciły się w gady, te ostatnie w ssaki, z których wreszcie, jakieś 300 000 do miliona lat temu, wyłonił się człowiek. Tak więc życie krzewi się na Ziemi w ciągu części zaledwie całkowitego czasu jej istnienia, człowiek zaś zamieszkuje ją w ciągu *m a l e n k i e g o u ł a m k a* owej części. Innymi słowy, astronomiczna skala czasowa jest nieporównanie większa od skali ludzkiej; pokolenia ludzkie, a nawet cały okres istnienia człowieka na Ziemi — są to po prostu tylko uderzenia sekund na «zegarze astronomicznym».

Znaczna większość owych dziesięciu tysięcy czy więcej pokoleń, dzielących nas od naszych «małpo-ludzkich» przodków, prowadziła życie niewiele zapewne różniące się od życia tych ostatnich. Polowanie, rybołówstwo i wojna wypełniały ich życie, nie pozostawiając wiele czasu i sposobności dla rozwoju intelektualnego. Na koniec jednak ludzkość poczęła budzić się ze swego wiekowego snu i odczuwać — w miarę powolnego świtania cywilizacji — potrzebę zajęć innych, poza żywieniem i okrywaniem ciała. Człowiek począł dostrzegać przejawy nieukończonego piękna we wdzięcznej postaci ciała ludzkiego,

w grze światła na uśmiechającej się tysiącem blasków powierzchni morza, i starał się je uwiecznić w marmurze lub w wytwornych słowach poezji. Począł wykonywać doświadczenia z metalami i roślinami, z działaniem ognia i wody; zaczął obserwować ruchy ciał niebieskich i starał się je zrozumieć; dla tych, co umieli czytać na niebie, obroty gwiazd i planet były dowodem tego, iż poza granicami Ziemi rozciąga się inny, nieznany Wszechświat, zbudowany w nieporównanie ogromniejszej skali.

W taki to sposób sztuka i nauka pojawiły się na Ziemi, a wraz z nimi i astronomia; trudno powiedzieć, kiedy to nastąpiło, bądź co bądź jednak nawet w porównaniu z wiekiem ludzkości stało się to wczoraj, w porównaniu zaś z wiekiem Ziemi — przed jednym mgnieniem oka.

Astronomia *n a u k a*, nie będąca po prostu tylko spoglądaniem na gwiazdy, nie liczy chyba więcej, niż 3000 lat: mniej czasu upłynęło od owej epoki, gdy *A r y s t a r c h* i inni głosili swym obojętnym i niedowierzającym współczesnym, że Ziemia porusza się dokoła nieruchomego Słońca. Istotne jednak znaczenie posiada dla nas nie tyle to, kiedy człowiek począł snuć *d o m y ś l y* o budowie Wszechświata, lecz czas, gdy zaczął on badać tę budowę, opierając się na niezbitych *f a k t a c h*. Jest to właśnie okres czasu dzielący nas od owego wieczora 1610 r., gdy *G a l i l e u s* zwrócił swój teleskop na Jowisza — a więc mniej więcej trzy stulecia.

Znaczenie naszych rozważań uwydatni się być może jaśniej, gdy zestawimy wyniki w postaci tabliczki:

Wiek Ziemi	około 3 000 000 000 lat
Życie istnieje na Ziemi	przeszło 300 000 000 »
Ludzkość istnieje na Ziemi	przeszło 300 000 »
Astronomia istnieje	około 3 000 »
Astronomia posługuje się teleskopami	od 300 »

Liczby te mówią nam jasno, jak bardzo młoda jest astronomia: wiek jej jest mniej niż setną częścią wieku ludzkości i mniej niż *stutysięczną* częścią czasu, w ciągu którego istnieje na Ziemi życie. Przez 99 999/100 000 części tego okresu życie nie interesowało się niczym pozaziemskim.

Jeśli jednak przeszłość astronomii mierzyć należy w skali czasowej «ludzkiej» — około stu pokoleń — to mamy wszelkie dane, by przypuszczać, że *przyszłość* jej wyraża się w skali «astronomicznej». Wydaje się bowiem racjonalnym przypuszczenie, że kres istnieniu ludzkości położą przyczyny natury astronomicznej. Ponieważ Ziemia istnieje już od trzech miliardów lat, można by przypuścić a priori, że ma ona jeszcze przed sobą — a wraz z nią ludzkość i astronomia — przynajmniej drugie trzy miliardy lat istnienia. W rzeczywistości jednak, jak zobaczymy, mamy prawo oczekiwać *dłuższego* jej żywota. Jeśli tak jest, to musimy stwierdzić, że astronomia jest obecnie dopiero w *najbardziej początkowym* stadium swego istnienia. Dlatego to wieści, które nam przynosi, nie mogą rościć sobie pretensyj do tego, że są czymś ostatecznym i skończonym — nie są to dojrzałe przekonania dorosłego, lecz raczej pierwsze wrażenia noworodka, który właśnie w tej chwili otwiera oczy. Lecz nawet teraz lepsze jest to od pustych rojeń, w których pograżona była ludzkość, zanim nauczyła się spoglądać dokoła siebie — i w dal.

Przystępujemy zatem do opowiedzenia o tym, co astronomia mówi nam o Wszechświecie, w którym żyjemy. Rozważania nasze nie będą się ograniczały do tej jednej nauki; będziemy powoływali się na fizykę, chemię i geologię, tudzież na ściślej z astronomią spokrewnione: astrofizykę i kosmogonię, żądając od nich pomocy przy tłumaczeniu wieści, które nam przynosi astronomia obserwacyjna. Wieści otrzymane będą jednak niekompletne; można by je porównać z cegiełkami dziecinnej «układanki». Gdybyśmy mogli dostać wszystkie cegiełki, to na pewno utworzyłyby one jeden obraz logiczny i spójny — niestety jednak wielu z nich brak jeszcze. Trudno oczekiwać, by niekompletny zbiór cegiełek znalezionych dotychczas pozwolił nam odtworzyć *cały* obraz; w każdym razie jednak możemy przynajmniej gromadzić to wszystko, co mamy do rozporządzenia, układać metodycznie wyszukując cegiełki, które najwidoczniej należą do siebie i wreszcie — możemy próbować odgadnąć, czym będzie obraz zupełny, gdy w końcu znajdziemy i złożymy odpowiednio wszystkie kamyczki.

ROZDZIAŁ I

Niebo

MÓWILIŚMY już, że ludzkość zamieszkując Ziemię od jakichś 300 000 lat, dopiero w ciągu ostatnich trzech stuleci — tysiącznej części okresu swego istnienia — rozporządza narzędziami optycznymi umożliwiającymi badanie Wszechświata pozaziemskiego. W rozdziale niniejszym postaramy się opisać pierwsze wrażenia, jakie sobie człowiek utworzył, posługując się tak niedawno otwartymi oczyma. Będziemy się trzymać przy tym w zasadzie porządku chronologicznego — jest on równoważny uporządkowaniu opartemu na coraz bardziej rosnącej sile teleskopów, czyli na zwiększaniu się naszego zasięgu wzrokowego w przestrzeni; będziemy zatem stopniowo coraz bardziej oddalali się od Słońca. Oczywiście nie ma tu mowy o jakimś opisie szczegółowym, lecz chodzi jedynie o uwydatnienie kilku punktów wytycznych, ażeby okazać w szerokim zarysie, jak odbywał się podbój nowych dziedzin w badaniu Wszechświata.

UKŁAD SŁONECZNY

Przegląd nasz rozpoczniemy od układu słonecznego, którego ustrój wyświecił Galileusz oraz jego następcy.

Planetarna rodzina Słońca rozpada się w sposób naturalny na oddzielne grupy. W pobliżu Słońca mamy cztery planety małe: Merkurego, Wenus, Ziemię i Marsa; w znacznie większych odległościach krążą cztery planety wielkie: Jowisz, Saturn, Uran i Neptun. Poza nimi napotykamy niedawno odkrytą planetę Plutona, najdalszego — o ile wiadomo — członka układu planetarnego.

Merkury jest najbliższy Słońca; po nim idzie Wenus. Orbity obu tych planet leżą pomiędzy drogą Ziemi a Słońcem; widziane z Ziemi, zdają się one opisywać niewielkie stosunkowo okręgi dookoła Słońca, muszą więc przebywać na niebie stale w jego pobliżu. Skutkiem tego mogą być widziane tylko albo wczesnym rankiem, jeśli wschodzą przed Słońcem, albo też wieczorem, gdy zachodzą po nim. Starożytni nie zdając sobie dokładnie sprawy z tego, że jedna i ta sama planeta może kolejno ukazywać się jako gwiazda poranna i wieczorna, nadali im różne nazwy, zależnie od tego, w jakim charakterze się pojawiały: tak np. Wenus, jako gwiazdę poranną Grecy nazywali Phosphoros, a Rzymianie Lucifer; jako gwiazda wieczorna — w obu językach zwała się Hesperus.

Oddalając się od Słońca spotykamy poza orbitą Ziemi Marsa, ostatnią z planet małych. Mars, Merkury i Wenus są wszystkie mniejsze od Ziemi, jakkolwiek Wenus niewiele ustępuje jej pod względem rozmiarów.

Wielka przerwa pomiędzy orbitami Marsa i Jowisza, pierwszej z planet wielkich, nie jest pusta; krążą w niej tysiące maleńkich planet, zwanych planetoidami, czyli asteroidami. Wszystkie one są o wiele mniejsze od Ziemi — największa, Ceres, ma niecałe 800 km średnicy, a tylko cztery posiadają średnice przekraczające 150 km. Merkurego, Wenus i Marsa znano już w odległej starożytności, planetoidy natomiast weszły do astronomii dopiero wraz z wiekiem XIX, gdyż pierwszą i największą z nich, Ceres, odkrył Piazzi w dniu 1 stycznia 1801.

Poza planetoidami krążą cztery planety wielkie: Jowisz, Saturn, Uran i Neptun, z których każda jest znacznie większa od Ziemi. Średnica największej z nich, Jowisza, wynosi przeszło 140 000 km, tj. przeszło 11 razy więcej od ziemskiej. Tysiąc czterysta brył wielkości Ziemi zmieściłoby się wewnątrz Jowisza i pozostałoby jeszcze nieco wolnego miejsca. Saturn, następny w kolei odległości, ustępuje pod względem rozmiarów tylko Jowiszowi, gdyż średnica jego mierzy przeszło



110 000 km. Jowisz i Saturn górują bardzo znacznie nad wszystkimi planetami pozostałymi.

Uran i Neptun mają średnicę około czterech razy, objętość więc około 60 razy większą od ziemskiej. Rozmiarów Plutona nie znamy dotychczas dokładnie, najnowsze dane świadczą wszakże, że posiada on masę mniej więcej taką jak Ziemia, lecz bardzo być może, iż nie dorównywa jej pod względem rozmiarów.

Jowisz i Saturn są tak wybitnymi ciałami niebieskimi, że znane były od czasów najodleglejszych, natomiast Urana i Neptuna odkryto stosunkowo niedawno. Sir William Herschel odkrył Urana w r. 1781 zupełnie przypadkowo, poszukując przy pomocy teleskopu jakiegoś interesującego obiektu na niebie. Przeciwnie, odkrycie Neptuna w r. 1846 było wynikiem skomplikowanych obliczeń matematycznych, które uważano podówczas za największy triumf umysłu ludzkiego, przynajmniej od czasów Newtona. Był to triumf młodości. Zaszczyt ten dzielą między sobą w równych w przybliżeniu częściach 27-letni Anglik, John Couch Adams, późniejszy profesor uniwersytetu w Cambridge, oraz zaledwie osiem lat od niego starszy astronom francuski, Urban J. J. Le Verrier. Obaj oni przypisali niektóre nieprawidłowości, obserwowane w ruchach Urana, przyciąganiu jakiejś planety zewnętrznej i obaj przystąpili do obliczenia orbity, którą powinna była ona zakreślać, by można było wytłumaczyć wspomniane zakłócenia.

Adams pierwszy ukończył obliczenia i podał astronomom w Cambridge miejsce nieba, w którym miała znajdować się nowa planeta. Istotnie, Neptuna zaobserwowano wówczas dwukrotnie, aczkolwiek nie utożsamiono go od razu z poszukiwaną planetą. Zanim to nastąpiło, Le Verrier, ukończywszy rachunki, posłał wyniki Gallemu, asystentowi obserwatorium w Berlinie; Galle zdołał utożsamić planetę natychmiast, gdyż obserwatorium berlińskie posiadało lepsze mapy odnośnego obszaru nieba, niż te, jakimi rozporządzali astronomowie w Cambridge.

Z biegiem czasu okazało się, że przyciąganie Neptuna nie może zdać sprawy ze wszystkich zakłóceń ruchu Urana; co więcej, podobne perturbacje zaczęły pojawiać się w ruchu samego Neptuna. Zdawało się to wskazywać na istnienie jeszcze jednej planety, bardziej odległej od Słońca niż Neptun. Podobnie jak poprzednio Adams i Leverrier, Percival Lowell, z obserwatorium Flagstaff w Arizonie, obliczył orbitę przypuszczalnej nowej planety, lecz dopiero po wielu latach starannych poszukiwań, w marcu 1930 r., zdołali ją odkryć obserwatorowie z Flagstaff. Pluton — tak nazwano nową planetę — porusza się po orbicie niemal identycznej z tą, którą przepowiedział Lowell 15 lat przedtem. Jednakże z obliczeń Lowella wynikało, że owa nieznana planeta powinna była posiadać masę przeszło sześć razy większą od ziemskiej, gdy tymczasem rzeczywista masa Plutona jest mniej więcej równa masie Ziemi. Ta i inne jeszcze przyczyny skłaniają niektórych astronomów do przypuszczania, że zgodność pomiędzy przepowiedzianą przez Lowella a rzeczywistą orbitą Plutona jest w znacznej mierze dziełem przypadku.

Po odkryciu przez Galileusza czterech księżyców Jowisza stwierdzono z biegiem czasu, że satelity towarzyszą wszystkim planetom, z wyjątkiem skrajnych członków układu słonecznego; nie posiadają ich dwie małe planety najbliższe Słońca, Merkury i Wenus oraz mały Pluton, planeta najbardziej od Słońca odległa. W r. 1655 Huyghens odkrył Tytana, największy księżyc Saturna, a w r. 1684 Cassini znalazł ich jeszcze cztery. Potem, po upływie stulecia, W. Herschel odkrył w r. 1787 dwa satelity Urana, a w r. 1789 dwa nowe księżyce Saturna. Rozpatrzeniem całego układu księżyców, tudzież ciał drobniejszych, należących do układu słonecznego — komet, meteorytów i gwiazd spadających — zajmujemy się w jednym z dalszych rozdziałów, przy omawianiu pochodzenia tych ciał niebieskich.

UKŁAD GALAKTYCZNY

Następnym naszym etapem jest pomiar świata gwiazdowego dokonany przez obu Herschlów: ojca, Wiliama (1738—1822), i syna Johna (1792—1871). Tego, co uczynił Galileusz dla układu słonecznego, Herschlowie postanowili dokonać dla tej wielkiej rodziny gwiazdowej — układu «galaktycznego», ograniczonego *Drogą Mleczną* — w której skład wchodzi nasze Słońce.

W jasną noc bezksiężycową Droga Mleczna rozpościera się na niebie na kształt wielkiego, słabo świecącego łuku, którego końce opierają się na widnokręgu. Podróżnik przekonuje się, że to, co widzimy, jest jedynie częścią opasującego Ziemię pełnego okręgu Drogi Mlecznej; dzieli ona niebo na dwie połowy, jakby jakiś «równik» niebieski, względem którego astronomowie wyznaczają położenia ciał niebieskich. Galileusz pierwszy wykazał przy pomocy swego teleskopu, że Droga Mleczna składa się z *mnóstwa drobnych gwiazd*, zbyt słabych, by je można było dostrzec oddzielnie okiem nieuzbrojonym (ob. tabl. II, III i IV). Właściwa interpretacja znaczenia tego olbrzymiego pasa słabych gwiazd okazała się, jak zresztą można było oczekiwać, rzeczą zasadniczą dla wyjaśnienia budowy Wszechświata.

Gdyby gwiazdy rozsiane były *równomiernie* w nieskończonej przestrzeni, musielibyśmy zawsze, patrząc w dowolnym kierunku, natrafić na gwiazdę, tak iż całe sklepienie niebieskie świeciłoby jednostajnym, oślepiającym blaskiem. Wprawdzie nie byłoby tak w przypadku, jeśli światło ulegało osłabieniu czy pochłonięciu po przebyciu pewnej drogi w przestrzeni, lecz i wówczas niebo posiadałoby wszędzie jednakowy wygląd, nie byłoby bowiem powodu, aby jedna część nieba miała być obficiej usiana gwiazdami niż inna. Istnienie Drogi Mlecznej świadczy więc o tym, że układ gwiazdowy nie rozpościera się równomiernie do nieskończoności; musi on posiadać *określoną budowę*, do której zbadania przystąpił był właśnie William Herschel. Dzieło jego, ograni-

czone do północnej półkuli nieba, rozszerzył następnie John Herschel na półkulę południową.

Metodę stosowaną przez Herschlów zrozumiemy najlepiej, jeśli wyobrazimy sobie na chwilę, że wszystkie gwiazdy są zupełnie podobne do siebie — że każda z nich wysyła tę samą ilość światła. Wówczas gwiazdy bliższe wydawałyby się jasnymi, dalsze — świeciłyby słabiej, po prostu wskutek wpływu odległości. Jeśli nie ma pochłaniania światła na jego drodze w przestrzeni, prawo zmiany pozornego blasku przy zmianie odległości jest oczywiście dobrze znane; jest to prawo «*odwrotnych kwadratów*», które orzeka, iż jasność pozorna maleje tak, jak wzrasta kwadrat odległości od źródła światła. Gwiazda znajdująca się dwa razy dalej niż inna podobna wydawać się będzie cztery razy od niej słabsza itd. Tak więc, gdyby wszystkie gwiazdy wysyłały te same ilości światła, moglibyśmy oceniać ich odległości względne na podstawie pozornych jasności względnych. Przy pomocy drutów, wychodzących z jednego punktu i odpowiednio skierowanych, o długościach proporcjonalnych do odległości poszczególnych gwiazd, moglibyśmy zbudować *model* rozmieszczenia gwiazd w przestrzeni; znalibyśmy bowiem w istocie całą budowę układu gwiazdowego, z wyjątkiem jedynie jego prawdziwych rozmiarów. Do zobrazowania słabych gwiazd Drogi Mlecznej trzeba byłoby użyć wielkiej liczby długich drutów; w modelu naszym byłyby one skierowane ku różnym częściom Drogi Mlecznej, tworząc coś na kształt płaskiej okrągłej płyty.

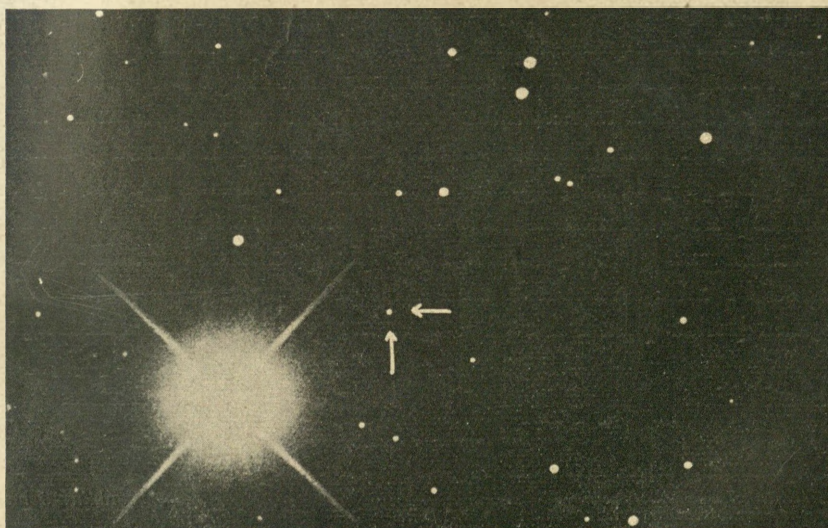
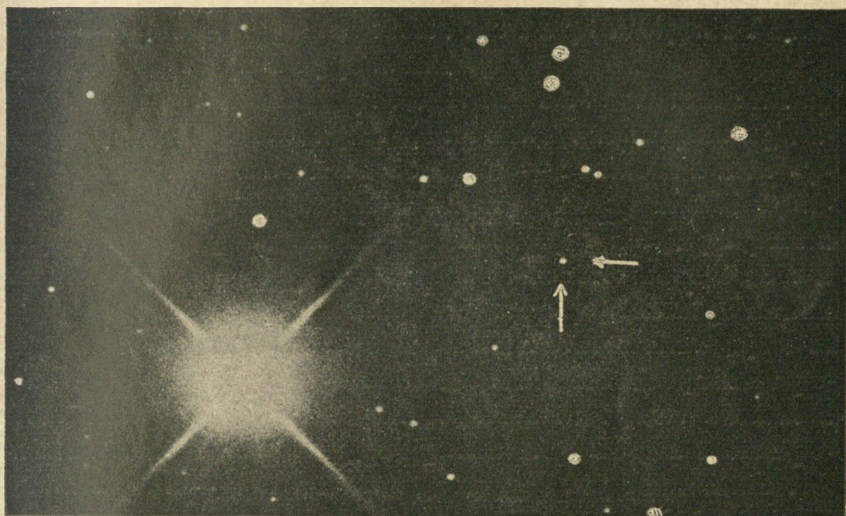
Zagadnienie, którego rozwiązania szukał William Herschel, było bardziej zawile, wiedział on bowiem, że gwiazdy posiadają zarówno niejednakowe odległości, jak i różne jasności rzeczywiste, a dopiero wynikiem współdziałania obu tych czynników jest obserwowany blask pozorny. To, że czynniki owe muszą być wyodrębnione od siebie, zanim wolno wysnuwać wnioski ostateczne, stanowiło jedną z głównych trudności zagadnienia.

Herschel wykazał, że liczba gwiazd w polu widzenia jego teleskopu w bardzo znacznym stopniu zależy od

obranego kierunku w przestrzeni. Największa była oczywiście wówczas, gdy skierowano teleskop na Drogę Mleczną, malała zaś szybko i stale w miarę odchylenia się od płaszczyzny Drogi Mlecznej; w ogóle mówiąc, pola widzenia w równych odległościach od tej płaszczyzny zawierały mniej więcej tę samą liczbę gwiazd. W języku fachowym powiedzielibyśmy, że liczba gwiazd w polu widzenia teleskopu zależy przede wszystkim od szerokości galaktycznej, podobnie jak np. klimat jakiegoś kraju zależy głównie od jego szerokości geograficznej, w mniejszym zaś stopniu od długości.

Pola teleskopu, wzięte w różnych szerokościach galaktycznych czyli w różnych odległościach katowych od płaszczyzny Drogi Mlecznej, różniły się nie tylko pod względem liczby gwiazd, lecz również ich jakości: gwiazdy najjaśniejsze występowały prawie równomiernie we wszystkich polach, różnice zaś pomiędzy tymi ostatnimi uwydatniały się głównie w rozmieszczeniu gwiazd słabych, a zwłaszcza najsłabszych ze wszystkich, które skupiają się bardzo wybitnie w miarę zbliżania się do Drogi Mlecznej.

Herschel wyprowadził stąd słuszny wniosek, że otaczający Słońce układ gwiazdowy poczyną rzędnać już w odległościach, dostępnych jeszcze dla jego teleskopu oraz, iż rzędnięcie to zachodzi najwcześniej w kierunkach najbardziej odległych od płaszczyzny Drogi Mlecznej. Według Herschla, ogólny kształt układu galaktycznego przypomina płatek albo zegarek, przy czym gwiazdy rozsiane są w nim najgęściej w pobliżu środka, rzadziej zaś w częściach zewnętrznych; płaszczyzna Drogi Mlecznej stanowi oczywiście centralną płaszczyznę układu. Fakt, iż Droga Mleczna dzieli kulę niebieską na dwie części niemal dokładnie równe, nasunął mu myśl, że Słońce znajduje się bardzo blisko owej płaszczyzny środkowej, co potwierdzają całkowicie najnowsze badania. Fakt, że różne części nieba położone w równych odległościach od Drogi Mlecznej okazują w przybliżeniu jednakową jasność, nasunął Herschelowi przypuszczenie, że Słońce nie tylko leży w centralnej płaszczyźnie układu, lecz że znajduje się bardzo blisko rzeczywistego środka układu. Obecnie wiemy jed-



Obserwatorium Lowell

Odkrycie Plutona

Obie fotografie powyższe otrzymano w Obserwatorium Lowella 2 i 5 marca 1930. Obiekt wskazany strzałkami przesunął się znacznie w tym czasie, co świadczy o tym, że jest to planeta.

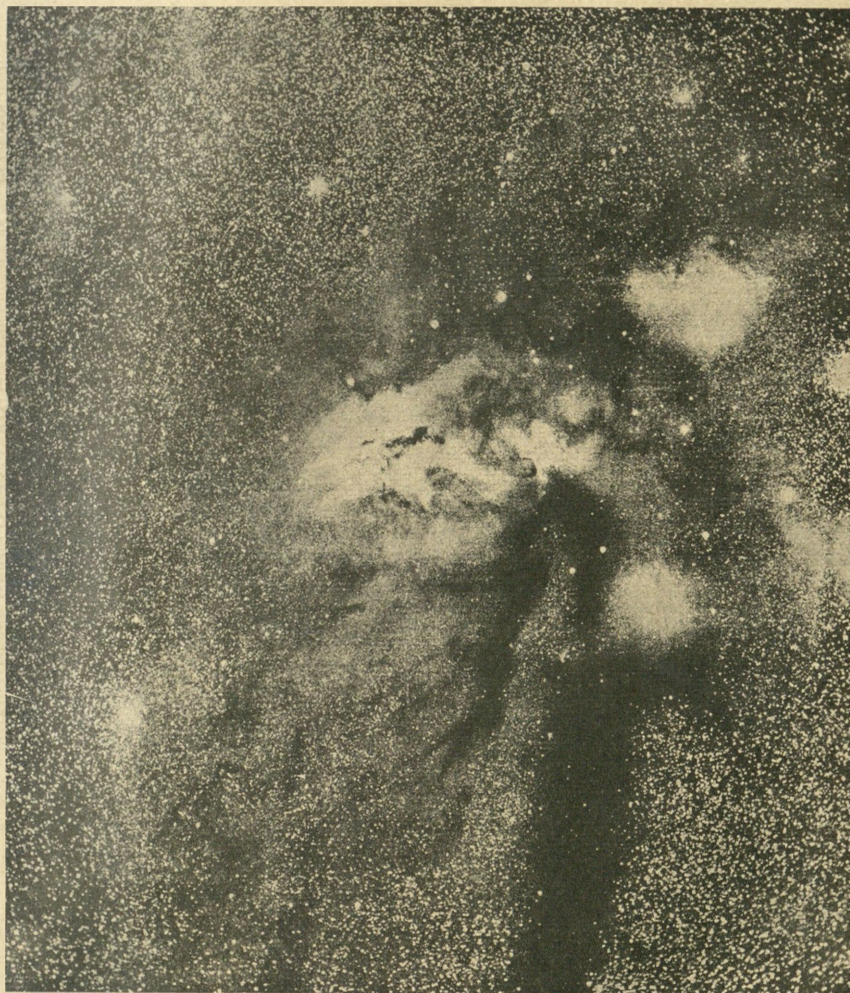
Jasna plama w dolnej lewej części zdjęć jest to gwiazda δ Bliźniąt (p. odnośnik na str. 191).

TABLICA II



Mapa Frunklin-Adamsa

Droga Mleczna w okolicy Krzyża Południowego



E. E. Barnard

Droga Mleczna w okolicy ρ Wężownika

TABLICA IV

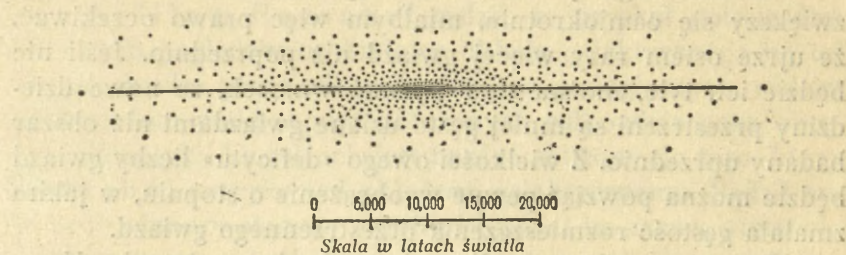


E. E. Barnard

Najjaśniejsza część Drogi Mlecznej — Chmura gwiazdowa
w Strzelcu

nak, że to przypuszczenie Herschla jest niesłuszne (p. str. 65, 71 u dołu).

Rys. 1 przedstawia przekrój poprzeczny ogólnej struktury układu gwiazdowego według poglądów Herschla, przy czym Słońce znajduje się w środku. Łatwo widzieć, że struktura tego rodzaju zdaje sprawę z ogólnego wyglądu nieba. Gwiazdy, które wydają się nam najjaśniejszymi, leżą w ogólności najbliżej nas; są one tak bliskie, że w tych granicach odległości nie można dostrzec wyraźniejszego rzadnienia zbiorowiska gwiazd — dlatego to gwiazdy jasne występują mniej



Rys. 1. Budowa układu galaktycznego według poglądów Herschla i Kapteyna.

więcej jednakowo licznie we wszystkich kierunkach. Gwiazdy bardzo słabe są natomiast przeważnie bardzo odległe, tak iż wielka głębokość układu w kierunku Drogi Mlecznej lub w kierunkach sąsiednich poczyną odgrywać tu rolę. W tych kierunkach tylko znajdujemy ogromną obfitość bardzo słabych gwiazd; warstwy gwiazdowe, leżące niemal bez końca jedna za drugą, powodują powstawanie owego pozornego skupienia słabych gwiazd, które nazywamy Drogą Mleczną.

Szczegóły rozmieszczenia gwiazd zobrazowane na rys. 1 podał Kapteyn w r. 1922. Na skali pod rysunkiem «rok światła» oznacza, jak to się zawsze czyni w astronomii, odległość, którą światło przebiega w ciągu roku. Ponieważ prędkość światła wynosi około 300 000 kilometrów na sekundę, «rok świetlny» ma długość około 9,46 biliona kilometrów.

Metoda, przy której pomocy Kapteyn uzyskał szczegóły owego schematu, jest wysoce specjalna, lecz ogólne jej

zasady nie trudno zrozumieć. Przy pomocy lunety o otworze 8 cm — tzn. takiej, która zbiera całą ilość światła padającą na powierzchnię koła o średnicy 8 cm — mogę dostrzec pewną liczbę gwiazd, powiedzmy 100, na jakiejś małej części sfery niebieskiej. Jeśli użyję teleskopu o otworze 16 cm, oko moje będzie otrzymywało cztery razy więcej światła, tak iż będę mógł dostrzec gwiazdy podobne do poprzednio widzianych w odległości dwukrotnie większej niż poprzednio. Krótko mówiąc, teleskop o otworze dwa razy większym może sięgnąć w przestrzeń dwa razy głębiej.

Wobec tego przestrzeń dostępna do moich obserwacji zwiększy się ośmiokrotnie, miałbym więc prawo oczekiwać, że ujrzę osiem razy więcej gwiazd niż poprzednio. Jeśli nie będzie ich tyle, można stąd wysnuć wniosek, że nowe dziedziny przestrzeni są mniej gęsto usiane gwiazdami niż obszar badany uprzednio. Z wielkości owego «deficytu» liczby gwiazd będzie można powziąć pewne wyobrażenie o stopniu, w jakim zmalała gęstość rozmieszczenia przestrzennego gwiazd.

Istotnie wykonane liczenia gwiazd przekonały Herschla, Kapteyna i wielu innych badaczy, że gwiazdy zaczynają «rzednąć» we wszystkich kierunkach, gdy tylko opuścimy sąsiedztwo Słońca, tak iż Słońce musi znajdować się w obszarze maksymalnej gęstości rozmieszczenia gwiazd. Z tego powodu Kapteyn, podobnie jak i Herschel, sądził, że Słońce znajduje się w środku ugrupowania podobnego do tego, które przedstawia rys. 1. Odstępstwa pomiędzy faktycznymi wynikami liczenia gwiazd a przewidzianymi na podstawie prostego prawa, o którym była wyżej mowa, pozwoliły właśnie skonstruować w szczegółach schemat rys. 1.

Podobne poglądy na budowę układu galaktycznego przyjęte były jeszcze do niedawna, nowsze badania (str. 65 i nast.) wykazały jednak niezbicie, iż wymagają one zmian pod dwoma względami: po pierwsze rozmiary układu są znacznie większe niż to wskazuje podziałka na rys. 1, po wtóre zaś Słońce nie leży ani w środku układu, ani nawet w pobliżu środka. Poza tymi modyfikacjami wszakże schemat Herschla

i K a p t e y n a zachowuje nadal swą wartość, przynajmniej jako pierwsze przybliżenie do prawdy.

Ostateczne utrwalenie się kopernikańskiego poglądu na budowę układu słonecznego zawdzięczamy w znacznej mierze odkryciu przez G a l i l e u s z a analogicznego układu Jowisza, tak położonego w przestrzeni, że obserwator ziemski mógł ogarnąć go jednym spojrzeniem niejako «z lotu ptaka». Nie podobna spojrzeć z lotu ptaka na całość układu słonecznego, widzimy go bowiem zawsze «od wewnątrz», tak iż naocznym dowodem istnienia takich układów mogło być tylko wykrycie innych układów podobnych, widzianych z z e w n ą t r z.

William H e r s c h e l sądził, że uzyskał potwierdzenie swych poglądów na budowę układu galaktycznego na tej właśnie drodze, przez odkrycie układów analogicznych, widzianych «z lotu ptaka», gdyż położonych całkowicie poza obrębem Galaktyki. Kształt ich jest bardzo zbliżony do tego, który H e r s c h e l przypisywał układowi galaktycznemu. Sądził on, że są to chmury złożone z gwiazd i nadał im nazwę «wszechświatów-wysp». Aczkolwiek nie mógł rozróżnić w nich poszczególnych gwiazd, był przekonany, że przy użyciu dostatecznie potężnych teleskopów można by to osiągnąć, tak jak tego dokazał G a l i l e u s z w stosunku do gwiazd Drogi Mlecznej. Pod tym względem H e r s c h e l miał słuszość: obecnie można dostrzec w mgławicach oddzielne gwiazdy (ob. tabl. V).

Twory te są tylko jednym z licznych rodzajów obiektów kosmicznych, które opatrujemy nazwą m g ł a w i c, opartą na ich niewyraźnym mglistym wyglądzie («nebula» oznacza obłok, mgłę). Powszechnie zwiemy je «mgławicami pozagalaktycznymi», ponieważ znajdują się całkowicie poza granicami układu galaktycznego; często jednak będziemy używali krótszego wyrażenia «wielkie mgławice», zupełnie usprawiedliwionego olbrzymimi ich rozmiarami. Zanim wszakże opiszemy je bardziej szczegółowo, dobrze będzie podać krótki przegląd wstępny różnych obiektów kosmicznych, objętych ogólną nazwą mgławic.

MGLAWICE

Planeta widziana w teleskopie ma wygląd tarczy o dostrzegalnej średnicy; okular powiększający 60 razy ukazuje nam Jowisza w pozornej wielkości Księżyca. Jednakże okular taki, ani też żaden inny silniejszy, nie sprawi nigdy, by gwiazda wydawała się tak wielką, jak Jowisz. Przy użyciu najznacniejszych nawet powiększeń gwiazdy wyglądają zawsze tylko jako punkciki świetlne. Gwiazdy są oczywiście o wiele większe od Jowisza, lecz są również o wiele bardziej odległe: zwycięża tu — odległość.

Przy pomocy teleskopu można jednak dostrzec na niebie pewną ilość obiektów nie będących prostymi punktami świetlnymi; poza Księżycem i planetami, mają one zazwyczaj wygląd słabej, mglistej poświaty, dzięki czemu otrzymały ogólną nazwę «mglawic». Szczegółowe badania wykazały, że rozpadają się one na trzy odrębne klasy.

MGLAWICE PLANETARNE. Mglawice te nie mają nic wspólnego z planetami, poza faktem, że w teleskopie nie są to po prostu jasne punkty, lecz tarcze o rozmiarach skończonych, podobnie jak planety. Znamy ich zaledwie paręset; cztery przykłady typowe ilustruje tabl. VI. Są to, jak się okazuje, obiekty stosunkowo niezbyt jasne i niezbyt odległe, przynajmniej w porównaniu z innymi mglawicami, którymi zajmiemy się później. Według oceny van Maanen'a, średnia odległość 21 badanych przezeń mglawic planetarnych wynosi około 4500 lat światła, wobec czego mieszczą się całkowicie wewnątrz układu galaktycznego; każda z nich zaś wysyła przeciętnie dziesięć razy tyle światła, co Słońce.

Rozpatrzeniem przyrody ich zajmiemy się później (p. str. 205); obecnie wystarczy nadmienić, że są to po prostu wyjątkowo gorące gwiazdy, otoczone właśnie dzięki tej wysokiej temperaturze *niezmiernie rozległą świecącą atmosferą*. Tak więc stanowią one wyjątek z naszego twierdzenia, że każda gwiazda wygląda w teleskopie jak prosty punkcik świetlny.

TABLICA V



Obserwatorium na Mt Wilson
Powiększenie części (lewy róg górny) wielkiej mgławicy M31 w Andromedzie,
przedstawionej w całości na tabl. X

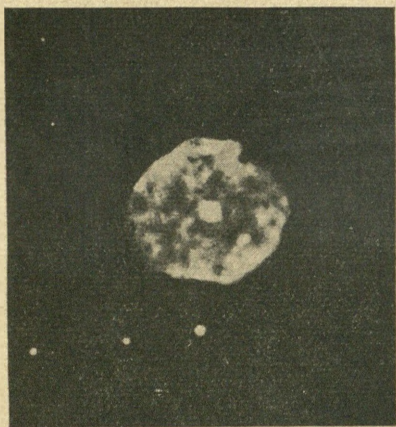
TABLICA VI



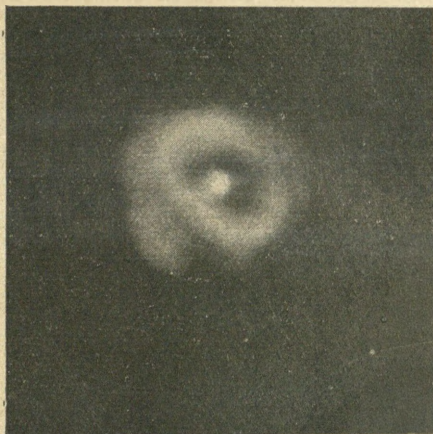
N. G. C. 2022



N. G. C. 6720



N. G. C. 1501



N. G. C. 7662

Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławice planetarne



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica w Łabędzie

TABLICA VIII



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica «Trójdzielna» M20 w Strzelcu

MGLAWICE GALAKTYCZNE. Następna klasa nosi powszechnie nazwę «*mglawic galaktycznych*» (p. tabl. VII, VIII i IX). Znajdują się one również w obrębie układu galaktycznego. Kształty ich są zupełnie *nieregularne*; wyglądają one jak wielkie, świecące strzępy gazu, rozpościerające się od gwiazdy do gwiazdy — i tym właśnie są w rzeczywistości. Pobieżny nawet rzut oka przekonywa, iż każda mglawica nieregularna zawiera kilka gwiazd wpłatanych w nią; dokładne badanie teleskopowe rozszerza często rozmiary danej mglawicy prawie nieograniczenie, tak iż jedna mglawica może omotywać cały niemal gwiazdozbiór.

Przyroda tych mglawic nie nastęcza wątpliwości. Liczne dowody świadczą o tym, że przestrzeń międzygwiazdowa nie jest całkowicie pozbawiona materii, lecz *wypełnia ją chmura niezmiernie rozrzedzonego gazu*. Gdzieś tam chmura owa posiada gęstość większą niż przeciętnie, gdzieś tam też może być wzbudzona do świecenia przez promieniowanie gwiazd wewnątrz niej zawartych.

Może ona bądź to *odbijać światło* tych gwiazd, bądź też może emitować swoje *własne światło*. Że taka jest przyczyna świecenia wspomnianych mglawic, o tym świadczy fakt, iż światło ich ma te same cechy, co światło gwiazd znajdujących się wewnątrz mglawicy. Tak np. znana grupa Plejad jest pogrążona w rozległej, słabo świecącej mglawicy, której światło «jest dokładną kopią światła gwiazdy Merope i innych jasnych gwiazd w Plejadach».

W innych znów miejscach mglawica jest całkowicie nieprzezroczysta, przesłaniając bardziej odległe części nieba jakby czarną zasłoną. Z kombinacji najrozmaitszych stopni gęstości, nieprzezroczystości i jasności powstają wszystkie te fantastyczne kształty i różnorodne przejścia od światła do cienia, jakie obserwujemy w mglawicach galaktycznych.

Nieprzezroczystości chmur kosmicznych zawdzięczamy również powstawanie *ciemnych plam*, występujących gdzieś tam na tle zbiorowisk gwiazdowych. Na fotografii części Drogi Mlecznej, przedstawionej na tabl. II (str. 20), mamy wybitny przykład tego zjawiska: widać tu ciemną plamę, która

wygląda na pierwszy rzut oka, jak dziura w chmurze gwiazdowej; nosi ona obrazową nazwę «Worka węgla». Inne podobne plamy ciemne widzimy na tabl. III i IV (str. 20, 21), a także na tabl. VIII i IX. Ciemne te plamy na niebie nie mogą być w rzeczywistości «dziurami», trudno by bowiem zrozumieć, dlaczego miałyby istnieć tyle pustych tuneli w układzie gwiazdowym, rozciągających się dokładnie w kierunku ku Ziemi. Musimy więc uważać je za przesłony z materii przyćmiewającej lub gaszącej światło gwiazd bardziej odległych. Jak zobaczymy wkrótce, owa materia pochłaniająca ma ważne znaczenie w astronomii współczesnej.

MGLAWICE POZAGALAKTYCZNE. Ostatnia wreszcie klasa mgławic posiada naturę zupełnie odmienną. Mgławice te mają w większości przypadków kształty określone i prawidłowe oraz okazują również inne cechy, po których bez trudu można je rozpoznać. Wiele z nich posiada budowę spiralną; te więc nazwano «mgławicami spiralnymi». Najwybitniejszym obiektem wśród tych ostatnich jest najbliższa z nich Wielka Mgławica w Andromedzie *M 31* (tabl. X), dostrzegalna jeszcze gołym okiem. Astronom *Marius*, obserwując ją przez lunetę w r. 1612, wyraził się, że wygląda ona «jak płomień świecy, widziany przez blaszkę z rogu». Tabl. XI podaje inny przykład mgławicy, zapewne bardzo podobnie zbudowanej, lecz widzianej prawie dokładnie «z boku».

Wszystkie mgławice omawianego typu leżą poza granicami układu galaktycznego, tak iż nazwa «mgławic pozagalaktycznych» jest dla nich zupełnie odpowiednia. Rozmiary ich są olbrzymie. Fotografie na tablicach X do XII trzeba by powiększyć do rozmiarów całej Europy, aby bryła wielkości Ziemi stała się dla nich w ogóle dostrzegalna przy pomocy silnego mikroskopu! Kształtem zbliżają się na ogół do tego, który *W. Herschel* przypisał był w swoim czasie układowi galaktycznemu; to właśnie skłoniło go do uważania tych mgławic za «wszechświaty wyspowe», analogiczne do układu Drogi Mlecznej. Zobaczymy w dalszym ciągu, jak dalece ostatnie badania potwierdziły to przypuszczenie. Mgławice pozagalakty-

czne, przynajmniej niektóre z nich, są układami gwiazd podobnymi do naszego układu galaktycznego. Tak więc widok mgławicy pozagalaktycznej daje nam dobre wyobrażenie o tym, jak wyglądałby nasz własny układ, oglądany z zewnątrz. Mgławica przedstawiona na tabl. X jest prawdopodobnie bardzo zbliżona do niego pod względem kształtu, rozmiarów i budowy, i to samo odnosi się do mgławicy na tabl. XI, widzianej dokładnie «z boku». Widzimy, że ten krąg gwiazdowy jest bardzo płaski; jest to cecha wspólna prawie wszystkim mgławicom pozagalaktycznym. Wyse i Mayall wymierzili sześć mgławic widzianych «z boku» i znaleźli, że długość ich przeszło 8,9 razy przewyższa grubość, przy czym średni stosunek wynosi 12,3. Pomijając więc zgrubienie środkowe musimy uważać galaktyki za bardzo spłaszczone zbiorowiska gwiazd.

ODLEGŁOŚCI GWIAZD

Za następny etap w naszym przeglądzie badań nieba można obrać rok 1837; w tym bowiem roku zmierzono po raz pierwszy *odległość gwiazdy*.

W drugim wieku po Chrystusie Ptolemeusz dowodził, że Ziemia nie może poruszać się w przestrzeni, gdyż, jeśliby tak było, położenie jej względem otaczających gwiazd musiałoby ulegać ciągłej zmianie. Jak dziecku bujającemu się na huśtawce wydaje się, że bliższe domy i drzewa przesuwają się rytmicznie tam i na powrót na tle dalekich wzgórz czy obłoków — podobnie mieszkańcy Ziemi powinni by dostrzegać nieustanną zmianę położenia gwiazd bliższych względem tła utworzonego przez gwiazdy bardziej odległe. Jednakże co noc te same widzimy gwiazdozbiory — tak przynajmniej sądził Ptolemeusz; w tych samych położeniach wzajemnych odbywają one swą odwieczną drogę dokoła bieguna, a takie wybitne grupy gwiazd, jak Wielka Niedźwiedzica, Orion lub Plejady, nie okazywały od wieków żadnych zmian. Dla oka nieuzbrojonego gwiazdy są po prostu tylko jakby plamkami, zrobionymi błyszczącą farbą na płótnie firmamentu obracającego się dokoła swego środka — nieruchomej Ziemi.

Przeciwnie, z teorii K o p e r n i k a wynika, że gwiazdy bliższe powinny *przesuwać się* względem tła gwiazd dalszych skutkiem wędrówki Ziemi dookoła Słońca w jej rocznym obiegu. Mijały lata, a nawet stulecia, lecz ruchu takiego nie udawało się wykryć; być może, iż dawne twierdzenie P t o l e m e u s z a, że Ziemia stanowi nieruchomy środek Wszechświata, odzyskałoby było ostatecznie dawne swe znaczenie: coraz liczniejsze dane wskazywały jednak na to, że najbliższe nawet gwiazdy muszą być bardzo od nas odległe, tak bardzo, że zrozumiała się staję pozorna ich nieruchomość. Dziecko na huśtawce również nie zdołałoby przekonać się za pomocą spostrzeżeń wzrokowych o tym, że jest w ruchu, jeśliby najbliższy widzialny przedmiot znajdował się w odległości np. trzydziestu kilometrów.

Najbardziej bezpośrednim dowodem olbrzymiej odległości gwiazd jest oczywiście ich mała jasność pozorna: jeśli gwiazdy są podobne do Słońca, to różnica jasności ich oraz Słońca daje nam miarę różnicy ich odległości od nas. Tak np. od Słońca otrzymujemy 11,5 miliardów razy więcej światła niż od Syriusza, najjaśniejszej gwiazdy nieba. Otóż jasność świecącego obiektu maleje w takim stosunku, w jakim wzrasta kwadrat jego odległości od nas; stąd wynika, że gdyby Syriusz był ciałem niebieskim całkiem podobnym do Słońca, odległość Syriusza wynosiłaby 107 000 razy wziętą odległość Słońca (gdyż 11,5 miliardów równa się kwadratowi liczby 107 000). W rzeczywistości Syriusz jest znacznie jaśniejszy od Słońca, tak iż odległość jego musi być jeszcze większa od wyżej obliczonej. Lecz już ten grubo przybliżony rachunek wykazał, że nawet najjaśniejsze dla oka gwiazdy muszą być niezmiernie odległe. Nic dziwnego więc, że przez długi czas astronomowie na próżno starali się wykryć pozorny ruch wahadłowy gwiazd, tzw. «*ruch paralaktyczny*», wynikający z ruchu Ziemi w jej orbicie.

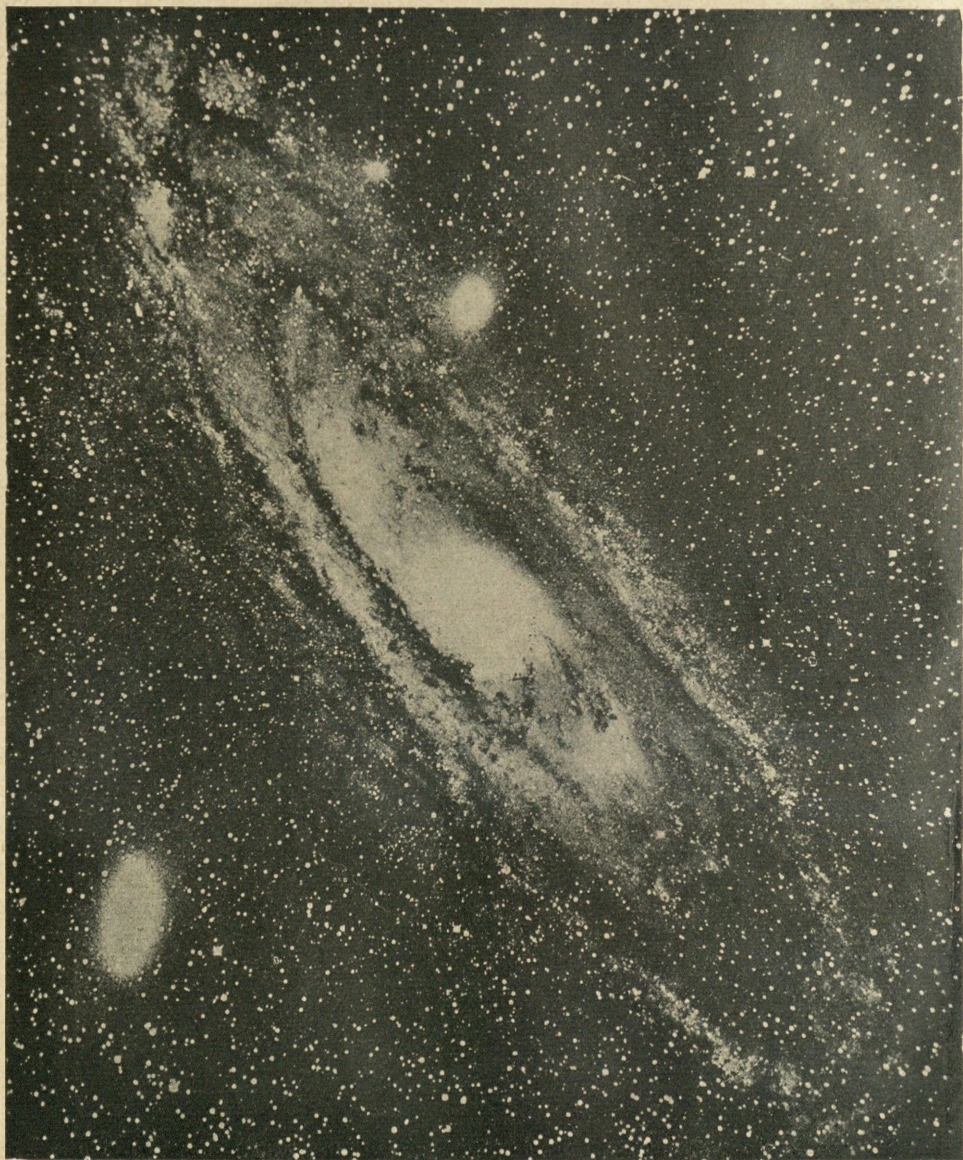
Ostatecznie w r. 1837 S t r u v e stwierdził istnienie ruchu paralaktycznego Węgi i wywnioskował stąd, że odległość Węgi wynosi około 26 lat światła (str. 21), jednak spostrzeżenia jego niezbyt dobrze zgadzały się między sobą, co pozwalało przy-



Obserwatorium na M1 Wilson

«Koński łeb» w wielkiej mgławicy w Orionie

TABLICA X



Obserwatorium Yerkesa

Wielka Mgławica *M31* w Andromedzie wraz z dwiema swymi towarzysz-
kami — *M32* (nad środkiem głównej mgławicy) oraz N.G.C. 205 (w lewym
rogu dolnym). Powiększenie lewego rogu górnego *M31* znajduje się na
tabl. V, a powiększenie części środkowej na tabl. XVII



Obserwatorium na Mł Wilson

Mgławica N. G. C. 891 w Andromedzie widziana
od strony krawędzi

TABLICA XII



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica N. G. C. 7217

puszczać, iż błąd podanej przezeń odległości może przekraczać 50%. Wiemy obecnie, że istotnie była ona przeszło dwa razy mniejsza od wartości rzeczywistej. W roku następnym Bessel dostrzegł ruch paralaktyczny 61 Łabędzia. Tutaj poszczególne obserwacje dobrze zgadzały się pomiędzy sobą i oceniona przez Bessla odległość 10,5 lat świetlnych odpowiada prawie dokładnie wynikom pomiarów nowoczesnych, które ustalają tę odległość na 11,1 lat światła. W tymże roku Henderson zmierzył odległość bardzo bliskiej gwiazdy α Centaura i otrzymał wartość $3\frac{1}{4}$ lat światła, gdy tymczasem prawdziwa wartość wynosi 4,31 lat światła. Jakkolwiek te wszystkie wartości były niezbyt dokładne w porównaniu ze znanymi dzisiaj, dały nam one wszakże po raz pierwszy dobrą ocenę kolośalnej skali, w jakiej zbudowany jest Wszechświat.

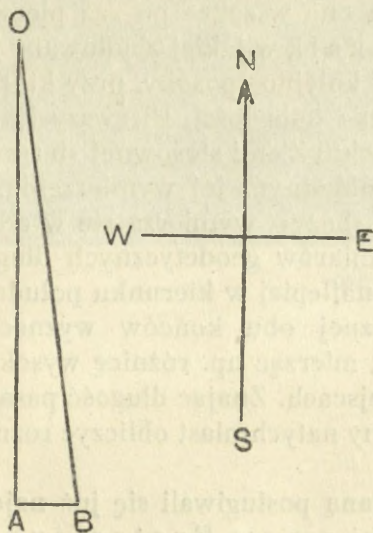
Rozpatrzmy kolejno sposoby, przy których pomocy mierzymy te olbrzymie odległości. Pierwszy krok polega na wyborze na powierzchni Ziemi stosownej «bazy», długości kilku kilometrów i dokładnym jej wymierzeniu, np. w metrach. Wychodząc z tej «bazy» wymierza się w odniesieniu do niej przy pomocy pomiarów geodetycznych długi, wąski pas powierzchni Ziemi, najlepiej w kierunku południka. Różnicę szerokości geograficznej obu końców wyznacza się metodami astronomicznymi, mierząc np. różnicę wysokości gwiazdy Polarnej w tych miejscach. Znając długość pasa, wyrażoną w kilometrach, możemy natychmiast obliczyć rozmiary globu ziemskiego.

Metodą opisaną posługiwali się już najdawniejsi geometryści greccy. Z jej pomocą Eratostenes z Aleksandrii (około 276—195 przed Chr.) ocenił obwód Ziemi na 250 000 stadiów, co nieźle zbliża się do prawdy przy jakimkolwiek zresztą rozsądnym założeniu odnośnie rzeczywistej długości jednego stadium. Zgodnie z wartościami przyjętymi przez Międzynarodową Unię Geodetyczną, równikowy promień Ziemi mierzy 6378,388 km, biegunowy zaś 6356,912 km.

Po wyznaczeniu rozmiarów Ziemi najbliższym krokiem jest zbadanie odległości bliższych spośród pozaziemskich obiektów.

tów astronomicznych. Dla najbliższego z nich, Księżyca, jest to rzeczą stosunkowo łatwą.

Używamy w tym celu metody identycznej z tą, jaką stosuje geodeta, by znaleźć odległość obiektu bezpośrednio niedostępnego (rys. 2). Przypuśćmy, że gdy znajduje się on w punkcie A, obiekt O przypada dokładnie na północ od niego. Przesunąwszy się następnie do punktu B, o kilometr na wschód od A, stwierdza on, że O leży teraz o 5° ku zachodowi, licząc od północy. Obecnie znany mu jest już kształt trójkąta AOB: kąty jego wynoszą 90° , 5° i 85° ; zna również długość jednego z boków, mianowicie $AB = 1$ km. Prosty rysunek lub oblicze-



Rys. 2.

nie okazuje teraz, że długości pozostałych boków wynoszą: $AO = 11,43$ km i $BO = 11,47$ km, co właśnie daje mu odpowiedź na postawione pytanie. Linia AB nazywa się «bazą»; widoczną jest rzeczą, iż jeśli jest ona zbyt mała w porównaniu z odległościami, o których pomiar chodzi, wyłaniają się trudności: małe omyłki w wyznaczeniu kątów i kierunków mogą spowodować poważne błędy w obliczanych odległościach.

Jeśli niedostępnym obiektem *O* jest Księżyc, astronom obiera za bazę *AB* odległość pomiędzy dwoma obserwatoriami, oddalonymi od siebie o kilka tysięcy kilometrów. Jednoczesne spostrzeżenia w obu obserwatoriach dają wówczas kąty trójkąta *AOB* i odległość Księżyca wynika już z łatwego rachunku. Ponieważ Księżyc nie obiega Ziemi dokładnie po kole, odległość ta zmienia się w granicach pomiędzy 357 000 a 406 000 km, średnio zaś wynosi 384 000 km, czyli nieco ponad 60 razy wzięty promień Ziemi.

Byłoby rzeczą bardzo trudną wyznaczyć odległość Słońca bezpośrednio tą metodą, częściowo dlatego, że odległość ta jest przeszło 20 000 razy większa od promienia Ziemi, a więc przeszło 10 000 razy większa od długości największej nawet bazy, ale głównie z powodu technicznych trudności związanych z silnym światłem Słońca. Jednakże stosunki odległości Słońca i planet znane są dokładnie, tak iż jeśli znajdziemy którąkolwiek z tych odległości, wszystkie inne można obliczyć natychmiast. Były czynione próby wyznaczania odległości najbliższych planet: Wenera i Marsa, później zaś — różnych *planetoid* (str. 15), które jeszcze bardziej mogą zbliżyć się do Ziemi. Odkryta w r. 1898 planetoida *Eros* okazała się szczególnie dogodną w tym celu: nie tylko zbliża się ona do nas niekiedy na odległość zaledwie 22 milionów km, lecz ponadto jest to bryła bardzo mała, mierząca około 25 km w średnicy, tak że podczas obserwacji stanowi idealny «punkt świetlny», którego położenie dogodnie można wyznaczyć. W r. 1931, gdy *Eros* zbliżył się do Ziemi na odległość 25 milionów km, wykonano odpowiednie pomiary w licznych obserwatoriach; według *Spencera Jonesa* z danych tych wynika, że odległość Słońca od Ziemi wynosi 149 640 000 km, przy czym błąd może dosięgać jednej dziesięciotysięcznej części tej wartości.

Najbliższym — i największym — zagadnieniem jest wyznaczenie odległości gwiazd. Wszelka baza wzięta na powierzchni Ziemi byłaby tak znikomo mała w porównaniu z mierzonymi odległościami, że nie miałyby najmniejszej wartości. Dopiero *cała średnica drogi Ziemi wokół Słońca* —

około 300 milionów kilometrów — może oddać pewne usługi jako baza, ale nawet ona okazuje się deprymująco mała.

Przy przejściu od metra wzorcowego do bazy, wymierzonej gdzieś na powierzchni Ziemi, mamy do czynienia ze stosunkiem długości wynoszącym zazwyczaj kilka tysięcy. Krok dalszy, od długości bazy do średnicy Ziemi — to znów wzrost przeszło tysiąckrotny; by osiągnąć rozmiary orbity ziemskiej, musimy raz jeszcze mnożyć przez tysiące. Jednakże krok ostatni, przejście od orbity ziemskiej do odległości gwiazdowych — jest to wzrost rzędu wielkości milionów razy.

Z nowszych pomiarów wynika bowiem, że najbliższe gwiazdy są niemal dokładnie milion razy bardziej od nas odległe, niż najbliższe planety. W czasie największego zbliżenia się do Ziemi, Wenus dzieli od nas przestrzeń około 42 milionów km; najbliższa zaś gwiazda, Proxima Centauri, odległa jest od nas o 40 milionów milionów (tj. 40 bilionów) km; jest to słaba gwiazdka w pobliżu α Centaura, znanej jasnej gwiazdy półkuli południowej. W poniżej przytoczonej tabliczce zestawiono najmniejsze odległości trzech planet oraz trzech najbliższych gwiazd:

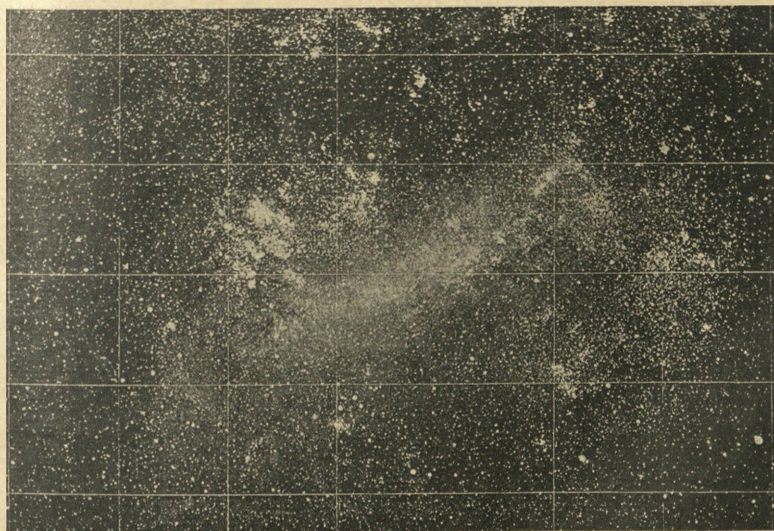
PLANETY		GWIAZDY		
Nazwa	Odległość w mil. km.	Nazwa	Odległość w mil. km.	Odległość w latach św.
Wenus	42	Proxima Centauri } α Centaura }	40 000 000	4,27 4,31
Mars	56	München 15040	57 000 000	6,04
Merkury	76	Wolf 359	77 000 000	8,14

Jest rzeczą prawie niemożliwą dokładnie uzmysłowić sobie milion, toteż proste stwierdzenie faktu, że gwiazdy są milion razy dalej od Ziemi niż planety, daje jedynie niejasne wyobrażenie o niezmierzoności przerwy, dzielącej układ słoneczny od najbliższych jego sąsiadów w przestrzeni. Być może, iż lepiej zdołamy uprzytomnić sobie tę sprawę, zwróciwszy bacniejszą uwagę na pozorną nieruchomość gwiazd.



Obserwatorium w Arequipa

Maly Obłok Magellana



Mapa Franklin Adamsa

Wielki Obłok Magellana

TABLICA XIV



Dominialne Obserwatorium Astrofizyczne B. C.

Gromada kulista *M 13* w Herkulesie

Ziemia odbywa swą doroczną wędrówkę dokoła Słońca z prędkością około 30 kilometrów na sekundę — przewyższającą tysiąc razy prędkość pociągu pośpiesznego. Słońce porusza się względem otaczającej je grupy bliższych gwiazd z podobną prędkością; w ogóle mówiąc, zarówno planety, jak większość gwiazd, posiadają prędkości tego właśnie rzędu. Nie oddalimy się zbyt od prawdy przypuściwszy na chwilę, że wszystkie ciała niebieskie poruszają się z jednakową prędkością. Możemy teraz wnioskować o odległości ciał niebieskich z prędkości ich ruchu pozornego po sklepieniu nieba: im ruch ten jest powolniejszy, tym bardziej są od nas odległe i vice versa. Istotnie też astronom posługuje się tą metodą w celu wyszukania najbliższych gwiazd.

Otóż planety przesuwały się po niebie tak szybko, iż łatwo wykryć ten ruch po upływie doby, niekiedy nawet godziny; gwiazdy natomiast nie okazują przesunięć dostrzegalnych dla oka nieuzbrojonego nawet w ciągu całych stuleci. Nawet najwybitniejsze gwiazdozbiory, składające się w ogóle z gwiazd najbliższych, nie zmieniły przecież swej postaci w czasach historycznych. Ten kontrast pomiędzy planetami, które zmieniają położenie z godziny na godzinę, a gwiazdami pozornie nieruchomymi nawet w ciągu wieków, uzmysławia żywo olbrzymią różnicę odległości obu tych klas ciał niebieskich.

O wiele trudniej uprzytomnić sobie rzeczywiste odległości gwiazd. Twierdzenie, że nawet najbliższa spośród nich odległa jest od nas o 40 bilionów km, nie budzi w umyśle naszym żadnego obrazu; lepiej już chyba powiedzieć, że odległość ta wynosi $4\frac{1}{4}$ «lat światła» — tzn. równa się drodze, którą światło biegnące z prędkością 300 000 km na sekundę przebywa w ciągu $4\frac{1}{4}$ lat.

Światło rozchodzi się z tą samą prędkością, co fale radiowe, oba te zjawiska bowiem polegają na przenoszeniu się zaburzeń elektromagnetycznych. Prędkość owa jest blisko milion razy większa od prędkości głosu. Aby unaocznić olbrzymią różnicę pomiędzy prędkością głosu i fal elektromagnetycznych, wyobraźmy sobie spikera przemawiającego na stacji

nadawczej np. w Londynie: otóż głos jego wymaga dłuższego czasu, by dobiec do mikrofonu oddalonego o metr, jako fala dźwiękowa, niż na przebycie w postaci fali elektromagnetycznej 600 km, dzielących Londyn od Edynburga. Radiosłuchacze słyszą w Australii dźwięki koncertu z Londynu w piętnastą część sekundy po ich zagranie, to znaczy wcześniej, niż zwykły słuchacz, siedzący gdzieś w głębi sali koncertowej. A jednak światło, które posiada tę samą prędkość co fale radiowe — bieć musi cztery lata i ćwierć, by dotrzeć do najbliższej znanej gwiazdy, Proxymy Centauri: mieszkańcy jej słyszeliby nasze koncerty po upływie 4 lat i 3 miesiące po ich odegraniu. W dalszym ciągu tej książki mówić będziemy i o takich gwiazdach, do których sygnały nasze jeszcze by do dziś dotrzeć nie zdołały, nawet gdyby zostały wysłane przed wojnami krzyżowymi, przed zbudowaniem piramid, przed pojawieniem się człowieka — może nawet przed powstaniem życia na Ziemi.

ANALIZA WIDMOWA

Za następny nasz «kamień milowy» możemy uważać *zastosowanie analizy widmowej do astronomii*.

Światło wszelkiego rodzaju jest mieszaniną różnych barw. Podobnie jak Newton w słynnym swym doświadczeniu rozłożył przy pomocy pryzmatu światło słoneczne na wszystkie barwy tęczy, tak *spektroskopy* współczesne rozkładają światło gwiazdy czy innego jakiegoś źródła na poszczególne barwy składowe. Przyrządy te rozciągają badane światło w jasną smugę o barwach stopniowo przechodzących jedna w drugą, zwaną «*widmem*». Są to te same barwy, co w tęczy i w ten sam sposób uporządkowane: począwszy od fioletu przez błękit, zieleń, żółtą i pomarańczową do czerwieni. Tęcza jest bowiem również widmem: istotnie, najprostszym w świecie spektroskopem jest po prostu kropelka wody — rosy lub deszczu. Zbiór wielkiej ilości takich kropelek — pokryta rosą łąka lub rześisty deszcz — stanowią już lepszy spektro-

skop, który rozszczepia światło zupełnie tak samo, jak to czyni spektroskop laboratoryjny.

Owa niezmienna kolejność barw ma oczywiście swą przyczynę fizyczną. Jak zobaczymy w dalszym ciągu (str. 114), wiele ważnych właściwości światła można wyjaśnić w założeniu, iż składa się ono z ciągów fal — analogicznych do tych zmarszczek, jakie wzbudza podmuch wiatru na powierzchni stawu — przy czym różnym barwom światła odpowiadają fale różnej długości: barwie czerwonej — najdłuższej, fioletkowej — najkrótszej. Barwy są uporządkowane w widmie według odpowiedniej długości fali, od fal najdłuższych (czerwien) do najkrótszych (fiolet).

W r. 1814 Fraunhofer powtórzył doświadczenie Newtona z analizą światła słonecznego i stwierdził, że widmo przecinają w poprzek liczne ciemne prążki; znaczy to, iż pewne wąskie zakresy barw bądź to są osłabione, bądź nawet zupełnie nie występują w świetle słonecznym. Prążki te znamy obecnie pod nazwą prążków lub linii Fraunhfera. Fizyczną przyczyną ich powstawania zajmujemy się później (str. 152).

Dalsze badania okazały, że podobne linie występują w widmach wszystkich gwiazd. Na tabl. XV (str. 36) znajdujemy jako przykład widma kilku dobrze znanych gwiazd. Dokładne pomiary położenia linii dostarczają astronomom wielu cennych informacji. W sprzyjających okolicznościach linie te mówią nam o tym, jaka jest temperatura (str. 187), gęstość (str. 192) i skład chemiczny (str. 36) atmosfery gwiazdy; odległość gwiazdy od nas (str. 62) i prędkość, z jaką odległość wzrasta lub maleje (str. 37); wreszcie, pozwalają one niekiedy wysnuć wnioski dotyczące masy gwiazdy (str. 87) oraz prędkości obrotu jej dokoła osi (str. 39).

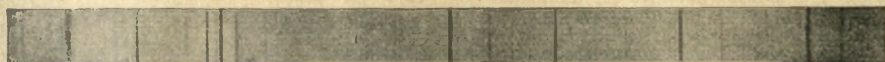
SKŁAD CHEMICZNY GWIAZD. Jeśli światło wysyłane przez pewien *pierwiastek chemiczny*, np. sód lub wapń, rozłożymy przy pomocy spektroskopu, to nie otrzymamy widma w postaci nieprzerwanej, «ciągłej» smugi barwnej, lecz będą w nim

występowały na przemian miejsca jasne i ciemne. Rozmieszczenie ich jest, jak się okazuje, cechą charakterystyczną danej substancji, tak iż zbadanie widma pozwala wywnioskować, jaka jest natura chemiczna substancji emitującej światło. Opowiadają, że pionierzy analizy widmowej, Kirchhoff i Bunsen, badali za pomocą spektroskopu światło dalekiego pożaru w Mannheimie i, znajdując w widmie płomienia charakterystyczny dla pierwiastka strontu układ prążków, wysnuli stąd wniosek, że w płonących materiałach musiał być zawarty stront. Dalsze rozumowanie było bardzo proste: jeśli można było w ten sposób wykryć skład chemiczny owego odległego płomienia, powinno by się to udać również w przypadku Słońca i gwiazd. Jak się okazało, jest to zupełnie możliwe. Ciemne linie obserwowane w widmach gwiazd zostały w większości utożsamione z liniami, które stanowią charakterystyczny układ prążków w widmach rozmaitych pierwiastków chemicznych. W tabl. XV można zidentyfikować linie np. helu, wodoru, wapnia i żelaza. W r. 1862 William Huggins zbadał już widma około 40 gwiazd i rozpoznał w nich znane prążki widmowe licznych pierwiastków chemicznych. Po kilku latach liczba widm gwiazdowych obserwowanych przez astronoma włoskiego Secchi'ego wzrosła do 4000; Secchi rozklasyfikował je na odrębne typy, które oznaczył liczbami I, II, III i IV.

W ten sposób więc na podstawie badania widm można orzec ze znacznym stopniem dokładności, jaki jest skład chemiczny atmosfer gwiazdowych; skład warstw wewnętrznych jest oczywiście niedostępny dla obserwacji. Jeśli pominąć niektóre niezbyt ważne wyjątki, ogół prążków w widmach gwiazdowych można utożsamić jako *należący do substancyj znanych na Ziemi*; wynika stąd zatem, że — przynajmniej o ile chodzi o zewnętrzne warstwy — *gwiazdy są zbudowane z tych samych pierwiastków chemicznych, co Ziemia*.

Powrócimy jeszcze w dalszym ciągu (str. 183) do szczegółowej dyskusji składu chemicznego gwiazd, gdy będzie mowa o rozmaitych ich typach, jakie ujawnia obserwacja nieba.

TABLICA XV



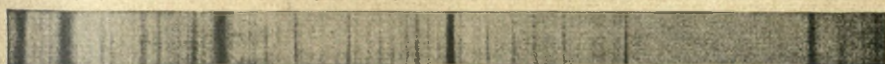
B 0

ϵ Oriona



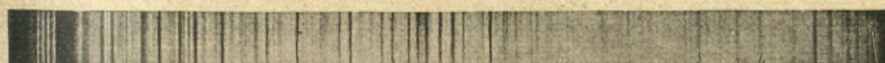
A 0

Syriusz



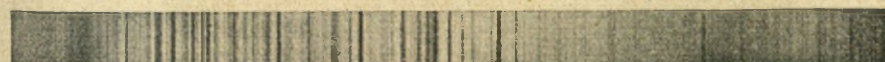
F 0

δ Bliźniąt



G 0

Koza (Capella)



K 0

Arktur



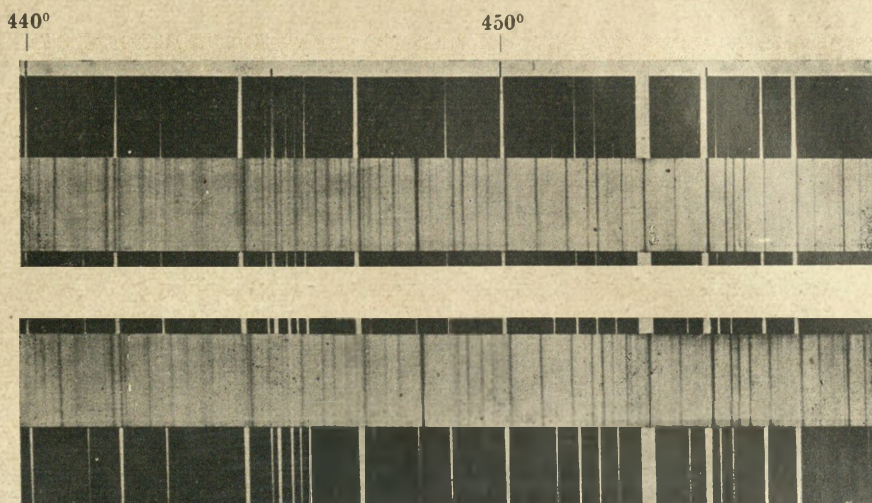
M 0

Beteigeuze

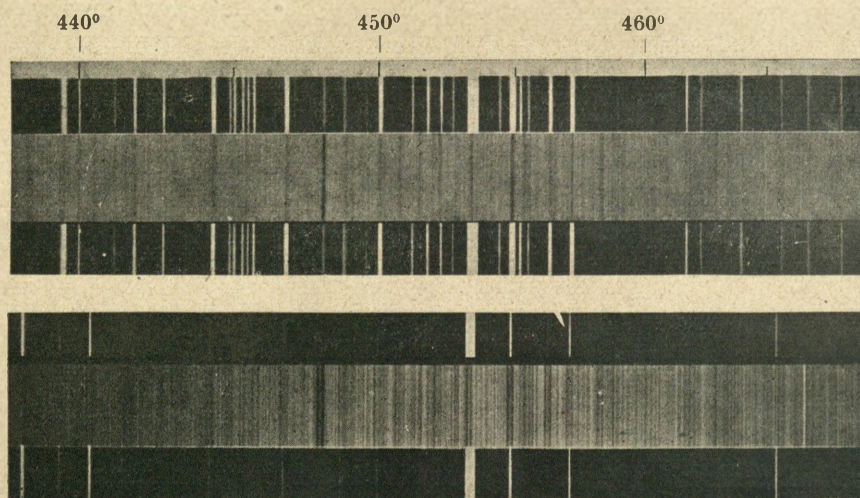
Widma gwiazd

(Typy widmowe oznaczone są po lewej stronie)

TABLICA XVI



Widmo μ Oriona okazujące zmienną prędkość radialną



Obserwatorium Yerkesa

Widmo ζ Wielkiej Niedźwiedzicy z rozdwojonymi liniami

Zjawisko Dopplera w widmach gwiazdowych

WYZNACZANIE PRĘDKOŚCI METODĄ SPEKTROSKOPOWĄ. Gdy odległość gwiazdy jest znana, ruch jej po sklepieniu niebieskim pozwala wyznaczyć prędkość w kierunku *prostopadłym* do linii łączącej oko nasze z gwiazdą, czyli do «*promienia widzenia*», nie mówi nam jednak nic o ruchu *wzdłuż* tej linii. Nie podobna przecież dostrzec ruchu punktu biegnącego wprost ku nam: gwiazda poruszająca się z prędkością miliona kilometrów na sekundę ściśle w kierunku promienia widzenia wydawałaby się mimo to nieruchomą na niebie. W celu wyznaczenia prędkości *wzdłuż* promienia widzenia astronom ucieka się do pomocy *spektroskopu*. Metoda polega na następującym.

Przy badaniu światła gwiazd za pomocą spektroskopu okazuje się często, że dany zbiór prążków lub pasm w całości jest *nieco przesunięty* w jednym lub drugim kierunku ze swego położenia normalnego. W przypadku przesunięcia ku *czerwonemu* krańcowi widma dobiegające do nas światło gwiazdy jest *czwieńsze*, niżby być powinno, a ponieważ barwie czerwonej odpowiadają najdłuższe fale, znaczy to, iż wszystkie fale światła gwiazdy *wydłużyły się* nieco — są niejako *bardziej rozciągnięte*, niż w warunkach normalnych.

Ponieważ światło wszelkich barw rozchodzi się w *prze-strzeni* z tą samą prędkością, wynika stąd, iż dobiega do nas wówczas *mniej* fal niż normalnie. Dzieje się to dlatego, że *my oddalamy się* od gwiazdy albo ona od nas, albo *działają* obie te przyczyny. Zawsze, gdy układ prążków w widmie jest przesunięty ku *czerwonemu* krańcowi widma, możemy wnosić, że odległość pomiędzy nami a gwiazdą *wzrasta*. Zupełnie analogicznie, przesunięcie w stronę *fioletu* dowodzi, że odległość ta *zmniejsza się*, czyli że gwiazda *zbliża się* do nas. Owo przesuwanie się widma będące wynikiem ruchu ciała, które je wysyła, nosi nazwę «*zjawiska Dopplera*».

Przykład tego zjawiska znajdujemy na tabl. XVI (obok). Górna fotografia na tej tablicy przedstawia wycinek z niebiesko-fioletkowej części trzech widm: środkowe należy do gwia-

zdy μ Oriona, natomiast sąsiednie górne i dolne (identyczne ze sobą) są to widma «porównawcze», wskazujące normalne położenia prążków widmowych niektórych substancji ziemskich. Prawie dokładna identyczność tych prążków z liniami w widmie gwiazdy świadczy o tym, że substancje te istnieją na gwieździe. Stąd wniosek, że widma porównawcze okazują normalne położenia pewnych linii widmowych gwiazdy tego typu, tzn. położenia, jakie byśmy obserwowali, gdyby gwiazda ani się nie zbliżała do nas, ani nie oddalała. Staranne przyjrzenie się tym widmom przekonywa, że widmo gwiazdy jest tu z lekka przesunięte na prawo — w stronę czerwieni — co świadczy o jej oddalaniu się od nas.

Druga fotografia na tabl. XVI przedstawia widmo tej samej gwiazdy, sfotografowane w innym czasie; widzimy tu znów przesunięcie ku czerwieni, lecz tym razem większe niż poprzednio. W czasie więc, gdy wykonywano tę drugą fotografię, gwiazda oddalała się od nas z większą prędkością niż podczas pierwszego zdjęcia.

Jeśli wielkość przesunięcia linii widmowych dowolnego obiektu zostanie dokładnie zmierzona, wówczas można przy pomocy niezmiernie prostego rachunku obliczyć prędkość zbliżania się czy oddalania tego obiektu. Jeżeli np. każdy prążek czy pasmo w widmie gwiazdy posiada długość fali o 0,01% większą, niż w warunkach normalnych, wówczas prędkość oddalania się gwiazdy wynosi 0,01% prędkości światła, czyli 30 km/sek; w zupełnie analogiczny sposób obliczamy odpowiednie prędkości przy innych przesunięciach.

PRĘDKOŚĆ RUCHU OBROTOWEGO BADANA METODĄ SPEKTROSKOPOWĄ. Obserwacje przesuwania się plam słonecznych na tarczy Słońca wykazują, że atmosfera Słońca w pobliżu jego równika wykonywa jeden obrót w ciągu około $24\frac{3}{4}$ dnia. Wynika stąd, że każdy punkt równika słonecznego porusza się dookoła środka Słońca z prędkością około 2 kilometrów na sekundę; oznacza to, że punkty na zachodnim końcu równika oddalają się od nas z prędkością 2 km/sek, punkty zaś na krańcu wschodnim zbliżają się do nas z tą prędkością.

Gdyby Słońce nie obracało się dokoła osi, światło jego posiadałoby normalne widmo, właściwe gwiazdzie danego typu; jednakże wskutek ruchu obrotowego połowa tarczy słonecznej wysyła światło o widmie przesuniętym ku czerwieni, druga połowa zaś daje widmo przesunięte w stronę przeciwną. Dzięki temu każdy prążek normalnego widma ulega *r o z s z e r z e n i u* na pasemko o dostrzegalnej szerokości. Gdybyśmy nie posiadali innych sposobów badania obrotu Słońca — np. wspomnianego wyżej — moglibyśmy na podstawie zaobserwowanych szerokości prążków wyznaczyć *p r ę d k o ś ć* ruchu punktów równika słonecznego, a stąd *o k r e s* obrotu Słońca dokoła osi.

W ostatnich czasach metodę tę zastosowano do badania ruchu obrotowego innych gwiazd i wyznaczono dla wielu z nich prędkości ruchu strefy równikowej. Zobaczymy w dalszym ciągu, w jaki sposób można obliczyć *r o z m i a r y* gwiazd; znając je, łatwo znaleźć *o k r e s y* obrotu gwiazd dokoła ich osi.

EPOKA FOTOGRAFII W ASTRONOMII

Gdyby nam wolno było wybrać jeszcze tylko jeden fakt, stanowiący «kamień milowy» w dziejach astronomii, to nie wahalibyśmy się tu przytoczyć *zastosowania w końcu XIX w. fotografii do badań astronomicznych*. Rozwój astronomii doznał przez to potężnego bodźca, najsilniejszego chyba od czasu wynalezienia teleskopu. Dotychczas rolą tegoż było zbieranie promieni świetlnych, biegnących od ciał niebieskich i rzucanie ich poprzez źrenicę na siatkówkę ludzkiego oka; odtąd promienie te padać miały na nieporównanie czulszą *k l i s z ę* fotograficzną. Oko zachowuje wrażenie, którego doznaje w danej chwili, przez mały ułamek sekundy zaledwie; klisza natomiast *s u m u j e* wrażenia otrzymywane w ciągu całych godzin czy nawet dni naświetlania i zapisuje je, praktycznie rzecz biorąc, w sposób zupełnie trwały. Odstępy na sferze niebieskiej mierzyć można wzrokowo, bezpośrednio, jedynie przy

pomocy skomplikowanych urządzeń, złożonych ze śrub, nici pojęczych, noniuszów itd.: klisza zapisuje je automatycznie. Oko mylić się może i myli się często pod wpływem ludzkich uczuć: oczekiwania, niecierpliwości, uprzedzenia: kamera fotograficzna nie kłamie.

Stąd też wynika fakt, że gdybyśmy zaczęli szukać «kamieni granicznych» w astronomii XX stulecia, to nie znaleźlibyśmy w ogóle nic innego, oprócz... owych «kamieni». Metody powolnego, żmudnego podboju, metody wieku ubiegłego ustąpiły miejsca jakby jakiemuś szturmowi na pola złotodajne — gdy te zajęte tereny grodzi się pospiesznie, zawzięcie rozkopuje się ziemię, odkładając co piękniejsze bryłki kruszcu i porzucając tereny przeszukane w pogoni za czymś nowym, bardziej obiecującym — a wszystko to dzieje się w takim pośpiechu, że opis osiągniętego stanu jest nieraz przestarzały, zanim zdążył ukazać się z druku. W książce niniejszej możemy dać jedynie ogólny pogląd na nowe zdobycze — pogląd powiązany zresztą ściśle z rozpatrzeniem w nowym świetle rzeczy dawno znanych.

GRUPY GWIAZD I UKŁADY PODWÓJNE

Spojrzenie na niebo lub — lepiej — na fotografię pewnej jego części nasuwa myśl, że gwiazdy są w ogólności rozsypane po niebie bezładnie, na los szczęścia, jeśli pominąć zagęszczenie się słabych gwiazd w pasie Drogi Mlecznej. Jakiś niewielki, dowolnie obrany obszar nieba wygląda mniej więcej tak, jak gdyby jasne i słabe gwiazdy zostały wysypane na chybił trafił z niebieskiej pieprzniczki.

Istotny stan rzeczy jest wszakże nieco inny. Gdzieś tam można dostrzec na niebie grupy jaśniejszych gwiazd, które na pewno nie zawdzięczają swego powstania przypadkowi: pas Oriona, Plejady, warkocz Bereniki, wreszcie sam Wielki Wóz. Te właśnie naturalne grupy gwiazdowe są podstawą i uzasadnieniem podziału gwiazd na gwiazdozbiory. Badania fizycznych właściwości gwiazd, których rozpatrze-

niem zajmujemy się później, potwierdzają przypuszczenie, że grupy analogiczne do przytoczonych wyżej, są na ogół rzeczywistymi rodzinami gwiazdowymi, nie zaś jedynie przypadkowymi zbiorowiskami. Gwiazdy należące do jednej grupy, jak np. Plejady, okazują nie tylko jednakowe cechy fizyczne, lecz także zgodnie poruszają się w przestrzeni, podróżując po niebie stale w tym samym towarzystwie. Na tej podstawie można by grupy takie trafnie nazwać «rodzinami gwiazdowymi», astronomowie wolą jednak nazwę: «gromady otwarte» lub «rozproszone».

Rozmiary takich «rodzin» mogą być najrozmaitsze; typ najmniejszy i najpospolitszy składa się z dwu tylko elementów. Następny w kolei częstości — to układ potrójny; najbliższe nasze sąsiadki w przestrzeni — Proxima Centauri i obie gwiazdy α Centaura (str. 32) tworzą taki właśnie układ. Istnieją prócz tego układy, złożone z 4, 5, 6 składników itd. nieograniczenie.

Zajmiemy się przede wszystkim «rodzinami» złożonymi z dwóch tylko osobników. Gdyby nawet gwiazdy zostały rozsypane po niebie na los szczęścia, z praw przypadku wynika, że powinnyby istnieć pewna liczba bardzo wąskich par gwiazdowych. Istotnie, na każdej niemal fotografii nieba występują takie pary dość licznie. Ilość ich jest jednak większa, niżby to wynikało jedynie z praw przypadku. Niektóre pary zawdzięczają swe powstanie rzeczywiście przypadkowi, aby jednak zdać sprawę z istnienia pozostałych, trzeba przypuścić, iż działa tu pewna przyczyna fizyczna. Tajemnicę tę można rozwikłać, fotografując tę samą okolicę nieba w odstępach kilkuletnich i porównywując wyniki. Okaze się wówczas, że niektóre gwiazdy, tworzące początkowo wąskie pary, stale oddalają się od siebie: są to takie pary gwiazd, których składowe nie leżą bynajmniej blisko siebie w przestrzeni, lecz po prostu przypadkowo znalazły się niemal dokładnie na jednym promieniu widzenia, gdy spoglądamy na nie z Ziemi. Inne pary natomiast nie rozłączają się z biegiem czasu; składowe ich zmieniają wprowadzając swe położenia względem siebie, lecz jedna z nich nigdy nie opuszcza drugiej na zawsze. Okazuje się,

że każda z gwiazd zakreśla orbitę dokoła pozostałej, podobnie jak Ziemia dokoła Słońca, a Księżyc dokoła Ziemi, i z tego samego powodu: trzyma ją na uwięzi *ciężenie powszechne*, czyli *grawitacja*.

Takie pary gwiazd nazywają się «układami podwójnymi». Nie są one wcale jakąś rzadkością na niebie. Według Kuipera 68% gwiazd o masie większej niż słoneczna należy do tego typu.

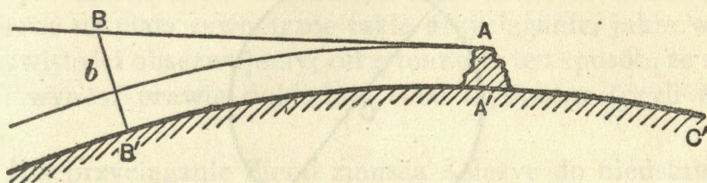
PRAWO GRAWITACJI. Upuśćmy z ręki piłkę: spada ona na ziemię. Mówimy, że przyczyną jej spadku jest przyciąganie grawitacyjne Ziemi. Podobnie, piłka rzucona w górę nie porusza się odtąd wiecznie w kierunku rzutu; gdyby tak było, nie powróciłaby już na Ziemię, lecz odbiegłaby swobodnie w przestrzeń. Nie pozwala na to przyciąganie Ziemi, które stopniowo ściąga ją ku dołowi, tak iż w końcu spada na ziemię. Im większą prędkość nadamy piłce w chwili rzutu, tym dalej dobiegnie, zanim spadnie; pocisk wystrzelony z działa może przebiec wiele kilometrów, nim zostanie ściągnięty na ziemię.

Prawo rządzące wszystkimi tymi zjawiskami jest nader proste. Chodzi o to, iż wskutek przyciągania ziemskiego *wszystkie ciała spadają o 4,9 metra w ciągu sekundy*; dotyczy to *wszelkich* ciał mogących spadać swobodnie, *niezależnie od tego, jak się poruszają* w danej chwili: każde ciało niepodtrzymywane w jakikolwiek sposób znajdzie się przy końcu danej sekundy o 4,9 m niżej, niżby było, gdyby grawitacja nie działała w ciągu tej sekundy.

W celu lepszego wyjaśnienia sprawy zwróćmy się do rys. 3. Niech łuk $B'A'C'$ oznacza powierzchnię Ziemi; wyobraźmy sobie, że z punktu A , szczytu wzniesienia AA' , wystrzelono w kierunku poziomym pocisk. Gdyby nie był on przyciągany ku ziemi dzięki grawitacji, poruszałyby się do nieskończoności po linii AB . Jeżeli odcinek AB przedstawia drogę, którą przebyłby w tych warunkach w ciągu sekundy, to w ruchu rzeczywistym, po upływie sekundy, pocisk znajdzie się nie w B , lecz w punkcie położonym o 4,9 m niżej, gdyż o tyle

ściągnie go ku dołowi przyciąganie Ziemi. Tak np. gdyby odległość BB' na rys. 3 wynosiła właśnie 4,9 m, pocisk spadłby na ziemię w punkcie B' po przelocie, trwającym dokładnie jedną sekundę.

By wziąć inny przykład założmy, że 4,9-metrowy spadek poniżej B przeniesie pocisk nie na powierzchnię Ziemi, lecz



Rys. 3.

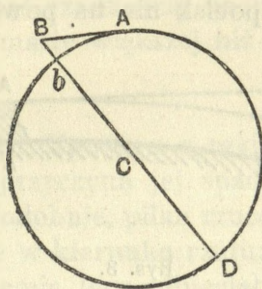
do punktu b , położonego w tej samej wysokości nad nią, co punkt wyrzału A . Gdyby nie było grawitacji, a więc gdyby pocisk biegł po drodze AB , wzniesienie jego nad powierzchnią Ziemi wzrastałoby nieustannie; w przypadku rozpatrywanym obecnie grawitacja ściąga pocisk ku dołowi z taką szybkością, że znosi to właśnie ów przyrost wzniesienia, skutkiem czego pocisk pozostaje wciąż na tej samej wysokości nad Ziemią, okrążając ją bez końca po drodze kołowej.

Jak wykazuje proste rozważanie geometryczne, na to, aby odległość Bb wynosiła 4,9 m, droga AB , przebyta w ciągu sekundy, wynosić musi około 7900 m*. Gdybyśmy zatem mogli wyrzucić poziomo pocisk z prędkością 7900 m na sekundę, obiegałby on wiecznie Ziemię dokoła, gdyż przyciąganie jej dokładnie równoważyłoby tendencję pocisku do oddalania się po linii prostej AB .

W r. 1665 Newton zaczął podejrzewać, że to samo przyciąganie może być przyczyną faktu, iż Księżyc krąży wciąż dokoła Ziemi, zamiast odbiec w przestrzeń po stycznej. Odle-

* Niech C (p. rys. 4) oznacza środek Ziemi, bCD zaś średnicę przechodzącą przez b ; wówczas $BA^2 = Bb \times BD$, gdzie $Bb = 4,9$ m, a BD jest równe średnicy Ziemi + 4,9 m (12750 km). Stąd łatwo znajdziemy, że $BA = 7890$ m. Oczywiście zaniedbujemy w tym obliczeniu wysokość wzgórza AA' w porównaniu ze średnicą Ziemi.

głość Księżyca od środka Ziemi wynosi 384 400 km, tj. 60,27 razy wzięty promień kuli ziemskiej. Księżyc zakreśla orbitę o tym promieniu w ciągu miesiąca (tj. 27 dni, 7 godzin, 43 minut i 11,5 sekund), prędkość jego więc wynosi 3680 km na godzinę, czyli 1020 m na sekundę. Gdyby poruszał się z tą prędko-



Rys. 4.

kością po drodze ściśle prostoliniowej, oddaliłby się od Ziemi w ciągu sekundy o 1,3 mm; aby zatem zakreślić okrąg dookoła Ziemi, Księżyc musi «spadać» ku niej o 1,3 mm w sekundzie. Jest to o wiele mniej, niż wynosi wysokość spadku w ciągu sekundy przy powierzchni ziemi; Newton założył wszakże, iż siła grawitacyjna niewątpliwie maleje w miarę oddalania się od powierzchni Ziemi. W pobliżu niej ciała spadają z prędkością 3632 razy większą, niż Księżyc w swej orbicie; ale 3632 jest kwadratem 60,27, skąd Newton wysnuł wniosek, że siła przyciągania powinna zmniejszać się w stosunku odwrotnym do kwadratu odległości. Jak zobaczymy w dalszym ciągu, obserwacje astronomiczne potwierdzają to prawo w niezliczonej ilości przypadków. W ten więc sposób doszedł Newton do ustalenia swego słynnego *prawa ciężenia powszechnego*, które głosi, że *przyciąganie dowolnego ciała, np. Ziemi, jest odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości*.

Przyciąganie, jakie Ziemia wywiera na dowolny przedmiot znajdujący się na jej powierzchni, jest proporcjonalne do ilości substancji w tym przedmiocie zawartej, czyli, jak mówimy, do «masy» przedmiotu. Tak np., przyciąganie, któremu podlegają dwie tony substancji, jest dwa razy większe od przy-

ciągania jednej tony. Przyciąganie zależy jednak również od masy Ziemi; gdyby masa ta została nagle zmniejszona do połowy, siła grawitacyjna wywierana przez Ziemię na dowolny przedmiot zmalałaby również dwukrotnie.

Liczni badacze wymierzili w pracowni przyciąganie wywierane przez pewną znaną masę (kilka ton) ołowiu, skąd łatwo już obliczyć, ile ton materii musi zawierać Ziemia, aby wywierać na ciała zewnętrzne takie przyciąganie, jakie w rzeczywistości obserwujemy; otrzymano w ten sposób, że *masa* Ziemi wynosi prawie dokładnie 6000 trylionów (czyli $6 \cdot 10^{21}$ ton *).

Jak przyciąganie Ziemi zmusza Księżyc do nieustannego krążenia dokoła niej, tak przyciąganie Słońca utrzymuje Ziemię i inne planety w ich prawie dokładnie kolistych orbitach. Znając odległość planety od Słońca oraz prędkość jej ruchu po orbicie, można obliczyć, o jaką odległość «spada» ona ku Słońcu w ciągu sekundy, to zaś daje wielkość przyciągania wywieranego przez Słońce, skąd znów możemy znaleźć jego masę. Przewyższa ona około 332 000 razy masę Ziemi, czyli wynosi niemal ściśle $2 \cdot 10^{27}$ ton. Otrzymujemy przy tym tę samą wartość niezależnie od tego, jakiej planety użyjemy do obliczeń; nie tylko zwiększa to nasze zaufanie do uzyskanego wyniku, lecz także potwierdza w sposób uderzający słusność prawa Newtona. Gdyby bowiem prawo to nie było ściśle, różne planety musiałyby dać różne wyniki przy wyznaczeniu masy Słońca. Teoria względności wykazuje, że prawo Newtona nie może być wprawdzie *bezwzględnie* ściśle, odstępstwa jednak są, praktycznie biorąc, niedostrzegalne, z wyjątkiem przypadku najbliższej Słońca planety, Merkurego; nawet tutaj są

* Zamiast 6 i następujących po niej 21 zer, piszemy dla skrócenia $6 \cdot 10^{21}$. Ten sposób oznaczania jest rzeczą dość istotną przy dyskusji ogromnych liczb, napotykanym w astronomii. Milion oznacza się 10^6 , miliard — 10^9 , bilion (milion milionów) — 10^{12} , trylion (milion bilionów) — 10^{18} itd. Analogicznie oznacza się liczby bardzo małe: piszemy 10^{-21} zamiast $\frac{1}{10^{21}}$, $6 \cdot 10^{-3}$ zamiast $\frac{6}{1000000}$ lub 0,000006 itp.

one tak nieznaczne, że nie mamy potrzeby zajmować się nimi na tym miejscu.

W podobny sposób, jak «ważymy» Słońce i Ziemię, badając ruch ciała trzymanego «na uwięzi» przez ich przyciąganie — czyli znajdującego się w ich «polu grawitacyjnym», jak powiedziałby matematyk — możemy również znaleźć masę każdego innego ciała, dokoła którego krąży, trzymane siłą grawitacji, jakieś ciało mniejsze. Tak np. ruchy satelitów Jowisza pozwalają wyznaczyć masę tej planety; wynosi ona $1,92 \cdot 10^{24}$ ton, tj. 317 razy tyle, co ziemską, jednakże jeszcze 1047 razy mniej, niż masa Słońca. Analogicznie znajdujemy, iż masa Saturna wynosi $5,71 \cdot 10^{23}$ ton, czyli około 94,9 mas ziemskich.

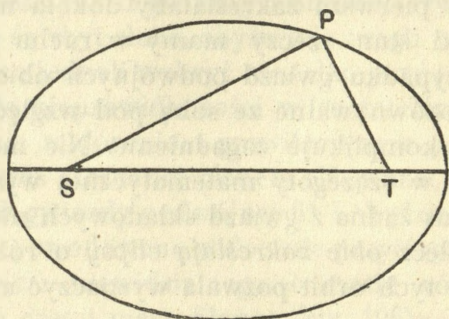
WAŻENIE GWIAZD. Przechodźmy teraz do ciekawego zastosowania zasad omówionych przed chwilą. Z obserwacji ruchów dwóch gwiazd, opisujących względem siebie określone orbity na sferze niebieskiej, możemy wyznaczyć masy tych gwiazd. Na ogół jednak zagadnienie to jest bardziej złożone od rozpatrywanego dotychczas. Aby je należycie rozważyć, musimy tu raz jeszcze skorzystać z wyników matematycznych prac Newtona.

Widzieliśmy już, że pocisk wystrzelony w kierunku poziomym z prędkością 7900 m na sek okręzałby Ziemię bez końca po drodze kołowej. Co stałoby się jednak, gdyby pocisk ów został wyrzucony w innym kierunku oraz z inną prędkością?

Odpowiedź na to dał Newton. Wykazał on, że jeśli jakieś niewielkie ciało porusza się swobodnie, ulegając oddziaływaniu grawitacyjnemu innego ciała większego, to *odbiegnie ono w nieskończoność po krzywej zwanej hiperbolą, jeżeli prędkość jego przekracza pewną wartość graniczną. Jeżeli natomiast prędkość ta jest mniejsza od krytycznej, to orbita owego ciała będzie elipsą — krzywą owalną podobną do spłaszczonego koła* * (rys. 5). Na wiele lat przedtem, zanim do-

* Najprostsze określenie elipsy głosi, że jest to krzywa zakreślona przez punkt P poruszający się w ten sposób, że suma jego odległości od dwóch punktów stałych S, T jest stała. Elipsę łatwo wykreślić, zakładając nitkę bez końca STP na dwie szpilki S i T , wpiętę w rysownicę; wyprę-

wiódł tego *Newton*, *Kepler* wykrył, iż rzeczywiste drogi planet dokoła Słońca nie są dokładnymi kołami, lecz elipsami; po większej części są to elipsy bardzo zbliżone kształtem do kół, czyli, wyrażając się językiem matematycznym, posiadają «mały mimośród». Odkrycie *Keplera* stanowi potwierdzenie prawa grawitacji *Newtona*, można bowiem udowodnić,



Rys. 5. Krzywa owalna jest to *elipsa*; punkty S, T są jej ogniskami.

że gdyby zależność siły przyciągania od odległości była inna niż w newtonowskim prawie odwrotnych kwadratów, drogi planet nie mogłyby być elipsami.

Badając ruchy składowych gwiazd podwójnych stwierdzamy, że orbity ich nie są w ogóle kołowe, lecz eliptyczne*. Prawo *Newtona* sprawdza się więc raz jeszcze, co

żywszy nitkę końcem ołówka w *P*, opisujemy krzywą, bacząc na to, aby nitka pozostawała stale napięta. Jeżeli punkty *S* i *T* są stosunkowo blisko siebie, to krzywa, zakreślona przez punkt *P*, mało różni się od koła. Stosunek odległości *ST* do długości pozostałej części nici $SP + PT$ nazywa się «mimośrodem» elipsy; jest on rzeczywiście zawsze mniejszy od jedności, ponieważ suma dwóch boków trójkąta jest zawsze większa od boku trzeciego.

W przypadku granicznym, gdy mimośród $= 0$, elipsa staje się kołem; gdy zaś mimośród zbliża się do jedności, elipsa przybiera kształt bardzo wydłużony. Wszystkie postaci elips otrzymujemy zmieniając mimośród od 0 do 1; są to zarazem wszelkie możliwe postaci orbit, które może opisywać niewielkie ciało dokoła bryły większej pod wpływem jej przyciągania. Punkty *S*, *T* nazywają się «ogniskami» elipsy; ciało przyciągające (większe) znajduje się zawsze w jednym z ognisk.

* W rzeczywistości obserwuje się jedynie «rzut» orbity na sferę niebieską, geometria uczy jednak, iż rzut elipsy jest zawsze również elipsą.

uprawnia nas do przypuszczenia, iż siła, która wiąże z sobą składowe układu podwójnego, jest identyczna z siłą nie pozwalającą Księżycowi odbiec od Ziemi, czy też planetom od Słońca. Przy tym założeniu zbadanie wspomnianych orbit umożliwia «*ważenie gwiazd*». Jeśliby jedna ze składowych była o wiele lżejsza od drugiej, ta ostatnia nie poruszałaby się prawie wcale, gdy pierwsza zakreślałaby dokoła niej swą drogę eliptyczną; taki stan rzeczy mamy w ruchu planet dokoła Słońca. W przypadku gwiazd podwójnych obie składowe są w ogólności porównywalne ze sobą pod względem wielkości mas, co znów komplikuje zagadnienie. Nie mamy potrzeby wchodzić tutaj w szczegóły matematyczne; wystarczy zaznaczyć, iż wówczas żadna z gwiazd składowych nie znajduje się w spoczynku, lecz *obie zakreślają elipsy* o różnych rozmiarach. Zbadanie tych orbit pozwala wyznaczyć masy obu składowych.

W tabliczce przytoczonej poniżej podano masy czterech najbliższych nam układów podwójnych, przy czym masę Słońca przyjęto równą 1.

Masy gwiazd
w układach podwójnych, najbliższych Słońca

Gwiazda	Odległość w latach światła	Masy składowych wyrażone w jedn. masy Słońca	Jasności praw- dziwe (p. str. 50)
α Centaura A	4,31	1,10	1,14
α Centaura B		0,89	0,32
Syriusz A	8,65	2,35	24
„ B		0,98	0,0024
Procyon A	10,5	1,48	6,6
„ B		0,46	0,0005
Krüger 60 A	12,7	0,27	0,0015
„ B		0,14	0,0004

Widzimy, że masy tych gwiazd nie różnią się zbyt od słonecznej; oczywiście, jeżeli weźmiemy pod uwagę cały

dostępny nam obszar Wszechświata, znajdziemy różnice o wiele większe, niż dla owych czterech najbliższych gwiazd podwójnych. *Nie znamy jednak w ogóle gwiazdy o masie na pewno mniejszej niż Krüger 60 B.* Nie znaczy to bynajmniej, że gwiazdy takie nie istnieją, są może nawet bardzo liczne; jednakże gwiazdy o małych masach posiadają przeważnie bardzo małą jasność, tak iż gwiazdy o najmniejszych masach prawdopodobnie są zbyt słabe, abyśmy je mogli w ogóle dojrzeć. Gwiazdy można jednak wykryć nie tylko przy pomocy wzroku. Pamiętamy, że nieprawidłowości w ruchu Urana przypisano w swoim czasie zakłóceniom grawitacyjnym pochodzącym od innej, dotychczas nieznannej planety (Neptuna, str. 16). Podobnie, w ruchach gwiazdy podwójnej 61 Łabędzia występują nie-regularności spowodowane widocznie przyciąganiem trzeciego ciała, całkowicie niewidzialnego, o masie równej zaledwie sześćdziesiątej części masy Słońca (str. 196); u podwójnej 70 Wężownika stwierdzono podobne zakłócenia, wskazujące na wpływ ciemnego ciała o masie równej zaledwie około *jednej setnej* masy Słońca. Nie można w chwili obecnej orzec, czy takie ciała ciemne winny być uważane za gwiazdy, czy za planety. Jeśliby stanąć na pierwszym punkcie widzenia, mielibyśmy do czynienia z masami gwiazdowymi o wiele mniejszymi od wszystkich dotychczas znanych.

Na drugim krańcu skali znamy liczne gwiazdy o masach znacznie przekraczających wartości podane w naszej tabliczce. Pośród gwiazd, których masy zostały wyznaczone dokładniej, najcięższą jest H. D. 1337 (gwiazda *P e a r c e'a*), mianowicie składowe jej przewyższają Słońce 36,3 oraz 33,8 razy. Gwiazda β Lutni jest jeszcze cięższa: masy składowych, wziętych oddzielnie, nie są znane dokładnie, lecz suma ich na pewno przekracza najmniej 95-krotnie masę Słońca; być może wynoszą one 60 i 45 mas słonecznych. Gwiazda *P l a s k e t t a* B. D. 6° 1309 jest na pewno jeszcze cięższa: masy obu składowych również nie są znane dokładnie, lecz wynoszą one co najmniej 75 i 63 mas Słońca (str. 55).

Powyższy sposób oceny mas gwiazdowych można stosować oczywiście tylko do układów podwójnych lub wielokrot-

nych; nie dowiemy się stąd, ile wynosi masa jakiejś gwiazdy pojedynczej. Teoria względności daje nam metodę obliczania mas gwiazdowych (str. 87) nie podlegającą podobnemu ograniczeniu, niestety jednak można ją zastosować jedynie w bardzo ograniczonej liczbie przypadków. Wspominamy o niej w tym miejscu, ponieważ daje się użyć w przypadku gwiazd o nadzwyczaj wielkiej jasności rzeczywistej, zwanych gwiazdami Trümplera, przewyższających Słońce pod względem masy mniej więcej sto razy. Tu właśnie — o ile sięgają nasze wiadomości — znajduje się górna granica mas gwiazdowych.

Można by oczekiwać, że gwiazdy powinny posiadać masy bardzo różne, a priori nie ma bowiem widocznego powodu, czemu nie mogłaby istnieć gwiazda o masie np. miliony razy większej lub mniejszej niż słoneczna. W rzeczywistości jednak *masy większości gwiazd są dość zbliżone do siebie*, wyjątki zaś, różniące się znacznie pod tym względem od Słońca — są bardzo nieliczne. Fakt, że masy te są zawarte w dość ciasnych granicach, wskazuje na to, iż *gwiazda jest zupełnie określonym rodzajem tworów kosmicznych*, nie zaś jedynie przypadkowym zbiorowiskiem materii świecącej.

Przeciętna masa gwiazd w przytoczonej wyżej tabelce wynosi 0,96 masy Słońca, co nasuwa już przypuszczenie, że Słońce przypada pod względem masy nieco powyżej przeciętnej wartości. Bardziej szczegółowe rozpatrzenie tej sprawy (str. 199) doprowadzi nas jednak do wniosku, że Słońce posiada masę *znacznie* większą niż przeważna liczba gwiazd.

JASNOŚCI RZECZYWISTE. Ostatnia kolumna na str. 48 podaje *«jasności prawdziwe»* czyli *«rzeczywiste»* wymienionych tam gwiazd, tzn. ich «siły świetlne», wyrażone w jednostkach siły świetlnej Słońca. Tak np. liczba 24 dla Syriusza oznacza, że Syriusz, rozpatrywany jako źródło światła, wysyła go w jednakowym czasie 24 razy więcej, niż Słońce («ma 24 razy więcej świec, niż Słońce»). Jasności rzeczywiste gwiazd zawarte są w granicach *bez porównania szerszych*, niż ich masy. W ogólności gwiazdy najcieńsze są jednocześnie najja-

śniejsze, jak tego można by zresztą z góry oczekiwać. Nie można by było jednak przewidzieć innego faktu, że mianowicie gwiazdy o większej masie wysyłają w ogóle więcej światła w przeliczeniu na jednostkę masy: dla większości gwiazd jasność prawdziwa nie jest bynajmniej proporcjonalna do masy, lecz raczej do jej sześciannu. Gwiazda dwa razy cięższa od Słońca jest przeciętnie osiem razy od niego jaśniejsza itd.

Mamy tu do czynienia z jednym z podstawowych faktów w dziedzinie astrofizyki, który do niedawna był zupełną zagadką. Obecnie rozwiązanie zostało znalezione; pełne i przekonywające wyjaśnienie sprawy omówimy w dalszym ciągu (str. 226).

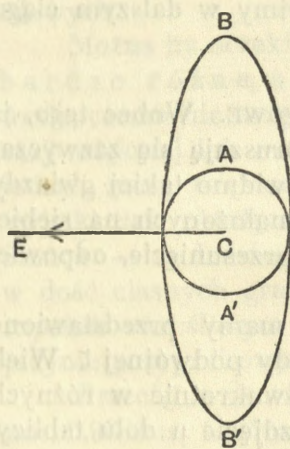
GWIAZDY PODWÓJNE SPEKTROSKOPOWE. Wobec tego, iż obie składowe gwiazdy podwójnej poruszają się zazwyczaj z różnymi prędkościami, normalne widmo takiej gwiazdy składa się z dwóch odrębnych widm nałożonych na siebie, przy czym każde z nich okazuje inne przesunięcie, odpowiednio do prędkości danej składowej.

W dolnej połowie tablicy XVI mamy przedstawione w charakterze przykładu widmo gwiazdy podwójnej ζ Wielkiej Niedźwiedzicy, sfotografowane dwukrotnie w różnych czasach. Zwróćmy uwagę naprzód na zdjęcie u dołu tablicy. Widma skrajne, u góry i u dołu, są identyczne i okazują normalne położenia linii widmowych niektórych substancji ziemskich, wziętych dla porównania. Widmo środkowe należy do gwiazdy; widać na nim, że zamiast każdego prążka widma porównawczego występują dwie oddzielne linie, z których każda odpowiada jednej ze składowych układu podwójnego; przesunięcia ich pozwalają wyznaczyć prędkości tych składowych (str. 37). W górnej części tej połowy tablicy prążki nie są rozdwojone, co wskazuje na to, iż wówczas obie składowe zbliżały się czy też oddalały z tą samą mniej więcej prędkością.

Znając ruchy orbitalne obu składowych gwiazdy podwójnej można by obliczyć prędkości tych składowych w kierunku

«promienia widzenia»*, a stąd można by przewidzieć, jakie przesunięcia wykażą oba widma przy badaniu spektroskopowym światła układu. Oczywiście obserwacja potwierdziłaby ową przepowiednię.

Bardziej pouczające jest jednak rozpatrzenie odwrotnego procesu. Przypuśćmy, że przy analizie widmowej światła pewnej gwiazdy otrzymano widmo złożone o liniach rozdwojonych — jak na dolnej fotografii tablicy XVI — i przesuwających się rytmicznie naprzód i wstecz względem swych położen normalnych. Fakt, że występują tu dwa widma, mówi nam, że mamy do czynienia z układem podwójnym; jeżeli przesunięcia powtarzają się periodycznie np. co dwa tygodnie, świadczy to, iż taki właśnie jest okres obiegu. Przy pomocy bezpośredniej obserwacji wizualnej można by wówczas sprawdzić, że jest to istotnie układ podwójny o okresie obiegu wynoszącym dwa tygodnie.



Rys. 6. Prędkość w kierunku promienia widzenia CE jest jednakowa na małej orbicie AA' i na dużej BB'.

Przypuśćmy dalej, że mamy inne widmo gwiazdowe, okazujące periodyczne przesunięcia o okresie dwóch dni. Obserwując gwiazdę bezpośrednio widzimy jednak tylko jeden punkt świecący. Mimo to jesteśmy przekonani, że są tam dwie gwiazdy; lecz już sam fakt, że okrążają się wzajemnie w czasie tak krótkim, dowodzi, iż muszą one być bardzo blisko siebie, trudno więc dziwić się temu, że obraz w lunecie nie rozpada się na dwa oddzielne punkty świetlne. Układy tego rodzaju, które w teleskopie wyglądają jak gwiazdy pojedyncze, a których «podwójność» wykrywa spektroskop, noszą nazwę «podwójnych spektroskopowych». Znamy ich obecnie z górą tysiąc.

* tzw. prędkości «radialne» (Przyp. tłum.)

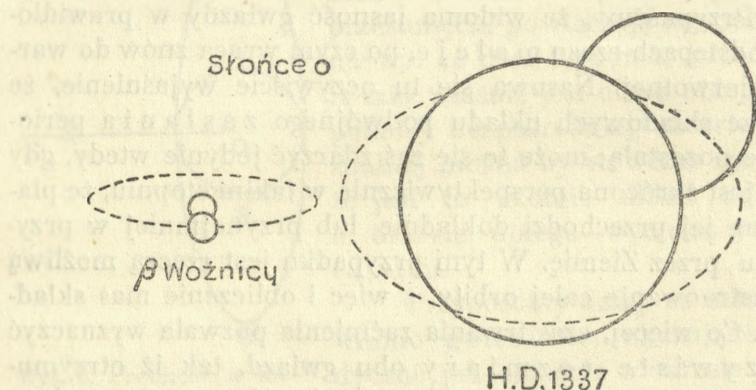
Konstrukcja orbity takiego układu wyłącznie na podstawie obserwacji spektroskopowych nastrocza jednak trudności. Dane są tu bowiem tylko prędkości radialne, które zależą przecież zarówno od rzeczywistej prędkości gwiazdy w jej orbicie, jak i od położenia tej orbity w przestrzeni: ta sama prędkość radialna może występować zarówno w przypadku orbity wielkich rozmiarów, położonej w płaszczyźnie prawie prostopadłej do promienia widzenia, jak i małej orbity, widzianej bardzo ukośnie. Dlatego też nie można obliczyć rzeczywistych orbit ani też mas układów podwójnych z samych tylko obserwacji spektroskopowych.

PODWÓJNE ZAĆMIENIOWE. Zachodzi tu wszakże jeden wyjątek. Przypuśćmy, że widoma jasność gwiazdy w prawidłowych odstępach czasu maleje, po czym wraca znów do wartości pierwotnej. Nasuwa się tu oczywiście wyjaśnienie, że jedna ze składowych układu podwójnego zasłania okresowo pozostałą; może to się zaś zdarzyć jedynie wtedy, gdy orbita jest skrócona perspektywicznie w takim stopniu, że płaszczyzna jej przechodzi dokładnie lub przynajmniej w przybliżeniu przez Ziemię. W tym przypadku jest rzeczą możliwą zrekonstruowanie całej orbity, a więc i obliczenie mas składników. Co więcej, czas trwania zaćmienia pozwala wyznaczyć rzeczywiste rozmiary obu gwiazd, tak iż otrzymujemy w ten sposób pełny obraz układu. Na rys. 7 przedstawiono schematycznie, w tej samej skali, orbity i rozmiary dwóch typowych gwiazd podwójnych, przy czym dla porównania narysowano w tejże skali Słońce.

U wielu podwójnych zaćmieniowych zmiany jasności mogą być dokładnie wytłumaczone przy założeniu, iż gwiazdy składowe mają kształt kul, które przesuwają się jedna przed drugą. W innych przypadkach wyjaśnienie to nie wystarcza, co dowodzi, że gwiazdy te muszą mieć postać bardziej skomplikowaną. Istotnie, jasne jest, iż jeśli odległość wzajemna składowych jest niewielka, każda z gwiazd musi wywierać silne działania przyływowe na pozostałą; przyływy te mogą osiągnąć taką wysokość, że kształt gwiazd

uleganie zupełnej zmianie. W tych przypadkach zjawiska obserwowane można zazwyczaj wytłumaczyć na podstawie założenia, że kształt ten nie jest kulisty, lecz elipsoidalny.

Gwiazdy składowe mogą jednak być tak blisko siebie, że gdy obliczymy we wspomniany sposób ich orbity, okaże się, iż bryły gwiazdowe częściowo zachodzą na siebie. Fizycznie interpretujemy to oczywiście w ten sposób, że obie gwiazdy otacza wspólna atmosfera. Nie mamy tu już do czynienia z dwiema gwiazdami, obiegającymi swobodnie jedna drugą w pustej przestrzeni, lecz z bryłami, torującymi sobie drogę poprzez ośrodek stawiający opór; opór ten może posiadać skutki zarówno dynamiczne, jak spektroskopowe.



Rys. 7. Składowki i orbity dwóch zmiennych zaćmieniowych. (Linie przerywane oznaczają orbity mniejszego składnika wokół większego).

Zjawiska tego rodzaju okazuje gwiazda β Lutni; badania Kopala, O. Struvego, Kuipera i innych potwierdzają pogląd, że jest ona ciałem opisanego przed chwilą typu. Okres jej wynoszący 12,916 dni przedłuża się stopniowo o 9,38 sekund na rok, jak gdyby coś przeszkadzało swobodnemu ruchowi jej składowych. Widmo natomiast wykazuje ogromnie skomplikowane zjawiska, które według Struvego można wyjaśnić istnieniem strumieni gazu, bądź to płynących z jednej gwiazdy na drugą, bądź wyrzucanych w przestrzeń.

Typową dla innej ciekawej grupy podwójnych zaćmie-

niowych jest ζ Woźnicy, w której jedna składowa jest jasną gwiazdą o sporej gęstości, gdy natomiast druga jest bez porównania większa i otoczona rozległą atmosferą rozrzedzonego gazu. Gdy mała jasna gwiazda zachodzi za swą o wiele większą towarzyszkę, nie ulega od razu zaćmieniu, lecz świeci jeszcze przeszło dobę, wprawdzie stopniowo coraz słabiej, poprzez atmosferę gwiazdy większej. Jednocześnie widmo jej ulega zmianom, które nie tylko dają świadectwo o składzie chemicznym atmosfery większej gwiazdy, lecz również o tym, w jaki sposób różne substancje chemiczne są w tej atmosferze rozmieszczone. Możemy tu naprawdę badać wnętrze gwiazdy, przyglądając się jej «pod światło», które umieszcza za nią Natura.

Jeśli w podwójnej spektroskopowej nie zachodzą zaćmienia, wówczas nie podobna ocenić, jak wielkie jest skrócenie orbity dzięki wpływowi perspektywy; można jednak użyć tu ogólne pojęcie o masie składników, założywszy, że skrócenie to posiada pewną wartość przeciętną. Zakładając, że nachylenie płaszczyzny orbity do promienia widzenia przybiera kolejno szereg wartości, znajdziemy, iż najmniejsze masy otrzymuje się z rachunku wtedy, gdy płaszczyzna orbity przechodzi przez Ziemię, tak jakbyśmy mieli do czynienia z układem zaćmieniowym. Chociaż więc nie można wyznaczyć rzeczywistych mas w układzie niezaćmieniowym, to jednak zawsze można podać ich dolną granicę, mianowicie masy obliczone przy założeniu, iż układ jest zaćmieniowy. Na tym właśnie opieramy twierdzenie, że składowe gwiazdy Plasketta (str. 49) muszą posiadać masy przeszło 75 i 63 razy większe od masy Słońca.

GWIAZDY ZMIENNE

Przeważna ilość gwiazd świeci blaskiem zupełnie stałym — można więc powiedzieć, że ta a ta gwiazda posiada jasność tylu a tylu «świec»; Słońce np. wysyła światło o «sile» $3,23 \cdot 10^{27}$ świec.

Istnieją jednakże gwiazdy, których blask kolejno wzrasta

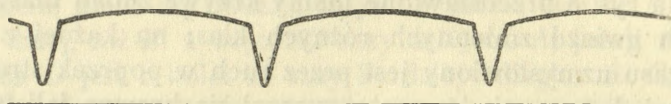
się i przygasa. U niektórych z nich, jak np. u podwójnych zaćmieniowych, opisanych wyżej, wahania blasku są zupełnie prawidłowe; powtarzają się z taką dokładnością, że gwiazd tych można by z powodzeniem używać w charakterze czasomierzy. U innych fluktuacje są tylko w przybliżeniu regularne; istnieją również i takie, gdzie wahania jasności wydają się obecnie całkowicie nieprawidłowe, choć być może z biegiem czasu uda się i w tych przypadkach wykryć pewne prawidłowości. W obecnych naszych rozważaniach rozmaite typy zmiennych nieregularnych posiadają mniejsze znaczenie.

CEFEIDY I ZMIENNE W GROMADACH. Istotnie ciekawą klasę gwiazd zmiennych stanowią zmienne regularne, zwane powszechnie «cefeidami» od swego prototypu, δ Cefeusza. Przyroda tych gwiazd oraz mechanizm zmian ich blasku nie są jeszcze całkowicie wyjaśnione; zagadnienie to rozpatrzmy dalej (str. 232).

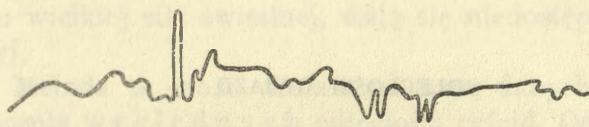
Bez względu na to, jaki jest ów mechanizm, obserwacje wykazują, iż gwiazdy te posiadają pewną niezmiennie dla astronoma cenną właściwość. Jeśli tak, to możemy ją przyjąć z wdzięcznością, nie troszcząc się o «jak» i «dlaczego?» Doskonale prawidłowa zmienność blasku podwójnych zaćmieniowych mogłaby oddać usługi przy mierzeniu czasu, nawet gdybyśmy nie znali mechanizmu tych zmian: podobnie wahania blasku cefeid posiadają właściwość, która czyni z nich cenne narzędzie do pomiarów odległości: możemy posługiwać się nimi jako «taśmami mierniczymi» przy pomiarach odległych części Wszechświata. Krótko mówiąc, własność owa polega na tym, że *można wyznaczyć jasności prawdziwe, a więc i odległości tych gwiazd, na podstawie obserwowanych zmian blasku.*

Zmiany te są tutaj tak charakterystyczne, że cefeidę nie trudno rozpoznać: szybki wzrost jasności, powolniejszy spadek, po czym znów ten sam szybki wzrost — jak gdyby ktoś dorzucał po szufelce węgla do ogniska w ściśle jednakowych odstępach czasu.

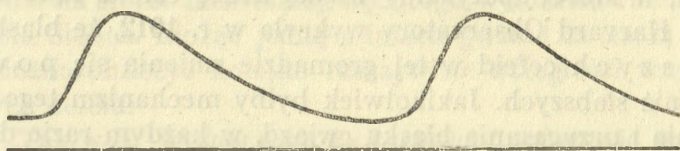
Jedna z pozostałych klas gwiazd zmiennych, «*zmiennie długookresowe*», okazuje nieco podobne wahania blasku, oba typy te różnią się jednak bardzo pod względem długości okresu. Wynosi on w przypadku zmiennych długookresowych



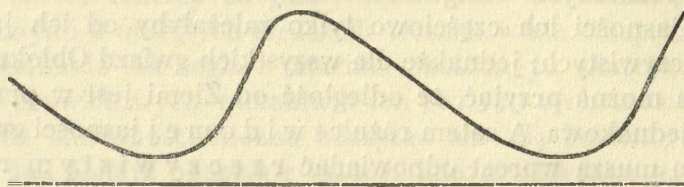
Zmienna zaćmieniowa (β Woźnicy)



Zmienna nieregularna (RS Wężownika)



Cefeida (ν Jaszczurki)



Zmienna długookresowa (α Wieloryba)

Ryc. 8. Krzywe zmian blasku typowych gwiazd zmiennych różnych typów.

zwykle około roku; okresy zmienności cefeid są o wiele krótsze: całkowity cykl rzadko przekracza miesiąc, najczęściej zaś obejmuje kilka dni lub godzin. Szczególnie szybko zmienne cefeidy występują często w gromadach kulistych (str. 63);

zwiemy je też «*zmiennymi gromad*». Okresy ich wynoszą nie-
rzadko od sześciu do dziesięciu godzin; ostatnio w gromadzie
« Centaura wykryto cefeidę o okresie niecałe półtora g o-
d z i n y.

Na rys. 8 przedstawione mamy krzywe zmian blasku ty-
powych gwiazd zmiennych różnych klas; na każdej z nich
bieg czasu uzmysłowany jest przez ruch w poprzek stronicy,
od lewej do prawej; im wyżej wznosi się krzywa falista nad
linią poziomą w pewnej danej chwili, tym jaśniejsza jest gwia-
zda w tej chwili.

ODLEGŁOŚCI GWIAZD

Blisko granic układu galaktycznego znajduje się gromada
gwiazdowa, zwana Małym Obłokiem Magellana (tabl. XIII,
str. 32), w której spotykamy wielką liczbę cefeid. Miss L e a-
v i t t z Harvard Observatory wykryła w r. 1912, że blask j a-
ś n i e j s z y c h cefeid w tej gromadzie zmienia się p o w o l-
n i e j, niż słabszych. Jakikolwiek byłby mechanizm tego roz-
jaśniania i przygasania blasku gwiazd, w każdym razie działa
on z większą prędkością w przypadku gwiazd mniej jasnych.
Jeśliśmy wyobrazili sobie pewną liczbę cefeid znajdujących
się w rozmaitych odległościach od Ziemi, to oczywiście wi-
dome jasności ich częściowo tylko zależałyby od ich jasno-
ści rzeczywistych; jednakże dla wszystkich gwiazd Obłoku Ma-
gellana można przyjąć, że odległość od Ziemi jest w przybli-
żeniu jednakowa. A zatem różnice w i d o m e j jasności gwiazd
Obłoku muszą wprost odpowiadać r z e c z y w i s t y m różni-
com ich jasności prawdziwej; odkrycie Miss L e a v i t t wy-
razić więc można w postaci twierdzenia, że *długość okresu*
zmienności cefeidy zależy od jej jasności prawdziwej. Jakkol-
wiek było to dowiedzione początkowo tylko dla cefeid
w Obłoku Magellana, później okazało się słuszne dla wszystkich
cefeid. Wynika stąd, że jeżeli dwie cefeidy A i B, położone
w dwóch różnych obszarach przestrzeni, posiadają j e d n a-
k o w y okres zmian blasku, wówczas ich jasności praw-

dziwe muszą być równe; jeśli zatem wykazują one różnice jasności widomych, wynika to z różnego oddalenia, które je od nas dzieli. Jeżeli *A* przewyższa *B* jasnością stokrotnie, znaczy to, iż jest 10 razy od niej bliżej. Podobnie może się okazać, że jakaś trzecia cefeida *C* jest 10 razy dalej, niż *B*, a więc 100 razy dalej od *A*; jeżeli zaś inna cefeida *D* jest z kolei 10 razy bardziej odległa, niż *C*, to nasza «taśma miernicza» przedłużyła się znów dziesięciokrotnie. Kres tego przedłużania stanowią wreszcie odległości tak olbrzymie, że nawet cefeidy, które należą do gwiazd o wyjątkowo wielkiej sile świetlnej, stają się niedostępne dla obserwacji.

Metoda ta może dostarczyć nam danych dotyczących wyłącznie w z g l ę d n y c h odległości cefeid. Odległości b e z w z g l ę d n e szeregu cefeid bliżej położonych udało się wyznaczyć metodą paralaktyczną, tj. przez pomiar pozornego ruchu ich na sferze niebieskiej, będącego wynikiem ruchu Ziemi dookoła Słońca. Biorąc jedną z takich gwiazd za naszą cefeidę *A*, można obliczyć kolejno rzeczywiste odległości wszystkich innych cefeid.

Tak więc wyznaczona z obserwacji zależność pomiędzy okresem zmian blasku, a jasnością cefeid daje nam możliwość *bezpośredniego określenia rzeczywistej ich jasności, gdy znany jest okres*. Cefeidy są jakby latarniamiorskimi, rozmieszczonymi w odległych częściach Wszechświata. Rozpoznajemy je, podobnie jak żeglarz latarnie morskie, po właściwościach oraz prawidłowych wahaniach ich światła; z obserwowanego okresu zmienności można odczytać ich siłę świetlną tak łatwo, jak żeglarz odczytuje jasność latarni morskiej na mapie Admiralicji. Z widomego blasku cefeidy wnioskujemy następnie o odległości dzielącej ją od nas.

Tak np. cefeidy o okresie zmienności 40 godzin wysyłają w przybliżeniu 200 razy więcej światła niż Słońce, tzn. jasność prawdziwa ich wynosi $6,46 \cdot 10^{29}$ świec; okres 10-dniowy świadczy o jasności 1600 razy większej od Słońca, czyli równej $5,17 \cdot 10^{30}$ świec itd. Jeśli pewna gwiazda w jakimś odległym obiekcie kosmicznym zmienia swój blask w sposób

charakterystyczny dla cefeid w okresie 10-dniowym, to możemy być pewni, iż rzeczywista jej jasność musi wynosić około $5,2 \cdot 10^{30}$ świec. Przypuśćmy, że jasność widoma tej gwiazdy odpowiada 16 wielkości, co w języku potocznym oznacza, że otrzymujemy od niej tyle światła, co od jednej świecy umieszczonej w odległości 910 km. Różnica pomiędzy jedną świecą a $5,2 \cdot 10^{30}$ świec wynika więc z różnicy pomiędzy 910 km, a odległością omawianej gwiazdy, skąd, zgodnie z prawem, że jasność widoma jest odwrotnie proporcjonalna do kwadratu odległości, znajdujemy, że odległość tej gwiazdy wynosi około 220 000 lat światła. Rachunek ten wymaga jednak pewnej poprawki w związku z pochłanianiem światła przez materię rozproszoną w przestrzeni kosmicznej.

Trudno byłoby przeceniać wagę tych badań dla astronomii nowoczesnej. Dają nam one bowiem metodę wymierzenia, jeśli nie całości Wszechświata, to przynajmniej tych jego części, w których znamy zmienne typu cefeid. W istocie to ostatnie zastrzeżenie nie jest zbyt ważne, gdyż cefeidy rozsiane są w przestrzeni bardzo hojnie. Oczywiście, metoda ta posiada największą wartość dla badania bardziej odległych części Wszechświata; święci ona triumfy tutaj, gdzie inne metody zawodzą całkowicie. Metoda paralaktyczna poczyną odmawiać usług, gdy przekraczamy odległość stu lat światła: pozorna orbita, zakreślana na sferze niebieskiej wskutek ruchu Ziemi dokoła Słońca przez gwiazdę tak odległą, ma rozmiary łebka szpilki widzianej z odległości przeszło trzech kilometrów. Przy pomocy najlepszych nawet przyrządów współczesnych trudno już wykryć przesunięcia tak małe, a praktycznie biorąc, nie podobna wymierzyć ich dokładnie.

Trudności pomiarów opartych na «prawie jasności» cefeid są innego rodzaju. Najbliższe nawet cefeidy są tak odległe, że nie jest rzeczą łatwą wyznaczyć dostatecznie dokładnie ich odległości bezwzględne, czy to przy pomocy metody paralaktycznej, czy dowolnej innej. Tak więc «prawo jasności cefeid» umożliwia dokładny pomiar względnych odległości tych zmiennych — i oczywiście, obiektów kosmicznych, w których się one znajdują — lecz wartości bezwzględnej odle-

głości nie można wyznaczyć z taką samą dokładnością. Mimo to, najnowsze wyniki nie różnią się zapewne od prawdy więcej niż o 10%.

W związku z tym wszystkie wielkie odległości podane w niniejszej książce i w ogóle w literaturze astronomicznej należy przyjmować z zastrzeżeniem możliwego błędu o jakieś 10% tylko z powodu wspomnianej przyczyny. Jednak mimo to «prawo cefeid» pozwala mierzyć odległości ciał kosmicznych sięgające miliona lat światła z błędem procentowym mniejszym niż błąd przy paralaktycznych pomiarach odległości nie przekraczających jakichś stu lat świetlnych.

SONDOWANIE PRZESTRZENI

Nie wyczerpuje to bynajmniej spisu nowoczesnych metod pomiarów przestrzeni. Wszelki typowy obiekt kosmiczny, łatwy do utożsamienia i wysyłający tę samą ilość światła niezależnie od tego, gdzie się znajduje, umożliwia oczywiście pomiar odległości kosmicznych; jeśli bowiem raz wyznaczymy rzeczywistą jasność takiego obiektu, wówczas odległość każdego z nich można ocenić na podstawie jasności widomej.

Jakkolwiek cefeidy o danych okresach stanowią najbardziej uderzający przykład takich «wzorców kosmicznych», oprócz nich rozporządzamy jeszcze trzema innymi «wzorcami», choć nie są one w takim stopniu użyteczne, jak cefeidy. Należy tu przede wszystkim inny typ gwiazd zmiennych, wspomniane już poprzednio «zmienne długookresowe», podobne w ogólności do cefeid, lecz o znacznie dłuższym okresie. Jasność rzeczywista tych gwiazd jest o wiele większa nawet od jasności cefeid i przekracza w wielu przypadkach 10 000 razy jasność Słońca; są one zatem widzialne na odległościach olbrzymich i mogą oddać usługi przy sondowaniu takich głębi przestrzeni, w których nawet cefeidy są już nieodróżnialne.

Dalej mamy «*Novae*», czyli *gwiazdy nowe*. Dość często zdarza się, iż zwykła jakaś gwiazda nagle rozbłyśka świetnym

blaskiem, tysiąckrotnie nieraz przewyższającym jej jasność pierwotną. Przyczyna owych wybuchów świetlnych jest jeszcze kwestią sporną i nie posiadamy dotychczas zupełnie zadowalającego wyjaśnienia tych zjawisk. Jednakże badanie Nowych stosunkowo niezbyt odległych ujawniło nieoczekiwany i niewyjaśniony dotychczas fakt, że większość Nowych osiąga tę samą w przybliżeniu wartość jasności maksymalnej — około 25 000 razy większą od jasności Słońca. Wyjątek stanowi pewien odrębny typ Nowych, tzw. «*supernowe*», różniące się od zwykłych Nowych nienormalnie wielką jasnością: w ciągu krótkiego czasu świecą one z jasnością setek milionów słońc (str. 201). Nie biorąc ich pod uwagę można stwierdzić, że zwykłe Nowe w maximum blasku stanowią «wzorce» omawianego rodzaju, a ponieważ pojawiają się one w różnych częściach Wszechświata, w szczególności w mgławicach pozagalaktycznych, mogą więc znów służyć do przybliżonej oceny odległości kosmicznych.

Gwiazdy błękitne (str. 190) nadają się również do tego samego celu. Posiadają one bardzo wielką jasność rzeczywistą; wykazano przy tym, że gwiazdy niebieskie o tym samym typie widmowym różnią się pomiędzy sobą pod względem jasności rzeczywistej jedynie w niewielkim stopniu. Gwiazdy te są więc również «wzorcami jasności rzeczywistej», co umożliwia wyznaczenie ich odległości, a więc i odległości obiektów kosmicznych, w których występują.

Istnieją jeszcze dwie inne metody wyznaczania odległości gwiazdowych. W. S. Adams i inni badacze stwierdzili, że pewne określone osobliwości w widmach gwiazd niektórych typów pozwalają wnioskować o gęstości atmosfery owych gwiazd. Gęstość ta jest związana z fizyczną budową gwiazdy, która z kolei wiąże się z jej jasnością rzeczywistą; znając tę ostatnią łatwo jest ocenić odległość gwiazdy z jej jasności widomej. Sposób opisany nazywa się niekiedy metodą «*paralaks spektroskopowych*», co jest niefortunnym okazem żargonu naukowego, gdyż «paralaksa» jest kątem, metoda ta zaś nie ma nic wspólnego z mierzeniem kątów.

Wreszcie, chmury materii mgławicowej rozpostarte

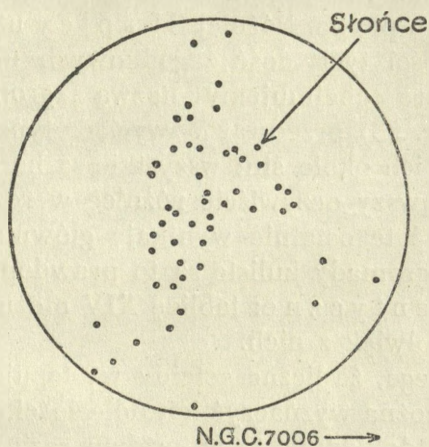
w przestrzeniach międzygwiazdowych (str. 25) wpływają na charakter światła przez nie przechodzącego w ten sposób, że z widma gwiazd dalej położonych wnosić można o grubości chmury, którą światło tych gwiazd musiało przeniknąć, co pozwala oceniać z grubsza odległości wewnątrz układu galaktycznego.

GROMADY KULISTE. Prawo jasności cefeid zastosował po raz pierwszy Hertzsprung do oceny odległości Małego Obłoku Magellana, którego badanie doprowadziło właśnie do odkrycia owego prawa. Później Shapley użył go do wyznaczenia odległości tych dość zagadkowych ugrupowań gwiazdowych, które obejmujemy nazwą «gromad kulistych». Tabl. XIV (str. 33) przedstawia wygląd typowej takiej gromady. Znamy ich około stu; wszystkie są bardzo podobne do siebie, pomijawszy oczywiście różnice w rozmiarach pozornych. Zresztą i te ostatnie wynikają głównie z różnic odległości, tak iż gromady kuliste są to prawdopodobnie obiekty niemal identyczne: tablicę XIV można by uważać za obraz którejkolwiek z nich.

Wobec tego, że liczne cefeidy występują we wszystkich gromadach, można wyznaczyć ich odległości od Ziemi — jeśli nie absolutnie dokładnie, to w każdym razie z tym stopniem przybliżenia, o którym była mowa na str. 61. Najbliższa gromada w Centaura znajduje się w odległości 22 000 lat światła, następna zaś w kolei odległości, 47 Tukana, jest tylko o 3% dal-sza. Natomiast najodleglejszą znaną gromadę N. G. C. 7006 dzieli od nas około 186 000 lat światła. Oczywiście jest rzeczą, iż dla odległości takich metoda paralaktyczna zawiodłaby całkowicie. Orbita paralaktyczna gwiazdy oddalonej o 186 000 lat światła miałaby rozmiary pozorne główki od szpilki oglądanej poprzez całą szerokość Atlantyku: nie ma teleskopu na świecie, który by mógł wykryć taką orbitę, a tym mniej dokładnie ją zmierzyć.

Liczyby takie jak 186 000 lat światła nie dają nam żadnego wyobrażenia o odległości owej najdalszej gromady gwiazdowej. Uprzytomnimy ją sobie lepiej wzięwszy pod uwagę, iż

światło, które dziś od gromady tej otrzymujemy, rozpoczęło swą długą wędrówkę wtedy jeszcze, gdy człowiek pierwotny żył na Ziemi. Przez czas dzieciństwa, młodości i starości tysięcy pokoleń ludzkich, przez długie wieki przedhistoryczne, powolny świt cywilizacji, a później przez cały okres dziejów historycznych: wzrost i upadek tylu państw i dynastyj — światło to biegło nieustannie, bez przerwy, przebywając 300 000 kilometrów w każdej sekundzie i dopiero *dziś* dochodzi do nas! A przecież ta niezmierna otchłań przestrzeni



Rys. 9. Rozmieszczenie gromad kulistych w przestrzeni.

nie sięga jeszcze granic Wszechświata; jak zobaczymy, *dotarliśmy tu jedynie do granic układu galaktycznego.*

Shapley wykreślił położenia wszystkich gromad kulistych i wykazał, że zajmują one wydłużony obszar po obu stronach płaszczyzny Drogi Mlecznej, przy czym obie największe jego średnice leżą w tej płaszczyźnie, średnica prostopadła zaś jest znacznie krótsza. Ogólne rozmieszczenie układu gromad kulistych widzimy na rys. 9. Płaszczyzna papieru przedstawia płaszczyznę Drogi Mlecznej, kółka czarne oznaczają punkty tej płaszczyzny najbardziej zbliżone do odpowiednich gromad, tak iż mamy tu widok układu gromad kulistych, jakby się on przedstawiał odległemu obserwatorowi, spoglą-

dającemu na płaszczyznę galaktyczną «en face». Wszystkie gromady, z wyjątkiem N. G. C. 7006, leżą wewnątrz okręgu zakreślonego promieniem 115 000 lat światła, o środku przypadającym w odległości około 50 000 lat światła od Słońca.

Jak widać z wykresu, rozmieszczenie gromad kulistych okazuje pewną symetrię względem jednej ze średnic tego koła, mianowicie skierowanej ku 325° długości galaktycznej. Słońce przypada na samym brzegu obszaru zajętego przez gromady; dlatego to — widziane z Ziemi — leżą one prawie wyłącznie w obrębie jednej połowy sfery niebieskiej. W rzeczywistości większość ich znajduje się w granicach kąta 130° w długości galaktycznej (pomiędzy 235° i 5°), natomiast tylko dwie gromady przypadają w kącie o rozwartości 152° pomiędzy 41° i 193° .

STRUKTURA UKŁADU GALAKTYCZNEGO. Wiemy obecnie, że obszar zajęty przez gromady kuliste pokrywa się w przybliżeniu z obszarem samej Galaktyki. Liczne i ważne dowody przemawiają za tym, że środek tej ostatniej znajduje się w potężnej chmurze gwiazdowej w *gwiazdozbiorze Strzelca* (p. tabl. IV, str. 21) — jest to, jak zresztą można było oczekiwać, najświetniejsza część Drogi Mlecznej. Odległość tej chmury, wymierzona w Obserwatorium Harvarda, wynosi 47 000 lat światła, co mieści ją niemal dokładnie w środku układu gromad kulistych przedstawionego na rys. 9. Te i inne jeszcze dowody, o których wspomnimy później, wykazują, że Słońce jest odległe o jakieś 40 000 lat światła od środka układu galaktycznego. W jaki sposób więc wytłumaczyć omyłkę Herschla i Kapteyna, którzy przypuszczali, że znajduje się ono w środku układu?

POCHŁANIAJĄCA MATERIA W PRZESTRZENI. Widzieliśmy na tabl. II i IX (str. 20 i 28), że niektóre części nieba są przesłonięte tak grubym woalem absorbującej materii, że poprzez tę zasłonę nie widać dalej leżących gwiazd. Tego rodzaju obszary są na pewno wyjątkiem, wiadomo jednak obecnie, że nie ma takiej części nieba, która byłaby całkowicie wolna od przesłaniają-

cej materii, która przyćmiewa — jeśli nie gasi całkowicie — światło gwiazd bardziej odległych. Żyjemy w obłokach mgły, która nie pozwala nam dojrzeć dalekich ciał niebieskich w pełnym ich blasku i która w ogóle zasłania widok jeszcze dalszych obiektów, chyba że odznaczają się one jasnością wyjątkową. Gdy wędrujemy na otwartym miejscu w dzień mglisty, wzrok nasz sięga na tę samą niewielką odległość we wszelkich kierunkach. Gdybyśmy nie wiedzieli, że jest inaczej, moglibyśmy sobie łatwo wyobrazić, że znajdujemy się w samym środku wszechrzeczy. Właśnie w ten sam sposób *Herschel* i *Kapteyn* popełnili wspomnianą omyłkę, przypuszczając, że znajdujemy się w środku Galaktyki.

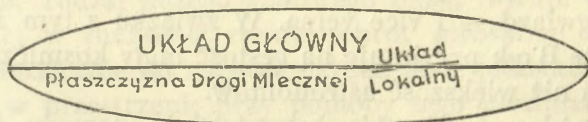
Jak można by tego oczekiwać, owa «Mgła na niebiosach» jest najgęstsza w płaszczyźnie Drogi Mlecznej i w jej pobliżu. Światło słabnie tu, przeciętnie biorąc, do połowy po 3000 lat wędrówki poprzez mgłę, tzn. po przebyciu w niej drogi długości 3000 lat światła. Wynika stąd, że droga wynosząca 40 000 lat światła, która dzieli nas od centralnych obszarów układu galaktycznego, zmniejsza jasność światła do jednej dziesięciotysięcznej części tej wartości, jaką obserwowalibyśmy w braku pochłaniania. Oznacza to zupełne zasłonięcie wszystkich obiektów, z wyjątkiem najjaśniejszych. Wobec tego, że większość obiektów galaktycznych znajduje się w odległości większej od 40 000 lat światła, nie mogą one być w ogóle dostrzeżone. Z tego samego powodu w płaszczyźnie Drogi Mlecznej lub blisko tej płaszczyzny nie widać wcale mgławic pozagalaktycznych, ani też gromad kulistych w obszarze rozpościerającym się na 4000 lat światła po obu stronach tej płaszczyzny. Przyczyną tego nie musi być istotny brak tych obiektów, lecz po prostu ogólne przyćmienie ich światła, nie pozwalające nam na ich dostrzeżenie.

Stwierdzenie, że ten mglisty welon rozpościera się po całym układzie galaktycznym, zmusiło do mniejszenia odległości przypisywanych dawniej słabym obiektom. Przypuszczano, że mała ich jasność wynika tylko z wielkiej odległości, tak iż gdy jasność prawdziwa dalekiego obiektu była znana, można było znaleźć tę odległość na podstawie jasności obserwo-

wanej. Obecnie wiemy, że słabe światło tych obiektów wynika z zespołu dwóch przyczyn, których udziału nie możemy podać ogólnie i dokładnie. Jest jednak rzeczą pewną, iż odległe obiekty są w ogólności *znacznie bliższe*, niż przypuszczano jeszcze niezbyt dawno.

UKŁAD LOKALNY GWIAZD

Przez pewien czas zdawało się, że inny jeszcze czynnik jest odpowiedzialny za błąd, jaki popełniano, przypuszczając, iż Słońce znajduje się w środku układu galaktycznego. Niektórzy astronomowie sądzili, że mają dowody istnienia lokalnego zagęszczenia gwiazd, otaczającego Słońce. Ów «układ lokalny» (lub «gromada lokalna») miał składać się z milionów gwiazd, przy czym liczne wśród nich posiadają jasność większą od przeciętnej. Przypuszczano, że układ ten ma ten sam kształt spłaszczony, co główny układ galaktyczny, nie leży jednak dokładnie w płaszczyźnie Galaktyki, lecz jest do niej



Rys. 10. Schematyczny przekrój układu galaktycznego.
Słońce znajduje się u dołu pomiędzy literami U i k w słowie «Układ lokalny».

nachylony pod kątem około 12° . Nie ma zdaje się wątpliwości, że Słońce przypada bardzo blisko płaszczyzny środkowej układu galaktycznego; Searles znalazł, że odległość ta nie przekracza zapewne 25 lat światła i nie można nawet powiedzieć, czy Słońce jest na północ, czy na południe od tej płaszczyzny. Jednakże w hipotetycznym układzie lokalnym Słońce leży wyraźnie na północ — może jakieś 150 lat światła od jego płaszczyzny środkowej, jak to podaje jedna z ocen. Rys. 10 okazuje w przekroju przypuszczalne położenie układu. Sądzono, że pomieszczenie układu lokalnego z głównym ukła-

dem galaktycznym było przyczyną dawniejszych mylnych poglądów na architekturę Galaktyki.

Obecnie jednakże samo istnienie tego układu lokalnego poddano w wątpliwość. Wspomniana wyżej mgła kosmiczna mogła być w części lub całkowicie przyczyną przeświadczenia, że układ taki istnieje. Zasłaniając tylko bardziej odległe gwiazdy Galaktyki łatwo mogła ona wytworzyć wrażenie, iż znajdujemy się w środku obszaru, gdzie gwiazdy są wyjątkowo jasne i wyjątkowo liczne. B o k i inni astronomowie, po dyskusji zagadnienia w świetle naszych obecnych wiadomości o mgłę kosmicznej, sądzą w dalszym ciągu, że układ lokalny istnieje, przy czym B o k ocenia jego średnicę na około 5000 lat światła. Z drugiej strony O o r t, czyniąc inne założenia co do wpływu mgły kosmicznej dochodzi do wniosku, że gęstość rozmieszczenia gwiazd w pobliżu Słońca nie jest anormalnie wielka, lecz przeciwnie zbyt mała, jak gdybyśmy znajdowali się w obszarze nie lokalnej koncentracji gwiazd, lecz w miejscu słabiej przez nie «zapełnionym». Oczywiście jest rzeczą, iż jeśli przypiszemy mgłę kosmicznej zbyt małą nieprzezroczystość, to będzie stąd wynikało istnienie lokalnej koncentracji gwiazd — i vice versa. W związku z tym znaczący jest fakt, że B o k przyjmuje na gęstość mgły kosmicznej wartość niższą niż większość astronomów.

W każdym bądź razie, bezpośrednie dowody istnienia lokalnego układu gwiazd zostały silnie zachwiane. Częściowo z tego powodu, częściowo zaś z innej przyczyny, o której będzie mowa za chwilę (str. 71), wydaje się rzeczą bardzo prawdopodobną, że pomysł o «gromadzie lokalnej» trzeba będzie porzucić.

OBRÓT GALAKTYKI

Porównywaliśmy już poprzednio postać układu galaktycznego do koła od wozu. Jasną jest rzeczą, że nie mógłby on stale zachować tego kształtu, jeśliby gwiazdy, w jego skład wchodzące, były nieruchome w przestrzeni, gdyż przyciąganie gwiazd wewnętrznych zmusiłoby zewnętrzne («na obre-

czy koła») do spadku ku środkowi, aż w końcu układ nasz przeobraziłby się w zmieszany tłum gwiazd skupionych w pobliżu «piasty» koła. W r. 1913 H. Poincaré wypowiedział pogląd, że «koło» Drogi Mlecznej mogłoby uniknąć tego losu, jeśli by było obdarzone ruchem obrotowym. Podobnie, jak ruch Ziemi nie pozwala jej spaść na Słońce, lub, jeśli wziąć ściślejszą analogię, jak obrót pierścieni Saturna chroni składające je cząstki przed spadkiem na Saturna — tak, według Poincarégo, gwiazdy na obwodzie «koła» Galaktyki nie spadałyby ku «osi», gdyby całość obracała się dookoła tej osi. Z przybliżonego rachunku Poincarégo wynikało, że czas jednego obrotu owego «koła» musiałby wynosić około 500 milionów lat.

Oczywiście nie jest rzeczą łatwą wykrycie obrotu tak powolnego. Pierwsze podejrzenie, że istnieje on w rzeczywistości, wyłoniło się w sposób następujący. Wiadomo, że gdy bąk czyli giroskop zostanie wprowadzony w szybki ruch obrotowy, trzeba użyć znacznej siły, jeśli chcemy zmienić położenie osi giroskopu w przestrzeni: jest to zasada budowy kompasu giroskopowego, stosowanego do sterowania na okrętach. Giroskop, rodzaj dużego stalowego bąka, wiruje dookoła osi osadzonej w ruchomej ramie; obrót giroskopu utrzymuje ramę, niezależnie od ruchów okrętu, stale jednakowo zorientowaną w przestrzeni; przy pomocy tego niezmiennego kierunku można zachować stały kurs okrętu. Otóż układ słoneczny ma szereg własności wielkiego giroskopu, przy czym obieg planet odpowiada ruchowi wirowemu tegoż. Ponieważ na giroskop ów nie działają żadne skręcające siły zewnętrzne, jego oś obrotu musi wskazywać zawsze ten sam kierunek, tworząc niejako «kompas giroskopowy», według którego możemy orientować się w przestrzeni.

W r. 1913 Charlier wypowiedział pogląd, że ów «kompas giroskopowy» obraca się względem odległego tła Drogi Mlecznej raz na 370 milionów lat; nowsze pomiary zwiększyły tę liczbę do 530 milionów lat. Eddington wysunął myśl, iż to raczej tło się obraca, nie zaś «kompas giroskopowy», tzn., że Droga Mleczna istotnie obraca się w taki sposób, jak

sobie to wyobrażał Poincaré i przy tym z prędkością prawie taką, jaką ten uczony obliczył.

Najnowsze badania Oorta, Plasketta, Lindblada i innych nie pozostawiają wątpliwości, że *obróć taki zachodzi rzeczywiście*, aczkolwiek nie w tak prosty sposób, jak obrót koła od wozu. W układzie słonecznym planety najbliższe Słońca poruszają się szybciej niż dalsze: jest to konieczne, jeśli ruch każdej z nich ma równoważyć przyciąganie Słońca, ponieważ jest ono najsilniejsze w pobliżu Słońca. Podobnie, jeżeli obrót Galaktyki ma równoważyć przyciąganie gwiazd położonych w jej obszarach środkowych, części bliższe osi muszą wirować z prędkością większą, niż dalsze; Słońce powinno więc prześcigać gwiazdy położone dalej odeń na «kole» galaktycznym; gwiazdy zaś, znajdujące się wewnątrz orbity Słońca, powinny z kolei prześcigać to ostatnie. Dokładna analiza obserwowanych ruchów gwiazd pozwala stwierdzić istnienie takiego właśnie ruchu.

Ruchy gwiazd wydają się na pierwszy rzut oka bezładne — posiadają najrozmaitsze prędkości i odbywają się we wszelkich możliwych kierunkach. Zamiast jednak rozpatrywać poszczególne gwiazdy, weźmy pod uwagę grupy gwiazd sąsiadujących ze sobą w przestrzeni i wyznaczmy ruch każdej takiej grupy, biorąc średnią z ruchów wszystkich jej składników. Stwierdzimy wówczas, że wszystkie te grupy poruszają się wokół punktu środkowego, który przypada dokładnie w tym samym kierunku, co środek Galaktyki określony przez Shapleya na podstawie badań gromad kulistych.

Prędkość tego ruchu można zmierzyć ze znacznym stopniem dokładności; z pomiarów wynika, że Galaktyka obraca się w sposób wyżej opisany, tj. że części wewnętrzne poruszają się najszybciej. Przeciętna prędkość, z jaką gwiazdy okrążają środek Galaktyki wzrasta przy zbliżaniu się do tego środka o 1 kilometr na sekundę na każde 200 lat świetlnych.

Stąd łatwo można już wyprowadzić wniosek, że Słońce potrzebuje 250 milionów lat na dokonanie jednego pełnego obiegu dokoła środka Galaktyki. Wobec tego, że Ziemia liczy

sobie około 3000 milionów lat, Słońce odbyło ową podróż od czasu jej narodzin około dwunastu razy.

Omawiany ruch obrotowy czyni mało prawdopodobnym istnienie «lokalnej gromady gwiazd», o której była mowa na str. 68. Różne części takiej gromady musiałyby bowiem obiegać środek Galaktyki z różnymi prędkościami, zależnie od swych odległości od tego środka, tak iż po kilku obrotach gwiazdy należące do gromady musiałyby rozproszyć się po całym układzie galaktycznym; krótko mówiąc, gromada taka nie byłaby utworem statecznym.

Aby dowiedzieć się czegoś więcej o obrocie Galaktyki, musimy wprowadzić nowy czynnik, np. rzeczywistą prędkość, z jaką porusza się Słońce w swej wędrówce. By tę prędkość zmierzyć, musimy znaleźć jakiś stały punkt odniesienia. Tak np. możemy wziąć jako taki bardziej odległe gromady kuliste, gdyż jeśli nawet obiegają one dokoła środka całego układu, to jednak z powodu swych wielkich odległości posiadają najprawdopodobniej prędkości znacznie mniejsze niż Słońce. Spektroskopowe zbadanie prędkości (str. 37) zbliżania się względnie oddalania się Słońca od owych gromad świadczy, że grupa gwiazd w sąsiedztwie Słońca porusza się wokół środka Galaktyki z prędkością około 270 kilometrów na sekundę. Prosty rachunek wskazuje dalej, że cała długość orbity musi wynosić około 230 000 lat światła, tak iż jej promień — *odległość Słońca od środka Galaktyki* — *mierzy około 36 000 lat światła*.

Trudno przypuszczać, aby wartość ta była bardzo dokładna; jest to raczej w najlepszym razie granica dolna. Odległe gromady kuliste mają przecież zapewne własny ruch obrotowy względem Słońca i prędkość tego ruchu powinno się dodać do powyższej oceny 270 km/sek. Istotnie, gdy Stromberg spróbował wyznaczyć tę prędkość z badania najbliższych mgławic pozagalaktycznych, zamiast najdalszych gromad kulistych otrzymał on na prędkość ruchu Słońca liczby w granicach od 360 do 500 km/sek.

Wszelkie zwiększenie wyżej ocenionej prędkości ruchu Słońca spowoduje oczywiście powiększenie długości orbity,

a więc i odległości Słońca od środka Galaktyki. Z tego punktu widzenia musimy uważać wartość 36 000 lat światła za dostatecznie zgodną z przytoczonymi wyżej ocenami (str. 65), wynoszącymi 50 000 i 47 000 lat światła.

Znając więc rozmiary orbity słonecznej możemy obliczyć, jakie przyciąganie muszą wywierać na Słońce inne gwiazdy, by utrzymać je w tej orbicie. Innymi słowy, można «zważyć» całą ilość materii zawartej wewnątrz orbity słonecznej przy pomocy tej samej metody, jaką stosuje się np. do «zważenia» Jowisza na podstawie znanego ruchu jego satelitów. Okazuje się, że łączna masa tej materii wynosi tyle, co masa 150 miliardów Słońc. Inne oceny masy Galaktyki dały wyniki przeważnie zbliżone do powyższego. Tak np. dwie oceny Lindbłada podają tę masę jako równą 110, względnie 180 miliardów Słońc. Część tej masy występuje oczywiście w postaci międzygwiazdowego pyłu lub gazu. Jednakże wobec tego, że przeciętna gwiazda waży około dwa razy mniej od Słońca (str. 199), całkowita liczba gwiazd w układzie galaktycznym jest zapewne rzędu wielkości 300 miliardów. W ocenie tej zawarte są oczywiście wszystkie gwiazdy, zarówno ciemne jak świecące.

Spotykamy tu znowu trudność uprzytomnienia sobie liczb tak wielkich. Człowiek obdarzony dobrym wzrokiem może dostrzec w noc bezksiężycową około 3000 gwiazd. Wyobraźmy sobie, że każda z nich rozpadła się na 3000 gwiazd, że więc powstało 9 milionów gwiazd, którą to ilość dostrzec można przez lunetę o otworze 12 cm. Trudno byłoby wymagać od naszej wyobraźni, by raz jeszcze powtórzyła podobny «wyczyn», lecz jeśli by nawet to nastąpiło i jeśli wyobraźmy sobie, że każda z tych 9 milionów gwiazd rodzi znów całe niebo gwiazdziste, otrzymamy dopiero 27 miliardów gwiazd, tj. znacznie mniej od wszelkiej możliwej oceny całkowitej liczby gwiazd w układzie galaktycznym. Albo też weźmy pod uwagę, że liczba gwiazd dostrzegalnych przy pomocy teleskopu 2 $\frac{1}{2}$ metrowego przy zastosowaniu fotografii, mianowicie 1500 milionów, jest prawie równa liczbie wszystkich ludzi na świecie. Każdy bez wyjątku mieszkaniec Ziemi mógłby obrać sobie swą własną gwiazdę, a potem powtórzyć to dziesiątki lub



Obserwatorium na Mt Wilson

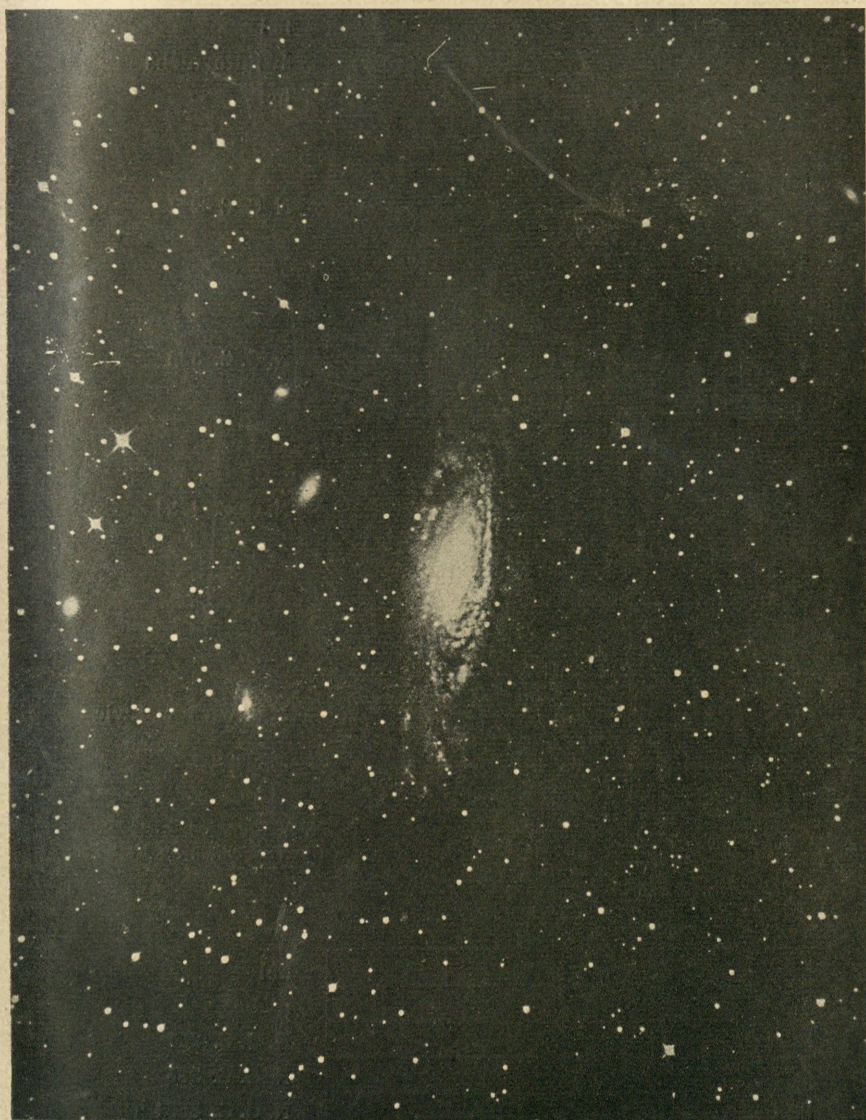
Powiększenie części środkowej wielkiej mgławicy *M 31* w Andromedzie, która w całości przedstawiona jest na tabl. X

TABLICA XVIII



Obserwatorium na Mt Wilson

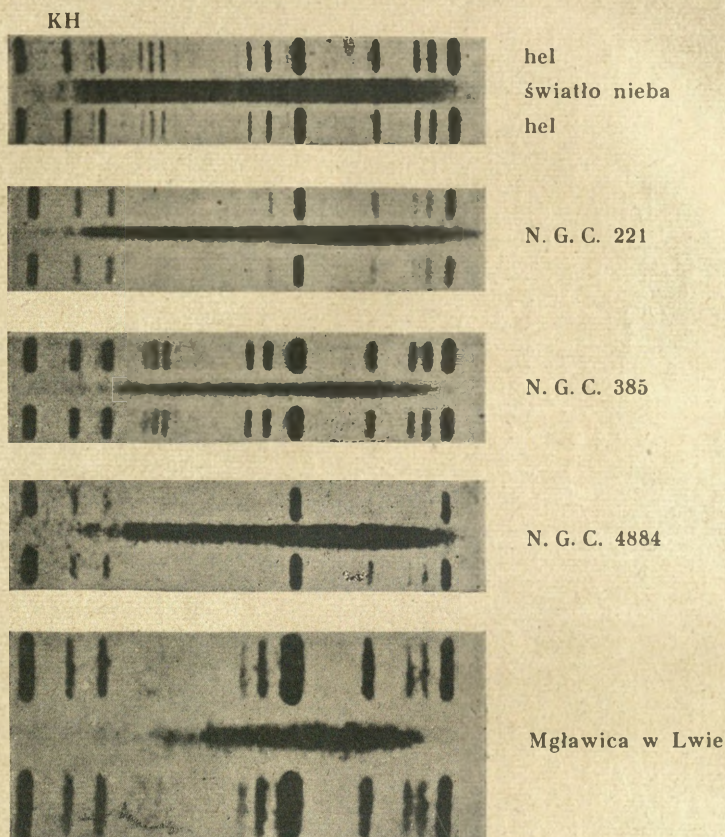
Mgławica M 33 w Trójkacie



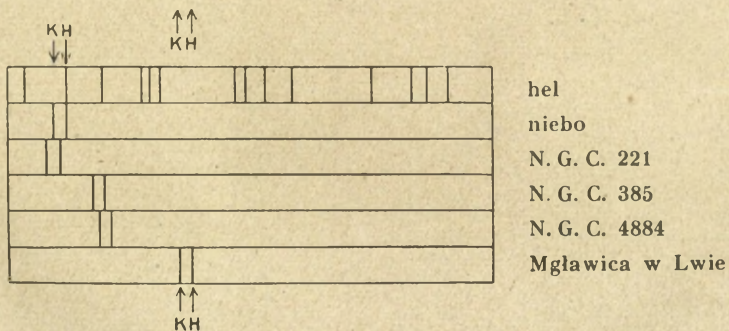
Obserwatorium na Mł Wilson

Mgławica N. G. C. 7331 w Pegazie oraz odległa gromada
słabych mgławic

TABLICA XX



*M. L. Humason
Obserwatorium na Mt Wilson*



Widma mgławic okazujące przesunięcia linii

raczej setki razy, nie wychodząc poza obręb układu galaktycznego.

Idąc dalej napotykalmy poza granicami tego układu wciąż nowe i nowe gwiazdy. Układ galaktyczny z jego setkami miliardów gwiazd zawiera ich nie więcej w stosunku do ogólnej liczby gwiazd we Wszechświecie, niż jeden dom zawiera mieszkańców w stosunku do ogólnej liczby ludności wielkiego kraju. Istnieją miliony innych domów i miliony innych rodzin gwiazdowych; inne te «domy» są to mgławice pozagalaktyczne, słabe mgliste twory kosmiczne opisane wyżej (str. 26), które *Herschel* nazwał, może bez zbyt ważkich podstaw, «wszechświatami-wypami».

MGLAWICE POZAGALAKTYCZNE

BLIŻSZE MGLAWICE. Najpotężniejsze teleskopy współczesne umożliwiają bardzo szczegółowe studiowanie bliższych mgławic; okazują one, że mgławice te składają się, przynajmniej częściowo, z olbrzymich chmur gwiazdowych. Podobnie, jak silny mikroskop ujawnia, że obłoczek dymu tytoniowego składa się, pomimo pozorów ciągłości, z mnóstwa drobnutkich, odrębnych cząstek — tak wielkie teleskopy rozkładają światło zewnętrznych części tych mgławic na *oddzielne* punkciki świetlne: tego samego dokonał *Galileusz* z przy pomocy swej małej lunetki trzysta lat temu w stosunku do Drogi Mlecznej. Widzieliśmy to już na tabl. V (str. 24), która przedstawia powiększenie niewielkiego obszaru w górnym lewym rogu Wielkiej Mgławicy *M 31* w Andromedzie (p. tabl. X); widzimy tu wyraźnie rozszczepienie mgławicy na oddzielne punkty świetlne. O tym, że niektóre z nich przynajmniej są gwiazdami, przekonywa nas fakt wykryty przez *Hubble'a*, iż są to *zmienne typu cefeid*: blask ich podlega charakterystycznym wahaniom tego samego rodzaju, co u dobrze znanych cefeid bliższych. Inne punkciki świetlne mają jasność porównywalną z tamtymi, większą lub mniejszą od cefeid, lecz zawartą w granicach, które są w zgodzie z przypuszczeniem, iż są to zwykłe gwiazdy. *Hubble* zdołał poza tym zaobserwo-

wać rozbłyśnięcie niemniej niż 85 gwiazd w tej mgławicy, dokładnie przypominające charakterystyczne rozbłyśnięcia «Nowych» układu galaktycznego. Znalazł on ponadto gwiazdy o wszelkich cechach zmiennych długookresowych, a nawet wykrył tam obiekty zupełnie podobne do gromad kulistych w układzie galaktycznym. Nie ma zatem wątpliwości, iż mgławica w Andromedzie jest w zasadzie, przynajmniej w swych częściach zewnętrznych, chmurą gwiazdową, posiadającą wiele cech wspólnych z naszą Galaktyką.

Środkowy obszar mgławicy widzimy na tabl. XVII. Budowa jego nastrocza więcej wątpliwości. Nie dostrzeżono tu dotychczas oddzielnych gwiazd, aczkolwiek od czasu do czasu pojawiają się Nowe; w analogicznych obszarach innych mgławic udało się istotnie wykryć niewielką liczbę gwiazd. Być może, iż gwiazdy tu istnieją, lecz kryją się za mglistą przesłoną rozproszonej materii; być może również, iż centralne części tej i podobnych mgławic składają się z chmur gazu, który jeszcze nie zagęścił się w gwiazdy (str. 250), przy czym te nieliczne gwiazdy, które tam widzimy, są «imigrantkami» z obficiej «ugwieżdżonych» obszarów.*

Widzieliśmy wyżej, w jaki sposób Shapley ocenił odległości gromad kulistych na podstawie obserwowanych okresów cefeid w nich dostrzeżonych oraz «prawa jasności cefeid» (str. 63). Tą samą metodą Hubble ocenił odległości bliżej położonych mgławic, aczkolwiek wyniki jego, podobnie jak i Shapleya, wymagają pewnej rewizji, raz by uwzględnić wpływ ciemnej materii rozpostartej w naszym układzie w płaszczyźnie Drogi Mlecznej i jej sąsiedztwie, po wtóre, z powodu późniejszych poprawek wprowadzonych do «prawa cefeid».

Najbliższą mgławicą okazała się opisana przed chwilą Wielka Mgławica w Andromedzie. Odległość jej wynosi około 680 000 lat światła. Wobec tego, iż wartość ta przekracza blisko czterokrotnie odległość najdalszej gromady kulistej, mgławice «pozagalaktyczne» są najwidoczniej zupełnie poza obrę-

* W ostatnich latach Baade zdołał rozszczepić, stosując fotografię w świetle czerwonym, środkowy obszar tej mgławicy, jak również mgławice-satelity (str. 75) na oddzielne gwiazdy. (Przyp. tłum.)

bem układu galaktycznego, co usprawiedliwia przymiotnik w nazwie mgławic.

Według *Shapleya*, tuż po najbliższej gromadzie kulistej, ω Centaura, idzie gromada 47 Tukana, której odległość jest tylko o 3% większa od poprzedniej. Podobnie jest w świecie mgławic: tuż za Wielką Mgławicą *M 31* w Andromedzie (Tabl. X) idzie mgławica *M 33* w Trójkącie (Tabl. XVIII), przy czym odległość tej ostatniej jest i tutaj zaledwie o parę setnych większa.

Mgławice podwójne i potrójne są prawie tak częste na niebie, jak podwójne i potrójne gwiazdy. Często dużej mgławicy towarzyszy jedna lub dwie mniejsze mgławice-satelity, nieraz natomiast mamy parę złożoną ze składników o jednakowych rozmiarach. Przykład takiej pary znajdujemy na tabl. XXIII (str. 82). Nasza Galaktyka jest znów dobrym przykładem poprzednio wspomnianego typu: można ją uważać za główną składową układu potrójnego, przy czym satelitami są Obłoki Magellana, Wielki i Mały (tabl. XIII, str. 32).

Dla oka nieuzbrojonego wyglądają one jak dwie mniej więcej koliste chmurki, widzialne na niebie południowej półkuli Ziemi. Posiadają one liczne cechy charakterystyczne prawdziwych galaktyk, lecz odległość ich od naszej Galaktyki (pomiędzy odpowiednimi środkami) wynosi tylko około 90 000 lat światła. W pewnym sensie są więc one najbliższymi nam galaktykami — chyba że niewielkie ich rozmiary dyskwalifikują je w charakterze niezależnych galaktyk, gdyż średnice ich wynoszą tylko około 12 000 i 6000 lat światła.

Wielkiej Mgławicy w Andromedzie również towarzyszą dwie mgławice-satelity, *M 32* i *N. G. C. 205*, obie widoczne na tabl. X. Odległości ich od środka głównej mgławicy są nieznane, w każdym razie nie mniejsze od 5000 i 7500 lat światła, gdy tymczasem średnice ich mierzą zaledwie odpowiednio 800 i 1600 lat światła.

BARDZIEJ ODLEGŁE MGLAWICE. Przy wymierzaniu przestrzeni musieliśmy używać «taśm mierniczych» coraz to dłuższych. Sztaba metrowa, baza na powierzchni Ziemi, promień

orbity ziemskiej, odległości gwiazd najbliższych, odległości cefeid — każdy z tych wzorców spełniał swe zadanie aż do pewnej odległości, po czym musiał ustąpić miejsca następnemu, o większych rozmiarach. Wreszcie nawet cefeidy zawodzą: odległości najsłabszych znanych mgławic widocznie wielokrotnie przewyższają maksymalną odległość, w jakiej można by jeszcze gwiazdy te dostrzec.

Hubble obmyślił nową «taśmę mierniczą», która oddaje nam usługi wówczas, gdy «taśma» cefeid zawodzi. Można mianowicie zmierzyć jasność widomą najsłabszych nawet dostrzegalnych jeszcze mgławic, jako też ich powierzchnię pozorną na sferze niebieskiej. Otóż w odniesieniu do mgławic o pewnym danym kształcie Hubble znajduje, że jasność widoma jest z wielkim przybliżeniem proporcjonalna do owej powierzchni, tak iż mgławice o *podobnej postaci* posiadają *jednakową jasność na jednostkę powierzchni*. Fakt ten nasuwa myśl, że mgławice o tym samym kształcie są tworam i istotnie podobnymi, różnice zaś w ich jasności widomej oraz w rozmiarach pozornych wynikają po prostu z różnic odległości. Napotykamy tu zatem ponownie szereg obiektów wzorcowych o jednakowej — przynajmniej w przybliżeniu — jasności rzeczywistej; i znów, podobnie jak na str. 61, możemy ocenić odległość danego obiektu na podstawie jego jasności widomej, albo też prościej, z jego rozmiarów pozornych, jeśli można je jeszcze wymierzyć. Tak np. tabl. XIX przedstawia gromadę mgławic w Pegazie oraz pojedynczą mgławicę N. G. C. 7331 (na środku tablicy), która wydaje się znacznie od tamtych większa. W rzeczywistości wiemy, że musi ona posiadać mniej więcej te same rozmiary, co podobnego kształtu mgławice gromady; ponieważ zaś wydaje się około dziesięciu razy od nich większa, wnioskujemy, że musi być dziesięć razy bliższa.

Stosując tę metodę można wyznaczyć odległości najsłabszych nawet mgławic i badać rozmieszczenie tych tworów w przestrzeni.

Wielki stuczalowy teleskop na Mount Wilson okazuje około 2 000 000 tych słabych mgławic pozagalaktycznych. Roz-

mieszczenie ich w przestrzeni można badać przy pomocy metody używanej przez Herschla (str. 22) w swych studiach nad rozmieszczeniem gwiazd w układzie galaktycznym. Podwojenie otworu teleskopu umożliwia sięgnięcie dwa razy dalej w przestrzeń, tak iż jeśli mgławice są równomiernie rozmieszczone, powinniśmy dostrzec osiem razy więcej mgławic. Istotnie, tak właśnie sprawa się przedstawia, aż do największych otworów teleskopów, jakimi w chwili obecnej rozporządzamy. Tak więc mgławice nie okazują oznak «rzednięcia» w wielkich odległościach; większość ich jest rozproszona w przestrzeni w sposób mniej lub więcej zbliżony do równomiernego, w przeciętnych odległościach półtora miliona lat światła pomiędzy mgławicami sąsiednimi. Gdziekolwiek ta równomierność rozkładu jest zakłócona przez chmury i gromady mgławic, w których średnie odległości są znacznie mniejsze. Przykład małej, zwartej gromady w gwiazdozbiorze Pegaza pokazuje tabl. XXII (str. 81). Szczególnie bogate jest niebo w mgławice w konstelacjach Panny i Warkocza Bereniki. Shapley stwierdził, że chmura około 300 mgławic jest tu zebrana w przestrzeni ledwie pięć do dziesięciu razy przewyższającej rozmiary układu galaktycznego. Ten sam obszar nieba obejmuje ponadto trzy inne, bardziej odległe chmury. Wysuwano pogląd, że nasz układ galaktyczny, mgławica w Andromedzie oraz inne pobliskie mgławice mogą tworzyć podobną chmurę.

W ostatnich czasach poznano jeszcze lepszy sposób oceny odległości mgławic. Mówiliśmy już poprzednio (str. 37), że wskutek ruchu gwiazdy widmo jej przesuwają się w całości z normalnego swego położenia: w stronę czerwonego krańca widma, jeśli gwiazda oddala się od nas, lub w stronę fioletu, gdy gwiazda zbliża się ku nam. Widma mgławic okazują przesunięcia tej samej — jak się zdaje — natury, jakkolwiek zazwyczaj o większej wartości. Jest jeszcze sprawą nierozstrzygniętą ostatecznie, czy przesunięcia te zawdzięczamy rzeczywistym ruchom mgławic, czy jakimś innym przyczynom.

Przykłady widm obu rodzajów znajdujemy na tabl. XX (str. 73). Na wszystkich fotografiach widmo środkowe należy

do mgławicy, widma górne i dolne zaś (identyczne) stanowią widma «porównawcze» (str. 38), w danym przypadku jest to widmo helu. Ponieważ zdjęcia te nie są łatwe do odcyfrowania, u dołu tablicy podano «klucz» do ich interpretacji, mianowicie położenia linii H i K wapnia. Wszystkie inne prążki i szczegóły mogące utrudnić orientację pominięto. Widzimy wyraźnie, jak olbrzymie są przesunięcia prążków.

Przesunięcia owe nie mogą reprezentować ruchów mgławic w przestrzeni, lecz ich ruchy w z g l ę d e m naszej poruszającej się Ziemi. Była już mowa o tym, że wskutek obrotu Galaktyki Ziemia biegnie dokoła środka układu galaktycznego z prędkością około 270 kilometrów na sekundę; zbliża się więc ona z tą prędkością do mgławic, które leżą wprost p r z e d nią i oddala się od tych, które znajdują się z a n i ą, z tyłu. Ruch ten musimy uwzględnić przy dyskusji ruchów mgławic w przestrzeni.

Jak się okazało, widma mgławic bliższych są przesunięte ku czerwieni oraz ku fioletowi w mniej więcej j e d n a k o w e j liczbie przypadków. Wydaje się więc oczywistym wniosek, że niektóre z tych bliższych mgławic zbliżają się do nas, inne zaś oddalają się od Ziemi.

W miarę tego jak przechodzimy do mgławic bardziej odległych, przesunięcia ku czerwieni poczynają przeważać, aż wreszcie przesunięć w stronę przeciwną brak zupełnie. Wydaje się więc, że wszystkie dalsze mgławice oddalają się od nas.

Szczegółowe badania wykazują, że przesunięcia widm mgławicowych składają się w ogóle z nałożonych na siebie przesunięć dwóch typów:

(1) przesunięć przypadkowych, które mogą zachodzić w obu kierunkach;

(2) przesunięć systematycznych, zachodzących stale w stronę czerwieni.

Przesunięcia «przypadkowe» niewątpliwie świadczą o bezładnych ruchach mgławic, których połowa zbliża się ku nam, połowa zaś oddala się. Jednakże w odległości paru milionów lat światła owe przesunięcia bezładne stają się bardzo małe w porównaniu z przesunięciami systematycznymi

w stronę czerwieni, tak iż te ostatnie mogą być już studiowane jako takie, bez obawy, iż będą zakłócone przez przesunięcia przypadkowe.

Hūmason i Hubble odkryli nader godne uwagi prawo, że *wielkość przesunięcia systematycznego jest proporcjonalna do odległości mgławicy od nas*. Prawo to jest tak ścisłe, że daje ono najlepszy znany sposób oceny odległości najodleglejszych mgławic. Czy przesunięcia systematyczne są istotnie spowodowane oddalaniem się mgławic — nie wiadomo; nie przeszkadza to jednak zużytkowaniu ich do oceny odległości mgławic. Jakiegokolwiek miałyby być pochodzenie owych przesunięć, odległości wyznaczone z ich pomocą wydają się całkowicie godne zaufania.

Jeśli przesunięcia te są rzeczywiście spowodowane przez ruchy mgławic, prędkości ich muszą być olbrzymie. Największe ze zmierzonych dotychczas występują w dwóch gromadach: jednej w Wolarzu i jednej w Wielkiej Niedźwiedzicy. Odpowiednie prędkości wynoszą 39 400 i 42 000 kilometrów na sekundę, tzn. około jednej siódmej prędkości światła. Ciało posiadające taką prędkość obiegłoby Ziemię dokoła wzdłuż równika w ciągu jednej sekundy. Odległości tych gromad — wywnioskowane z realnych przesunięć w widmach, nie zaś z hipotetycznych prędkości ruchu — wynoszą 230 oraz 240 milionów lat światła.

I to nie jest jednak największa odległość, na jaką sięgnąć zdołało dotychczas oko ludzkie — a raczej oko teleskopu — w głąb przestrzeni; jest to największa odległość, z której dochodzi do nas światło dostatecznie silne, by umożliwić zastosowanie analizy widmowej. Dostrzec można jeszcze słabsze mgławice, znajdujące się w odległościach od 500 milionów do miliarda lat światła, jak o tym sądzić można na podstawie ich małej jasności. Owe 230 000 lat światła, które stanowią średnicę naszego układu galaktycznego (str. 65) wydawały się czymś nie do wiary olbrzymim; teraz jednak mowa o odległościach jeszcze tysiące razy większych. W ciągu 999/1000 — czy jeszcze większej części — długiej swej wędrówki światło, które teraz przybywa do nas od najdalszych

dostrzegalnych mgławic, biegło ku Ziemi niezamieszkaną przez człowieka. W ostatniej już chwili, przed końcem tej wędrówki, pojawił się on na Ziemi i zbudował teleskopy, aby promień ów w nie pochwycić. Tak przynajmniej wygląda to wszystko widziane w skali astronomicznej. Ale nawet ta ostatnia tysiączna część wędrówki promienia obejmuje życie dziesiątków tysięcy pokoleń ludzkich; przez cały ten czas — i jeszcze tysiąc razy dłużej — światło biegło nieustannie, bez przerwy, z prędkością 300 000 kilometrów na sekundę.

MASY MGŁAWIC. Można by starać się ocenić ogólną liczbę gwiazd zawartych w tych mgławicach drogą liczenia gwiazd widzialnych na pewnej obranej małej powierzchni; istnieją wszakże metody dokładniejsze. Podobnie jak przypuściliśmy, że zewnętrzne gwiazdy w układzie galaktycznym zakreślają orbity pod wpływem przyciągania całości układu, tak samo należy założyć, że zewnętrzne gwiazdy mgławicy krążą pod wpływem przyciągania całej masy tejże; siły, nie pozwalające im odbiec w przestrzeń, są analogiczne do tych, które utrzymują Ziemię w jej drodze dokoła Słońca. Jeśli tak jest w istocie, to możemy «zważyć» mgławicę zupełnie tak samo, jak «ważymy» Słońce (str. 45) lub układ galaktyczny (str. 72).

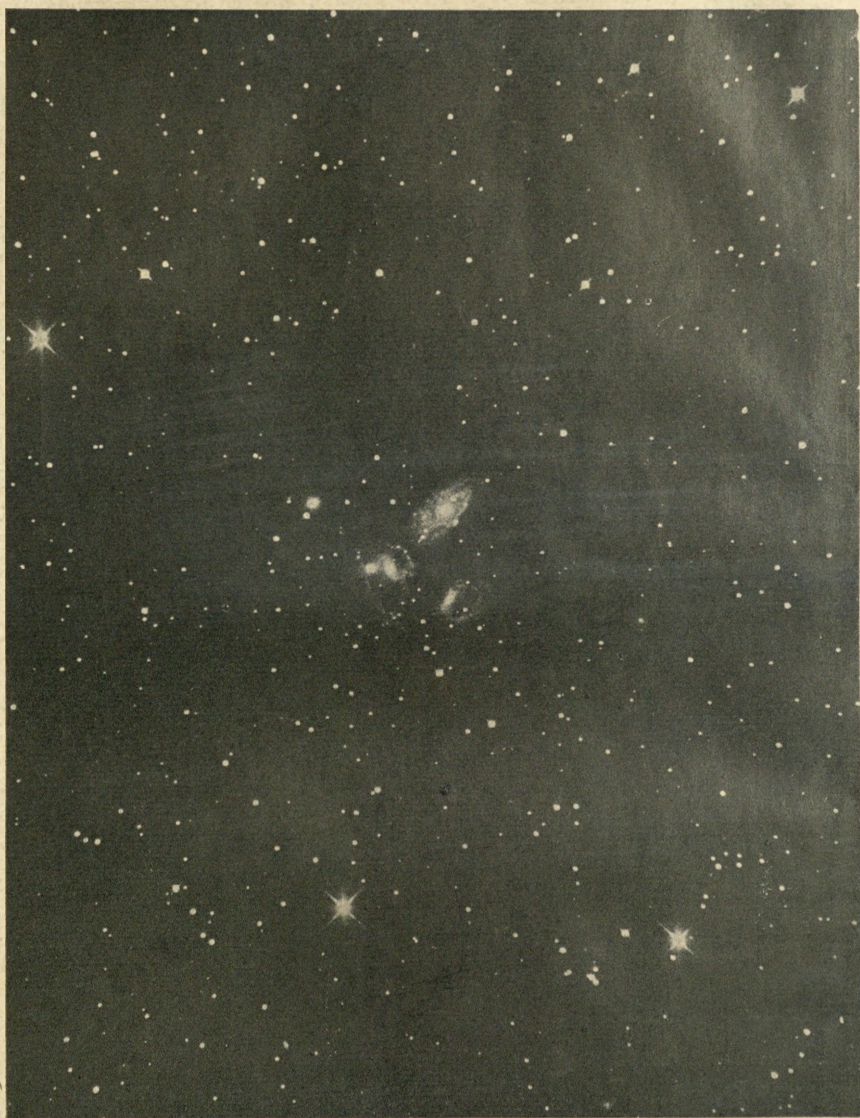
H u b b l e oceniał początkowo, że masa Wielkiej Mgławicy w Andromedzie *M 31* (tabl. X, str. 28) wynosi około 3,5 miliarda mas słonecznych, natomiast mgławica *N. G. C. 4594* w Pannie, widoczna na tabl. XXI, musi przewyższać Słońce 35 miliardów razy pod względem masy. Obecnie wiemy jednak, że oceny te nie odnosiły się do całości tych mgławic. Staranne badania części nieba w sąsiedztwie mgławic wykazały w sposób przekonywający, że rozpościerają się one znacznie dalej w przestrzeń, niż to się ujawnia nawet na długo naświetlanych fotografiach, jak np. zdjęcia tabl. X, XI i XII. Widzimy na nich tylko te obszary mgławic, w których gwiazdy występują dostatecznie licznie, aby oddziaływać na kliszę fotograficzną w taki sposób, który może być spostrzeżony okiem nieuzbrojonym. Jeśli jednak studiować klisze przy użyciu odpowiednich przyrządów, okazuje się, że trzeba byłoby wziąć

TABLICA XXI



Mgławica N. G. C. 4594 w Pannie

TABLICA XXII



Obserwatorium na Mt Wilson

Ciasna gromada słabych mgławic w Pegazie

je w rozmiarach trzy do cztery razy większych, aby zmieściła się na nich cała struktura mgławic. Potwierdzeniem tego jest fakt, że w tych obszarach zewnętrznych można niekiedy wykryć gromady kuliste, podobnie jak to ma miejsce w częściach zewnętrznych naszej własnej Galaktyki. Wszystko to dowodzi, że do ostatnich czasów astronomowie badali nie całe mgławice, lecz tylko ich jasne części centralne. Mgławice, które były przez długi czas uważane za znacznie mniejsze od naszej własnej Galaktyki, okazują się obecnie co najmniej porównywalnymi z nią pod względem rozmiarów. Zobaczymy zresztą, że to samo dotyczy i mas.

Ruchy różnych części mgławicy można badać przy pomocy analizy widmowej w sposób wyjaśniony na str. 37. Liczne mgławice posiadają gęsty obszar centralny, który obraca się jak koło od wozu czy inne ciało sztywne, tzn. tak, że prędkość ruchu dowolnego punktu jest proporcjonalna do odległości tego punktu od środka. Dalej na zewnątrz rozpościera się obszar o mniejszej gęstości, w którym prędkość obrotu maleje, gdy oddalamy się od środka — podobnie, jak to dzieje się z planetami układu słonecznego lub z tymi częściami naszej Galaktyki, które sąsiadują ze Słońcem. W pobliżu krańców owych zewnętrznych obszarów otrzymuje się prędkości i okresy obrotu porównywalne z tymi wartościami, jakie charakteryzują ruch Słońca w naszej Galaktyce. B a b c o c k otrzymał na okres obrotu zewnętrznych gałęzi mgławicy w Andromedzie wartość 92 milionów lat, natomiast dla mgławicy *M 33* w Trójkącie *Mayall* i *Allen* podają 200 milionów lat jako okres obrotu, a 120 kilometrów na sekundę jako prędkość ruchu. Liczby te są porównywalne z wartościami 270 kilometrów na sekundę oraz z okresem 250 milionów lat, jakie uzyskano dla Słońca w jego ruchu dokoła środka Galaktyki.

Wobec podobieństwa tych wartości nie jest rzeczą dziwną, iż oceny m a s tych mgławic wypadają również dość zgodnie z tym, co otrzymano w przypadku naszego układu. Trzy odrębne badania dają na masę mgławicy *M 31* w Andromedzie wartości 95 miliardów, 102 miliardy i 200 miliardów mas

słonecznych. Z drugiej strony, masę mgławicy *M 33* w Trójkacie oceniono tylko na 17 miliardów Słońc.

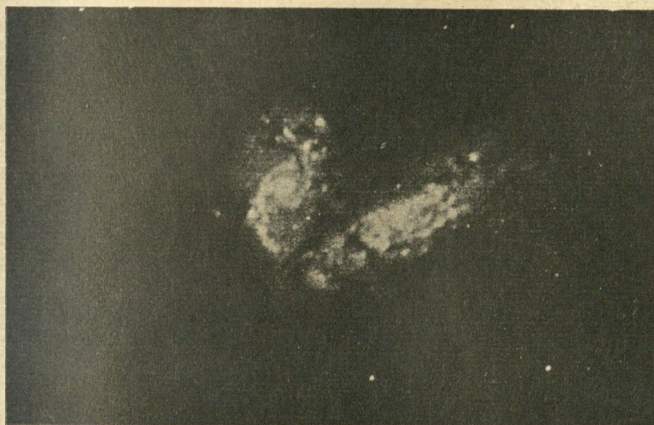
Masy mgławic można badać inną jeszcze metodą. Przy pomiarach metodą spektroskopową prędkości poszczególnych mgławic w jakiejś gromadzie, np. takiej, jak na tabl. XIX i XXII, okazuje się, że nie poruszają się one wszystkie z dokładnie tą samą prędkością. Gromada oddala się od nas jako całość z prędkością, powiedzmy, 10 000 km na sekundę, lecz na ten ruch wspólny nakładają się mniej lub bardziej bezładne ruchy poszczególnych mgławic wewnątrz gromady; prędkości tych ruchów wynoszą np. kilkaset kilometrów na sekundę.

Otóż jeśliby mgławice nie przyciągały się wzajemnie, owe bezładne ruchy doprowadziłyby wkrótce do rozproszenia gromady. Każda mgławica biegłaby po prostu dalej po obecnej swej drodze i wkrótce pozostawiłaby swe towarzyszki za sobą, oddalając się od nich z prędkością kilkuset km na sekundę. Owey tendencji do rozpraszania się przeciwdziała oczywiście przyciąganie grawitacyjne, jakie wywiera gromada jako całość na każdą z mgławic składowych. Znając prędkości ruchu poszczególnych mgławic możemy obliczyć przyciąganie, które jest niezbędne do utrzymania gromady w całości, jako ugrupowania trwałego. Na tej podstawie można obliczyć masę całej gromady, a stąd znów przeciętną masę mgławic w jej skład wchodzących. Przy pomocy tej metody Sinclair Smith zbadał gromadę 32 mgławic w Pannie i stwierdził, że przeciętna masa tych mgławic wynosi około 200 miliardów Słońc. Inni badacze otrzymali podobne wyniki dla mas mgławic należących do innych gromad.

Prócz gromad istnieją liczne pary mgławic, w których obie składowe zdają się obiegać jedna dookoła drugiej, jak składowe gwiazdy podwójnej; dobry przykład takiej pary znajdujemy na tabl. XXIII obok. Mgławice należące do pary można «zważyć» prawie dokładnie tak, jak gwiazdy układu podwójnego. Przeciętna wartość masy wypada znów tego samego rzędu wielkości, co wyżej przytoczone.

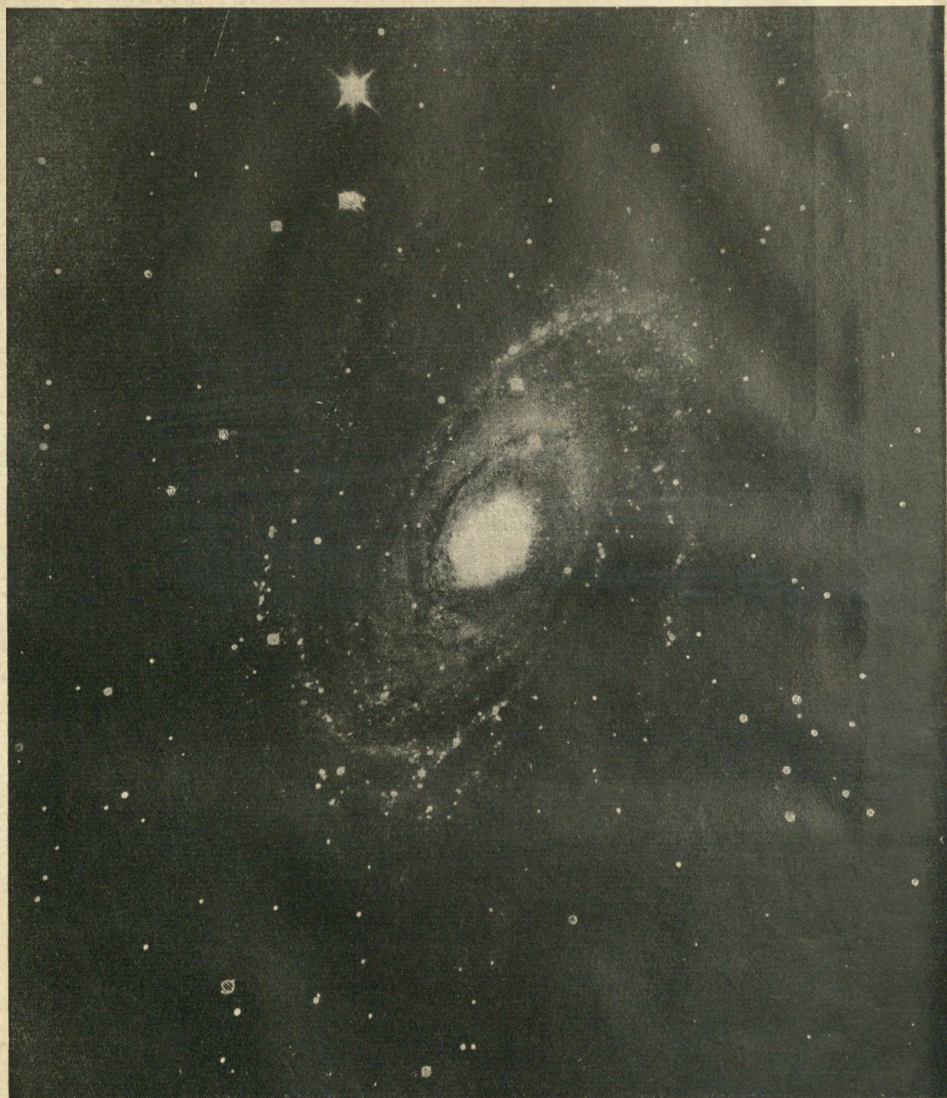
Wszystko to zdaje się dowodzić, że mgławice pozaga-

TABLICA XXIII



Mgławice bliźniacze N. G. C. 4567—8

TABLICA XXIV



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica M 81 w Wielkiej Niedźwiedzicy

laktyczne są zasadniczo podobne do naszej Galaktyki pod względem rozmiarów, masy i ruchów wewnętrznych. Najbliższe nas mgławice są może raczej mniejsze co do masy i rozmiarów od Galaktyki, bardzo mało jednak mgławic znajduje się dość blisko, by można było ocenić te wielkości dostatecznie dokładnie. Jest rzeczą bardzo możliwą, że już w niezbyt dużej odległości moglibyśmy napotkać mgławice większe od naszej Galaktyki.

BUDOWA WSZECHŚWIATA

W dotychczasowych rozważaniach naszych stopniowe zwiększanie siły teleskopów przenosiło nas coraz to dalej i dalej w głąb przestrzeni, która niejako rozszerzała się przed nami w coraz szybszym tempie. Nasuwa się tu pytanie, czy ma to dziać się bez końca, czy też są w ogóle jakieś granice rozciągłości przestrzeni?

Jak przypuszczam, jeszcze jakieś 40 lat temu większość uczonych odpowiedziałaby na to ostatnie pytanie przecząco. Dowodziliby oni, że przestrzeń mogłaby być ograniczona jedynie czymś, co nie jest przestrzenią. W niekończącej się podróży w przestrzeni mogłoby nam, a raczej naszej wyobraźni, przeszkodzić chyba tylko spotkanie na drodze ściany z czegoś różnego od przestrzeni. I, jakkolwiek nie łatwo pomyśleć przestrzeń rozciągającą się bez końca, daleko trudniejszą rzeczą jest wyobrazić sobie przegrodę z czegoś, co nie byłoby przestrzenią i co miałoby przeszkodzić naszej wyobraźni przejść dalej, poza tę przegrodę.

Argument ten nie jest słuszny. Przecież powierzchnia Ziemi ma rozciągłość skończoną, choć nie ma przegrody, która przeszkodziłaby w nieograniczenie długiej podróży po niej. Podróżnik, który by nie wiedział, że powierzchnia Ziemi jest kulista, spodziewałby się, iż coraz to dalsze podróże otwierałyby przed nim bez końca nowe kraje, oczekujące zbadań. Jednakże wiemy dobrze, iż podróżnik ów musiałby z biegiem czasu z konieczności wstępować ponownie w swe wła-

sne dawne ślady. Powierzchnia Ziemi ma rozciągłość skończoną skutkiem swej krzywizny, jakkolwiek nie jest nigdzie ograniczona.

TEORIA WZGLĘDNOŚCI

Relatywistyczna teoria grawitacji, podana pierwotnie przez Einsteina, opierała się na przypuszczeniu, że *przestrzeń jest również skończona, jakkolwiek nie posiada granic*. Całkowita objętość Wszechświata posiada wartość skończoną, zupełnie tak, jak skończona jest wielkość powierzchni Ziemi i to z tego samego powodu: obie *zakrzywiają się i zamykają w sobie*. Analogia ta jest słuszna i pożyteczna tylko o tyle, o ile porównujemy przestrzeń świata z powierzchnią Ziemi, nie zaś z jej objętością. Ta ostatnia ma również rozmiary skończone, lecz z całkiem innego powodu. Kret, który by zagłębiał się w ziemię posuwając się wciąż wprost przed siebie, dotarłby w końcu do czegoś, co nie jest ziemią — wyszedłby na otwarte powietrze; natomiast po powierzchni Ziemi można podróżować bez końca nie napotykając nic, co nie byłoby tą powierzchnią. Własności przestrzeni są analogiczne do własności powierzchni, nie zaś objętości Ziemi.

W książce niniejszej musimy ograniczyć się do bardzo pobieżnego rzutu oka na drogę, którą teoria względności doszła do tego wniosku.

Jest rzeczą dobrze znaną z codziennych spostrzeżeń, iż ciało poruszające się usiłuje zachować swój ruch, jeśli nie przeciwstawiają się temu jakieś przeszkody; fakt ten jest wyrazem tej własności materii, którą oznaczamy terminem *«bezwładność»*. Własność tę ujął Newton w swym *pierwszym prawie ruchu*:

Każde ciało pozostaje w swym stanie spoczynku lub ruchu jednostajnego po linii prostej, jeśli nie jest zmuszone do zmiany tego stanu przez działające na nie siły,

i uzupełnił ją w swym *drugim prawie*, w przypadku, gdy działają siły:

Zmiana ruchu jest zawsze proporcjonalna do przyłożonej siły poruszającej i zachodzi w kierunku tej linii prostej, wzdłuż której działa owa siła.

Gdy ciała — jak np. piłki tenisowe czy planety — zakreślają drogi nieprostoliniowe, Newton wnioskował, że muszą działać na nie pewne siły; w wymienionych dwóch przykładach jest to siła powszechnego przyciągania, o której była już mowa na str. 42. Przytoczone przed chwilą drugie prawo Newtona daje nam możliwość zmierzenia wielkości tej siły — mówi nam bowiem, że jest ona proporcjonalna do szybkości, z jaką zmienia się prędkość poruszającego się ciała. W ciągu dwóch przeszło stuleci panowało przekonanie, że prawa Newtona pozwalają opisać zjawiska przyrody w sposób zupełnie ścisły i spójny. W końcu jednak, na schyłku wieku XIX, pewne doświadczenia, poczynawszy od sławnego eksperymentu Michelsona i Morleya, dowiodły, że cały ten schemat jest sprzeczny w sobie i pozbawiony znaczenia.

Newton mierzył siły na podstawie zmian, jakie wywołują one w prędkości poruszającego się ciała. Zanim będziemy mogli zmierzyć zmianę prędkości, musimy być w stanie zmierzyć samą prędkość; w tym celu zaś musimy rozporządzać pewnego rodzaju tłem, względem którego można by prędkość tę wyznaczyć. W nauce wieku XIX rolę owego tła spełniał eter, który miał wypełniać całą przestrzeń. Ów wszystko-przenikający eter oraz stateczny prąd wiecznie płynącego strumienia czasu dostarczał wszystkich danych niezbędnych do pomiarów prędkości, a więc i zmian tejże, oraz do pomiaru sił. Przypuśćmy, że «strumień czasu» płynął np. przez jedną sekundę, co odczytaliśmy na zegarze; w końcu tej sekundy ciało poruszające się przesunęło się, powiedzmy, o dziesięć metrów względem eteru, jak wykazuje pomiar za pomocą sztaby mierniczej: można byłoby więc orzec, że prędkość ciała wynosi dziesięć metrów na sekundę.

Wspomniane wyżej doświadczenia dowiodły, że wszystkie te pojęcia są iluzoryczne. Nie podobna znaleźć ani «eterowego» tła zapewniającego stałość miejsca w przestrzeni, ani równomiernie płynącego strumienia czasu dostar-

czającego wzorca prędkości. Okazało się rzeczą konieczną porzucić dawny schemat, który dotychczas dawał ścisły na pozór opis przyrody i wprowadzić schemat nowy, niezbędny dla ujęcia owych doświadczeń. W nowym tym schemacie zjawiska przyrody są niejako obrazem namalowanym w *przestrzeni zupełnie nowego typu, przestrzeni czterowymiarowej*. Jest to, jak się okazało, przestrzeń czysto *formalna, matematyczna*, a przeto prawdopodobnie zupełnie fikcyjna; przestrzeń i czas życia codziennego są w niej *nierozdzielnie związane* ze sobą w nową rozciągłość o czterech wymiarach, w której odgrywają one rolę mniej lub więcej równorzędną. Owo połączenie przestrzeni i czasu w nową rozciągłość może być uskutecznione nieskończenie wieloma sposobami; istnieje jednak jeden specjalnie prosty, który prowadzi do tego, że czas i przestrzeń stają się bezwzględnie *równymi partnerami*.

Jeśli chodzi o ścisłość, są w niej *cztery* elementy równorzędne: pierwsze trzy — to trzy wymiary przestrzeni zwykłej — długość, szerokość i wysokość, albo, w ujęciu bardziej «geograficznym», kierunki: południe-północ, wschód-zachód, ku górze — ku dołowi. Czwartym partnerem jest nasz zwykły *czas*, wyrażony w jednostkach odpowiednio dobranych do tych, którymi mierzyliśmy przestrzeń (rok czasu odpowiada rokowi świetlnemu przestrzeni) pomnożony przez *pierwiastek kwadratowy z -1* . Owo mnożenie przez $\sqrt{-1}$ jest oczywiście cechą szczególnie godną uwagi w całej tej sprawie; chodzi o to, że pierwiastek kwadratowy z -1 nie posiada istnienia «realnego»: jest on tym, co matematycy nazywają «liczbą urojoną». Nie ma liczby rzeczywistej, która by pomnożona przez siebie samą dała na iloczyn -1 . Jednakże dopiero wtedy, gdy czas mierzymy jednostkami urojonymi, latami $\times \sqrt{-1}$, wychodzi na jaw istotna równorzędność czasu i przestrzeni; jednocześnie fakt ten dowodzi, iż *owa równorzędność jest czysto formalną* — dogodną fikcją matematyczną. Istotnie, gdyby była ona czymś więcej, wówczas intuicyjne nasze przeświadczenie, że czas jest czymś zasadniczo

odmiennym od przestrzeni, nie miałoby oparcia w doświadczeniu i byłoby zanikło od dawna.

Odkrycie, że Przyroda traktuje przestrzeń i czas jako czynniki w omawianym znaczeniu *r ó w n o r z ę d n e*, doprowadziło do wniosku, że pojęcie *r u c h u* oraz jego zmiany nie posiada już ścisłego znaczenia w nauce, że przeto należy również odrzucić pojęcie siły. *E i n s t e i n*, odrzuciwszy «siłę» jako proste złudzenie, sprowadził zakrzywienia torów wszelkiego rodzaju pocisków do ich usiłowań *zachowania prostej drogi w przestrzeni, która sama jest zakrzywiona*. Dalej uważał on za konieczne przypuszczenie, iż zakrzywienie to *zagina ostatecznie przestrzeń w samą siebie*, tak jak jest zakrzywiona *powierzchnia Ziemi*, dzięki czemu *całkowita objętość przestrzeni staje się skończona*.

Ogólna teoria względności pozwoliła natychmiast wytłumaczyć pewne zjawiska obserwowane w ruchach planet, które pozostawały całkowicie niewyjaśnione na gruncie newtonowskiego prawa ciężenia — w szczególności *o b r a c a n i e* się w przestrzeni eliptycznej *drogi planety Merkurego*. Przepowiedziała ona ponad to inne zjawiska: pozorne *p r z e s u n i ę c i a* *g w i a z d* widocznych w pobliżu Słońca podczas zaćmienia, które wynikają z ugięcia promieni biegnących ku nam od gwiazdy przy przejściu ich przez pole grawitacyjne Słońca oraz pewne przesunięcie widm gwiazdowych w stronę krańca czerwonego. Wartość tego przesunięcia zależy od natężenia pola grawitacyjnego, poprzez które przechodzi światło gwiazdy w swej wędrówce od gwiazdy ku nam: największe jest u gwiazd, które posiadają bardzo *m a ł e r o z m i a r y* albo *d u ż ą m a s ę*, albo jedno i drugie. Istnienia tego zjawiska nie podejrzewano zupełnie w czasie, gdy przepowiedziano je po raz pierwszy, potem jednak zostało ono w całej pełni potwierdzone przez obserwacje. Istotnie, objęło ono rolę stale używanego narzędzia pracy astronoma. Użyto go do pomiaru średnicy małej słabej gwiazdy Syriusza *B*, towarzysza Syriusza (str. 195) oraz do obliczenia mas niezmiernie jasnych i masywnych «gwiazd *T r ü m p l e r a*» (str. 50), jako też do

sprawdzenia przypuszczeń o naturze gwiazd w środku «mgławic planetarnych» (str. 211).

Z drugiej jednak strony, zastosowanie teorii względności do Wszechświata jako całości nie opiera się na równie pewnych podstawach, wskutek czego istnieje kilka różnych jeszcze obecnie rozważanych i dyskutowanych poglądów na budowę Wszechświata. Rozpatrzmy je w dalszym ciągu po kolei.

KOSMOLOGIA EINSTEINA. Według pierwotnego przypuszczenia Einsteina *rozmiary przestrzeni miały być wyznaczone przez ilość zawartej w niej materii*, czyli innymi słowy, przez średnią gęstość materii w przestrzeni świata.

Nie mamy oczywiście możliwości ocenić, ile materii istnieje w tych obszarach, do których nie sięgają już nasze teleskopy: jednakże w granicach ich zasięgu materia wydaje się rozmieszczona dość równomiernie pod postacią mgławic pozagalaktycznych.

Mówiliśmy już, w jaki sposób można ocenić masy tych olbrzymich ciał niebieskich (str. 80); znamy również ich średnie odległości wzajemne (str. 77). Ograniczając się do liczb jak najbardziej zaokrąglonych, możemy przypuścić, że przeciętna mgławica zawiera masę równą stu miliardom mas słonecznych i znajduje się w przeciętnej odległości miliona lat światła od swych sąsiadek. Z danych tych wynika wartość przeciętnej gęstości materii w przestrzeni równa około $2,4 \cdot 10^{-28}$ gramów na centymetr sześcienny, co odpowiada 150 atomom wodoru względnie mniej niż jednemu atomowi rtęci na metr sześcienny przestrzeni. Posługując się dokładniejszą oceną Hubble'a, iż przeciętna odległość wzajemna sąsiednich mgławic w naszych częściach Wszechświata wynosi 1 500 000 lat światła, musimy zredukować wartość gęstości do $0,7 \cdot 10^{-28}$, lecz wówczas trzeba tę liczbę nieco powiększyć, aby uwzględnić tendencję mgławic do skupiania się w gromady. W całości można przyjąć 10^{-28} jako rozsądną zaokrągloną ocenę przeciętnej gęstości materii w przestrzeni. Gdyby cała przestrzeń była

wypełniona materią o tej gęstości, wówczas z pierwszego sformułowania kosmologii Einsteina otrzymalibyśmy jednoznacznie 3300 milionów lat światła, jako wartość promienia przestrzeni. Jest to mniej więcej dwanaście razy więcej, niż wynosi największa znana odległość mgławicy, jednakże prawdopodobnie tylko dwa do trzech razy więcej, niż odległość najdalszej mgławicy, jaką jeszcze dostrzegamy.

Mimo to jednak ogólna teoria względności nie prowadzi bynajmniej w sposób jednoznaczny do tej kosmologii. Jest rzeczą zupełnie możliwą, iż teoria względności jest słuszna, wspomniana kosmologia natomiast — fałszywa. Ogólna teoria względności ustala dokładnie cechy każdej dowolnie wziętej, *niewielkiej* części Wszechświata, otwiera jednak kilka dróg możliwych do zestawienia *całości* z owych części; stąd też pogląd Einsteina na Kosmos nie może rościć sobie pretensji do takiego samego uznania, jakie otacza ogólną teorię względności. Istotnie, od szeregu lat kosmologia Einsteina popadła do pewnego stopnia «w niełaskę» i zdawało się, że zostanie wyparta przez teorię, którą ogłosił de Sitter z Lejdy w r. 1917.

KOSMOLOGIA DE SITTERA. Postarajmy się najpierw wyjaśnić zasadnicze różnice pomiędzy obiema tymi teoriami.

W kosmologii Einsteina przypuszcza się, że wielkość Wszechświata jest wyznaczona przez ilość zawartej w nim materii. Jeśli przy stworzeniu świata było postanowione, jaka ilość materii podlegającej pewnym określonym prawom ma powstać, to przestrzeń musiała natychmiast dostosować swe rozmiary odpowiednio do tej właśnie ilości materii. Albo też odwrotnie, gdyby wielkość Wszechświata i prawa przyrody były obrane z góry, wówczas stworzenie pewnej określonej ilości materii byłoby koniecznością nieuniknioną. Wszechświat de Sittera nie jest tak prosty; innymi słowy, pozostawiał więcej swobodnego wyboru przy swym tworzeniu: po ustaleniu praw przyrody mógłby być powstać wszechświat o rozmiarach dowolnych, zawierający dowolną — w pewnych granicach — ilość materii. Ze ściśle naukowego

punktu widzenia, świat Einsteina ma o jeden element dowolności mniej niż kosmos de Sittera i w tym znaczeniu ma zaletę większej prostoty.

Z drugiej strony, prostotę ową należało jednak opłacić. Kamieniem węgielnym całej teorii względności jest *równorzędnosc czasu i przestrzeni*, w znaczeniu już omówionym. Kosmologia Einsteina zyskuje swą prostotę za cenę przypuszczenia, że *owa równorzędnosc znika, gdy rozpatrujemy Wszechświat jako całość*. Zakłada ona, że przestrzeń i czas są nierozróżnialne (we wspomnianym czysto formalnym sensie) jedynie dla istoty, której doświadczenie ogranicza się do małej cząstki Wszechświata, są natomiast czymś całkowicie odrębnym dla istoty, ogarniającej całość czasu i przestrzeni. Nie wiadomo, jak dalece poważny jest ten zarzut — jeśli w ogóle jest to zarzut. Przestrzeń rzeczywista i czas rzeczywisty są niewątpliwie czymś różnym od siebie; jeśli nawet zaprzeczymy ich realności — pozostaje odrębność ich jako form postrzegania. Czyż można więc uważać za słaby punkt pewnej teorii kosmologicznej to, że gdy rozpatrujemy w niej Wszechświat jako całość, przestrzeń i czas rozpadają się ostatecznie na dwa różne rodzaje bytu? Wiedzano przecież coś o tym na długo przedtem, nim zaczęto rozważać Wszechświat z tego punktu widzenia.

Jakkolwiek odpowiedzielibyśmy na to pytanie, kosmologia de Sittera unika owego możliwego zarzutu, zachowuje bowiem zupełną równorzędnosc czasu i przestrzeni nie tylko w małych obszarach, lecz również we Wszechświecie wziętym jako całość. Należy tu oczywiście mieć na uwadze, że mówimy wciąż o czysto formalnej równorzędności, przy której odległość roku światła wchodzi do teorii w sposób zupełnie analogiczny, jak rok czasu pomnożony przez pierwiastek kwadratowy z -1 . Nawet kosmologia de Sittera nie twierdzi bowiem, że rok światła (9,46 bilionów km) jest *tym samym*, co dwanaście miesięcy.

Aczkolwiek zasadnicze części teorii względności Einsteina uzyskały wydatne potwierdzenie doświadczalne, to jednak część kosmologiczna tej teorii nie przewiduje specjal-

nych właściwości, dostępnych dla bezpośredniego sprawdzenia przy pomocy obserwacji; z drugiej strony, z kosmologii de Sittera wynika, że *widma wszelkich ciał bardzo odległych powinny wykazywać przesunięcie w stronę czerwieni* o wartość zależną od odległości danego obiektu. Całkowita równoważność czasu i przestrzeni ma za skutek zwołnienie drgań świetlnych źródła światła w bardziej odległych częściach Wszechświata w porównaniu z bliższymi: *strumień czasu płynie najprędzej tam, gdzie właśnie się znajdujemy*. Brzmi to paradoksalnie, niemniej jednak z bliższego badania wynika, że paradoks ten jest tylko pozorny: de Sitter nie propaguje bynajmniej powrotu do geocentrycznej koncepcji świata, dowodzi on bowiem, że dla mieszkańca odległej gwiazdy bieg czasu dla atomów ziemskich byłby również powolniejszy, niż dla jego własnych. Paradoks rozwiązuje się całkowicie na gruncie pojęcia względności wszystkich pomiarów czasu i przestrzeni.

Owo przesunięcie ku czerwieni, wynikające tylko z oddalenia, jest cechą szczególną kosmologii de Sittera; dodaje się ono do przesunięcia, które występuje w widmie ciała poruszającego się jako skutek tego ruchu. To ostatnie przesunięcie zachodzi w stronę czerwieni tylko wówczas, gdy dane ciało oddala się od obserwatora (str. 37). W kosmologii de Sittera oba te przesunięcia nie są zupełnie niezależne od siebie, gdyż jedno z jej podstawowych twierdzeń głosi, że *wszelkie ciała mają tendencję do oddalania się od siebie*. Podobnie, jak żdźbła słomy, rzucone razem do rzeki, stopniowo odpływają jedno od drugiego w miarę wędrówki z prądem wody, *tak ciała w świecie de Sittera «rozcho- dzą się» w ciągu swej wędrówki w strumieniu czasu*.

ROZSZERZANIE SIĘ WSZECHŚWIATA. Początkowo sądzono, że kosmologie Einsteina i de Sittera wyłączają się wzajemnie, ponieważ oczywiście Wszechświat rzeczywisty nie mógłby być jednocześnie wszechświatem Einsteina i de Sittera. Jednakże badania teoretyczne, przeprowadzone przez Rosjanina Friedmiana (r. 1922) i Belga ks-

Lemaître'a (r. 1929), nadały zupełnie inny wygląd tej sprawie. Krótko mówiąc, wykazali oni, że teorie kosmologiczne Einsteina i de Sittera są nie tyle sprzeczne ze sobą, co raczej dopełniają się wzajemnie. Badacze owi udowodnili mianowicie, że *trwały, stateczny wszechświat typu Einsteina istnieć nie może*. Wszechświat taki byłby utworem nietrwałym; natychmiast po utworzeniu się *zacząłby się rozszerzać, dążąc do przejścia we wszechświat de Sittera*. Zresztą i potem rozszerzałby się w dalszym ciągu, lecz byłoby to już normalne rozszerzanie się świata de Sittera, o którym była mowa przed chwilą.

Wobec tych nowych wyników, zagadnienie kosmologiczne przybrało nową postać. Kwestią sporną nie jest już to, czy nasz Wszechświat jest światem Einsteina, czy de Sittera, lecz jak daleko posunął się dotychczas na drodze, wiodącej od świata Einsteina do świata de Sittera.

Jest rzeczą jasną, iż odpowiedzi szukać musimy w danych obserwacyjnych. Cechą charakterystyczną świata Einsteina jest to, że jego przestrzeń jest *statyczna*, niejako «nieruchoma», tak iż ciała w niej zawarte posiadają tylko te ruchy, jakie uzyskują wskutek oddziaływań innych ciał. Z drugiej strony, podstawową cechą świata de Sittera można najlepiej wyrazić wyobrażając sobie, iż *przestrzeń rozszerza się* nieustannie, dzięki czemu odległość pomiędzy dwoma dowolnymi ciałami stale wzrasta. Ciała te mogą posiadać własne swe ruchy, lecz nakłada się na nie ruch o charakterze *powszechnym*: oddalanie się każdego ciała od wszystkich jego sąsiadów, jako wynik rozszerzania się przestrzeni. Są one niby słomki na rzece wskazujące kierunki prądów w jej nurtach. Ruch omawiany charakteryzuje się tym, że wszelkie ciało oddalałoby się od każdego innego ciała z prędkością *dokładnie proporcjonalną do odległości* pomiędzy nimi.

Ruch tego rodzaju charakteryzuje nie tylko świat de Sittera, lecz również wszystkie wszechświaty pośrednie pomiędzy światem Einsteina i de Sittera. Jeśli więc rzeczywisty nasz Wszechświat mieści się gdzieś w tym

szeregu teoretycznie możliwych światów, to można by oczekiwać, iż owe ruchy «recesyjne» dadzą się wykryć przy pomocy obserwacji. Oczywiście, powinniśmy zwrócić uwagę przede wszystkim na najodleglejsze ze znanych ciał niebieskich, tzn. wielkie mgławice pozagalaktyczne, gdyż jeśli ruchy takie w ogóle istnieją, to właśnie tutaj powinniśmy spotkać największe prędkości oddalania się.

Otóż typ ruchu, jakiego wymaga teoria, jest identyczny z tym, który okazują mgławice pozagalaktyczne. Gdy uwzględnimy ruch Słońca wokół środka Galaktyki, okazuje się, że znane mgławice, oprócz być może paru pozbawionych znaczenia wyjątków, *oddalają się od środka układu galaktycznego* z prędkościami prawie dokładnie *proporcjonalnymi* do ich odległości od nas, zupełnie zgodnie z teorią rozszerzającego się Wszechświata. Prędkość oddalania się wynosi w przybliżeniu 170 kilometrów na sekundę, na każdy milion lat światła odległości od nas.

Widzimy więc, że obserwacje astronomiczne potwierdzają w całej pełni ogólną teorię rozszerzania się Wszechświata, a tym samym i ogólną teorię względności, na której tamta bardziej specjalna teoria się opiera. Mamy do czynienia z powszechnym rozszerzaniem się, wskazującym, że jeśli Wszechświat posiadał był niegdyś stateczną formę świata einsteinowskiego, to niezawodnie porzucił ją już od pewnego czasu.

Jednakże z samych tylko obserwacji nie podobna dowiedzieć się, jak daleką drogę nasz Wszechświat odbył w swej ewolucji. Eddington spróbował niedawno uzyskać dokładniejszą odpowiedź na to pytanie przy pomocy pięknych, choć nieco spekulatywnych rozważań teoretycznych. Najłatwiej uprzytomnimy sobie o co chodzi za pośrednictwem bardzo prostego porównania. Sklepikarz, kładąc torebkę z cukrem na wadze sprężynowej, sądzi zapewne, że waży ten cukier; w istocie jednak mierzy on siłę przyciągania pomiędzy Ziemią a cukrem, siłę, w której powstaniu zarówno Ziemia, jak cukier uczestniczą w sposób zupełnie analogiczny. Gdyby ów sklepikarz wybrał się wraz ze swą wagą i cukrem

w podróż po układzie słonecznym, przekonałby się, że jego torebka wykazuje r ó ż n e ciężary na rozmaitych planetach. Na Jowiszu ważyłaby ona $2\frac{1}{2}$ * razy tyle, co na ziemi, na Merkurym 4 razy mniej, itd. Wobec tego nie mamy już prawa mówić, że sklepikarz ważyłby wówczas c u k i e r; jeżelibyśmy mieli wydać orzeczenie jednostronne, poprawniej byłoby powiedzieć, że ważyłby on p l a n e t y. Prawda polega na tym, że w każdym pomiarze tego rodzaju wchodzą w grę masy o b u ciał i przy tym w j e d n a k o w y sposób. Znając jedną z tych mas, możemy obliczyć pozostałą; jeśli jednak nie znamy żadnej z nich, wówczas zależy tylko od obranego punktu widzenia, czy powiemy, że «ważymy» jedno ciało, czy drugie.

Znane są dobrze w fizyce doświadczenia, mające na celu «zważenie» najdrobniejszych cząstek we Wszechświecie, tj. e l e k t r o n ó w, elementów składowych wszelkiego rodzaju materii (str. 124). Podobnie jak w pomiarach za pomocą wagi sprężynowej odgrywa rolę nie tylko masą cukru, lecz również masa Ziemi, tak, zgodnie z przypuszczeniem M a c h a, E i n s t e i n a i innych, we wspomnianych doświadczeniach czynnikiem istotnym jest nie tylko masa owych cząstek, lecz również masa c a ł e g o W s z e c h ś w i a t a. Fizyk może więc uważać, zależnie od swego wyboru, że wyznacza bądź to jedną, bądź drugą masę; z doświadczeń tych można więc wyznaczyć masę całego Wszechświata podobnie jak możemy ocenić masę całej Ziemi z wartości przyciągania, wywieranego przez nią na kilogram cukru. Według E d d i n g t o n a wynosi ona $1,08 \cdot 10^{22}$ mas słonecznych.

Wyobrażaliśmy sobie poprzednio, że rozszerzający się Wszechświat rozpoczął swe istnienie jako świat E i n s t e i n a w równowadze, przy czym cała przestrzeń była maksymalnie wypełniona materią. Jak wynika z rachunku, świat E i n s t e i n a, zawierający tę ilość materii, co $1,08 \cdot 10^{22}$ Słońce, posiadałby promień o długości 1068 milionów lat światła. Jeśli więc przyjmiemy teorię E d d i n g t o n a, to p o c z ą t k o w e

* W oryginale podano błędnie «2/3». (Przyp. tłum.)

rozmiary naszego rozszerzającego się Wszechświata określa właśnie podana liczba.

Mechanika uczy, że prędkość spadającego ciała zależy od wysokości spadku. Analogicznie, prędkości mgławic powinny zależeć od tego, jak daleko Wszechświat rozszerzył się dotychczas albo ściślej, od początkowej wartości jego promienia. Jeśli więc promień naszego Wszechświata wynosił początkowo 1068 milionów lat światła, wówczas powinno być rzeczą możliwą obliczenie prędkości oddalania się mgławic w funkcji ich odległości. Rachunek taki, wykonany przez Eddingtona daje wynik dość zbliżony do tego, co w istocie obserwujemy.

Wobec tego Eddington przypuszcza, że Wszechświat nasz był na początku światem Einsteina o promieniu 1068 milionów lat światła i o zawartości materii równej $1,08 \cdot 10^{22}$ Słońc. Ta ilość materii, rozpostarta równomiernie po całej przestrzeni pierwotnego Wszechświata, dałaby gęstość średnią równą około $2 \cdot 10^{-27}$ gramów w centymetrze sześciennym, tzn. jakieś dziesięć do dwudziestu razy większą od obecnej średniej gęstości materii. Gęstość ta zmalała zatem mniej więcej dziesięciokrotnie do dwudziestokrotnie od czasu, gdy Wszechświat począł się rozszerzać; innymi słowy, liniowe rozmiary jego zwiększyły się przeszło dwadzieścia razy, tak iż obecnie Wszechświat musi posiadać promień wynoszący przeszło 2 miliardy lat światła.

Rozważania, na których opiera się ocena podana przez Eddingtona, nie zostały, jak sądzę, przyjęte przez wielu astronomów; liczni badacze oceniają zupełnie inaczej rozmiary obecnego Wszechświata.

Jednakże każda rozsądna ocena tej wielkości prowadzi do wniosku, że część przestrzeni dostępna dla naszych teleskopów stanowi jedynie drobny ułamek całości przestrzeni — ułamek rzędu wielkości jednej tysięcznej. Ogromne obszary przestrzeni oczekują jeszcze na zbadanie. Nie ma w tym nic dziwnego. Ludzkość, która posiada teleskopy dopiero w ciągu 300 ostatnich lat z 300 000 lat liczącego okresu swego istnienia na Ziemi, nie powinna chyba spodziewać się,

że zdoła poznać w tak krótkim czasie całość przestrzeni. Nasi odkrywcy-astronomowie zwiedzają wyspę za wyspą w małym archipelagu otaczającym ich ojczyznę, lecz dalecy są jeszcze od opłynięcia globu dokoła. I, podobnie jak pierwsi geografowie próbowali oceniać rozmiary Ziemi na długo przedtem, zanim pomyślano o podróży naokoło świata, tak astronomowie dzisiejsi starają się uzyskać ocenę, z konieczności jeszcze niepewną, rozmiarów całego Wszechświata, na podstawie własności tej jego części, z którą dotychczas się zapoznali. Można nawet wyobrazić sobie, że już najbliższe pokolenie zakończy «podróż naokoło przestrzeni» i że będzie myśleć o przestrzeni skończonej, a jednak nieograniczonej z taką łatwością, jak my myślimy o skończonej choć nieograniczonej powierzchni Ziemi.

WIEK WSZECHŚWIATA. Wiemy już, iż niezależnie od wszelkich teoryj obserwacje astronomiczne wskazują na pozorne rozszerzanie się układu mgławic z prędkością około 170 km na sekundę na każdy milion lat świetlnych odległości. Innymi słowy, Wszechświat zdaje się zwiększać swe rozmiary o 1% co 20 milionów lat. Otóż ze wszystkich teoryj, które omawialiśmy, wynika, że przytoczona prędkość rozszerzania się powinna być w przybliżeniu stała, przynajmniej od czasu, gdy ekspansja rozpoczęła się już «na dobre». A zatem, uwzględnivszy regułę «procentów składanych», dochodzimy do wniosku, że *Wszechświat musi podwajać swe rozmiary co 1434 miliony lat*, ośmiokrotnie zaś zwiększać je co 4300 milionów lat. Jeśli np. mamy słusność sądząc, że całkowita ekspansja oznaczała nieco więcej niż podwojenie rozmiarów, to większa jej część musiała nastąpić w ciągu ostatnich 2 miliardów lat mniej więcej.

Do liczby tej należy dodać początkowy okres czasu, kiedy to ekspansja dopiero zaczynała «nabierać rozpędu» — okres niezmiernie trudny do oceny. Przypuszczamy tu bowiem, że pierwotny świat einsteinowski był nietrwały, podobnie jak w niestalej równowadze znajduje się kij postawiony na jednym końcu. Najmniejsze wstrząśnienie powo-

duże przewrócenie się kija; należy analogicznie sobie wyobrazić, że jakieś niewielkie zakłócenie było początkiem rozszerzania się Wszechświata. Nie można obliczyć, ile czasu upłyne, zanim kij zostanie już wyraźnie w ruch wprawiony, jeśli nie znamy wszystkich szczegółów dotyczących owego zakłócenia, od którego ruch się rozpoczął. Podobnie nie można obliczyć, ile czasu zużyła ekspansja Wszechświata na «nabranie rozpędu», skoro nie posiadamy analogicznych danych w odniesieniu do Wszechświata — a danych tych nie będziemy posiadali nigdy. W każdym bądź razie można obliczyć ten czas przy różnych założeniach dotyczących owych hipotetycznych zakłóceń. Z rachunków Lemaître'a wynika, że czas ten nie przekraczał zapewne dalszych 30 miliardów lat.

INNE MOŻLIWOŚCI. Zgodność powyższych teorii, według których Wszechświat powinien się rozszerzać, z obserwacjami świadczącymi, że tak istotnie się dzieje, jest tak nieoczekiwana i tak zupełna, iż trudno oprzeć się uczuciu zachwytu. A jednak musimy wystrzegać się zbyt dosłownego lub zbyt konkretnego interpretowania pojęć, na których opierają się owe teorie.

Nauka wyobrażała sobie, że zjawiska przyrody zachodzą w rzeczywistym continuum, istniejącym niezależnie od nas, zwanym «przestrzenią»; w owej realnej przestrzeni miały się poruszać najrozmaitsze realne przedmioty, jako to: gwiazdy, mgławice, atomy itd. Właściwie jednak nie mieliśmy do tego prawa. Nie możemy nic wiedzieć o Wszechświecie poza tymi skutkami, jakie zjawiska w nim zachodzące wywołują w naszych zmysłach, bądź to bezpośrednio, bądź przy pomocy przyrządów, jak teleskopy, spektroskopy i inne. Wszystko więc, co nauka w pewnym okresie swego rozwoju ma prawo przedsięwziąć, polega na obmyśleniu *schematu* czy *modelu*, który zdawałby sprawę z tych skutków, jakie znane są w danym czasie. Jeśli można znaleźć dwa takie schematy A i B, jednakowo dobrze spełniające tę rolę, wówczas nie podobna rozstrzygnąć pomiędzy nimi. Żadnemu z nich nie można przy-

pisywać większej «słuszności», chyba że znajdziemy jakieś nowe zjawisko, które okaże się niezgodne ze schematem A. Wtedy A może być odrzucone; jednakże nie wolno nam jeszcze twierdzić, że B musi być prawdziwe, gdyż w każdej chwili może zjawić się schemat C, równie dobry dla objaśnienia zjawisk jak B. Tak np. gdyby Einstein żył w czasach Newtona i podał był wówczas swą teorię o zakrzywionej przestrzeni, nie byłoby sposobu rozstrzygnięcia pomiędzy obu schematami: hipotezą Newtona o sile grawitacyjnej działającej w przestrzeni niezakrzywionej — oraz hipotezą Einsteina o nieistnieniu takiej siły, lecz o przestrzeni zakrzywionej. Obie teorie zdawałyby bowiem sprawę z wszystkich zjawisk ciężenia, znanych w owym czasie.

Wobec tego stanu rzeczy nauka porzuciła już próby uzyskania odpowiedzi na pytanie: «Czym jest Wszechświat?» Istotnie, mamy poważne powody przypuszczać, że gdyby jakaś istota rozumna o wyższej inteligencji zjawiła się przed nami, przynosząc z innego świata całkowitą odpowiedź na powyższe pytanie, byłaby ona dla nas zupełnie niezrozumiała. Nauka stara się zbudować obraz Wszechświata pod warunkiem: po pierwsze, że obraz ten musi być zrozumiały dla naszych umysłów, po wtóre, że musi on zdawać sprawę z niektórych lub ze wszystkich zjawisk obserwowanych w pewnej gałęzi wiedzy; oczywiście im więcej tych zjawisk, tym lepiej.

Dlatego też nie jest rzeczą dziwną, że istnieją również inne teorie prawdziwego czy pozornego rozszerzania się Wszechświata, poza wspomnianymi dotychczas: nakreślono inne obrazy Wszechświata, niekiedy o zupełnie odmiennym charakterze. Nie podobna byłoby nawet w najkrótszym streszczeniu opisać je wszystkie; ograniczymy się więc tylko do dwóch.

RÓŻNE RODZAJE PRZESTRZENI

Widzieliśmy, że Einstein interpretował orbity ciał niebieskich jako «proste» drogi w zakrzywionej przestrzeni. Krzywizna orbit jest największa w pobliżu wielkich mas, skąd

wyływa wniosek, że i krzywizna przestrzeni musi tam posiadać wartość największą, jak to zakłada teoria Einsteina. Można więc powiedzieć, że *masy owe same wytwarzają zakrzywienie przestrzeni*.

Otóż Einstein wykazał wkrótce, że gdyby przestrzeń nie posiadała innej krzywizny, oprócz wspomnianej przed chwilą, Wszechświat byłby nietrwały, chyba że byłyby spełnione pewne niezmiernie skomplikowane warunki. W celu uniknięcia tej trudności Einstein przypuścił, że przestrzeń posiada również krzywiznę innego pochodzenia, właściwą *samej jej strukturze*. Krzywizna ta istniałaby nawet wówczas, gdyby nie było w ogóle ciał materialnych; z założenia miała ona być jednako w całej przestrzeni. Wielkość tej krzywizny — ta sama w każdym punkcie przestrzeni i w każdym kierunku przechodzącym przez dowolny punkt — wyznacza właśnie «stała kosmiczna», będąca zatem stałą charakterystyczną dla Wszechświata jako całości. W analogii z powierzchnią Ziemi «stała kosmiczna» jest miarą wielkości odpowiadającej promieniowi ziemskiemu; obecność materii wytwarza natomiast drobne zakrzywienia miejscowe, podobne do wzgórz i dolin, kretowisk i dziur króliczych na powierzchni Ziemi.

Einstein wprowadził pierwotnie ową «kosmiczną» krzywiznę dlatego, że nie widział innej możliwości uzyskania Wszechświata statycznego: działało się to przed wykryciem powszechnego oddalania się mgławic. Zjawisko to nasuwa obecnie przypuszczenie, że Wszechświat nie jest statyczny, a zatem pierwotny powód, jaki skłaniał Einsteina do wprowadzenia «stałej kosmicznej», już nie istnieje. Dlatego też zarówno Einstein, jak de Sitter, rozpatrzyli sprawę, czy są jakie inne względy, które by zmuszały do zachowania «stałej kosmicznej» i związanej z nią krzywizny. Badacze ci dochodzą do wniosku, że powodów takich nie ma; obserwowane oddalanie się mgławic daje się pogodzić z dowolną — w pewnych oznaczonych granicach — wartością «stałej kosmicznej», m. in. z wartością zero, która odpowiada przestrzeni niezakrzywionej.

Następnie de Sitter zbadał wnioski, wynikające z przypisania stałej kosmicznej różnych wartości, łącznie z zerem. Okazuje się, że to rozszerzenie możliwości prowadzi do dwóch nowych typów Wszechświata, poza omawianym już wyżej rozszerzającym się Wszechświatem. Jednym z nich jest typ wszechświata, który rozpoczyna swe istnienie w postaci «rozszerzonej», kurczy się do pewnego minimum, po czym znów rozszerza się bezgranicznie. We wszechświecie drugiego typu — «wszechświecie oscylującym», rozszerzania się i kurczenia następują po sobie w prawidłowej kolejności. Możliwe są jednak i inne typy wszechświata, w których w ogóle krzywizna nie istnieje poza czysto lokalnymi zakrzywieniami w sąsiedztwie mas «przyciągających». Również możliwy do pomyślenia jest wszechświat o krzywiznie innego, przeciwnego rodzaju niż krzywizna pierwotnego świata Einsteina*. W obu tych typach wszechświata przestrzeń rozciąga się w nieskończoność.

O ile możemy o tym sądzić na podstawie dziś dostępnych spostrzeżeń, wielkie zjawiska astronomiczne mogą być jednakowo dobrze przedstawione w jakimkolwiek z tych modeli Wszechświata. Nie mamy więc prawa orzec, czy przestrzeń jest skończona czy nieskończona; jest rzeczą możliwą, że zjawiska astronomiczne, pomimo najściślejszych obserwacji, zawsze będą mogły być ujęte zarówno przy pomocy pierwszego, jak drugiego rodzaju przestrzeni.

Była mowa o tym, że w świecie Einsteina-Lemaître'a przeszłość jest ograniczona do 30 miliardów lat lub do podobnego skończonego okresu. Jednakże granicy takiej nie ma dla innych wyżej wzmiankowanych typów Wszechświata, tak iż nie podobna orzec, czy istniał początek czasu.

* W przestrzeni niezakrzywionej objętość obszaru zawartego wewnątrz kuli zakreślonej promieniem r dokoła jakiegoś stałego punktu jest proporcjonalna do r^3 ; w przestrzeni o krzywiznie typu Einsteina wzrasta ona wolniej niż r^3 ; w przestrzeni o krzywiznie przeciwnego typu niż einsteinowska wzrasta szybciej niż r^3 .

TEORIA MILNE'A. W r. 1932 Milne wystąpił z teorią, która — jak to udowodniono później — różni się od wyżej omawianych chyba tylko sposobem sformułowania. Gdy na polu bitwy wybucha pocisk, różne jego odłamki poruszają się z różnymi prędkościami, tak iż w każdej chwili znajdują się w rozmaitych odległościach od miejsca wybuchu. Te, które są najdalej, biegną oczywiście z największą prędkością — w ogóle odległość ich jest ściśle proporcjonalna do prędkości: otrzymaliśmy więc zależność dokładnie taką samą, jak prawo prędkości oddalania się mgławic. Milne stara się wyjaśnić oddalanie się mgławic w sposób podobny, jako ruch odbywający się w przestrzeni niezakrzywionej, ściśle identycznej ze zwykłą przestrzenią życia codziennego. Pierwotne jego badania opierały się na hipotezie, którą nazwał «zasadą kosmologiczną». Spoglądając w głąb przestrzeni z punktu obserwacyjnego w naszej Galaktyce stwierdzamy, że inne galaktyki oddalają się od nas we wszelkich kierunkach, przy czym ich prędkości podlegają prostemu prawu, które wyżej przytoczyliśmy. Nie ma jednak w istocie rzeczy jakiejś oczywistej przyczyny, której mielibyśmy ten fakt zawdzięczać; jeślibyśmy więc znaleźli się w innej galaktyce, nie powinniśmy oczekiwać, że widziane stamtąd ruchy układów galaktycznych będą podlegały temu samemu prostemu prawu. Jeśliby istotnie tak było, musielibyśmy stąd wywnioskować, że nasza Galaktyka posiada jakąś specjalną pozycję we Wszechświecie. Nasuwa się pytanie, dlaczego właśnie *od nas* miałyby uciekać wszystkie inne galaktyki.

Zasada kosmologiczna orzeka, iż pozycja nasza nie jest bynajmniej jakąś pozycją specjalną. Obraz, jaki wytworzyłby sobie obserwator w naszej Galaktyce o największych zjawiskach astronomicznych pozostałby ważny dla każdej innej galaktyki. Obserwator w każdej innej galaktyce musiałby w zasadzie — pomijając różnice w szczegółach — dostrzegać te same zjawiska, które my obserwujemy z naszego punktu widzenia.

Opierając się na tej hipotezie Milne otrzymuje obraz wszechświata, który wydaje się początkowo zasadniczo różny

od przedstawionych wyżej poglądów Einsteina i Lemaitre'a. Nie widać jednak powodu, by ten sam obraz nie mógł być nakreślony wieloma różnymi sposobami, podobnie jak mapę można narysować w rozmaitych rzutach. Porównywaliśmy już poprzednio einsteinowską koncepcję przestrzeni z zakrzywioną powierzchnią ziemską; otóż powierzchnię Ziemi można odtworzyć na kuli, np. na zwykłym szkolnym globusie, ale przecież można ją również przedstawić na powierzchni płaskiej, np. w zwykłym rzucie Mercatora lub stereograficznym, jakie znajdujemy w atlasach. Kermack i McCrea wykazali, że, krótko mówiąc, milne'owskie ujęcie rozszerzającego się Wszechświata jest w takim stosunku do ujęcia Einsteina-Lemaitre'a, jak rzut Mercatora do mapy na globusie. W rezultacie teoria Milne'a nie odsłania przed nami nowej dziedziny badań: fizyczne zjawiska w tej teorii muszą być dokładnie identyczne z tymi, które wynikają z dawniejszej teorii Einsteina-Lemaitre'a. Mamy tu do rozporządzenia dwa jednakowo przydatne obrazy zjawisk, przy czym nie można znaleźć sposobu, który pozwoliłby na drodze obserwacji rozstrzygnąć pomiędzy nimi.

Mimo to Milne sądzi, że jego teoria daje zupełnie określone odpowiedzi na pytania, które teoria względności rozwiązuje w sposób niejednoznaczny. Chodzi tu np. o zagadnienia następujące:

- (1) Czy Wszechświat się rozszerza?
- (2) Czy przestrzenna rozciągłość Wszechświata jest skończona, czy nieskończona?
- (3) Czy liczba cząstek w nim jest skończona, czy nieskończona?
- (4) Czy przestrzeń przystosowana do opisu Wszechświata jest zakrzywiona, czy płaska?
- (5) Czy przeszłość Wszechświata w czasie jest skończona, czy nieskończona?
- (6) Czy Wszechświat jest jednorodny?

Milne dowodzi, że odpowiedzi na te pytania zależą od sposobu pomiaru czasu. Pomiar ten może bowiem być dokonany rozmaicie, a wybór któregoś z metod jest z naszej

strony aktem dowolnym. Milne zakłada, że obrana metoda pozwoliłaby obserwatorom w różnych częściach Wszechświata ustalić ten sam pomiar czasu. Tak na przykład, możemy zgodzić się na pomiar czasu według metody «newtonowskiej», biorąc za jednostkę okres obrotu Ziemi dookoła osi albo okres obiegu jej dookoła Słońca. Przy tym wyborze prawa dynamiki przybierają dobrze znaną postać, którą im nadał Newton. W innych częściach Wszechświata również można by znaleźć prawidłowo powtarzające się zjawiska astronomiczne, które znów dałyby nam jednostkę czasu, zapewniającą zasadom dynamiki formę newtonowską. Milne dowodzi, że jeśli zgodzimy się na taki pomiar czasu, Wszechświat się nie rozszerza, przeszła jego historia jest nieskończona, przestrzeń zaś zakrzywia się i rozciąga w nieskończoność*.

Można jednak nakreślić obraz Wszechświata na innym tle, w którym za jednostkę czasu wybrano okres obiegu jakiejś orbity atomowej nie zaś orbity astronomicznej. W chwili obecnej okres ten jest określonym ułamkiem poprzedniej jednostki astronomicznej, wszakże — według poglądów Milne'a — ułamek ten nie był stale taki sam: stosunek obu jednostek czasu *nieustannie zmienia się z biegiem czasu*. W szczególności zmienił on się podczas wędrówki światła dochodzącego do nas od dalekich mgławic. Dlatego to widma ich są wszystkie przesunięte ku czerwieni: okresy ruchów atomowych były *powolniejsze* — jeśli oceniać je w newtonowskiej skali pomiarów czasu — w chwili, gdy światło wybiegło z mgławicy, niż obecnie.

Gdy obraz ów skreślimy na tym drugim tle, okazuje się, że Wszechświat rozszerza się równomiernie, że czas w przeszłości jest skończony oraz że przestrzeń jest również skończona. Niezależnie jednak od «tła» obrazu liczba cząstek we Wszechświecie wypada nieskończona, jednakże wielkość odgrywająca rolę «całkowitej masy» posiada wartość skończoną.

Porównywaliśmy już milne'owski obraz Wszechświata

* Jest to trzeci rodzaj przestrzeni wśród wzmiankowanych w odsyłaćzu na str. 100.

z mapą w atlasie, w przeciwstawieniu do obrazu Einsteina - Lemaitre'a, który porównywaliśmy z globusem. Stosunek obu obrazów podanych przez Milne'a można by przyrównać do stosunku, jaki zachodzi pomiędzy rzutem Mercatora i rzutem równo-powierzchniowym, używanym w atlasach. Dopóki ograniczamy swą uwagę do jakiegoś małego wycinka powierzchni Ziemi, oba sposoby rzutowania prowadzą do tego samego wyniku, pomijając prawdopodobnie występującą różnicę skali. Jednak przechodząc do innych obszarów powierzchni Ziemi stwierdzilibyśmy, że owa różnica podziałki zmienia się, zależnie od miejsca, a gdy zbliżamy się do biegunów, skala rzutu Mercatora staje się niezmiernie wielka w porównaniu z tamtym rzutem. Właśnie dlatego rzadko kiedy rysuje się mapy Mercatora powyżej 75° do 80° szerokości geograficznej. Doprowadzenie ich do 90° wymagałoby papieru o rozmiarach nieskończonych; mielibyśmy wówczas dwie mapy — jedną, która świadczyłaby o skończoności powierzchni ziemskiej i drugą, która przemawiałaby za jej nieskończonością. Widzimy tu bliską analogię z dwoma obrazami Wszechświata podanymi przez Milne'a.

Na to skłonni bylibyśmy odpowiedzieć, że powierzchnia Ziemi jest w rzeczywistości skończona, tak iż jedna z owych map może być dobra, pozostała natomiast musi być fałszywa. Możemy jednak tak powiedzieć tylko dlatego, że zdecydowaliśmy się już na określony sposób pomiaru długości, tj. przy pomocy sztab mierniczych. Sposób ten nadaje się doskonale do pomiarów odległości na Ziemi, lecz jest nieprzydatny w mierzeniu odległości kosmicznych, gdyż nie możemy przecież krzątać się po niebie z podziałkami metrowymi. Gdybyśmy na powierzchni Ziemi nie mogli przenosić sztab mierniczych, łatwo mogłoby się zdarzyć, iż za jednostkę długości w każdym miejscu przyjęto by np. 1 sekundę długości geograficznej. Jednostkę tę łatwo byłoby oznaczyć przy pomocy spostrzeżeń astronomicznych. Przy użyciu takich jednostek stwierdzilibyśmy, że odległość od równika do bieguna jest dosłownie nieskończona.

Prace i teorie Milne'a są wciąż jeszcze dyskutowane

i krytykowane; w szczególności dotyczy to założeń wprowadzonych przez niego prócz zasady kosmologicznej. Ostatnio Mc Vittie podał spis dziewięciu dodatkowych założeń, które — jego zdaniem — zostały tu wprowadzone bądź to wyraźnie, bądź milcząco, a które sam Milne oraz jego współpracownicy traktowali jako pewniki nie wymagające uzasadnienia.

Główna wartość pracy Milne'a polega być może nie na tym, co autor zamierzał osiągnąć. Wskazuje ona, jak różnymi metodami można ująć zjawiska oddalania się mgławic i jak mało usprawiedliwione jest opatrywanie któregoś z tych wyjaśnień mianem «prawdziwego». Widzimy tu również, jak dalece niemożliwe jest wyposażenie einsteinowskiej przestrzeni zakrzywionej w jakąś «rzeczywistość fizyczną» (cokolwiek by wyrażenie to miało oznaczać).

MODEL WSZECHŚWIATA

Widzieliśmy już, jak trudno uprzytomnić sobie odległość $4\frac{1}{4}$ lat światła, dzielącą nas od najbliższej gwiazdy; byłoby więc rzeczą bezcelową kusić się o wyobrażenie sobie odległości najdalszych dostrzegalnych mgławic, wynoszącej setki milionów lat światła. Spróbujmy jednak przedstawić wszystkie te odległości, zachowując ściśle wzajemne ich stosunki w modelu o skali bardzo znacznie zmniejszonej: unikniemy w ten sposób trudu wyobrażania sobie odległości niewyobrażalnie wielkich.

Ziemia, biegnąca z prędkością 1000 razy większą niż pociąg pośpieszny, zakreśla w ciągu roku dokoła Słońca drogę o długości blisko 950 milionów km. Niech orbitę ową przedstawia lebek szpilki o średnicy $1\frac{1}{2}$ mm. Skala naszego modelu jest już ustalona: Słońce skurczyło się do rozmiarów drobnego ziarenka pyłu o średnicy 0,007 mm, Ziemia zaś stała się pyłkiem tak małym, że w ogóle nie podobna go dostrzec w najsilniejszym nawet mikroskopie. W skali tej najbliższą gwiazdę, Proximę Centauri, musimy umieścić w odległości około 200 m; do-

piero w szóstanie o krawędzi 1600 m zawarta byłaby setka gwiazd, będących najbliższymi naszymi sąsiadkami w przestrzeni.

Lecz budujemy model w dalszym ciągu. Wszystkie gwiazdy możemy uważać za ziarnka pyłu, gdyż różnią się one od siebie pod względem rozmiarów mniej więcej w takim stopniu, jak ziarnka pyłu pomiędzy sobą. W pobliżu Słońca musimy rozmieścić owe pyłki średnio w odległości około 400 m jeden od drugiego; w wielu innych obszarach Wszechświata są one rozsiane jeszcze rzadziej. Przy budowie naszego modelu odsunęliśmy się już o setki km od punktu wyjścia; jeżeli szliśmy w kierunku, tworzącym dość znaczny kąt z płaszczyzną Drogi Mlecznej, to spostrzeżemy, iż pyłki stają się coraz radsze: zbliżamy się już do krańców Galaktyki. W samej płaszczyźnie Drogi Mlecznej musimy natomiast przebyć jakieś 8000 km, zanim dotrzemy do najdalszej gromady kulistej — i wciąż jeszcze jesteśmy wewnątrz układu galaktycznego. W skali, w której roczna droga Ziemi dokoła Słońca ma wielkość łebka szpilki, układ galaktyczny posiada rozmiary znacznie większe od całej Azji. Byłoby może dobrze zastanowić się tu na chwilę nad stosunkiem rozmiarów łebka szpilki i całego kontynentu, zanim powrócimy do budowy naszego modelu.

Po «ukończeniu» układu galaktycznego musimy przebyć około 30 000 km, nim będziemy mogli przystąpić do konstrukcji następnej części modelu — oczywiście jeżeli chcemy trzymać się obranej skali. W tej to odległości umieścimy najbliższą nam rodzinę gwiazdową, być może nieco mniej liczną i rozległą od naszej, niemniej jednak porównywalną z nią pod względem rozmiarów oraz liczby gwiazd. W podobny sposób posuwamy się dalej — rozmieszczając w odstępach co jakieś 50 000 km zbiorowiska złożone z miliardów gwiazd, dopóki nie będziemy mieli dwóch milionów owych zbiorowisk. Promień naszego modelu wynosi teraz prawie pięć milionów km; odpowiada to największej głębi osiągalnej w chwili obecnej przy pomocy teleskopów. Przypuszczamy, że poza tą granicą model nasz rozpościera się dalej we wszelkich kierunkach, jakkolwiek być może nie do nieskończoności: po prze-

byciu jakichś paruset milionów kilometrów w modelu powróciłibyśmy może do punktu wyjścia.

W modelu tym Słońce jest małym pyłkiem, o średnicy mniejszej od jednej setnej milimetra; inne gwiazdy są również pyłkami — niektóre mniejszymi, inne większymi od «Słońca». Całkowita ilość pyłków w naszym modelu jest mniej więcej porównywalna z ogólną ilością pyłków w całym Nowym Yorku czy też w Londynie: jest to liczba cząstek pyłu w 12 kilometrach sześciennych powietrza, jeżeli przyjmiemy, że każdy cm^3 zawiera 60 000 pyłków. Pomyślmy o Słońcu jako mniej niż pyłku w wielkim mieście, o Ziemi jako milionowej części takiego pyłku — a uzyskamy może wyrazisty dla naszego umysłu obraz stosunku naszego globu do reszty Wszechświata.

Moglibyśmy też budować ów model w ten sposób, że wzięlibyśmy wszystkie ziarenka pyłu z całego Londynu i rozpostarli je na odpowiednich odległościach od siebie tak, aby reprezentowały one poszczególne gwiazdy. Średnia odległość dwóch sąsiednich pyłków w powietrzu londyńskim jest małym ułamkiem milimetra: w modelu odległość tę musimy zwiększyć do 400 metrów, nawet w części przedstawiającej «gęsto zaludnione» obszary Wszechświata w sąsiedztwie naszego Słońca. Uwydatnia się tu w sposób uderzający p u s t k a panująca w przestrzeni świata. Usunąć z dworca Waterloo w Londynie wszystko, z wyjątkiem *sześciu ziarenek pyłu*; będzie on wówczas jeszcze o wiele bardziej «zapyłony», niż przestrzeń jest wypełniona gwiazdami. Jest to słuszne nawet dla stosunkowo gęsto «zaludnionych» obszarów wewnątrz układu galaktycznego — gdy nie bierzemy wcale pod uwagę olbrzymich przerw pustych pomiędzy sąsiednimi układami gwiazdowymi. Biorąc przeciętną z c a ł o ś c i naszego modelu otrzymalibyśmy, że średnia odległość dwóch sąsiednich pyłków wynosi około 130 km. *Wszechświat składa się nie tyle z gwiazd, co raczej z pustki* — niewyobrażalnie wielkich obszarów pustych, gdzie obecność gwiazdy jest niezmiernie rzadkim, wyjątkowym wydarzeniem.

Wyobraźmy sobie na chwilę, że zajęliśmy stanowisko

obserwacyjne gdzieś w pobliżu Słońca i śledzimy ruch gwiazd przebiegających mimo nas z prędkościami tysięcy razy przewyższającymi prędkość pociągu pośpiesznego. Gdyby przestrzeń była istotnie gęsto usiana gwiazdami, znajdowałibyśmy się w położeniu tak mało godnym zazdrości, jak ktoś, kto usiadłby na środku Regent Street w Londynie, aby przypatrywać się ruchowi ulicznemu: życie tego śmiałka byłoby krótkie, jakkolwiek niewątpliwie pełne emocyj. Co się tyczy jednak «ruchu» w przestrzeniach międzygwiazdowych, to jest on tak mało ożywiony, że musielibyśmy czekać około tryliona lat, zanim wpadłaby na nas jakaś gwiazda. Innymi słowy, jak wskazują obliczenia, gwiazda może nie obawiać się zderzenia z inną przed upływem mniej więcej tryliona lat. Gwiazdy biegną na oślep w przestrzeni, lecz uczestniczki tej gry «w ciuciubabkę» są tak od siebie odległe, że *prawdopodobieństwo spotkania się jest znikomo małe*. Dotyczy to nie tylko zderzeń bezpośrednich, lecz również znacznego zbliżenia się dwóch gwiazd; zgodnie z tym, jak sprawa dziś się przedstawia, gwiazda mogłaby prawdopodobnie biec w przestrzeni w ciągu jakichś *stu bilionów lat*, zanim zbliżyłaby się do innej gwiazdy na odległość równą dziesięciu średnicom którejkolwiek z nich. Zobaczymy później, iż sprawy te posiadają niezmiernie ważne znaczenie dla prób wytworzenia sobie ogólnego poglądu na Wszechświat.

ROZDZIAŁ II

Atom

W ROZWAŻANIACH naszych zajmowaliśmy się dotychczas światem rzeczy większych od człowieka; badaliśmy przestworza, wobec których człowiek, wraz z całą swą planetą, jest mniej niż pyłkiem. Jest to jednak dopiero połowa drogi: pozostaje jeszcze do zbadania druga część Wszechświata, w kierunku rzeczy nieskończenie małych. Dopóki nie rozpatrzyliśmy świata najdrobniejszych cząstek materii, jedynie w połowie podziwiać możemy niesłychane bogactwo zjawisk we Wszechświecie, roztaczającym się wokół nas. Wyniki badań w tej dziedzinie stanowią wspaniały triumf fizyki współczesnej.

Może tu nasunąć się pytanie, czemu książka, poświęcona zasadniczo nowoczesnej astronomii ma się w ogóle zajmować tą drugą połową Wszechświata, dziedziną nieskończenie małych. Odpowiedź na to brzmi, że gwiazdy nie są to po prostu olbrzymie, bezwładne masy; są to mechanizmy w pełnym biegu, wytwarzające i wysyłające promieniowania, dzięki którym je widzimy. Wewnętrzny mechanizm gwiazd zrozumiemy najlepiej, gdy poznamy powstawanie i emisję promieniowania na Ziemi, co wprowadza nas od razu do gmachu współczesnej fizyki atomowej. W książce niniejszej nie możemy oczywiście przedstawić całokształtu nowej tej dziedziny wiedzy; ograniczymy się do rozpatrzenia tych części, które są szczególnie ważne dla wytłumaczenia zjawisk astro-nomicznych.

TEORIA ATOMISTYCZNA

Już w piątym stuleciu przed Chr. filozofowie greccy żywo zajmowali się zagadnieniem, czy *podstawowa substancja Wszechświata ma budowę ciągłą, czy też nieciągłą*. Gdy spoglądamy z dala na ławice piasku na wybrzeżu morskim, zdają się one na pierwszy rzut oka posiadać budowę ciągłą; przyjrzawszy się dokładniej stwierdzamy bez trudu, że składają się z oddzielnych twardych ziarenek. Przed nami ocean toczy swe fale, które również zdają się składać z materii ciągłej; tym razem jednak nie możemy w żaden sposób podzielić jej na drobne cząstki czy ziarenka. Woda dzieli się wprawdzie łatwo na kropelki, lecz każda z nich ulec może dalszemu podziałowi na kropelki jeszcze mniejsze i nie widać istotnie przyczyny, dlaczego nie można by przedłużać bez końca tego procesu podziału. Zagadnienie, które poruszało umysły filozofów greckich, można wyrazić w sposób następujący: *co daje wierniejszy obraz budowy substancji stanowiącej podłoże Wszechświata: woda oceanu, czy piasek wybrzeża?*

Szkoła «atomistów»: Demokryta, Leukippa i Lukrecjusza była zwolenniczką ostatecznej nieciągłości materii; uczyli oni, że wszelka substancja, poddana podziałowi dostatecznie wielką liczbę razy, okaże się zbudowaną z odrębnych twardych cząstek, których dalszy podział jest niemożliwy. Zdaniem tych filozofów, piasek stanowi lepszy obraz istotnej budowy materii niż woda, ponieważ podział dość daleko posunięty ujawniłby również w przypadku wody ziarniste własności piasku. Wyniki nauki współczesnej potwierdziły całkowicie to przypuszczenie intuicyjne.

Istotnie, sprawa ta może być uważana za rozstrzygniętą z chwilą, gdy uda się wykazać, że dostatecznie cienka warstewka jakiejś substancji posiada własności zupełnie inne, niż warstewka nieco grubsza. Gdy na czerwonej posadzce rozsypujemy równomiernie warstwę żółtego piasku, to cała podłoga wydawać się nam będzie żółta, jeśli tylko wystarczy piasku na to, by warstwa jego miała grubość przynajmniej jednego

ziarnka. Gdy jednak mamy tylko połowę tej ilości piasku, czerwona podłoga będzie «przeglądała», jest bowiem oczywiście rzeczą niemożliwą utworzenie równomiernej warstewki piasku grubej «na pół ziarnka». Nagła ta zmiana własności warstw piasku jest najwidoczniej wynikiem ziarnistej jego budowy.

Analogiczne zmiany własności znaleziono w przypadku bardzo cienkich warstewek cieczy. Łyżka zupy może pokryć dno talerza, lecz jedna kropla utworzy tylko brzydką plamę. W niektórych przypadkach można zmierzyć dokładnie grubość warstwy, przy której własności cieczy poczynają się zmieniać; lord Rayleigh znalazł w r. 1890, że cienkie błonki oliwy, rozpostarte na powierzchni wody, zmieniają całkowicie swe własności, skoro grubość ich stanie się mniejszą od jednej milionowej milimetra. Oczywiście wyjaśnienie tego faktu, potwierdzone zresztą wieloma innymi metodami, polega na przypuszczeniu, że oliwa składa się z *oddzielnych cząstek* — podobnie jak kupka piasku z ziarenek — o średnicach równych w przybliżeniu jednej milionowej milimetra.

Wszelka materia składa się z takich «ziarenek»; nazywamy je *cząsteczkami* lub *drobinami*. Własności materii, znane z życia codziennego, dotyczą warstw o grubości znacznie większej, niż średnica cząsteczki; z własnościami «warstewek» grubości ułamka jednej cząsteczki ma do czynienia tylko fizyk w swej pracowni.

CZĄSTECZKI

W jaki sposób można rozłożyć kawałek jakiegoś ciała na najdrobniejsze ziarnka czyli cząsteczki? Łatwo uczonemu powiedzieć, że dzieląc kroplę wody dostatecznie wielką liczbę razy, dojdziemy do ziarenek dalej już niepodzielnych — lecz «zwyczajny człowiek» chciałby widzieć, jak się to robi.

Na szczęście proces ten jest nadzwyczaj prosty. Weźmy naczynie z wodą i ogrzejmy je z lekka: woda poczyną parować. Znaczy to, że woda rozpada się na swe najdrobniejsze

ziarnka, czyli cząsteczki. Gdybyśmy umieścili owo naczynie na szalce dostatecznie czulej wagi sprężynowej, stwierdzilibyśmy, że parowanie nie zachodzi w sposób ciągły, warstwa po warstwie, lecz *skokami*, jedna cząsteczka po drugiej; ciężar wody zmieniałby się również skokami, a każdy skok odpowiadałby ciężarowi jednej cząsteczki. Naczynie zawiera zawsze *całkowitą* liczbę cząsteczek, nigdy nie ułamkową; — jeżeli nawet istnieją ciała drobniejsze od cząsteczek, to w każdym razie nie odgrywają one roli w zjawisku parowania wody w naczyniu.

STAN GAZOWY. Cząsteczki odrywające się od powierzchni wody parującej tworzą *gaz* — parę wodną. Gaz składa się z wielkiej liczby cząsteczek, które biegną zupełnie niezależnie jedno od drugich, z wyjątkiem rzadkich wypadków, gdy się zderzają z sobą, zakłócając w ten sposób wzajemnie swe ruchy. Wielkość tych zakłóceń zależy oczywiście od rozmiarów cząsteczek: im są one większe, tym częstsze są zderzenia i w tym znaczniejszej mierze cząsteczki wpływają wzajemnie na swe ruchy. Istotnie też, wielkość tego wpływu pozwala najdokładniej ocenić rozmiary cząsteczek; średnice ich są *niezmiernie małe*, rzędu wielkości *kilku dziesięciomilionowych milimetra*. W ogólności cząsteczki o budowie prostszej mają *mnijšie* średnice, jak tego zresztą można by z góry oczekiwać. Tak np. cząsteczka wody ma średnicę $4,6 \cdot 10^{-7}$ mm, prostsza zaś cząsteczka wodoru — tylko $2,7 \cdot 10^{-7}$ mm. Fakt, iż cały szereg rozmaitych metod daje te same wartości na średnice tych cząsteczek, jest przekonywającym dowodem rzeczywistego ich istnienia.

Ponieważ cząsteczki są tak niezmiernie małe, ilość ich musi być olbrzymia. Centymetr sześcienny wody zawiera $3,33 \cdot 10^{22}$ cząsteczek, z których każda waży $3 \cdot 10^{-23}$ grama; jeśliby umieścić je szeregiem obok siebie, utworzyłyby łańcuch mogący opasać Ziemię 380 000 razy. Gdyby rozsypać je równomiernie po powierzchni wszystkich lądów Ziemi, na każdy centymetr kwadratowy przypadłoby 23 000 cząsteczek. Gdybyśmy uważali je za maleńkie nasionka, moglibyśmy cały za-

pas potrzebny do obsiania wszystkich łądów, licząc po 23 000 na centymetr kwadratowy, zmieścić w małym naparstku.

Cząsteczki poruszają się z bardzo znacznymi prędkościami; w zwykłym powietrzu, w temperaturze pokojowej, prędkość ta wynosi średnio około 450 metrów na sekundę. Jest to mniej więcej tyle, co prędkość kuli ze strzelby myśliwskiej, i nieco więcej, niż prędkość głosu. Tę ostatnią znamy dobrze z doświadczeń życia codziennego, nie trudno jest więc wytworzyć sobie wyobrażenie o prędkościach cząsteczek gazu. To, że są one porównywalne z prędkością głosu, nie jest przypadkiem; głos jest to zaburzenie, które jedna cząsteczka udziela drugiej przy zderzeniu się z nią, jak biegacz podający drugiemu pałeczkę w sztafecie. Pomiędzy dwoma zderzeniami wieść przenosi się dokładnie z tą samą prędkością, z jaką biegną cząsteczki; gdyby wszystkie one posiadały prędkości ściśle jednakowe i jednakowo skierowane, oczywistą jest rzeczą, iż głos rozchodziłby się również z tą samą prędkością. Wiele cząsteczek biegnie jednakże po torach ukośnych, stąd też prędkość głosu, równa w zwykłych warunkach 340 metrom na sekundę, jest mniejsza od średniej prędkości ruchu molekularnego cząsteczek powietrza.

W wysokich temperaturach cząsteczki gazu mogą posiadać większe prędkości: cząsteczki pary wodnej np. w kotle parowym poruszają się z prędkością do 1000 metrów na sekundę.

Wielkie prędkości ruchu molekularnego są przyczyną ciśnienia wywieranego przez gaz; każda powierzchnia, znajdująca się w zetknięciu z powietrzem, poddana jest g r a d o w i u d e r z e ń cząsteczek, poruszających się z prędkością kuli karabinowej. Z każdym oddechem tryliony cząsteczek, poruszających się z prędkością kilkuset metrów na sekundę, wpadają do płuc naszych i właśnie ich bombardowanie o ścianki płuc chroni te ostatnie przed zgnieceniem przez powietrze zewnętrzne. Weźmy inny przykład: tłok w cylindrze lokomotywy doznaje w ciągu sekundy około $14 \cdot 10^{28}$ uderzeń; to nieprzerwane bombardowanie niezliczonymi drobnymi pociskami, poruszającymi się z prędkością około 700 metrów na se-

kundę, zmusza tłok do ruchu naprzód podtrzymując w ten sposób bieg pociągu.

Ustrój wewnętrzny gazu można porównać najlepiej do nieustannego gradu maleńkich pocisków — ziarenek śrutu — lecących chaotycznie we wszelkich możliwych kierunkach i często zderzających się pomiędzy sobą. W zwyczajnym powietrzu każda cząsteczka ulega w ciągu jednej sekundy $4\frac{1}{2}$ miliardom zderzeń z innymi przebiegając pomiędzy dwoma kolejnymi spotkaniami przeciętną odległość 0,0001 milimetra (tzw. «średnia droga swobodna»). Jeżeli daną masę gazu zgęścimy, znaczy to, iż bardziej stłaczamy cząsteczki w danej przestrzeni, wskutek czego zderzenia stają się częstsze, a drogi swobodne krótsze. Jeżeli, odwrotnie, zmniejszymy ciśnienie gazu, a więc i jego gęstość, zderzenia zachodzą rzadziej, droga swobodna wzrasta. Przy najwyższych stopniach rozrzedzenia, jakie obecnie możemy otrzymać w pracowni, cząsteczka przebiec by mogła swobodnie setki metrów bez zderzenia z inną, aczkolwiek i wówczas jeszcze każdy milimetr sześcienny zawiera przeszło 30 milionów cząsteczek.

We Wszechświecie astronomicznym spotykamy daleko bardziej posunięte stopnie rozrzedzenia; w niektórych mgławicach cząsteczki gazu mogą wędrować miliony kilometrów bez zderzenia — tak skąpo rozsiane są w przestrzeni.

Mogłoby tu nasunąć się przypuszczenie, że cząsteczki gazu powinny dzięki tym nieustannym zderzeniom w krótkim czasie utracić całą swą prędkość: niewątpliwie byłoby tak w przypadku ziarenek śrutu, nie dzieje się to jednak z cząsteczkami gazu z powodów, o których będzie mowa za chwilę.

ENERGIA. Ilość prochu, użytego jako nabój do wyrzucenia pocisku ze strzelby, może służyć miarą «energii ruchu» udzielonej pociskowi. By wystrzelić z tą samą prędkością pocisk o podwójnej masie, należało by użyć dwa razy więcej prochu, ponieważ energia ruchu pocisku, jak zresztą każdego ciała poruszającego się, jest proporcjonalna do jego masy. Chcąc jednak wyrzucić tę samą kulę z prędkością dwa razy większą, musielibyśmy wziąć nie podwójny, lecz p o c z w ó r n y

nabój prochu, gdyż energia ruchu ciała poruszającego się jest proporcjonalna do *kwadratu prędkości*. Jest to rzecz dobrze znana automobilistom: jeśli hamulce pozwalają zatrzymać wóz na przestrzeni 10 metrów, gdy robi on 40 kilometrów na godzinę, to przy prędkości 80 km/godz. nie wystarczy 20 metrów, lecz będziemy zmuszeni hamować na przestrzeni 40 metrów. Podwójna prędkość wymaga do zahamowania cztery razy większej przestrzeni, ponieważ odpowiada jej tyleż razy większa energia ruchu. W ogóle *energia ruchu dowolnego ciała poruszającego się jest proporcjonalna zarówno do jego masy, jak i do kwadratu prędkości* *.

Jednym z wielkich dzieł dokonanych przez fizykę wieku dziewiętnastego było wykrycie ogólnego prawa, znanego jako «*zasada zachowania energii*». Energia istnieć może w wielkiej liczbie *f o r m* i może przechodzić z jednej postaci w drugą niemal nieograniczenie, *nigdy jednak nie może ulec zniszczeniu*. Energia ciała poruszającego się nie ginie, gdy ruch ustanie, przechodzi jedynie w inną postać. Gdy pocisk traci swą prędkość uderzając o tarczę, część jego energii ruchu idzie na *o g r z a n i e* tarczy, część zaś na ogrzanie lub nawet stopienie samego pocisku. Pod tą nową maską — ciepła — odnajdujemy dokładnie tę samą ilość energii; która zawarta była pierwotnie w ruchu pocisku.

Zgodnie z tą zasadą, *energia nie może być stworzona z niczego*; wszelka energia, istniejąca dzisiaj, istnieć musiała *z a w s z e*, aczkolwiek, być może, w zupełnie innej postaci. Tak np. proch strzelniczy zawiera znaczny zasób energii nagromadzonej w postaci energii *c h e m i c z n e j*; jak wiadomo,

* Wyraża to wzór matematyczny na energię ruchu (energię *kinetyczną*) ciała o masie m , poruszającego się z prędkością v : $E = \frac{1}{2} mv^2$. Jeżeli m wyrazimy w gramach, a v w centymetrach na sekundę, wówczas energia ruchu ciała wyraża się w tzw. *ergach*; erg zatem przedstawia energię kinetyczną ciała o masie 2 gramów (tak, iż $\frac{1}{2} m = 1$), poruszającego się z prędkością jednego centymetra na sekundę. Tak np. energia pociągu pociągów pocztowych o masie 300 ton ($3 \cdot 10^8$ g), biegnącego z prędkością 100 kilometrów na godzinę (2778 cm/sek) wynosi $1158 \cdot 10^{12}$ ergów; taką samą energię posiada pocisk działowy ważący tonę i poruszający się z prędkością 481 metrów na sekundę.

należy zachowywać odpowiednie ostrożności, by nie mogła ona wyzwolić się nagle i wyrządzić najrozmaitszych szkód przy wybuchu. Strzelba jest w istocie swej urządzeniem, służącym do wyzwalań energii odmierzonych ilości prochu i do przemiany możliwie największej jej części w energię kinetyczną pocisku. Gdy strzelamy do tarczy, określona ilość energii (wyznaczona przez wielkość użytego naboju) ulega przemianie przede wszystkim z energii chemicznej prochu w energię ruchu pocisku (a w mniejszym stopniu również w energię odrzutu strzelby), następnie zaś w energię cieplną, zawartą częściowo w pocisku, częściowo w tarczy. Mamy tu przykład szybko po sobie następujących przemian energii w trzy różne postaci. Całe życie Wszechświata można rozpatrywać jako *objawy przedzierzganego się energii w rozmaite jej formy*, a wszystkie w nim przemiany — jako przejścia energii z jednej z tych postaci w inną, zawsze jednak bez zmiany całkowitego jej zasobu. Taka jest treść wielkiej zasady zachowania energii.

Z pospolitszych form energii wymienić można energię elektryczną, np. energię naładowanego akumulatora lub chmury burzowej; potencjalną — zawartą np. w nakręconej sprężynie zegarka lub w podniesionym ciężarze zegara wahadłowego; chemiczną, nagromadzoną w prochu strzelniczym, w węglu, drzewie, czy ropie; energię ruchu, którą posiada np. kula karabinowa w locie; wreszcie — energię cieplną; przykład powstawania tej ostatniej mieliśmy choćby w przypadku zahamowania ruchu kuli karabinowej.

CIEPŁO. Ten ostatni przykład nie wyraża jakiegoś odosobnionego faktu: ogólnym prawem jest, że zasób ciepła może zwiększyć się tylko na koszt jakiejś innej postaci energii. Gdy np. chcemy ogrzać pokój, rozpalamy ogień, wyzwalaając część energii chemicznej, nagromadzonej w węglu lub w drzewie; albo też włączamy ogrzewacz elektryczny i prąd elektryczny przenosi do nas część tej energii, która została oswobodzona przez spalanie węgla w odległej elektrowni. Czymże jest jed-

nak ostatecznie ciepło i jak się to dzieje, iż jest ono jedną z postaci energii?

Ciepło zawarte bądź to w ciele stałym, bądź w cieczy, czy w gazie, *jest po prostu energią ruchu poszczególnych cząsteczek*. Ogrzewając powietrze w pokoju zwiększamy *prędkość ruchu* jego cząsteczek; całkowite ciepło jakiegoś ciała równa się całkowitej energii ruchu wszystkich jego cząsteczek. Pompując pneumatyk rowerowy przesuwamy tłok pompki naprzód, wbrew uderzeniom niezliczonych milionów cząsteczek powietrza zawartego w pompce; odrzucając odporne cząsteczki ze swej drogi tłok zwiększa prędkość ich ruchu. Przyrost energii ruchu cząsteczek jest to po prostu przyrost ilości ciepła, co możemy sprawdzić przy pomocy termometru, lub dotykając pompki ręką: jest ciepła.

ZDERZENIA CZĄSTECZEK. Powróćmy teraz do zagadnienia, o którym wspomnieliśmy na str. 114 i zastanówmy się, co zachodzi podczas zderzenia pomiędzy dwoma pociskami molekularnymi w gazie. Dwa pociski ołowiane, zderzające się ze sobą na polu bitwy, zamieniłyby niewątpliwie większą część swej energii kinetycznej na ciepło: ogrzałyby się, a może nawet stopiły. W jaki sposób jednak pociski molekularne mogłyby przemienić swą energię kinetyczną w cieplną? Dla nich ciepło i energia ruchu nie są dwiema *różnymi* formami energii, lecz *jednym i tym samym*: energia cieplna ich jest właśnie ich energią kinetyczną. Całkowity zasób energii musi być zachowany, nie ma zaś nowej postaci, którą mogłaby ona przybrać. Stąd wynika więc, że podczas zderzenia dwu takich pocisków cząsteczkowych może jedynie nastąpić *wymiana* pewnej ilości energii ruchu. Jeżeli przed zderzeniem energia kinetyczna wynosiła, powiedzmy, 7 i 5 jednostek, to po zderzeniu możemy mieć, zależnie od warunków, 6 i 6, 8 i 4, 9 i 3 albo jaką inną kombinację, której suma wynosi 12.

To samo dzieje się przy każdym zderzeniu: energia nie może tu ani zniknąć, ani ulec przekształceniu, tak iż pociski na molekularnym «polu bitwy» biegają bez końca, uderzając wzajemnie o siebie i nie czyniąc sobie przy tym krzywdy. Energia

kinetyczna ich wzrasta lub maleje, zależnie od tego, czy zderzenie było «pomyślne», czy nie, lecz grozić im mogą tylko wahania energii, nigdy zaś jej zupełna utrata; *ruch ich jest wieczny*, całkowita energia zaś tego ruchu ma wartość niezmienną.

EKWIPARTYCJA ENERGII. Wyobraźmy sobie teraz, że w ten bezładny rój pocisków molekularnych rzucamy kulę o wiele cięższą, niby kulę armatnią, z prędkością równą przeciętnej prędkości tamtych pocisków. Mówiliśmy już (str. 115), że energia ruchu owych pocisków jest proporcjonalna do iloczynu masy ciała przez kwadrat prędkości, w naszym więc przypadku, gdzie prędkości są mniej więcej równe, duży pocisk posiada więcej energii niż małe, po prostu dlatego, że ma większą masę. Jeśli przewyższa je pod względem masy np. tysiąckrotnie, niesie tyleż razy większą energię.

Jednakże ów ciężki pocisk nie będzie mógł długo «rozbijać się» wśród tłumu swych maleńkich towarzyszy z tym tak znacznym zasobem energii. Zaraz na początku spotka go grad pocisków, skierowanych «w pierś»; nieliczne zaś tylko uderzać go będą z tyłu, poruszają się bowiem prawie z tą samą prędkością, a więc nie łatwo im go dopędzić. Zresztą, jeśli nawet to nastąpi, to ciosy «w plecy» są bardzo słabe, właśnie wskutek tej niewielkiej różnicy prędkości. Natomiast grad uderzeń «w pierś» ma skutki bardzo poważne: każde z nich hamuje ruch wielkiego pocisku zmniejszając tym samym jego energię, przy czym energia małych pocisków wzrasta na koszt tamtej, ponieważ energia całkowita nie ulega zmianie.

Nasuwa się pytanie, jak długo będzie zachodziła taka wymiana energii? Czy może aż do chwili, gdy ciężki pocisk utraci cały posiadany zasób i znajdzie się w zupełnym spoczynku? Jest to zagadnienie czysto matematyczne, które rozwiązał ściśle Maxwell już w r. 1859. Wielki pocisk nie utraci całej swej energii; w miarę zmniejszania się jego prędkości, warunki przy zderzeniach ulegają zmianie, tak iż ostatecznie *energia dużego pocisku osiągnie wartość równą przeciętnej energii pocisków drobnych*. Począwszy od tej chwili zderze-

nia w równej mierze przyczyniają się do wzrostu, jak i do zmniejszania jego energii; będzie ona zatem *wahała się stale* dokoła wartości odpowiadającej średniej energii małych kulek.

Maxwell, a po nim inni badacze, wykazali, iż niezależnie od tego, jaką mieszaninę cząsteczek mamy w danym gazie i jak dalece różnią się one między sobą pod względem masy, ciągle zderzenia wzajemne prowadzą do stanu, w którym wszystkie cząsteczki, wielkie i małe, lekkie i ciężkie, posiadają tę samą energię średnią. Jest to *twierdzenie o ekwipartycji energii*.

Tak np. powietrze składa się z mieszaniny cząsteczek różnego rodzaju i o różnych masach: lekkich atomów helu, znacznie cięższych cząsteczek azotu, z których każda waży tyle, co 7 atomów helu oraz z cząsteczek tlenu ośmiokrotnie cięższych od atomów helu. W tym przypadku twierdzenie nasze orzeka, iż w każdej chwili średnia energia atomów helu, pomimo ich małej masy, jest dokładnie równa średniej energii cząsteczek azotu lub tlenu: cząsteczki lżejsze kompensują przy tym swą małą masę większą prędkością. To samo dotyczy oczywiście dowolnej innej mieszaniny gazów.

Prawdziwość twierdzenia o ekwipartycji energii sprawdzono doświadczalnie wieloma metodami. W r. 1846 Graham wyznaczył względne prędkości cząsteczek różnych gazów mierząc prędkość wypływu ich do próżni przez mały otworek w ścianie zbiornika; okazało się, iż prędkości cząsteczek są takie, że przeciętna energia cząsteczek różnych rodzajów jest dokładnie jednakowa. Twierdzenie, iż żadna cząsteczka nie może posiadać trwale więcej energii, niż jej towarzyszy, wyraża zatem *ogólne prawo przyrody*; co się tyczy energii ruchu, gaz jest ustrojem opartym ściśle na zasadach komunistycznych, w którym nieubłagane prawo zmusza cząsteczki do równego i sprawiedliwego podziału ich zasobów energii.

Przeciętna energia ruchu cząsteczek w gazie jest proporcjonalna do jego temperatury — jest to nawet określeniem temperatury. Musimy ją jednak przy tym wyrazić nie w skali

Celsjusa lub Fahrenheita, lecz w tak zwanej «skali bezwzględnej», w której zero przypada przy -273° Celsjusza. To «zero bezwzględne», będące temperaturą ciała, które więcej ciepła już stracić nie może, jest *najniższą temperaturą możliwą*. W laboratorium możemy zbliżyć się doń na mały ułamek stopnia, przy czym wszystkie gazy: powietrze, wodór, a nawet najtrwalszy z nich hel, krzepną na ciała stałe. Termometr umieszczony gdzieś w przestrzeni międzygwiazdowej, z dala od wszystkich gwiazd, wskazywałby temperaturę prawdopodobnie tylko o cztery stopnie wyższą od zera bezwzględnego; jeszcze niższe temperatury muszą występować poza granicami układu galaktycznego.

To samo prawo ekwipartycji, z nieznacznymi zmianami, odnosi się również do ciał stałych i ciekłych.

W cieczech i gazach można istotnie wykonać doświadczenie analogiczne do rzucenia owej fikcyjnej wielkiej kuli w tłum pocisków mniejszych; weźmy mianowicie pewną ilość ziarenek jakiegoś bardzo subtelnego proszku, np. gumiguty lub lycopodium i niech odgrywają on rolę «nadcząsteczek» wśród zwykłych cząsteczek gazu czy płynu. Przy pomocy silnego mikroskopu możemy stwierdzić, iż owe «nadcząsteczki» nie znajdują się nigdy w zupełnym spoczynku, lecz wykonywają drobne ruchy, nieustannie bowiem uderzają je mniejsze od nich, niewidzialne «prawdziwe» cząsteczki. Wygląda to, jak gdyby były one chore na chroniczny taniec św. Wita, nie słabnący ani trochę z biegiem czasu. Ruchy te znamy pod nazwą «*ruchów Browna*», od nazwiska botanika Roberta Browna, który pierwszy zaobserwował je w soku roślin; początkowo sądził on, że cząstki obdarzone tym ruchem są organizmami żywymi, porzucił jednak to przypuszczenie, przekonawszy się, iż drobne cząstki wosku okazywały ruchy podobne. Perrin zdołał przy pomocy licznych, niezmiernie subtelnych doświadczeń nie tylko okazać, lecz dokładnie wymierzyć ruchy brownowskie maleńkich ziarenek substancji stałych, potrącanych ze wszystkich stron przez cząsteczki powietrza lub innego gazu i obliczył stąd z wysokim stopniem ścisłości masy cząsteczek tych gazów.

Cząsteczki ciała stałego nie posiadają znaczniejszej energii, nie poruszają się więc zbyt szybko; sąsiednie cząsteczki trzymają je tak silnie, że niewielka energia ich ruchu jedynie bardzo rzadko umożliwi im zmianę położenia w stosunku do cząsteczek otaczających. Przy ogrzewaniu ciała stałego jego cząsteczki uzyskują większą energię, poczynają zatem poruszać się szybciej; po pewnym czasie prędkości te są takie, że cząsteczki mogą drwić z więzów, którymi starają się je przytrzymać sąsiadki. Każda z cząsteczek ma wówczas dość energii ruchu na to, by móc udać się tam, gdzie jej się podoba, tak iż mamy już do czynienia z tłumem cząsteczek poruszających się niezależnie jedna od drugiej, potrącających się wzajemnie i przeciskających się obok siebie: substancja przeszła w stan płynny. Lód stopniał i zamienił się w wodę; więzy ciała stałego uległy złuźnieniu i cząsteczki mogą się przesuwąć swobodnie jedna obok drugiej. Oddziałują one wprowadzić w dalszym ciągu na swe sąsiadki, siły te są jednak zbyt małe, by ruch ten uniemożliwić. Ogrzewajmy ciecz dalej, zwiększając jeszcze bardziej energię kinetyczną cząsteczek: poczynają one wyzwalać się całkowicie ze swych więzów i wybiegają swobodnie w przestrzeń, tworząc gaz czyli parę. Jeżeli dostarczamy ciepła w dalszym ciągu, z czasem cała masa danej substancji przejdzie w stan gazowy; dalsze ogrzewanie gazu zwiększa jedynie prędkość ruchu cząsteczek, a więc ich energię kinetyczną.

ATOMY

W stanie gazowym każda oddzielna cząsteczka posiada te same własności chemiczne, co substancja stała lub ciekła, od której cząsteczka się oderwała; tak np. cząsteczki pary wodnej zwilżają sól i cukier lub łączą się z substancjami «spragnionymi», jak wapno niegaszone, chlorek wapnia itp., zupełnie tak samo, jak woda.

Czy można podzielić cząsteczki na ziarnka jeszcze drobniejsze? Lukrecjusz i jego poprzednicy odpowiedzieliby

na to pytanie oczywiście przecząco. Jednakże proste doświadczenie (zresztą całkowicie dla nich niedostępne) wykaże nam z łatwością, że byli w błędzie.

Zanurzymy dwa końce drutów obwodu zwykłego dzwonka elektrycznego w szklance z wodą; stwierdzimy wówczas, że gromadzą się na nich pęcherzyki gazu, przy czym analiza chemiczna okazuje, że gazy na obu drutach mają zupełnie różne własności. Nie są one zatem oba parą wodną, a nawet żaden z nich nią nie jest: jeden jest w o d o r e m, drugi — t l e n e m. Wodoru powstaje dwa razy więcej niż tlenu, skąd wnioskujemy, że prąd elektryczny rozłożył każdą cząsteczkę wody na dwie części wodoru i jedną tlenu. *Owe mniejsze cząstki, na które rozpada się drobina, nazywamy «atomami».* Każda drobina wody składa się z dwu atomów wodoru (H) i jednego atomu tlenu (O), co wyraża wzór chemiczny wody H_2O .

Substancję złożoną wyłącznie z atomów j e d n e g o r o d z a j u nazywamy p i e r w i a s t k i e m, natomiast jeśli zawiera więcej niż jeden rodzaj atomów, mamy do czynienia ze z w i ą z k i e m. Tak np. wodór i tlen są pierwiastkami, lecz woda, która jest wynikiem ich chemicznego połączenia się, jest związkiem.

Wszystkie niezliczone rodzaje rzeczy, które spotykamy na Ziemi — buty i okryty, lak i kapusta, królowie i cieśle, wieloryby i ostrygi, jednym słowem wszystko, co tylko przyjdzie nam na myśl — może być rozłożone na atomy składowe przy pomocy wyżej opisanej czy innej metody. Można by przypuszczać, że z tak wielkiej obfitości rozmaitych substancyj otrzymamy niewyobrażalnie wielką liczbę różnych rodzajów atomów: w rzeczywistości wszakże liczba ta jest b a r d z o n i e z n a c z n a. Spotykamy wciąż takie same atomy; ogromna różnorodność substancyj, występujących na Ziemi, nie jest wynikiem wielkiej różnorodności wchodzących w ich skład atomów, lecz wielkiej liczby k o m b i n a c y j niewielu typów zasadniczych, podobnie, jak w technice druku barwnego przez kombinację trzech barw możemy otrzymać prawie wszystkie barwy występujące w przyrodzie, nie mówiąc już o innych dziwnych odcieniach, jakich nikt i nigdzie nie widział.

Analiza wszystkich znanych na Ziemi substancyj ujawniła dotychczas tylko 92 zasadniczo różnych rodzajów atomów *. Nawet spośród tych 92 znanych «*pierwiastków*» większość spotyka się nadzwyczaj rzadko, a wszystkie substancje pospolitsze składają się z kombinacji atomów 14 pierwiastków, a mianowicie: wodoru (H), węgla (C), azotu (N), tlenu (O), sodu (Na), magnezu (Mg), glinu (Al), krzemu (Si), fosforu (P), siarki (S), chloru (Cl), potasu (K), wapnia (Ca) i żelaza (Fe).

A zatem cała Ziemia, wraz z nieskończoną mnogością znajdujących się na niej ciał, zbudowana jest z cegiełek «*znormalizowanych*» — *atomów*, spośród których tylko czternaście typów wydajnie zużytkowano przy budowie, reszta zaś występuje jedynie w charakterze rzadkich okazów.

Widzieliśmy już poprzednio (str. 36), że w widmie światła gwiazdy ujawnia się skład chemiczny jej atmosfery. Jeśli pominiemy nieliczne i mało ważne wyjątki, można stwierdzić, że każdy prążek w widmach gwiazd pochodzi od atomów jednego ze znanych na Ziemi typów. Tak więc cały Wszechświat jest — jak się zdaje — zbudowany z t y c h s a m y c h 92 pierwiastków, jakie znamy na Ziemi; należy tu jednak przyznać, że nie posiadamy bezpośrednich danych o tym, jakie atomy istnieją we w n ę t r z u gwiazd.

Zobaczmy w dalszym ciągu (str. 184, 185), że *stosunkowa obfitość* atomów różnych rodzajów jest mniej więcej taka sama w gwiazdach jak na Ziemi. Tak np. spośród 14 pierwiastków najpospolitszych u nas 12 występuje obficie również na gwiazdach. Jest to łatwo zrozumiałe, jeśli zważymy, iż Ziemia powstała prawdopodobnie z kondensacji gazów oderwanych od jednej z gwiazd, mianowicie od Słońca (str. 275). Wodór i hel są na Ziemi rzadsze niż w atmosferach gwiazdowych, jednak i na to mamy wytłumaczenie. Gdy Ziemia była jeszcze bryłą złożoną z gorących gazów, jej przyciąganie grawitacyjne nie wystarczało do przytrzymania szybko poruszających się ato-

* Włączając tu pierwiastki wytworzone sztucznie w latach ostatnich, otrzymamy przynajmniej 94 pierwiastki, które można uważać za znane. (Przyp. tłum.)

mów tych substancyj (str. 237), tak iż musiały one wkrótce rozproszyć się w przestrzeni opuszczając Ziemię już na zawsze. Dlatego to tak mało helu pozostało w atmosferze ziemskiej, wodór zaś znajdujemy tylko w połączeniach z innymi atomami w substancjach złożonych.

BUDOWA ATOMU. Do niedawna jeszcze uważano atomy za trwale podstawowe cegiełki, z których zbudowany jest Wszechświat; wszystkie zachodzące w nim zjawiska miały polegać jedynie na zmianach w rozmieszczeniu trwałych i niezniszczalnych atomów; podobnie dziecko ze swych cegiełek budować może wiele najrozmaitszych konstrukcyj. Historia fizyki XX wieku — to przede wszystkim dzieje obalania tego poglądu.

Już pod koniec ubiegłego stulecia Crookes, Lenard i przede wszystkim J. J. Thomson pierwsi rozpoczęli pracę nad burzeniem atomu. Twory te, uważane od 2000 lat przeszło za niezniszczalne elementy budowy Wszechświata, poddają się łatwo, jak stwierdzono, odłupywaniu drobnych fragmentów. Kamień graniczny w rozwoju tych badań przypada na rok 1897, gdy Thomsonowi udało się wykazać, że fragmenty owe są zawsze *te same*, niezależnie od rodzaju atomów, od których je oderwano: posiadają wszystkie *tę samą masę* i niosą *jednakowe naboje elektryczności ujemnej*. Tej ostatniej własności zawdzięczają swą nazwę «elektronów». Atom nie może jednak składać się tylko z elektronów, gdyż musiałby w tym przypadku posiadać, jako całość, również nabój ujemny. Dwa naboje elektryczności ujemnej odpychają się wzajemnie, podobnie jak i dwa naboje dodatnie, natomiast dwa naboje o znakach przeciwnych przyciągają się wzajemnie. Na tej podstawie nie trudno stwierdzić, czy jakieś ciało lub pewien układ posiadają nabój dodatni, ujemny, czy też nie posiadają żadnego. Jak wykazuje obserwacja, całkowity atom jest elektrycznie obojętny, tak iż *musi on zawierać nabój dodatni* takiej wielkości, aby wystarczał do zubożenia łącznego naboju ujemnego wszystkich elektronów.

W r. 1911 doświadczenia Rutherforda i innych od-

słoniły nam, w głównych przynajmniej zarysach, architekturę atomu. Jak zobaczymy wkrótce (str. 133), sama Przyroda zaopatruje nas w niewyczerpany zasób niezmiernie małych cząstek naładowanych elektrycznością dodatnią i poruszających się z olbrzymimi prędkościami: są to *cząstki α* wyrzucane przez *ciała promieniotwórcze*. Metoda *Rutherforda* polegała na obserwacji wyników bombardowania atomów tymi pociskami; okazało się przy tym, że ogromna ich większość przenika przez atom, jak gdyby go wcale nie było. Można by to porównać ze strzelaniem do ducha.

Nie cały jednakże atom jest tak niematerialny. Niewielki ułamek ogólnej liczby pocisków — może jeden na 10 000 — zbaczał ze swej drogi, jakby napotkały one coś naprawdę substancjalnego; obliczenie wykazało, że przeszkodami tymi mogą być tylko owe dodatnie naboje wewnątrz atomu.

Z dokładnej analizy dróg owych pocisków wynika, że *cały dodatni nabój atomu jest ześrodkowany w jednym niezmiernie małym obszarze*, o rozmiarach rzędu wielkości *bilionowej części centymetra*. Na tym oparł się *Rutherford*, tworząc teorię budowy atomu, która zazwyczaj nosi jego nazwisko. Przypuszcza on, że *natura i własności chemiczne atomu zależą od ciężkiego, lecz niezmiernie małego «jądra»* środkowego o naboju elektrycznym dodatnim, wokół którego krąży pewna liczba elektronów ujemnych. Założenie, że elektrony w atomie znajdują się w *ruchu*, było niezbędne, w przeciwnym bowiem razie przyciąganie wzajemne naboju różnoimiennych zmusiłoby natychmiast elektrony do spadku na jądro centralne, podobnie jak skutek przyciągania grawitacyjnego Ziemia spadłaby na Słońce, gdyby nie posiadała ruchu orbitalnego. Jednym słowem, *atom Rutherforda zbudowany jest analogicznie do układu słonecznego*, przy czym masywne jądro centralne odgrywa rolę Słońca, elektrony zaś — rolę planet.

Wspominaliśmy już, że nauka nie może spodziewać się, by udało się jej kiedykolwiek odkryć prawdziwą naturę składników świata materialnego; z samej istoty rzeczy musi ograniczać się do tworzenia obrazów czy modeli, które by tłuma-

czyły i wyjaśniały niektóre spośród obserwowanych właściwości materii; gdy jeden model zawodzi, musimy go uzupełnić innym, który z kolei może okazać się nieodpowiednim przy innych własnościach materii — i tak dalej.

Model atomu podany przez Rutherforda nie zdaje sprawy ze wszystkich tych właściwości, wyjaśnia jednak wiele spośród nich i przy tym właśnie takie, które są ważne dla obecnych naszych rozważań. Dlatego też będziemy w dalszym ciągu przy opisie atomu stali na gruncie modelu Rutherforda uzupełnionego później przez Bohra i innych.

W modelu tym elektrony obiegają dokoła jądra z prędkościami dokładnie wystarczającymi na to, aby przeszkodzić im w spadku na jądro. Prędkości te są, jak się okazuje, olbrzymie: przeciętnie biorąc, elektron obiega jądro kilka tysięcy bilionów razy w sekundzie z prędkością setek kilometrów na sekundę. Tak więc pomimo małych rozmiarów orbit, elektrony posiadają na swych torach prędkości większe niż planety lub nawet gwiazdy.

Orbity elektronowe zajmują pewien obszar dokoła jądra i przeszkadzają w ten sposób innym atomom zbyt zbliżyć się do niego, dzięki czemu wyznaczają to, co nazywamy zwykle «rozmiarami» atomu. Obszar przestrzeni zajęty przez owe orbity jest nieporównanie większy od łącznej objętości samych elektronów: można by to porównać ze stosunkiem wielkości pola bitwy i pocisków. Atom o promieniu około $2 \cdot 10^{-8}$ cm przewyższa pod względem średnicy 100 000 razy, a pod względem objętości tysiąc bilionów razy pojedynczy elektron, którego promień wynosi tylko około $2 \cdot 10^{-13}$ cm. Rozmiary jądra są co najwyżej porównywalne z rozmiarami elektronu, a nawet mogą być od nich mniejsze, jakkolwiek masa jądra przewyższa 3 do 4 tysięcy razy łączną masę wszystkich elektronów w atomie.

Opisywaliśmy już poprzednio ową niezmierną pustkę, jaka panuje w przestworzach astronomicznych. Obierzmy sobie dowolnie jakiś punkt w przestrzeni: prawdopodobieństwo, że natrafimy w nim właśnie na gwiazdę, jest niesłychanie małe. Nawet układ słoneczny składa się w przeważnej części z prze-

strzeni pustej; i w tym przypadku szansa spotkania w obranym na los szczęścia miejscu planety, komety, czy nawet jakiegoś meteorytu, jest znikomo mała. Teraz znów przekonywamy się, że ta sama pustka panuje też w tych przestrzeniach, którymi zajmuje się fizyka. We wnętrzu atomu mamy również jedną szansę przeciw bilionom, że w pewnym dowolnie obranym punkcie napotkamy coś «materialnego». Widzieliśmy, że sześć pyłków unoszących się wewnątrz dworca Waterloo reprezentuje — i to z nadmiarem — wypełnienie przestrzeni przez gwiazdy. W podobnym porównaniu kilka os (sześć, jeżeli chodzi o atom węgla) bujających w halach dworca Waterloo ilustruje stopień wypełnienia przestrzeni atomu przez elektrony; reszta jest pustką. Gdy przebiegamy myślą cały Wszechświat, od olbrzymich mgławic i niezmiierzonych przestworzy międzygwiazdowych i międzymgławicowych aż do atomu, przesuwając się przed nami prawie wyłącznie przestrzeń pusta. *Żyjemy we Wszechświecie utkany z pajęczyny*; mamy w nim obfitość kształtu i planu, lecz substancja materialna jest rzadkością.

LICZBY ATOMOWE. Poszczególne pierwiastki otrzymały nazwy, jak: wodór, hel, argon itd., zazwyczaj związane z jakąś właściwością danego pierwiastka lub z okolicznościami towarzyszącymi jego odkryciu. Tak więc wodór ma swe imię stąd, że jest on głównym składnikiem wody; hel — wykryto na przód na Słońcu (helios); argon ($\alpha\text{-}\epsilon\rho\gamma\omega\nu$) nazywa się tak dlatego, że jest on gazem nieczynnym, nie łączy się z innymi pierwiastkami, tak iż cała jego działalność we Wszechświecie polega jedynie na — istnieniu.

Byłoby rzeczą o wiele prostszą, aczkolwiek mniej malowniczą, gdybyśmy się zgodzili oznaczać pierwiastki liczbami: 1, 2, 3, 4, Okazuje się bowiem, że własności chemiczne pierwiastków oraz budowa ich atomów są ściśle związane z liczbami całkowitymi 1, 2, 3, 4, Oznaczają one *liczbę elektronów* krążących po orbitach w atomach odpowiednich pierwiastków i noszą nazwę «*liczb atomowych*» czyli «*porządkowych*» tych pierwiastków. Poznano dotychczas atomy o liczbach porządkowych od 1 do 94, istnieją więc

94 «pierwiastki» o liczbach porządkowych tworzących nieprzerwany ciąg od 1 do 94.

Atom o liczbie porządkowej 1 jest oczywiście najprostszym ze wszystkich. Jest to atom wodoru, w którym pojedynczy elektron okrąża jądro o naboju dodatnim, dokładnie równym co do wielkości, choć z przeciwnym znakiem, naładowi elektronu ujemnego. Doświadczenia wykazują, że jądro posiada tu masę około 1847 razy większą od masy elektronu. Można więc z dużym przybliżeniem założyć, że cała masa atomu jest skoncentrowana w jądrze. Jak zobaczymy wkrótce, odnosi się to do atomów wszystkich rodzajów.

Z kolei mamy atom helu o liczbie porządkowej 2; dwa elektrony obiegają tu dokoła jądra czterokrotnie cięższego od jądra wodoru, lecz posiadającego tylko dwa razy odień większy nałój dodatni. Następnie idzie atom litu o liczbie porządkowej 3, zawierający trzy elektrony oraz jądro o masie siedem razy większej niż jądro wodorowe i o trzy razy większym naboju. I tak dalej, dopóki nie dotrzemy do atomu uranu, najcięższego ze wszystkich znanych na Ziemi atomów, w którym 92 elektrony opisują swe orbity dokoła jądra ważącego 238 razy tyle, co jądro wodoru*.

Właściwości chemiczne atomu są w zupełności uzależnione od jego liczby porządkowej. Jak zobaczymy w dalszym ciągu, mogą istnieć różne od siebie atomy, które posiadają tę samą liczbę porządkową i te same cechy chemiczne. Tak np. istnieje dziesięć** rodzajów atomów o tym samym numerze porządkowym 50, wszystkie one jednak mają własności chemiczne zwykłej cyny.

CIEŻARY ATOMOWE. Na podstawie omówionego już modelu gazu, jako zbiorowiska cząsteczek obdarzonych ruchem bezładnym, można wysnuć wniosek, że liczba cząsteczek w pewnej określonej objętości gazu *nie zależy od jego natury che-*

* Oraz do sztucznych pierwiastków 93 (neptun) i 94 (pluton). (Przyp. tłum.)

** Por. cdsyłacz na str. 130 (Przyp. tłum.)

micznej, a tylko od objętości, ciśnienia i temperatury gazu. Aby sobie uprzytomnić, jak osobliwe jest to prawo, rozpatrzmy konkretny przykład. Weźmy dwie butelki jednakowych rozmiarów i postawmy je obok siebie, aby miały obie tę samą temperaturę. W korkach zamykających butelki są małe otworki, dzięki czemu wewnątrz nich będzie panować jednakowe ciśnienie — mianowicie atmosferyczne. Niech jedna z flaszek zawiera gaz najlżejszy jaki znamy — wodór, druga zaś jakiś gaz cięższy, np. tlen. Przytoczone wyżej prawo orzeka, iż w obu butelkach zawiera się dokładnie ta sama liczba cząsteczek, mimo że różnią się one tak bardzo między sobą we wszystkich swych właściwościach.

Ważąc owe butelki przekonamy się, że tlen w jednej z nich ma ciężar blisko szesnaście razy większy niż wodór zawarty w drugiej. Wnioskujemy stąd, że każda cząsteczka tlenu musi ważyć blisko 16 razy więcej niż cząsteczka wodoru. W ten sposób można więc wyznaczyć *względne ciężary cząsteczek* różnych substancyj.

Od dawna już wiadano, że ciężary te znajdują się względem siebie w prostych stosunkach: w istocie, zwykle można je wyrazić dokładnie lub prawie dokładnie jako *całkowite wielokrotności określonego ciężaru jednostkowego*. Jest nim w przybliżeniu ciężar atomu wodoru, korzystniej jednak wziąć za jednostkę szesnastą część ciężaru atomu tlenu, wówczas bowiem ciężary rozmaitych atomów okazują się jeszcze bardziej zbliżone do *całkowitych wielokrotności* tej jednostki.

Ciężar cząsteczki czy też atomu dowolnego rodzaju wyrażony w tych jednostkach nazywamy «*ciężarem cząsteczkowym*» względnie «*atomowym*» danej cząsteczki czy danego atomu. W ogólności atomy o wyższej liczbie porządkowej posiadają również większy ciężar atomowy: gdy jedna z tych liczb wzrasta, z drugą dzieje się to samo. Z wyjątkiem wodoru oraz atomów najcięższych ciężar atomowy jest zwykle mniej więcej *dwa razy* większy od liczby porządkowej. Oto przykłady:

Pierwiastki	Liczba atomowa	CieŜar atomowy
Wodór	1	1
Hel	2	4
Węgiel	6	12
Azot	7	14
Tlen	8	16
Cyna	50	118,7
Rtęć	80	200,6

IZOTOPY. Dawniej przypuszczano, że starannie oczyszczona próbka jakiegoś pierwiastka, np. rtęci lub chloru, składa się z atomów zupełnie podobnych do siebie, z których każdy ma nie tylko tę samą liczbę atomową, lecz również ten sam ciężar atomowy. Obecnie wiemy jednak, że atomy tego samego pierwiastka chemicznego mogą istnieć w kilku różnych odmianach, zwanych «izotopami», które różnią się od siebie ciężarami atomowymi.

Gdy uwzględnimy fakt istnienia izotopów, okazuje się, iż ciężary atomowe jeszcze bardziej zbliżają się do liczb całkowitych. Tak np. ciężar atomowy chloru wynosi 35,5, co miało oznaczać, że czysty chlor składa się z atomów, z których każdy jest 35,5 razy cięższy od atomu wodoru. Otóż Aston stwierdził, że chlor jest *mieszaniną* atomów dwóch różnych typów, o ciężarach atomowych 35 i 37 (ściślej 34,980 i 36,978), przy czym ilości ich w mieszaninie mają się jak 3 do 1, co daje przeciętny ciężar atomowy 35,5. Podobnie, rtęć o średnim ciężarze atomowym 200,6 okazała się mieszaniną siedmiu izotopów o ciężarach 196, 198, 199, 200, 201, 202 i 204. Cyna, o ciężarze atomowym 118,7, jest mieszaniną dziesięciu izotopów: 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 122 i 124*.

Nawet najprostsze substancje okazują się obecnie mieszaniną izotopów. Wodór składa się z trzech izotopów o ciężarach 1, 2 i 3 czy też dokładniej: 1,0081, 2,0142 i 3,016. Hel jest

* Zestawienia izotopów przytoczono według ostatnich danych. Autor przytacza 9 izotopów rtęci i 11 cyny. (Przyp. tłum.)

również mieszaniną trzech izotopów: 3, 4 i 5, lub ściślej: 3,0172, 4,0034 i 5,01 *.

PROTONY I NEUTRONY. Liczba atomowa pierwiastka musi być dokładnie całkowita, ponieważ zewnętrzna sfera atomu składa się z całkowitej liczby podobnych jednostek — elektronów. Wspomniane przed chwilą fakty dotyczące ciężarów atomowych dawno już nasunęły przypuszczenie, że wewnętrzna część atomu — masywne jądro — musi być zbudowana również z całkowitej liczby podobnych do siebie jednostkowych cegiełek. Cegielką taką mogłoby być tylko *jądro atomu wodoru*, zwane *protonem*. Ciężar atomowy każdego atomu wyrażałby się więc liczbą całkowitą dlatego, że jądro, w którym skoncentrowana jest masa atomu, zawierałoby całkowitą liczbę protonów.

Przypuszczenie takie napotyka jednak na trudności. Atom wodoru, podobnie jak wszystkie inne atomy, jest elektrycznie obojętny — całkowity nabój jego części składowych równa się zeru. Ponieważ mamy tu dwa tylko składniki, elektron i proton, wynika stąd, że proton musi mieć *nabój dodatni* równy co do wielkości ujemnemu naboju elektronu.

Wyjaśnia to doskonale budowę normalnego atomu wodoru, lecz zawodzi w przypadku normalnego atomu helu. Posiada on bowiem liczbę porządkową 2, lecz ciężar atomowy 4, tak iż zgodnie z naszym przypuszczeniem, jądro helu powinno zawierać cztery protony; ponieważ jednak dokoła jądra krążą tylko dwa elektrony, pozostałby nie z o b o j ę t n i o n y nabój dodatni równy naboju dwóch elektronów.

Obecnie wyobrażamy sobie, że jądro każdego atomu, z wyjątkiem atomu wodoru, zawiera cząstki dwóch rodzajów: już opisane *protony* oraz tzw. *neutrony* (str. 137). Neutron posiada prawie ten sam ciężar co proton, *pozbawiony jest wszakże naboju elektrycznego*. Jądro każdego atomu zawiera dokładnie

* Izotop wodoru o ciężarze 3 jest nietrwały (sztucznie promieniotwórczy); trwałe izotopy wodoru istnieją tylko dwa: wodór zwykły i ciężki o ciężarze 2 (deuter). Podobnie hel 5 jest nietrwały. (Przyp. tłum.)

tyle protonów, ile potrzeba do zubożenia ujemnego naboju elektronów zewnętrznych, natomiast neutrony dają jądrze resztę jego masy. W ten sposób więc liczba porządkowa wskazuje zarówno liczbę protonów jak elektronów w atomie. Jeżeli ciężar atomowy jest dokładnie dwa razy większy od liczby porządkowej, podaje ona także liczbę neutronów w jądrze. Różne izotopy danego pierwiastka posiadają oczywiście różne liczby neutronów, liczba protonów zaś jest w nich ta sama.

Przykłady mamy w przytoczonej tabliczce, która podaje skład wszystkich wyżej wspomnianych pierwiastków i izotopów.

Pierwiastek	L. porządkowa (l. elektronów).	Ciężar atomowy (liczba neutronów + protonów).	Liczba protonów	Liczba neutronów
Wodór	1	1, 2	1	0, 1
Hel	2	3, 4	2	1, 2
Węgiel	6	12, 13	6	6, 7
Azot	7	14, 15	7	7, 8
Tlen	8	16, 17, 18	8	8, 9, 10
Cyna	50	112, 114 — 120, 122, 124	50	62, 64 — 70, 72, 74
Rtęć	80	196, 198 — 202, 204	80	116, 118 — 122, 124

PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ

W czasie, gdy fizyka zajęta była jeszcze rozbijaniem atomu na jego części składowe, dokonano nowego odkrycia, mianowicie, że *same jądra nie są bynajmniej czymś bezwzględnie trwałym i niezniszczalnym*. W r. 1896 Becquerel wykrył, że rozmaite substancje zawierające uran posiadają zaskakującą własność działania na kliszę fotograficzną, umieszczoną w pobliżu. Spostrzeżenie to doprowadziło do odkrycia nowej własności materii, mianowicie *promieniotwórczości*. Wszystkie wyniki badań nad promieniotwórczością, uzyskane

w ciągu kilku lat następnych, zostały objęte i uporządkowane przez hipotezę «samorzutnego rozpadu promieniotwórczego», podaną przez Rutherforda i Soddy'ego w r. 1903. W jej dzisiejszej postaci hipoteza ta przyjmuje, że *promieniotwórczość jest związana z samorzutnym rozpadem jąder atomowych pierwiastków promieniotwórczych*. Atomy te są tak dalece nietrwałe, że jądra ich kruszą się z biegiem czasu; coś, co było niegdyś jądrem atomu uranu, przekształca się po upływie dostatecznie długiego czasu w jądro atomu ołowiu.

Ten proces przemiany nie jest momentalny: odbywa się on stopniowo, przechodząc przez kolejne stadia. W ciągu tej ewolucji substancja wysyła *trzy rodzaje «promieni»*: *alfa*, *beta* i *gamma* (α , β i γ).

Wszystkie te produkty rozpadu promieniotwórczego nazywano początkowo «promieniami», ponieważ okazują one zdolność przenikania przez warstwy powietrza, metalu lub innych substancyj; prawdziwa natura ich została wykryta dopiero później. Wiadomo dobrze, że siły magnetyczne, występujące np. w przestrzeni pomiędzy biegunami magnesu, odchylają ciało naelektryzowane, biegnące po linii prostej, z jego drogi w tym lub innym kierunku, zależnie od tego, czy niesie ono ładunek dodatni, czy ujemny. Przepuszczając promienie wysyłane przez ciała promieniotwórcze pomiędzy biegunami potężnego elektromagnesu stwierdzono, że promienie α składają się z cząstek naelektryzowanych dodatnio, promienie β zaś — z cząstek naładowanych elektrycznością ujemną. Jednakże najpotężniejsze siły magnetyczne nie zdołały w najdrobniejszej nawet mierze odchylić promieni γ , skąd wynioskowano, że albo promienie te w ogóle nie są cząstkami materialnymi, albo też, jeżeli są nimi, to nie mają żadnego ładunku elektrycznego. Okazało się z dalszych badań, że prawdziwe jest pierwsze przypuszczenie.

CZĄSTKI ALFA. Ciała dodatnio naelektryzowane, stanowiące promienie α , nazywa się zazwyczaj «cząstkami α ». W doświadczeniu Rutherforda i Roydsa, wykonanym w r. 1909, cząstki α przenikały przez cienką ściankę szklaną,

o grubości mniejszej od jednej setnej milimetra, do naczynka, z którego nie mogły już potem umknąć; — była to jakby pułapka na cząstki α . W wyniku doświadczenia otrzymano po dłuższym czasie nagromadzenie się nie cząstek α , lecz gazu helu, najprostszego pierwiastka gazowego po wodorze. W ten sposób wykazano, że *dodatnio naładowane cząstki α są po prostu jądrami atomów helu*; jako dodatnio naelektryzowane cząstki α przyłączyły ujemne elektrony ze ścian naczynka, tworząc w rezultacie zbiór całkowitych (obojętnych) atomów helu.

Cząstki α poruszają się z *olbrzymimi prędkościami*, które zależą od rodzaju ciała promieniotwórczego, będącego ich źródłem. Najszybsze ze wszystkich, wysyłane przez tor C', biegną z prędkością 20 600 km na sekundę, a nawet najpowolniejsze, uranu I, mają jeszcze prędkość 14 200 km na sekundę, tzn. 30 000 razy większą od przeciętnej prędkości ruchu cząsteczek powietrza. Cząstki, poruszające się z takimi prędkościami, odrzucają wszystkie drobiny zwykłe ze swej drogi, co tłumaczy wielką przenikliwość promieni α .

CZĄSTKI BETA. Badając wpływ pola magnetycznego na ruch promieni β stwierdzono, że składają się one z *ujemnie naładowanych elektronów*, identycznych z tymi, które otaczają jądra wszystkich atomów. Ponieważ nabój dodatni cząstki α jest równy co do wielkości naboju dwu elektronów, więc atom, który wyrzucił z siebie cząstkę α , posiada niedobór ładunku dodatniego, czyli, co na to samo wychodzi, ma nabój ujemny równy naboju dwóch elektronów. Jest więc rzeczą naturalną a nawet wprost konieczną, że na przemian z wyrzucaniem cząstek α zachodzi wyrzucanie elektronów ujemnych (na jedną cząstkę α dwóch elektronów), tak aby została zachowana równość naboju dodatniego i ujemnego w atomie. Cząstki β poruszają się z prędkościami jeszcze większymi niż α , różniącymi się w niektórych przypadkach zaledwie o parę setnych od prędkości światła (300 000 km/sek).

Była wyżej mowa o tym, że jądro atomu zawiera jedynie protony i neutrony; powstaje zatem pytanie, skąd się biorą

te elektrony. Najprostszym rozwiązaniem jest traktować neutron jako cząstkę złożoną z protonu i elektronu ściśle zespolonych. Podczas rozpadu promieniotwórczego neutron może rozpaść się na swe dwa składniki: elektron wybiega z atomu, proton zaś pozostaje w jądrze.

Jedno z najpiękniejszych doświadczeń znanych w fizyce, obmyślone przez prof. C. T. R. Wilsona, pozwala na badanie dróg oddzielnych cząstek α i β , przedzierających się przez tłum cząsteczek gazu. Naczynie, w którym biega promienie, jest wypełnione parą wodną w stanie takim, że cząstka naelektryzowana, przebiegając przez nie, pozostawia za sobą ślad złożony z szeregu drobnutkich kropelek skroplonej pary, który można sfotografować. Nie możemy dostrzec samych cząstek α lub β , lecz widzimy wytworzony przez nie ślad ze skroplonej pary, podobnie jak możemy dostrzec smugę mgły wytworzoną przez samolot, który leci zbyt wysoko, aby można było go spostrzec.

Na fotografii przedstawionej na tabl. XXV (str. 136) wiadać ślady przebiegu zarówno cząstek α , jak β . Cztery proste grube linie są to ślady cząstek α ; linie zakrzywione i zarysowane o wiele słabiej przedstawiają tory cząstek β . Cząstki α , o masie około 7400 większej niż cząstki β , powodują oczywiście większe zaburzenie w gazie, pozostawiając ślady szersze i wyraźniejsze; tory ich są w przybliżeniu prostoliniowe, natomiast lżejsze cząstki β zbaczają często ze swej drogi wskutek zderzeń z napotkanymi cząsteczkami gazu. Na najdłuższym ze śladów cząstek α można zauważyć po obu stronach wyrostki w kształcie jakby sęczków: są to krótkie tory elektronów, wyrzuconych z atomów gazu wskutek przejścia promienia α .

PROMIENIE GAMMA. Jak już wspomniano poprzednio, nie są to cząstki materialne, lecz promieniowanie szczególno-rodzaju; omówimy je poniżej (str. 146).

Widzimy więc, że rozpad atomu promieniotwórczego można porównać do wystrzału działowego: cząstka α byłby to pocisk wystrzelony, cząstki β — to dym, a promienie γ — błysk wystrzału. Atom ołowiu, który powstaje ostatecznie, jest to

działo po wystrzale, pierwotny zaś atom promieniotwórczy, np. uranu, oznaczałby działo nabite. Osobliwością dział promieniotwórczych jest fakt, że strzelają one wyłącznie samorzutnie: wszystkie dotychczasowe próby «pociągnięcia za spust» nie dały żadnego wyniku lub przynajmniej nie dały wyników określonych. Pozostaje nam jedynie czekać, aż działo wypali samo, gdy nadejdzie jego godzina, chociaż może to nastąpić dopiero po upływie miliardów lat.

JĄDRA ATOMOWE

Jeżeli pominiemy małoważne wyjątki, możemy stwierdzić, że promieniotwórczość występuje jedynie w atomach najcięższych i najbardziej złożonych, o liczbach porządkowych przekraczających 83. Jednakowoż, aczkolwiek atomy lżejsze nie rozpadają się samorzutnie w ten sam sposób, jak ciężkie atomy ciał promieniotwórczych, jądra ich mogą być rozbite środkami sztucznymi. Rutherford zastosował w r. 1920 atomy promieniotwórcze w charakterze dział bombardujących lekkie atomy cząstkami α i stwierdził, że celne uderzenia tych ostatnich rozbijają jądra atomowe.

W pierwszych doświadczeniach ostrzeliwano cząstkami α atomy azotu. Niektóre pociski przenikały w cel, tj. w jądra atomów azotu, przy czym powstałe w ten sposób jądra złożone rozpadały się następnie na jądro tlenu (izotop o ciężarze atomowym 17) oraz na jądro wodorowe (czyli proton). Na koniec zatem udało się tu dokonać sztucznego przekształcenia pierwiastków: marzenie alchemików stało się rzeczywistością.

Ta prosta przemiana jądrowa okazuje wszakże znamienne różnicę pomiędzy samoistnym rozpadem ciężkich atomów promieniotwórczych, a sztuczną dezintegracją atomów lekkich: w pierwszym przypadku oprócz zawsze występujących promieni β i γ , wyrzucane są tylko cząstki α , w przypadku drugim natomiast wcale nie otrzymujemy emisji α , lecz protony.

Sensacyjne te wydarzenia w świecie atomowym można uchwycić na kliszy fotograficznej przy pomocy metody Wil-



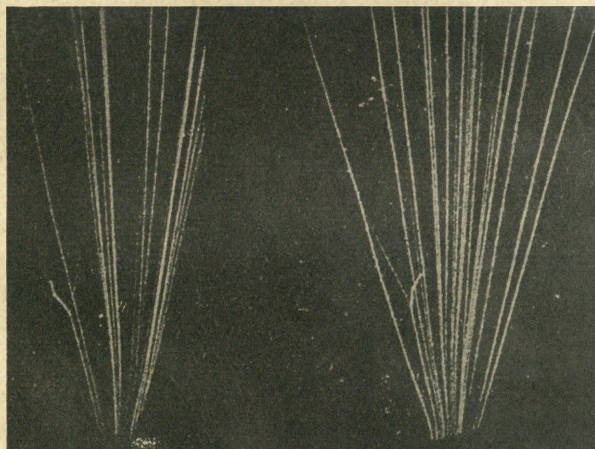
C. T. R. Wilson

Tory cząstek α i β

TABLICA XXVI



Rys. 1



Rys. 2

P. M. S. Blackett

Zderzenia cząstek α z atomami azotu

Na fotografii 1 cząstka α odbija się po prostu od atomu azotu;
na fotografii 2 wyrzuca proton, sama zaś łączy się z atomem azotu.

sona, opisanej poprzednio. Rysunki na tabl. XXVI przedstawiają dwa zderzenia cząstki α z atomem azotu, odfotografowane przez P. M. S. Blacketta. Linie proste oznaczają mało ciekawe ślady zwykłych promieni α , podobne do podanych już na tablicy XXV; na każdej fotografii dostrzegamy jednak jeden ślad, który się rozwidla, tworząc jakby literę Y.

Trudno żywić poważniejsze wątpliwości, że rozgałęzienie widoczne na rys. 1 powstało przy zderzeniu cząstki α z atomem azotu: nóżka tego Y jest to ślad cząstki α przed zderzeniem, dwie kreski górne zaś przedstawiają tory tej cząstki oraz atomu azotu po zderzeniu, przy czym ten ostatni biegnie teraz z olbrzymią prędkością, rozbijając wszystko na swej drodze. Fotografując to zjawisko jednocześnie z dwóch stron pod kątem prostym, jak to mamy na rysunku, Blackett mógł całkowicie zrekonstruować przebieg zderzenia; okazało się, iż otrzymane kąty zgadzają się dokładnie z tymi, które wynikają z teorii zderzenia dwu takich ciał.

Rysunek 2 przedstawia zjawisko innego rodzaju, jak okazują bowiem dokładne pomiary, kąty obserwowane nie zgadzają się z tymi, których żąda dynamika w przypadku, gdyby rozgałęzienie litery Y składało się z toru cząstki α oraz atomu azotu, jak na rys. 1. Dolna część Y przedstawia, jak poprzednio, tor zwykłej cząstki α , lecz słaby, długi ślad górny jest torem jakiejś wyrzuconej z jądra cząstki o masie czterokrotnie mniejszej od masy cząstki α . Krótki i gruby ślad trzeci oznacza drogę jądra azotu, biegnącego w ścisłym połączeniu z cząstką α , którą to jądro pochwyliło. Nie ma tu miejsca na szczegółowy opis pięknej metody, przy której pomocy Blackett ustalił powyższą interpretację swych fotografii, lecz nie ulega wątpliwości, że na zdjęciu rys. 2 udało mu się istotnie sfotografować rozbitcie jądra atomu azotu.

W bardzo podobny sposób udowodniono istnienie neutronu. W r. 1931 dwaj fizycy niemieccy, Bothe i Becker, bombardowali lekkie pierwiastki beryl i bor cząstkami α i otrzymali nowy rodzaj bardzo przenikliwego promieniowania. Chadwick wykazał następnie, że musi ono składać się z cząstek o masie równej masie protonu, lecz *pozbawionych*

naboju elektrycznego. Było to istotnie nowością, gdyż powszechnie przypuszczano dotychczas, że świat jest zbudowany wyłącznie z cząstek naelektryzowanych. Wspominaliśmy jednak, że neutron można uważać za ścisły zespół protonu i elektronu; taka interpretacja przywraca więc obraz świata złożonego jedynie z cząstek obdarzonych nabojami.

PROMIENIOWANIE KOSMICZNE

Wydawało się dawniej niezmiernie korzystnym zbiegiem okoliczności, że sama Przyroda daje nam w postaci cząstek a pociski o dostatecznie potężnej sile niszczącej, zdolne do rozbicia jąder atomowych i ujawnienia w ten sposób jego tajemnic. Później okazało się jednak, że Natura posiada jeszcze silniej druzgoczące pociski w postaci *«promieni kosmicznych»*, które nieustannie bombardują powierzchnię Ziemi. Promieniowanie to znajdujemy wszędzie w atmosferze, przy czym natężenie jego wzrasta wraz z wysokością; wynika stąd, że musi ono przychodzić z zewnątrz. Nie pochodzi ono jednak ze Słońca lub z gwiazd: gdyby bowiem tak było, przeważna część otrzymywanej na Ziemi jego ilości pochodziłaby ze Słońca, a zatem musiałoby ono być silniejsze w dzień niż w nocy. Tak jednak nie jest; przypuszcza się więc na ogół, że promieniowanie to powstaje w odległych mgławicach lub w innych masach kosmicznych, nie będących gwiazdami — stąd pochodzi również jego nazwa.

Natężenie tego promieniowania jest *bardzo znaczne*. Nawet na poziomie morza, gdzie jest najsłabsze, rozbija w każdym litrze powietrza około 1800 atomów w sekundzie. W ciele naszym niewątpliwie rozbija w ciągu sekundy miliony atomów; nie wiadomo jednak, jakie skutki fizjologiczne to wywiera. Według oceny Regenera, całkowita energia promieni kosmicznych, jaką otrzymujemy na Ziemi, jest prawie równa ogólnej energii promieniowania świetlnego i cieplnego, które odbieramy od wszystkich gwiazd. Jednakże nasze położenie w głębi układu galaktycznego zapewnia nam obfitszy dopływ gwiazdnego światła i ciepła w porównaniu z większością innych obszarów przestrzeni. Mimo to ilość owa jest tylko nie-

znacznie większa od całkowitej energii promieni kosmicznych. Biorąc pod uwagę średnią dla całej przestrzeni z włączeniem rozległych przestworzy międzymgławicowych, dochodzimy do wniosku, że promieniowanie kosmiczne występuje nieporównanie obficie niż światło i ciepło gwiazd, że więc jest *najpospolitszą formą promieniowania w całym Wszechświecie*.

Jest ono również *najbardziej przenikliwą* ze znanych postaci promieniowania. Światło zwyczajne nie przechodzi niemal zupełnie przez metale i inne ciała stałe; wiadomo, jak mało przezroczysty jest najcieńszy listek złota. Promienie Roentgena są o wiele przenikliwsze, lecz przechodzą tylko przez kilkumilimetrową warstwę ołowiu. Promienie kosmiczne posiadają rozmaitą zdolność przenikania, lecz część najbardziej przenikliwa przechodzi przez wiele metrów ołowiu.

Wobec tej niezmiernej przenikliwości promieniowanie to musi przechodzić przez skąpo rozsianą materię przestrzeni międzygwiazdowych tak swobodnie, że gdy raz już wyruszyło w drogę, może być uważane po prostu za niezniszczalne. Jak już bowiem mówiliśmy, zasób materii w przestrzeni, z włączeniem mas gwiazd i mgławic, wystarczyłby prawdopodobnie tylko do uzyskania przeciętnej gęstości rzędu 10^{-28} gramów na centymetr sześcienny. Znaczący to, że promieniowanie kosmiczne musiałoby przewędrować średnio 10^{28} cm, zanim napotkałoby łącznie tyle materii, ile jej mieści się w warstwie wody grubości 1 centymetra. Promieniowanie poruszające się z prędkością światła wymagałoby dziesięciu miliardów lat na przebycie tej drogi; cząstki materialne poruszają się z konieczności wolniej niż światło, a więc zużyłyby jeszcze więcej czasu. W całym tym okresie osłabienie promieni odpowiadałoby przeniknięciu przez jeden cm wody, byłoby więc oczywiście zupełnie niedostrzegalne. Musiałyby one chyba wędrować biliony lat, zanim natężenie ich zmniejszyłoby się w sposób mierzalny. W zestawieniu z prawdopodobnym wiekiem Wszechświata, (który omówimy w dalszym ciągu), znaczący to, że promieniowanie kosmiczne jest praktycznie niezniszczalne; cała jego ilość, która powstała na początku czasów, wędruje

wciąż jeszcze dokoła przestrzeni. Najciekawszym jednak pytaniem nie jest to, kiedy i gdzie promieniowanie to powstało, lecz w jaki sposób proces ten się odbył.

Wydawałoby się, że sprawdzenie, czy promieniowanie to jest rodzajem promieni γ , czy składa się z cząstek, powinno być rzeczą łatwą. Należałoby tylko stwierdzić, czy odchyła się ono podczas przejścia przez pole magnetyczne. W rzeczywistości jednak zagadnienie jest wielce złożone. Jedną z ustalonych i zasadniczych właściwości tych promieni jest ich zdolność do druzgotania wszelkich cząsteczek, na jakie padają. Odłamki rozbitych cząsteczek towarzyszą pierwotnemu promieniowaniu w jego drodze, tak że do powierzchni Ziemi dochodzi już mieszanina cząstek rozmaitych rodzajów oraz fal o różnych długościach.

W tym stanie rzeczy istnieje tylko jedno pole magnetyczne, nadające się do sprawdzenia jakości promieniowania pierwotnego; jest to pole magnetyczne *ziemskie*, które promienie muszą przebyć, zanim dostaną się do atmosfery i zanim zmieszają się z wytworzonymi przez siebie szczątkami. Pomiarы natężenia promieni kosmicznych wykazały, że dochodzą one niejednakowo obficie do różnych miejsc powierzchni Ziemi; wnioskujemy stąd, że zostały one ugięte w polu magnetycznym ziemskim, że więc składają się, w części przynajmniej, z cząsteczek naelektryzowanych*. Millikan i Neher stwierdzili ostatnio, że przeszło 60% energii promieni kosmicznych dochodzących do naszej atmosfery przynoszą cząstki naelektryzowane, przy czym każda cząstka niesie energię od 2 do 15 razy większą niż energia elektronu, który przebył spadek potencjału miliarda woltów. Tak więc energia kinetyczna każdej takiej cząstki jest porównywana z energią całego atomu o prędkości prawie równej prędkości światła. Nic dziwnego więc, że promienie te są tak przenikliwe i prawie niezniszczalne.

POZYTRON. Polami magnetycznymi wytworzonymi w laboratoriach można posłużyć się do zbadania natury tych od-

* Najnowsze dane wskazują, że głównym składnikiem pierwotnego promieniowania kosmicznego są protony. (Przyp. tłum.)

łamków, które są wynikiem działania promieni kosmicznych na jądra atomowe. W r. 1932 A n d e r s o n wykazał w ten sposób, że wśród owych «odłamków» znajdowały się również cząstki o naboju d o d a t n i m równym nabojowi protonu, lecz o masie porównywalnej z masą elektronu, a raczej zapewne wprost równej tej ostatniej. Cząstki te, które można trafnie nazwać «dodatnimi elektronami», znamy dziś pod mianem *pozytronów*. Wobec tego, że najwidoczniej wybiegają one z jąder atomowych, można by sądzić, że są one normalnymi składnikami jąder. A n d e r s o n wysunął pogląd, że proton może nie być podstawową niepodzielną cząstką, lecz utworem złożonym z pozytronu i neutronu *.

Jednakże szczątki jąder, strzaskanych przez promienie kosmiczne, zawierają nie tylko pozytrony, lecz i elektrony, przy czym te ostatnie wybiegają, o ile można stwierdzić, z tych samych jąder, co pozytrony. Fakt ten doprowadził B l a c k e t t a i O c c h i a l i n i e g o do wniosku, że elektrony i pozytrony mogą powstawać p a r a m i, jako skutek bombardowania i dezintegracji jąder atomowych.

Wydaje się rzeczą prawie pewną, że pozytron jest tworem k r ó t k o t r w a ł y m. Pozytrony nie występują bowiem w łączności z materią w zwykłych warunkach i wydaje się prawdopodobne, że znikają one prawie natychmiast po powstaniu, łącząc się z elektronami ujemnymi. Podobnie jak para elektronów — dodatni i ujemny — może powstać po prostu

* Mówiąc o składnikach jąder, autor nie przedstawił dość wyraźnie stanowiska, jakie fizyka jądra atomowego zajmuje obecnie w tej sprawie. Proton i neutron można uważać za dwa stany, dwie formy pojawiania się tej samej zasadniczej pra-cząstki («nukleonu»), które mogą przechodzić jedna w drugą. Przejściom takim towarzyszy wymiana pomiędzy protonem a neutronem mezonu dodatniego lub ujemnego (p. niżej), tak że ogólny nabój elektryczny przy tej przemianie jest zachowany. Może się zdarzyć, że podczas wymiany mezon rozpada się na elektron względnie pozytron i neutrino (p. niżej), które z wielkimi prędkościami wybiegają z jądra. Elektron czy pozytron nie istnieją zatem «gotowe» w jądrze, lecz powstają dopiero w chwili rozpadu promieniotwórczego typu beta; masa ich i energia pochodzą z energii sił wewnątrzjądrowych. Traktowanie neutronu czy protonu jako «połączenia» protonu z «gotowym» elektronem, czy neutronu z pozytronem jest zbyt prymitywne. (Przyp. tłum.)

z energii, tak też mogą one skończyć we wzajemnym uścisku, pozostawiając po sobie tylko energię.

Zanim jeszcze stwierdzono doświadczalnie istnienie pozytronów, w czasie, gdy nawet nie podejrzewano tego istnienia, prof. Dirac z Cambridge ogłosił teorię matematyczną, w której nie tylko przewidywał istnienie pozytronów, lecz również ich właściwości. Teoria Diraca jest zbyt abstrakcyjna, abyśmy mogli ją tu objaśnić, wykazuje ona jednak, że strumień pozytronów musi stopniowo zanikać wskutek samorzutnego łączenia się z elektronami ujemnymi i to według tego samego prawa, jakie rządzi zanikiem ciał promieniotwórczych. Średni czas życia pozytronu powinien wynosić zaledwie *parę milionowych sekundy*, co wystarcza aż nadto, by można było go sfotografować w komorze Wilsona, nie wystarcza jednak do ujawnienia się gdzie indziej we Wszechświecie.

MEZON. Badanie promieni kosmicznych doprowadziło do wykrycia cząstki jeszcze innego typu: *mezonu* czyli «ciężkiego elektronu». I on występuje wśród odłamków, jakie promienie kosmiczne pozostawiają za sobą po zderzeniu z materią. Posiada on nabój taki jak elektron, lecz masę pośrednią pomiędzy masą elektronu i protonu. Istnienie ich wydaje się konieczne do wyjaśnienia niektórych właściwości promieni kosmicznych, zwłaszcza ich ogromnej przenikliwości, niewiele jednak wiadomo o cechach samych mezonów. Różne oceny ich masy dały wyniki zawarte w granicach od 40 do 500 mas elektronowych; być może, iż liczba 120 jest tu najbardziej prawdopodobna, nie ma jednak nawet pewności, czy wszystkie mezony posiadają tę samą masę. Są dowody na to, że mezony podlegają samorzutnemu rozpadowi (jak ciała promieniotwórcze), przy czym życie ich trwa zaledwie *parę milionowych części sekundy*. Jeśli tak jest istotnie, to mezony nie mogą wchodzić oczywiście w skład pierwotnego promieniowania kosmicznego, lecz muszą powstawać jako produkt wtórny podczas wędrówki promieni pierwotnych w atmosferze ziemskiej.

Znamy również dane pozwalające przypuszczać, że

istnieją mezony dodatnie i ujemne, oraz że proton może rozpaść się na neutron i mezon dodatni. Przypuszcza się również, że mezon ujemny może dysocjować na zwykły elektron i jeszcze inny typ cząstki, tzw. *neutrino*. Te i inne podobne hipotezy nie mają jednakże większego znaczenia dla naszych obecnych rozważań *.

PROMIENIOWANIE

Dotychczas omawialiśmy wyłącznie m a t e r i a l n e części składowe materii: daliśmy obraz atomu jako zbudowanego z następujących składników (z wszystkich lub tylko z niektórych spośród przytoczonych): *elektronów, protonów, neutronów i pozytronów*. Rzecz się jednak na tym nie kończy. Gdyby bowiem to było wszystko, wówczas każdy atom składałby się z pewnej określonej liczby protonów i neutronów oraz z takiej liczby elektronów i pozytronów, aby całkowity nabój elektryczny atomu był równy z e r u. Jeśli pominiemy drobną masę elektronów i pozytronów, wynika stąd, że masa każdego atomu powinna być d o k ł a d n ą wielokrotnością masy atomu wodoru; doświadczenie wykazuje jednak, że tak nie jest.

ENERGIA ELEKTROMAGNETYCZNA. By dotrzeć do sedna rzeczy, musimy uprzytomnić sobie fakt, że oprócz materialnych elektronów i protonów oraz, być może, neutronów i pozytronów, atom zawiera j e s z c z e j e d e n składnik — *energię elektromagnetyczną*. Używając niezbyt naukowego porównania, można by powiedzieć, że jest to «promieniowanie zakorkowane w butelce».

Dotknąwszy kijem spokojnej powierzchni wody w stawie spostrzeżemy, iż z miejsca zakłóconego wybiega szereg zmarszczek rozpościerających się po powierzchni w postaci

* Neutrino jest cząstką pozbawioną naboju, o masie znikomo małej (w spoczynku prawdopodobnie równej zeru). Doświadczalne wykrycie jego istnienia jest sprawą niezmiernie trudną. Według ostatnich wyników wydaje się ono rzeczą stwierdzoną. (*Przyp. tłum.*)

coraz to szerszych kręgów. Aby utrzymać powierzchnię stawu w ruchu, musimy wykonywać pewną pracę, woda stawia bowiem opór ruchom kija; pracę tę odnajdujemy, przynajmniej częściowo, w energii owych fal. Łatwo jest stwierdzić, że niosą one energię: mogą przecież unieść nieco w górę, wbrew sile ciężkości, pływający na wodzie korek lub okręciak dziecinny. Fale wodne stanowią zatem mechanizm, za pomocą którego rozprzestrzenia się po powierzchni wody energia, udzielana jej za pośrednictwem poruszającego się kija.

Światło i wszystkie inne rodzaje promieniowania są analogiczne do fal wodnych pod tym względem, że przenoszą one energię z pewnego źródła. Promieniowanie słoneczne unosi w przestrzeń olbrzymie ilości energii wytwarzanej we wnętrzu Słońca.

Była już mowa o tym, że nie możemy mieć nadziei poznania prawdziwej natury Wszechświata; co najwyżej można budować modele i obrazy w celu zilustrowania wszystkich lub tylko niektórych właściwości całego Wszechświata lub pewnych jego części. Jeśli chodzi o ilustrację tych właściwości światła, które nas tu obchodzą, to najlepszym obrazem jest *ciąg fal*. Światło i inne rodzaje promieniowania rozchodzą się jako coś, co okazuje liczne cechy ciągów fal.

Mówiliśmy już o tym, że przepuszczając wiązkę światła słonecznego przez pryzmat, możemy je rozdzielić, «rozszcześcić», na barwy składowe, tworzące tęczowe «*widmo*» barwne. To rozdzielenie barw można uzyskać również przy pomocy innego przyrządu, zwanego *siatką dyfrakcyjną*. Zasadniczo jest to metalowe zwierciadło, które porysowano w równych odstępach wielką liczbą równoległych do siebie linii. Teoria działania tego przyrządu jest dobrze znana; dowodzi ona, że światło padające na siatkę dyfrakcyjną ulega istotnie rozdzielaniu na fale o *różnych długościach**. Świadczy to, iż różnym *barwom* światła odpowiadają fale o różnej *długości*,

* *Długością fali* w przypadku fal wodnych nazywamy odległość wierzchołka jednej fali od wierzchołka sąsiedniej; pojęcie to znajduje zastosowanie w odniesieniu do wszystkich zjawisk o naturze falowej.

a jednocześnie umożliwia pomiar długości fal świetlnych dla rozmaitych barw.

Długości te są *bardzo małe*. Najdalsza czerwona część widma, jaką w ogóle można jeszcze dostrzec okiem, posiada największą długość fali, wynoszącą około 75 stutysięcznych milimetra; skrajne światło fioletowe ma długość fali blisko dwa razy mniejszą. Światło wszelkich barw rozchodzi się z tą samą prędkością 300 000 kilometrów, czyli $3 \cdot 10^{10}$ centymetrów na sekundę. Wynika stąd, że liczba fal światła czerwonego, przechodzących w ciągu jednej sekundy przez jakiś punkt stały, wynosi około czterystu bilionów; jest to tzw. «częstość drgań» światła. Światło fioletowe posiada częstość jeszcze większą — osiemset bilionów na sekundę; gdy widzimy więc światło fioletowe, do oczu naszych wpada osiemset bilionów fal świetlnych w ciągu każdej sekundy.

Widmo światła słonecznego rozciąga się dla naszego wzroku od barwy czerwonej na jednym krańcu do fioletowej na drugim; nie są to jednak prawdziwe granice widma. Niektóre związki chemiczne, umieszczone poza fioletowym krańcem widma widzialnego, świecą żywym blaskiem, świadcząc tym samym, że i tam pada energia promienista, jakkolwiek w postaci niewidzialnej. Przy pomocy innych metod można stwierdzić, że to samo odnosi się do czerwonego krańca widma. Termometr, czy też inny jaki przyrząd do wyznaczania temperatur, umieszczony poza tym krańcem widma wykazuje, że pada tu energia ujawniająca się w formie ciepła.

W ten sposób przekonywamy się, że obszary *promienienia niewidzialnego* rozciągają się nieograniczenie po obu stronach widma widzialnego. Od czerwonego końca tegoż można przejść w sposób ciągły aż do fal tego typu, jakie znajdują zastosowanie w radiokomunikacji, tzn. o długości setek czy tysięcy metrów. Od strony fioletu spotykamy coraz to krótsze fale promieniowań «*nadfioletowych*», aż wreszcie — przy długościach fali od 100 do 1000 razy mniejszych niż dla światła widzialnego — dochodzimy do powszechnie znanych *promieni Roentgena*, które przenikają ciało ludzkie i pozwalają fotografować w nim kości. Znacznie dalej jeszcze napo-

tykamy *promienie γ* ; ich długości fali są rzędu miliardowych części milimetra, tzn. sto tysięcy razy mniejsze niż fal światła widzialnego. Promienie γ możemy więc uważać za odmianę promieniowania niewidzialnego o niezmiernie krótkich falach. Znaczenie ich rozpatrzmy dokładniej w dalszym ciągu; tu zaznaczymy tylko, że oddały nam one przede wszystkim tę wielką usługę, iż zaczerniając klisze fotograficzne Becquerela, doprowadziły go do odkrycia zjawisk *promieniotwórczości*.

Jednym z najbardziej podstawowych twierdzeń nowoczesnej teorii zjawisk elektromagnetycznych jest to, że *wszelkie promieniowanie niesie z sobą masę* pod każdym względem tak realną, jak masa np. tony węgla. Promień światła uderza powierzchnię, na którą pada, tak samo, jak strumień wody, powiew wiatru lub spadek tony węgla; dostatecznie silne światło mogłoby przewrócić człowieka, tak jak strumień wody z siłkawki pożarnej. Nie jest to bynajmniej jedynie teoria: ciśnienie światła zostało wykryte i zmierzone w bezpośrednich doświadczeniach. Są one nadzwyczaj trudne, gdyż, sądząc według zwykłej skali, masa promieniowania jest niesłychanie mała: tak np. promieniowanie latarni morskiej o mocy 40 koni, wysyłane w ciągu stu lat bez przerwy, ważyłoby zaledwie jeden gram.

Wynika stąd, że *wszelkie ciało promieniujące musi jednocześnie tracić masę*. W szczególności rozpadowi promieniotwórczemu towarzyszy utrata masy związana z emisją promieniowania w postaci promieni γ . Los ostateczny substancji zawartej w gramie uranu wyrazi się równaniem:

$$1 \text{ gram uranu} = \begin{cases} 0,8653 \text{ grama ołowiu,} \\ 0,1345 \text{ grama helu,} \\ 0,0002 \text{ grama promieniowania.} \end{cases}$$

Ta ilość ołowiu i helu zawiera razem dokładnie tyleż protonów i elektronów, co pierwotny gram uranu, lecz łączna ich masa wykazuje deficyt wynoszący około 1/4000; z każdych 4000 gramów materii pierwotnej pozostaje ostatecznie 3999, 1 gram zaś uchodzi w postaci promieniowania.

Jasną jest więc rzeczą, iż nie możemy oczekiwać, by masy różnych atomów były dokładnymi wielokrotnościami masy atomu wodoru: znaczyłoby to bowiem, że zaniebujemy masę zmagazynowanej energii elektromagnetycznej, która może się wyzwolić i «ulotnić» w postaci promieniowania przy przeobrażaniu się atomu. Masa tej energii jest stosunkowo nieznaczna, toteż masy atomów są zbliżone do całkowitych wielokrotności masy atomu wodoru, lecz nie mogą być im ściśle równe. Dokładny ciężar gmachu atomowego nie jest po prostu sumą ciężarów wszystkich «cegieł», z których jest on zbudowany; trzeba wziąć pod uwagę również ciężar «cementu» — energii elektromagnetycznej — wiążącego poszczególne cegły ze sobą.

Tak więc normalny atom składa się ze składników materialnych: protonów, elektronów, neutronów i pozytronów (lub przynajmniej niektórych spośród nich) oraz z energii, która również ma pewien udział w jego masie. Gdy budowa atomu ulega zmianie bądź to samorzutnie, bądź pod wpływem bombardowania, protony, elektrony lub inne cząstki materialne w skład tej budowy wchodzące mogą być wyrzucone jako promienie α i β , energia zaś może również wyzwolić się w postaci promieni γ . Końcową masę atomu otrzymamy odejmując od jego masy pierwotnej nie tylko masę wszystkich wyrzuconych protonów i elektronów, lecz również całkowitą masę energii wypromieniowanej.

Może się również zdarzyć, że dwa lub więcej atomów przegrupują swe składniki w ten sposób, że powstanie jakiś nowy bardziej złożony atom czy zespół atomów. Tak np. izotop wodoru o masie 2 (deuter) zawiera dokładnie te same składniki, co dwa normalne atomy wodoru, lecz masa jego nie jest dwa razy większa od masy każdego z nich. Jeżeli masa atomu tlenu = 16, wówczas masa normalnego atomu wodoru wynosi 1,0081, natomiast masa atomu deuteru — 2,0142, tzn. o 0,0020 jednostki m n i e j niż suma mas obu atomów wodoru zwykłego. Gdyby więc dwa normalne atomy wodoru miały zespolić się w atom izotopu 2, musiałaby przy tym wyzwolić się energia o masie 0,0020 jednostek.

Podobnie normalny atom helu o masie 4 zawiera te same części składowe, co cztery normalne atomy wodoru, lecz waży o 0,0280 jednostek mniej. W razie połączenia się czterech atomów wodoru w atom helu wyzwoliłaby się zatem energia równoważna 0,028 jednostkom masy.

Atomy mogą również rozpadać się na twory prostsze uwalniając przy tym energię. Lauriston i Fowler stwierdzili doświadczalnie, że atom może przekształcić się w parę przeciwnie naelektryzowanych cząstek elementarnych, przy czym większa część jego masy przechodzi w energię ruchu*. Millikan sądzi, że stąd właśnie pochodzi energia promieni kosmicznych. Cząstki promieni kosmicznych wzmiankowane na str. 140 posiadają energię ruchu w granicach od $3,6 \cdot 10^{-24}$ do $27 \cdot 10^{-24}$ gramów, tj. porównywalną z masami całkowitych atomów. Millikan wyraża pogląd, że energia ta pochodzi z prawie całkowitego unicestwienia atomów; wraz z Neherem i Pickeringiem stwierdza on (1943), że przypuszczenie to zdaje doskonale sprawę z rozmieszczenia promieni kosmicznych na powierzchni Ziemi po ich odchyleniu w polu magnetycznym ziemskim. Następujące rodzaje atomów miałyby ulegać zagładzie: hel, węgiel, azot, tlen i krzem. Spis ten ma swą wymowę. Nie jest to przypadkowy jakiś wybór pierwiastków; jak znaleźli Bowen i Wise, są to jedyne pierwiastki (pomijając wodór, który nie mógłby ujawnić w promieniach kosmicznych swej obecności) występujące obficie w mgławicach planetarnych, a więc, być może, również w przestrzeniach międzygwiazdowych.

Jeśli ta interpretacja promieni kosmicznych zostanie ostatecznie ustalona, to uzyskamy w ten sposób dowód, że *unicestwienie materii i jej przekształcanie się w energię jest jednym z podstawowych zjawisk przyrody*. Niedawno jeszcze wielu astronomów mniemało, że podobny proces dostarcza energii potrzebnej na promieniowanie gwiazd, lecz — jak zobaczymy wkrótce — obecnie wydaje się bardziej prawdopodobne inne źródło tej energii.

* Wyniki te nie znalazły dotychczas potwierdzenia w badaniach innych uczonych. (Przyp. tłum.)

TEORIA KWANTÓW *

Pojęcia, które zamierzamy rozpatrzeć obecnie, są trudne do uchwycenia, a jeszcze trudniejsze do wytłumaczenia: niewątpliwie wynika to głównie stąd, iż nie możemy tu opierać się na doświadczeniach życia codziennego. Raz jeszcze musimy przypomnieć, że nie ma celu starać się o zrozumienie *p r a w d z i w e j* natury rzeczywistości; możemy jedynie posługiwać się modelami i obrazami, które nie mają pretensji do przedstawiania absolutnej rzeczywistości. Będziemy więc w dalszym ciągu wyobrażali sobie atom jako złożony z jądra i okrążających je elektronów.

Z praw elektromagnetyzmu przyjętych powszechnie w ostatnich dziesięcioleciach ubiegłego wieku — słynnych praw *F a r a d a y a* i *M a x w e l l a* — wynika, że energia takiego atomu powinna *z m n i e j s z a ć* się w sposób ciągly wskutek utraty jej przez elektrony w postaci promieniowania. Te same prawa przewidują, że energia wypromieniowana powinna ulegać szybkiej przemianie na promieniowanie o niezmiernie *m a ł e j* długości fali. W istocie jednak tak się nie dzieje, co świadczy o tym, że wspomniane prawa elektrodynamiki nie mogą tu mieć zastosowania.

PROMIENIOWANIE W PRZESTRZENI ZAMKNIĘTEJ. Szczególnie dobitnie okazała się niedostateczność dawnych teoryj w przypadku praw *«promieniowania w przestrzeni zamkniętej»*. Wyobraźmy sobie ciało wydrążone, ogrzane do wysokiej temperatury; nie zwracając uwagi na światło i ciepło wysyłane przez zewnętrzną jego powierzchnię, zbadajmy przy pomocy spektroskopu pryzmatycznego lub siatki dyfrakcyjnej światło, wypuszczone z *w n ę t r z a* ciała przez mały otworek w ścianie: to właśnie promieniowanie nazywamy *«promieniowaniem w przestrzeni zamkniętej»* **. Stanowi ono możliwie najbar-

* Czytelnik interesujący się specjalnie kwestiami astronomicznymi może przejść od razu do rozdziału III.

** Albo *«promieniowaniem ciała doskonale czarnego»*. (Przyp. tłum.)

dziej zupełny zespół promieniowań, w którym nie brak żadnej barwy i w którym każda występuje z pełnym swym natężeniem. Nie znamy substancji, której *p o w i e r z c h n i a* wysyłałaby takie promieniowanie, jakkolwiek niektóre ciała zbliżają się pod tym względem do tego przypadku idealnego; mówimy o nich, że zbliżają się do «*ciała doskonale czarnego*» czyli «*doskonale pochłaniającego*».

Z praw elektromagnetyzmu, znanych w wieku XIX, wynikało, że całkowite promieniowanie ciała doskonale pochłaniającego czy też przestrzeni zamkniętej powinno przypadać w widmie poza skrajnym fioletowym krańcem widma, niezależnie od temperatury ciała. W rzeczywistości natomiast promieniowanie koncentruje się zazwyczaj właśnie w pobliżu *p r z e c i w n e g o* końca widma, rozmieszczenie jego zaś nawet w przybliżeniu nie zgadza się z wnioskami wynikającymi z praw wzmiankowanych.

W r. 1899 profesor *P l a n c k* z Berlina wykrył doświadczalnie prawo rozkładu promieniowania «w przestrzeni zamkniętej» na poszczególne barwy widmowe; wykazał on również, że nowe to prawo może być wyprowadzone teoretycznie z układu praw elektromagnetyzmu, różniących się w osobliwy sposób od tych, które naówczas powszechnie przyjmowano.

P l a n c k przypuścił, że wszelkie promieniowanie wysyłają układy *oscylatorów* emitujących światło, gdy są do tego *wzbudzone*, podobnie jak kamertony wydają dźwięk, gdy się je uderzy młoteczkiem. Dawne prawa elektrodynamiki prowadziły do wniosku, że wszelkie takie drgania powinny stopniowo zmniejszać się i w końcu ustać, tak jak się to dzieje z drganiami widełek strojowych, dopóki jakaś przyczyna nie wzbudzi wibratora ponownie. Odrzuciwszy te poglądy *P l a n c k* założył, że *wibrator może zmieniać swą energię nagłymi skokami i przy tym t y l k o w ten sposób*: może on posiadać jednostkę energii, dwie, trzy lub jakąkolwiek całkowitą liczbę jednostek, *nie zaś jakąś liczbę ułamkową* tychże; stopniowe zmiany energii z biegiem czasu byłyby w tym ujęciu niemożliwe. Oscylator «nie ma drobnych» i może

wydawać swą energię jedynie w całkowitych złotych naraż, dopóki je jeszcze posiada. Co więcej, również nie przyjmuje on «drobnych», jakkolwiek gotów jest przyjąć całe złotówki. Przypuszczenie to, niewątpliwie dziwne, rewolucyjne i uważane nieraz, na początku zwłaszcza, za śmieszne, prowadzi jednak, jak się okazuje, *zupełnie ściśle do tego rozkładu energii na poszczególne barwy w promieniowaniu ciała doskonale czarnego, jaki został zaobserwowany doświadczalnie.*

W r. 1913 profesor Niels Bohr z Kopenhagi zastosował podobne idee do budowy atomu. Przypuścił on, że ustrój atomowy lub cząsteczkowy nie może zmieniać swej struktury ani wysyłać swej energii na zewnątrz w sposób stopniowy, ciągły; przeciwnie, zmiany owe są tak nagłe, że można je uważać za szereg skoków czy szarpnięć. Bohr założył, że *ustrój atomowy posiada pewną liczbę możliwych stanów czyli konfiguracji, całkowicie od siebie odrębnych*, zupełnie podobnie, jak ciało jakieś położone na schodach może znajdować się jedynie na ograniczonej liczbie poziomów: można je umieścić na trzecim stopniu od dołu, na czwartym czy jeszcze innym, lecz nie na $3\frac{1}{4}$ lub $3\frac{3}{4}$. *Przejście z jednego stanu do innego zachodzi zazwyczaj przy współudziale promieniowania*; układ może podnieść się «ku górze» przez pochłonięcie energii promienistej nań padającej albo też może «obniżyć się» do stanu o mniejszej energii, oddając przy tym różnicę energii w postaci promieniowania. *Przy określonej zmianie stanu czynne być może jedynie promieniowanie o pewnej ściśle określonej barwie, tzn. o ściśle określonej długości fali.* Sprawa zmiany układu atomowego przedstawia pewną analogię do procesu otrzymania pudełka zapalek z automatu; można to skutecznie wyłącznie za pomocą monety o odpowiedniej wielkości i ciężarze — moneta zbyt mała lub zbyt duża, zbyt lekka czy zbyt ciężka nie przyda się nam na nic. Rzucając na atom promieniowanie o niewłaściwej długości fali, jesteśmy w położeniu tego milionera, któremu cały jego majątek nie da pudełka zapalek z automatu, bo zabrakło mu pojedynczej dziesięciogroszówki — albo też przeżywamy tragedię dziecka nie mogącego dostać

upragnionej tabliczki czekolady, gdyż skarb jego składa się z samych groszaków; nie zdołamy jednak zakłócić spokoju atomu. Jeśli na zbiór atomów pada promieniowanie mieszane o różnych długościach fali, *atomy pochłaniają tylko te promieniowania, które są w stanie zmienić ich stany wewnętrzne*; inne promieniowania biegną dalej bez zmiany.

To selektywne oddziaływanie pomiędzy atomami a promieniowaniem ujawnia się w całym szeregu zjawisk; może najpospolitszym z nich jest widmo Słońca i gwiazd. W widmach wszystkich prawie gwiazd występują ciemne prążki podobne do tych, które Fraunhofer wykrył w widmie słonecznym (p. tabl. XV); obecnie możemy zrozumieć ich powstawanie. Strumienie światła o wszelkich możliwych długościach fali, płynące z rozżarzonego wnętrza gwiazdy, padają na atomy w jej atmosferze. Każdy z nich pochłania to promieniowanie, które ma właśnie odpowiednią dla niego długość fali, pozostawiając w spokoju wszelkie inne rodzaje. Promieniowanie wybiegające ostatecznie z gwiazdy na zewnątrz jest więc *pozbawione* tych długości fali, które «*podobają się*» atomom: otrzymujemy *widmo absorbcyjne gwiazdy* zawierające szereg ciemnych, wąskich prążków. Położenie tych prążków w widmie mówi nam, jakie długości fali zostały pochłonięte przez atomy na gwieździe i pozwala w ten sposób zidentyfikować te ostatnie na podstawie uzyskanej w laboratorium znajomości «*gustów*» rozmaitych atomów do różnych rodzajów promieniowania. Co jednak ostatecznie rozstrzyga o tym, jakie promieniowanie dany atom będzie pochłaniał, a jakie odrzuci nie-
tknięte?

Planck wprowadził w swej teorii hipotezę, że *promieniowaniu wszelkiej długości fali jest przyporządkowana pewna ilość energii, zwana «kwantem», zależna wyłącznie od tej długości fali i od niczego więcej. Kwant jest proporcjonalny do «częstości»* (str. 145) czyli *liczby drgań na sekundę**, a więc

* Mówiąc ściśle, energia kwantu wynosi $h\nu$, gdzie ν oznacza częstość drgań promieniowania, h zaś — pewną stałą uniwersalną, zwaną *stałą Plancka*. Pod względem charakteru fizycznego ma ona znaczenie energii pomnożonej przez czas, wartość liczbową zaś wynosi $6,62 \cdot 10^{-27}$ erg $\times$ sek.

odwrotnie proporcjonalny do długości fali promieniowania: — im krótsze fale, tym większa jest energia kwantu, i odwrotnie. Światło czerwone posiada kwanty «słabe», fioletowe — bardziej zasobne w energię, «silniejsze», itd. W wielu zagadnieniach fizycznych można wytworzyć sobie poprawny obraz promieniowania jako wędrujących w przestrzeni oddzielnych «paczek energii», tzw. *fotonów*. Każda taka paczka zawiera dokładnie jeden kwant energii. Fotony promieniowania o wielkiej częstotliwości niosą oczywiście więcej energii niż fotony o częstotliwości mniejszej, a więc zazwyczaj łatwiej przenikają w głąb materii. Tak tłumaczy się wielka przenikliwość promieni X i γ (str. 145).

Otóż Einstein założył, że promieniowanie pewnego określonego rodzaju może wywołać zmianę w ustroju atomu lub cząsteczki tylko w tym przypadku, jeżeli potrzebna do tego energia jest dokładnie równa energii pojedynczego kwantu tego promieniowania: jest to tzw. *prawo Einsteina*. Wyznacza ono ściśle rodzaj promieniowania, które jest niezbędne do wprawienia w ruch mechanizmu atomowego*.

Zwróćmy uwagę na fakt, że praca, która wymaga zużycia jednego kwantu «silnego», nie może być wykonana przez dwa, trzy czy więcej kwantów «słabszych». Mała ilość światła fioletowego (o wielkiej częstotliwości drgań) może wyrzucić takie skutki, jakich nie zdoła wywołać dowolnie wielka ilość światła czerwonego (o małej częstotliwości).

Prawo Einsteina zabrania nam zarówno zabić dwa zające jednym wystrzałem, jak i zabić jednego zająca dwoma wystrzałami: c a ł y kwant zużywa się na dokonanie przemiany, tak iż nic zeń nie pozostaje na jakąś inną pracę. Ten stan rzeczy ujawnia się w *prawie fotochemicznym Einsteina*: «w każdej reakcji chemicznej wywołanej przez światło ilość cząsteczek, które uległy przemianie, jest równa ilości pochłoniętych kwantów światła». Właściciele automatów znają do-

* W postaci równania mamy: $E_1 - E_2 = h\nu$, gdzie E_1 , E_2 oznaczają wartość energii układu przed zmianą i po niej, ν — częstotliwość drgań promieniowania, h zaś jest stałą Plancka, o której już wspominaliśmy.

brze analogiczne «prawo»: «liczba przedmiotów sprzedanych równa się dokładnie liczbie monet w aparacie».

Rozpatrując energię z punktu widzenia jej zdolności niszczenia widzimy, że promieniowanie krótkofalowe może sprawić w świecie atomowym większe spustoszenia niż promieniowanie o falach dłuższych. Nieraz przekonał się o tym na własnej skórze każdy fotograf: czerwone światło może padać na kliszę dowolnie długo nie szkodząc jej bynajmniej, gdy tymczasem najmniejszy błysk światła fioletowego zadymi kliszę. Promieniowanie o falach dostatecznie krótkich może nie tylko zmienić wzajemne położenie atomów i cząsteczek, lecz może nawet rozbić atom, na który pada, wyrzucając zeń jeden z jego elektronów; mamy wówczas do czynienia ze «*zjawiskiem fotoelektrycznym*». Występuje tu znowu określona granica częstości drgań w tym znaczeniu, że światło o częstości mniejszej od tej granicy nie wywołuje żadnego skutku, bez względu na to, jak wielkie posiadałoby natężenie; i przeciwnie, skoro tylko częstość drgań przewyższy tę wartość graniczną, najsłabsze nawet światło powoduje natychmiast wystąpienie zjawiska fotoelektrycznego. I tutaj pochłonięcie jednego kwantu rozбивa jeden tylko atom i może zeń wyrwać najwyżej jeden elektron. Jeśli częstość drgań promieniowania przewyższa wspomnianą granicę, tak iż kwant jego posiada więcej energii niż wynosi minimum potrzebne do usunięcia jednego elektronu z atomu, to wprawdzie pochłonięty zostaje również kwant całkowity, lecz nadmiar energii odnajdujemy w energii kinetycznej elektronu wyrzuconego.

ORBITY ELEKTRONÓW. Rozważania te oparte są na założeniu B o h r a, że elektrony przebywać mogą w atomie jedynie na pewnej o g r a n i c z o n e j liczbie orbit, wszystkie inne orbity zaś są w z b r o n i o n e, z powodów, których teoria B o h r a nie umiała całkowicie wyjaśnić; elektron może przechodzić z jednej orbity dozwolonej na inną pod wpływem promieniowania. Opierając się na tych założeniach B o h r sam badał rozmieszczenie rozmaitych orbit możliwych w atomach.

Podobnie jak Rutherford, Bohr wyobrażał sobie, że atom wodoru składa się z pojedynczego protonu, dokoła którego krąży jeden elektron. Proton, o masie około 1847 razy większej od elektronu, jest niemal ściśle w spoczynku pomimo ruchu elektronu, podobnie jak Słońce, praktycznie biorąc, nie «odczuwa» ruchu Ziemi dokoła niego. Proton i elektron posiadają naboje elektryczne — dodatni i ujemny — a więc przyciągają się wzajemnie; dlatego to elektron opisuje orbitę zamkniętą, miast odbiec po linii prostej. Mamy tu znów zupełną analogię z tym, co spotykamy w przypadku Ziemi i Słońca. Co więcej, przyciąganie pomiędzy nabojami elektrycznymi o przeciwnych znakach podlega dokładnie temu samemu prawu, co grawitacja, mianowicie jest *odwrotnie proporcjonalne do kwadratu odległości wzajemnej naboju*. Tak więc *układ proton — elektron jest pod każdym względem analogiczny do układu Słońce — planeta*, orbity elektronu dokoła protonu są zupełnie identyczne z tymi, które zakreśla planeta dokoła swego ciała centralnego: *są to elipsy*, przy czym *jądro znajduje się w jednym z ognisk* (str. 46).

Jednakże ogólne zasady dynamiki kwantowej nie zezwalają elektronowi na poruszanie się dokoła jądra po dowolnej orbicie eliptycznej. Zgodnie z pierwotną teorią Bohra, elektron w atomie wodoru może poruszać się po pewnej liczbie orbit kołowych o średnicach proporcjonalnych do kwadratów liczb naturalnych: 1, 4, 9, 16, 25 itd. Później Bohr zmodyfikował tę nader prostą hipotezę, a w czasach ostatnich *mechanika falowa* przekształciła ją jeszcze o wiele głębiej.

Bądź co bądź jednak faktem jest, że atom wodoru posiada zawsze — z wielkim przybliżeniem — taki zasób energii, jaki by zawierał, gdyby jego elektron zakreślał którąś z tych prostych orbit Bohra. Gdy więc energia atomu się zmienia, zmiany owe są takie, jak gdyby elektron przeskakiwał z jednej z tych orbit na inną. Dlatego to jest rzeczą łatwą obliczyć, jakie zmiany energii mogą zachodzić w atomie wodoru: są one dokładnie równe zmianom, odpowiadającym przejściom elektronu pomiędzy dwiema orbitami.

bohrowskimi. Tak np. obie najmniejsze orbity w atomie wodoru różnią się pod względem swej energii o $16 \cdot 10^{-12}$ ergów. Jeśli na atom, w którym elektron opisuje najmniejszą orbitę, pada promieniowanie o odpowiedniej długości fali, elektron może «przeskoczyć» na sąsiednią orbitę większą pochłaniając przy tym $16 \cdot 10^{-12}$ ergów; staje się więc w ten sposób na pewien czas zbiornikiem energii, zawierającym $16 \cdot 10^{-12}$ ergów. Skoro atom dozna z zewnątrz jakiegoś zakłócenia, wówczas może on oddać ten zasób energii na zewnątrz lub też może pochłonąć jeszcze więcej energii i zwiększyć przez to swój zasób.

Znając wszystkie orbity dozwolone dla atomu danego rodzaju możemy łatwo obliczyć zmiany energii związane z rozmaitymi przejściami pomiędzy nimi. Ponieważ każde przejście pochłania albo wyzwala dokładnie jeden kwant energii, możemy stąd natychmiast wyznaczyć częstotliwości drgań światła wysyłanego albo pochłanianego przy tych przejściach. Krótko mówiąc, *gdy mamy dane orbity elektronów w atomie, możemy obliczyć, jakie jest jego widmo*. W rzeczywistości spotykamy oczywiście zagadnienie odwrotne: dane jest widmo, należy zaś wyznaczyć budowę atomu, który je emituje. Model atomu wodoru, podany przez B o h r a, jest zadowalający przynajmniej w tym znaczeniu, że widmo, które powinien by emitować, zgadza się niemal całkowicie z widmem wodoru. Jednakże zgodność ta nie jest bezwzględnie doskonała i obecnie powszechnie przyjęty jest pogląd, że schematy orbit B o h r a nie wystarczają do zdania sprawy z budowy i własności istotnie obserwowanych widm. W dalszym ciągu będziemy rozpatrywali model B o h r a nie dlatego, że atom jest rzeczywiście tak zbudowany, lecz dlatego, iż stanowi on wystarczający dla naszych obecnych celów schemat rzeczywistej budowy atomu.

Zasadniczą, jakkolwiek na pierwszy rzut oka nieco nieoczekiwaną cechą omawianej teorii jest to, że jeśli nawet atom wodoru obdarzony «ładunkiem» energii $16 \cdot 10^{-12}$ ergów *nie podlega żadnym oddziaływaniom zewnętrznym*, to jednak elektron musi po upływie pewnego czasu «samorzutnie» przeko-

czyć z powrotem na pierwotną mniejszą orbitę wysyłając przy tym $16 \cdot 10^{-12}$ ergów energii w postaci promieniowania. Einstei n wykazał, że gdyby tak nie było, to wielokrotnie sprawdzone i potwierdzone prawo promieniowania «ciała czarnego» wykryte przez Plancka nie mogłoby być prawdziwe. A zatem zbiór atomów wodoru, w których elektrony zakreślają orbity większe niż najmniejsza z orbit dozwolonych, wykazuje pewną analogię do zbioru atomów uranu czy innego ciała promieniotwórczego — pod tym względem, że *atomy te przechodzą samorzutnie z biegiem czasu do stanów o mniejszej energii*.

Orbity elektronów w atomach bardziej złożonych rozmieszczone są w ogólności w podobny sposób jak w atomie wodoru, różnią się jednak od tamtych rozmiarami. W atomie wodoru elektron spada, jak widzieliśmy, po upływie odpowiedniego czasu, na orbitę o najmniejszej energii i pozostaje tam na stałe. Można by wnioskować na zasadzie analogii, że w atomach bardziej skomplikowanych o wielu elektronach wszystkie elektrony również znajdą się z biegiem czasu na orbicie o najmniejszej energii. Tak się jednak nie dzieje: *na jednej i tej samej orbicie nie ma miejsca dla dwóch lub więcej elektronów*. Jest to specjalny przypadek ogólnej zasady, która zdaje się zajmować miejsce naczelne w całej fizyce; nosi ona nazwę «zasady wyłączenia» * — i jest to prawie wszystko, co możemy o niej powiedzieć: w chwili obecnej zaczynamy zaledwie pojmować jej treść istotną. W innym szczególnym przypadku jest ona identyczna ze znanym od dawna podstawowym twierdzeniem, iż dwa różne ciała nie mogą jednocześnie zajmować tego samego miejsca w przestrzeni. Nie próbując zgłębiać owej zasady podstawowej możemy przyjąć fakt, że dwa elektrony nie mogą zajmować nie tylko tego samego miejsca, lecz nawet tej samej orbity. Sprawa przedstawia się tak, jak gdyby elektron rozpościerał się niejako po całej swej orbicie nie pozostawiając już miejsca dla innego. Niewątpliwie nie można uważać tego za dokła-

* Albo „zasady Pauli'ego“. (Przyp. tłum.)

dn y obraz rzeczywistości; a jednak nowoczesna teoria mechaniki falowej wysuwa pogląd, iż w pewnym znaczeniu, którego nie umiemy jeszcze całkiem dokładnie określić, orbity o najmniejszej energii w atomie wodoru są orbitami możliwymi właśnie dlatego, że elektron może je wypełnić całkowicie; inne orbity sąsiednie zaś są wzbronione z tego powodu, iż elektron musiałby je wypełniać np. $\frac{3}{4}$ czy też $1\frac{1}{2}$ razy. Podobnie sprawa się przedstawia w przypadku atomów bardziej złożonych. Jest rzeczą znamionną, że *nie znamy w fizyce ani jednego zjawiska, które by pozwalało stwierdzić, że w danej chwili jakiś elektron znajduje się w tym a w tym punkcie swej orbity o najmniejszej energii*. Twierdzenie takie wydaje się całkowicie pozbawione znaczenia fizycznego, stan atomu zaś jest najwidoczniej wyznaczony z wszelką możliwą ścisłością przez stwierdzenie, iż w danej chwili elektron znajduje się *na pewnej określonej orbicie*, jak gdyby elektron sam rozpostarł się wzdłuż niej na kształt pierścienia. Nie można powiedzieć tego samego o innych orbitach. W miarę tego, jak przechodzimy do orbit o większej energii a więc i o większej średnicy, owa nieoznaczoność przybiera stopniowo inną postać i wreszcie przestaje odgrywać poważniejszą rolę. Bez względu na to, jaką postać przybiera elektron biegnący po małej orbicie w pobliżu jądra, staje się on na wielkiej, dalekiej od jądra orbicie zwykłą cząstką materialną, obdarzoną nabojem elektrycznym.

Jakakolwiek więc byłaby istotna tego przyczyna, faktem jest, że poszczególne elektrony w atomie muszą znajdować się *każdy na innej orbicie*. Można by porównać je do ludzi wchodzących na drabinę: jak dwu ludzi nie może stanąć jednocześnie na jednym i tym samym szczeblu, tak dwa elektrony nie mogą nigdy biec jeden za drugim po tym samym torze. Atom neonu np., zawierający 10 elektronów, znajduje się w swym stanie normalnym, tj. w stanie o najmniejszej energii, wówczas, gdy owe elektrony zajmują dziesięć orbit o możliwie najmniejszej energii. W każdym atomie istnieją, jak to wykazuje teoria kwantów, *dwie* orbity, których energia jest jednakowa i mniejsza niż w przypadku dowolnej innej or-

bity; potem idzie *osiem* orbit o znów jednakowej, lecz znacznie większej energii, dalej *osiemnaście* orbit o energii jeszcze większej itd. Ponieważ elektrony posiadają tę samą energię na wszystkich orbitach pewnej grupy, często używa się obrazowego lecz nieścisłego wyrażenia, że stanowią one «*pierścień*» lub «*warstwę*» elektronów.

Owe pierścienie czy też warstwy oznacza się kolejnymi literami *K*, *L*, *M* itd. Warstwa *K*, najbliższa jądra, zawiera d w a tylko elektrony; następne lokują się w warstwie *L*, która może pomieścić o s i e m elektronów, zakreślających orbity różne wprawdzie, lecz posiadające tę samą energię. Jeśli elektronów jest jeszcze więcej, wchodzą one w skład warstwy *M* i tak dalej.

W swym stanie normalnym atom w o d o r u ma jeden elektron w warstwie *K*, atom h e l u natomiast posiada tu dwa elektrony, przy czym warstwy *L*, *M* i wyższe są nieobsadzone. Atom l i t u, następny w kolei rosnącej złożoności budowy, z trzech swoich elektronów zaledwie dwa zmieścić może w warstwie *K*, trzeci zaś musi przebywać na pierścieniu *L*. W b e r y l u, zawierającym cztery elektrony, dwa mieszczą się na tym pierścieniu i tak dalej, dopóki nie dojdziemy do n e o n u (10 elektronów), przy którym zarówno warstwa *K* jak i *L* są już całkowicie wypełnione. W następnym atomie, s o d u, jeden z jedenastu elektronów usadawia się na jeszcze bardziej od jądra odległej warstwie *M* itd. Jeżeli elektrony nie są wzbu-dzone przez promieniowanie lub inny jakiś czynnik, każdy atom przechodzi z biegiem czasu do stanu, w którym jego elektrony zajęły, po jednym na każdej, wszystkie orbity o najmniejszej energii.

O ile możemy wnioskować z danych doświadczalnych, atom, który stan ten osiągnął, staje się prawdziwym p e r p e - t u u m m o b i l e; *elektrony bowiem poruszają się po swych orbitach* (przynajmniej w teorii B o h r a) *nie tracąc zupełnie energii* ani przez promieniowanie, ani w inny sposób. Wydaje się rzeczą zdumiewającą i zupełnie niezrozumiałą, iż atom, znajdujący się w takim stanie, nie może dalej jeszcze zmniejszyć zasobu swej energii; tak jednak sprawa przedstawia się

w rzeczywistości, o ile możemy o tym sądzić z całokształtu naszego doświadczenia. I ta właśnie niezrozumiała cecha atomu jest ostateczną przyczyną tego, że *Wszechświat trwa*. Gdyby nie to zastrzeżenie, cała energia zawarta w materii zniknęłaby w postaci promieniowania w ciągu kilku miliardowych części sekundy. Gdyby atom wodoru w stanie normalnym mógł promieniować w taki sposób, jak tego żądały prawa fizyki znane w XIX wieku, musiałby wskutek emisji promieniowania *kurczyć się* z prędkością przeszło metra na sekundę, przy czym elektron przechodziłby nieustannie na orbity o coraz to mniejszej energii. Po upływie miliardowej części sekundy elektron i jądro zlałyby się ze sobą i prawdopodobnie cały atom zniknąłby w jednym błysku promieniowania. Dzięki zakazowi promieniowania niekwantowego i zakazowi wszelkiego promieniowania, gdy atom nie ma już kwantów do wysłania, teoria kwantów tłumaczy fakt *trwałego istnienia* Wszechświata.

SKUTKI MECHANICZNE WYWIERANE PRZEZ PROMIENIOWANIE

Ilość energii potrzebna do zakłócenia stanu pewnego układu ciał naelektryzowanych jest tym większa, im bardziej zwarta jest budowa tego układu; jeśli energia ta jest dostarczana w postaci pojedynczego kwantu, oznacza to, iż tym mniejsza musi być długość fali promieniowania padającego. *Ustrój atomowy o budowie bardzo zwartej może ulec zakłóceniu jedynie przez promieniowanie o bardzo krótkiej fali.*

Okręt płynący po wzburzonym morzu jest najbardziej narażony na uszkodzenie a jego pasażerowie na chorobę wówczas, gdy długość jego równa się mniej więcej długości fal morskich; fale krótkie kołyszą silnie mały okręt, fale długie — wielki, lecz kołysanie się morza o *bardzo* długiej fali nie wyrządza większej szkody ani jednemu, ani drugiemu. Nie ma tu jednak istotnej analogii ze skutkami wywieranymi przez promieniowanie, gdyż długość fali promieniowania zdolnego rozbić układ naelektryzowany *setki razy* przewyższa

jego rozmiary; w dziedzinie żeglarstwa odpowiadałyby temu fale o długości wielu kilometrów. W grubym przybliżeniu można powiedzieć, że układ naelektryzowany ulegnie zakłóceniu przez promieniowanie wówczas, *gdy długość fali tegoż jest około 860 razy większa od rozmiarów układu*, może zaś być rozbity jedynie przez promieniowanie o falach krótszych*. Tak więc przyczyna tego, iż światło niebieskie działa na kliszę fotograficzną, czerwone zaś nie, polega na tym, że długość fali pierwszego jest mniejsza, światła czerwonego zaś większa niż 860 razy wzięta średnica cząsteczki bromku srebra; musimy wziąć fale o długości mniejszej od owej «860-krotnej granicy», zanim coś może się zdarzyć atakowanemu układowi.

Gdy atom oddaje swój zasób nagromadzonej energii, wówczas światło, które przy tym wysyła, posiada tę samą długość fali, co światło pochłonięte przy powstawaniu owego zasobu energii: ponieważ oba kwanty niosą tę samą ilość energii, długości ich fali muszą być także równe. Wynika stąd, że *promieniowanie wysyłane przez układ nabojów elektrycznych posiada na ogół długość fali około 860 razy większą od rozmiarów układu*. Zwykle światło widzialne wysyłane jest przeważnie przez atomy, posiada więc długość fali mniej więcej 860 razy przekraczającą średnicę atomów; właśnie dlatego, że ma tę długość fali, może ono działać na atomy naszej siatkówki i stać się w ten sposób widzialnym.

* Czytelnik obznajmiony z matematyką wyjaśni sobie bez trudu, skąd bierze się ta reguła. Otóż energia, potrzebna do rozdzielenia dwu nabojów elektrycznych, $+e$ i $-e$, znajdujących się w odległości r od siebie, wynosi $\frac{e^2}{r}$, energia zaś potrzebna do zmiany budowy lub do rozbicia układu o rozmiarach liniowych r , złożonego z elektronów i protonów, będzie w ogóle tego samego rzędu wielkości. Jeśli λ oznacza długość fali promieniowania, to energia, zużyta przy absorbcji odpowiedniego kwantu, wynosi $\frac{hc}{\lambda}$. Wziąwszy jeszcze pod uwagę, że wartość liczbowa h wynosi prawie dokładnie $860 \frac{e^2}{c}$, znajdujemy, że długość fali promieniowania, które może tu w grę wchodzić, jest w przybliżeniu 860 razy większa od rozmiarów układu nabojów, podlegającego rozbiciu.

Promieniowanie o tej długości fali zakłóca jedynie najbardziej zewnętrzne elektrony w atomie; natomiast fale znacznie krótsze mogą mieć skutki daleko bardziej niszczące: tak np. promienie Roentgena mogą rozbić o wiele bardziej zwarte wewnętrzne warstwy elektronowe atomu, *K*, *L* itd. Promieniowanie o fali jeszcze krótszej może zakłócić nawet równowagę protonów i neutronów wewnątrz jądra; to ostatnie bowiem, podobnie jak same atomy, jest układem, w którym występują naboje elektryczne, musi więc podobnie zachowywać się względem padającego na nie promieniowania, pomijając oczywiście ogromną różnicę w jego długości fali. Ellis i inni badacze znaleźli, że promienie γ , wysyłane przez atomy pierwiastka promieniotwórczego radu *B* podczas ich rozpadu, mają długości fali: 3,52, 4,20, 4,80, 5,13 i $23 \cdot 10^{-10}$ cm. Fale te są około stu tysięcy razy krótsze niż fale światła widzialnego, co wynika stąd, że jądro atomowe tyleż mniej więcej razy jest mniejsze od całkowitego atomu. Promieniowanie o tej długości fali powinno być tak samo skuteczne przy zakłóceniu budowy jądra radu *B*, jak światło sto tysięcy razy bardziej długofalowe przy zakłócaniu atomu wodoru.

Ponieważ długość fali promieniowania pochłanianego czy też wysyłanego przez atom jest odwrotnie proporcjonalna do wartości kwantu energii, wynika stąd, że kwant potrzebny do «podrażnienia» jądra atomowego musi nieść około 100 000 razy tyle energii co kwant wystarczający do zakłócenia zewnętrznej warstwy atomu. Jeżeli atom wodoru będziemy uważali za automat działający po wrzuceniu dziesięciogroszówki, to na automat, przedstawiający jądro atomu promieniotwórczego, podziła dopiero większa ilość banknotów tysiącłotowych.

Materia o tak wysokiej temperaturze, jaka występuje w gwiazdach, zawiera w obfitości zarówno kwanty o wielkiej energii, jak i cząstki poruszające się z wielkimi prędkościami. Zanim jednak będziemy mogli rozpatrzyć działania takich kwantów i cząstek, musimy zastanowić się nad tym, jak ich energia zależy od temperatury.

PROMIENIOWANIE TERMICZNE. Mówiąc w życiu codziennym o czerwonym lub białym żarze mamy na myśli temperaturę, do której należy ogrzać daną substancję, by mogła wysyłać światło o barwie czerwonej czy białej. Mówimy, że drucik w żarówce węglowej jest rozgrzany do czerwonego, w żarówce wolframowej z gazem — do żółtego żaru. Nie jest rzeczą konieczną wyszczególnienie substancji, z którą mamy do czynienia; jeśli węgiel wysyła światło czerwone przy temperaturze 1000° *, to wolfram lub inna jakaś substancja, ogrzana do tej samej temperatury, będzie emitowała światło tej samej barwy. Podobnie sprawa przedstawia się w przypadku innych barw. Każdej zatem barwie, a więc i *każdej długości fali promieniowania odpowiada pewna określona temperatura*, mianowicie ta, przy której dana długość fali występuje z *największym natężeniem w widmie* światła wysyłanego przez ciało rozgrzane. Skoro temperatura ciała zbliża się do wspomnianej wartości, promieniowanie o tej długości fali przybiera znaczne natężenie; w temperaturach jednak o wiele niższych natężenie to jest niemal niedostrzegalne **.

Podobnie, jak mówi się o czerwonym czy białym żarze, można by też użyć wyrażenia: «żar rentgenowski» lub «żar gamma». Im krótsza fala promieniowania, tym wyższa jest odpowiadająca jej temperatura określona w przytoczony sposób; gdy temperatura ciała wzrasta, wysyła ono światło o coraz to mniejszej długości fali i *maximum natężenia w widmie tego światła przesuwa się stopniowo przez całe widmo* — od czerwieni, przez barwę pomarańczową, żółtą, zieloną, niebieską, szafirową i fioletową aż do nadfioletu, promieni X itd. Nie rozporządzamy zakresem temperatur wystarczającym na to, by wszystkie te stadia móc obserwować w pracowni, lecz przyroda daje nam je w gwiazdach.

* Autor podaje tu 3000° ; jednakże światło ciała o tej temperaturze jest białe. Być może, chodzi o stopnie skali F a h r e n h e i t a. (Przyp. tłum.)

** Owa długość fali promieniowania λ i odpowiadająca jej temperatura T , wyrażona w stopniach skali bezwzględnej (liczonej od -273° C), są związane znaną zależnością:

$$\lambda T = 0,2885 \text{ cm} \times \text{stop.}$$

SKUTKI CIEPŁA. Widzieliśmy już, że aby rozbić układ nabożów elektrycznych, ześrodkowanych w niewielkiej przestrzeni, należy użyć promieniowania o krótkiej fali. Ponieważ małe długości fali są związane z wysokimi temperaturami, okazuje się, że im mniejsze są rozmiary układu, tym wyższa musi być temperatura, przy której następuje rozbitcie układu. Nie trudno obliczyć temperaturę, od której począwszy układ nabożów o danych rozmiarach pocnie rozpadać się pod wpływem ciepła*.

Tak np. zwykły atom o średnicy około $4 \cdot 10^{-8}$ cm ulegnie rozbitciu przy temperaturach rzędu kilku tysięcy stopni. By wziąć przykład bardziej określony, rozpatrzmy światło, żółte o długości fali 0,00006 cm, związane z temperaturą 4800° , którą można by nazwać «średnią temperaturą żółtego żaru». Przy temperaturach znacznie niższych można otrzymać światło żółte tylko «sztucznie». Gwiazdy jednak i w ogóle ciała ogrzane do 4800° wysyłają «same przez się» światło żółte i dają prążki w części żółtej swych widm, ponieważ światło żółte odrywa elektrony z warstwy zewnętrznej w atomach wapnia i analogicznych pierwiastków. Elektrony te w atomie wapnia poczynają podlegać zakłóceniom dopiero gdy temperatura zbliży się do 4800° . Temperatura ta nie występuje na powierzchni Ziemi (jeżeli pominiemy łuk elektryczny i podobne sztuczne urządzenia), tak iż ziemskie atomy wapnia znajdują się w ogólności stale w swym stanie najmniejszej energii.

Weźmy inny przykład. Najkrótsza fala promieniowania γ , wysyłanego przy rozpadzie radu B , mierzy $3,52 \cdot 10^{-10}$ cm; odpowiada to temperaturze 820 milionów stopni. Najkrótsza fala w przypadku uranu wynosi $0,5 \cdot 10^{-10}$ cm, co odpowiada niesłychanie wysokiej temperaturze 5 800 000 000 stopni. Gdybyśmy mogli osiągnąć przynajmniej w przybliżeniu taką temperaturę, części składowe jąder atomów promieniotwórczych musiałyby

* Z podanego wyżej związku pomiędzy T i λ oraz z omawianego poprzednio przybliżonego prawa «granicy 860-krotnej» wynika, iż układ o średnicy równej r cm ulegnie zakłóceniu pod wpływem promieniowania termicznego, skoro temperatura zbliży się do wartości $\frac{1}{3000 r}$ stopni.

rozpocząć przegrupowania wzajemne, podobnie jak składniki atomu wapnia w temperaturze 4800°. Jeżeli przypuścimy, że zmiana budowy pewnego układu elektrycznego może nastąpić również wskutek bombardowania go cząstkami materialnymi, to temperatura, przy której bombardowanie elektronami, jądrami czy cząsteczkami poczyną wywierać swój wpływ, jest w przybliżeniu równa tej, przy której promieniowanie o «skutecznej» długości fali pojawia się po raz pierwszy z dostrzegalnym natężeniem; *oba te procesy rozpoczynają się w przybliżeniu w jednej i tej samej temperaturze*. Wobec tego staje się rzeczą jasną, dlaczego najwyższe nawet temperatury, jakimi rozporządzamy na Ziemi, nie mają widocznego wpływu na przyspieszenie lub zwolnienie rozpadu promieniotwórczego. To samo jest słuszne również dla gwiazd; rachunek wykazuje, że nie ma w nich temperatur dostatecznie wysokich, by zjawiska promieniotwórcze miały ulec zakłóceniu.

Skutki mechaniczne wywierane przez promieniowanie

Długość fali w cm	Rodzaj promieniowania	Oddziaływanie na atom	Temperatura w stopniach bezwzględnych	Gdzie występuje
7500.10 ⁻⁸ do 3750.10 ⁻⁸	Światło widzialne	Zakłóca elektrony zewnętrzne	3850 do 7700	Atmosfery gwiazd
250.10 ⁻⁸ do 1.10 ⁻⁸	Promienie Roentgena	Zakłóca elektrony wewnętrzne	115000 do 29.10 ⁶	Wnętrza gwiazd
5.10 ⁻⁹ do 1.10 ⁻⁹	Miękkie promienie γ	Odrywa wszystkie lub prawie wszystkie elektrony	58.10 ⁶ do 290.10 ⁶	Środkowe obszary gwiazd o wielkiej gęstości ?
4.10 ⁻¹⁰	Promienie γ radu B	Zakłóca ustrój jądra	720.10 ⁶	?
5.10 ⁻¹¹	Najtwardsze promienie γ	—	5800.10 ⁶	?

W tablicy na str. 165 mamy zestawione długości fali promieniowań koniecznych do wywołania różnorodnych zmian w ustroju atomu. W dwóch ostatnich kolumnach podano odpowiadające tym promieniowaniom temperatury oraz miejsce, gdzie według naszych obecnych wiadomości mogą one występować; bliżej rozpatrzemy i uzasadnimy te sprawy w rozdziale IV (str. 219 i nast.). Tam, gdzie panuje temperatura znacznie niższa od podanej w przedostatniej kolumnie, odnośna przemiana *nie może być skutkiem ciepła, lecz tylko przemianą samorzutną*. Jest ona tu zatem procesem *jednokierunkowym*; ponieważ istniejące promieniowanie posiada zbyt długie fale, by mogły one wprowadzić w ruch «automat» atomowy, przeto atomy nie są w stanie pochłaniać przebiegających obok nich strumieni promieniowania i muszą wciąż spadać stopniowo do stanów o mniejszej energii, jeśli stany takie istnieją.

REAKCJE JĄDROWE WYWOŁYWANE TERMICZNIE

W uzupełnieniu naszej dyskusji musimy rozpatrzyć nie tylko oddziaływania pomiędzy materią a promieniowaniem, lecz również wzajemne oddziaływania cząstek materii między sobą. W szczególności musimy zająć się reakcjami, które powinny zachodzić w warunkach kosmicznych, przede wszystkim zaś w rozżarzonych wnętrzach gwiazd. Panująca tu temperatura przewyższa tak dalece wszystko, co możemy otrzymać w laboratorium, że w wielu przypadkach wnioski swe musimy opierać prawie wyłącznie na teorii.

Mimo to jednak za podstawę służy nam szereg z całą pewnością ustalonych faktów doświadczalnych. W r. 1920 R u t h e r f o r d ostrzeliwał lekkie atomy szybkimi cząstkami α (str. 136) i stwierdził, że celne trafienia dokonywały niekiedy przemiany jąder tych atomów, np. przekształcając jądro atomu azotu w jądro tlenu. W doświadczeniach tych cząstki α pochodziły ze zwykłego rozpadu promieniotwórczego, jednakże w odpowiednich warunkach cząstki takie mogą występować «same przez się». Są to przecież po prostu jądra atomów

helu — a w temperaturach, jakie panują we wnętrzu gwiazd, każdy atom helu ulegnie rozkładowi na dwa elektrony i cząstkę α ; te skutki wysokiej temperatury omawialiśmy przed chwilą. Owe cząstki α muszą we wnętrzu gwiazd posiadać prędkości porównywalne z tymi, jakimi rozporządzał Rutherford, można więc oczekiwać, że trafiając w obce jądra wywołają te same skutki. Sama przyroda zatem wykonywa w rozżarzonym wnętrzu gwiazd nie tylko doświadczenie Rutherforda, lecz poza tym wiele innych. Wnętrza te stały się więc prawdziwymi pracowniami alchemicznymi, w których pierwiastki chemiczne nieustannie przeobrażają się jedne w drugie pod wpływem bombardowania różnymi szybkimi pociskami, jak protony, neutrony, deuterony, cząstki α i inne jądra bardziej złożone. Reakcje tego typu można by nazwać «termojądrowymi»; rządzące nimi prawa badali liczni uczeni: Atkinson i Houtermans, Gamow i Teller i inni. W wielu przypadkach okazuje się, że pewna reakcja jest tak wrażliwa na zmianę temperatury, że można ją związać z jedną określoną temperaturą krytyczną. Nie popełnimy wielkiego błędu przyjmując, że poniżej tej temperatury reakcja zachodzi tylko w znikomych ilościach, w danej temperaturze lub w pobliżu niej — w ilościach umiarkowanych, natomiast w temperaturach wyższych — w skali kolosalnej.

Dla pewnej określonej reakcji owa temperatura krytyczna zależy przede wszystkim od naboju reagujących jąder, a więc od numerów porządkowych substancyj. Najniższa jest dla protonów i najprostszych jąder, rośnie zaś szybko w miarę jak budowa jądra staje się coraz bardziej złożona; w przybliżeniu jest proporcjonalna do kwadratu liczby porządkowej. Tak np. dla reakcji, gdzie wchodzi w grę cząstka α jest około cztery razy wyższa niż gdy rolę odgrywają tylko protony.

Reakcją zachodzącą w temperaturach najniższych jest proste łączenie się protonu z protonem na *deuteron* — jądro izotopu wodoru o masie 2 (str. 130) — przy czym wobec nadmiaru naboju dodatniego zostaje wyrzucony pozytron (str. 140). Deuteron może pochwycić dalsze dwa protony i utworzyć jądro helu.

Z kolei, przy temperaturach od 3 do 7 milionów stopni, zachodzą reakcje pomiędzy protonami a jądrami lekkimi, jak litu, berylu i boru.

W temperaturach jeszcze wyższych, rzędu 20 milionów stopni, pojawia się reakcja protonu z jądrem *węgla*. Łącząc się tworzą one jądro azotu o masie 13, jest to jednak tylko pierwsze ogniwo długiego łańcucha przemian. Jądro azotu 13 może schwytać inny proton i przejść w jądro zwykłego azotu o masie 14, a potem może przyłączyć trzeci proton, stając się jądrem azotu o masie 15. Gdy to ostatnie schwyta czwarty proton, nie tworzy się jądro azotu o masie 16, gdyż taki układ w ogóle nie istnieje. W prawie wszystkich przypadkach zespół ten rozpada się na jądro *węgla* o masie 12 i jądro *helu* (cząstkę α) o masie 4.

Krótko mówiąc, pochłonięcie czterech kolejnych protonów przeprowadza jądro *węgla* poprzez szereg izotopów azotu aż do mety, na której otrzymuje się z powrotem pierwotne jądro *węgla*, wszystkie zaś połknięte *protony* są wydalone z powrotem w postaci jądra *helu*.

W rzeczywistości w opisie tym uprościliśmy przebieg zjawisk w dwóch punktach. Jądro azotu o masie 13 nie chwyta drugiego protonu *bezpośrednio*, lecz musi najpierw rozpaść się samorzutnie na jądro *węgla* o masie 13 i pozytron. To jądro *węgla* pochłania następnie proton i dzięki temu przechodzi w jądro azotu 14. Podobnie, schwytywanie trzeciego protonu nie prowadzi bezpośrednio do powstania jądra azotu 15; produktem wstępnym jest jądro *tlenu* o masie 15, które od razu rozpada się na jądro azotu o tej samej masie i pozytron.

Wynikiem ogólnym jest *zespólenie się czterech protonów w jądro helu*. Jak widzieliśmy poprzednio (str. 148), musi być przy tym uwolniona energia o masie równej 0,028 jednostek ciężaru atomowego. Zobaczymy w dalszym ciągu, że proces ten powtarzający się nieustannie biliony bilionów razy w sekundzie, prawdopodobnie dostarcza głównej części energii, jaką wysyłają Słońce i gwiazdy.

ROZDZIAŁ III

Czas

BADALIŚMY bezmiary przestrzeni do najodleglejszych głębi, do których sięgnąć mogą nasze teleskopy; opisywaliśmy zawiłą budowę tych tworów znikomo małych, z których składa się świat materialny — atomów: obecnie zajmujemy się życiem Wszechświata, jako zjawiskiem odbywającym się w czasie.

Życie człowieka, a nawet te parę tysięcy lat zapisanych w rocznikach historii — to okresy o wiele za krótkie, aby mogły nam tu oddać jakiekolwiek usługi: musimy znaleźć sondę daleko dłuższą, by zgruntować głębie wieków przeszłych i przyszłych.

Będziemy się posługiwali metodą dobrze znaną z geologii. Nie troszcząc się o brak bezpośrednich świadectw historycznych geologowie twierdzą, iż życie istnieje na ziemi od milionów lat, ponieważ jego szczątki kopalne można znaleźć pod pokładami, które musiały się tworzyć w ciągu milionów lat. Zagłębiając się w ziemię poprzez kolejne warstwy pokładów badają oni dzieje Ziemi tak, jak geograf podróżujący po jej powierzchni bada obecne ukształtowanie tej powierzchni w przestrzeni.

Astronomia może zastosować podobną metodę. Staramy się znaleźć takie zjawisko astronomiczne, taką własność czy wielkość, które by okazywały stały wzrost lub stałe zmniejszanie się, podobnie jak ilość piasku w dolnej czy górnej połowce klepsydry; oceniamy następnie prędkość, z jaką zmiana ta zachodzi w chwili obecnej, a także — jeśli to jest możliwe — z jaką odbywała się w odmiennych warunkach w czasach ubiegłych; wówczas określenie chwili, kiedy proces ten się rozpoczął, staje się już tylko sprawą rachunku, jakkolwiek nieraz może dość skomplikowanego.

WIEK ZIEMI

Dobry przykład zastosowania tej metody znajdujemy przy stosunkowo prostym zagadnieniu wieku Ziemi.

Pierwszej próby naukowego określenia wieku Ziemi dokonał astronom Halley w r. 1715. Rzeki unoszą codziennie do mórz pewną ilość wody zawierającej w roztworze niewielkie ilości soli; woda mórz paruje i powraca w swoim czasie do rzek, sól jednak pozostaje. Wskutek tego zawartość soli w oceanach wzrasta powoli, lecz nieustannie i obecny stan «zasolenia» ich dostarczyć może pewnych danych dotyczących długości czasu, w ciągu którego sól ta się gromadziła. «Użytkaliśmy w ten sposób podstawę», wyraził się Halley — może z pewną dozą optymizmu — «do oceny czasu istnienia wszechrzeczy».

Rozważania przytoczone nie prowadzą wprawdzie do zbyt dokładnej oceny wieku Ziemi, lecz obliczenia oparte na nowszych danych wskazują, iż musi on wynosić setki milionów lat.

KLEPSYDRA GEOLOGICZNA. Ścisłejsze wnioski można wyciągnąć z gromadzenia się osadów spłukiwanych przez opady atmosferyczne. Każdy rok upływający przyczynia się do wygładzenia rzeźby powierzchni ziemskiej: cząstki, które niedawno jeszcze leżały wysoko na stokach gór i pagórków — dziś, spłukane przez deszcze do rzek, unoszone są w postaci mułu do morza. Sama Tamiza np. unosi do morza jeden do dwu milionów ton mułu rocznie. Na ile czasu starczy łądu Anglii przy takim rozchodzie i od jak dawna trwa już to zużycie? Nawet w ciągu naszego krótkiego życia można stwierdzić powstawanie i zapadanie się podmytych obwałów na wybrzeżach morskich; tak np. znaczna część południowego wybrzeża wyspy Wight znika stopniowo w naszych oczach. Oцениwszy prędkość, z jaką zachodzą te i podobne zjawiska, można stąd określić, od jak dawna musiało odbywać się tworzenie osadów, by mogły one osiągnąć grubości obserwowane w uwarstwieniach geologicznych.

Grubości te są bardzo znaczne; prof. Artur Holmes podaje następujące wartości maksymalne:

Era kenozoiczna («nowożytna historia życia»)	22 000 metrów	
Era mezozoiczna («średniowieczna historia życia»)	27 700	»
Era paleozoiczna («starożytna historia życia»)	56 400	»
Ery przedkambryjskie («prehistoria» i początki życia)	co najmniej 55 000	»
Razem — co najmniej	161 100 metrów	

Możemy wytworzyć sobie pewne ogólne wyobrażenie o prędkości tworzenia się tych osadów. Od czasów Ramzesa II w Egipcie, tzn. od przeszło 3000 lat, grubość osadów w Memfis wzrastała, średnio biorąc, o metr na 1500 lat: archeologowie muszą kopać dwa metry w głąb, by dotrzeć do poziomu, który był powierzchnią gruntu za panowania Ramzesa II. A przecież metrowej grubości warstwa z tego materiału daje ostatecznie parokrotnie cieńszą warstwę skały; tworzenie się metrowej warstwy skalistej trwałoby kilka tysięcy lat.

Przy założeniu, że średnia prędkość tworzenia się osadów wynosi metr na 3300 lat, musiałoby upłynąć przeszło 500 milionów lat, aby mogła powstać warstwa grubości 160 km podana w przytoczonej tabliczce; przy prędkości metr na 13 000 lat okres ten wyniósłby około 2100 milionów lat. Oceny oparte na prędkości denudacji dają liczby podobne.

Opisaną metodę oceny okresów geologicznych nazwano «klepsydrą geologiczną»: stwierdzamy tu, ile piasku w klepsydrze już się usypało i z jaką prędkością sypie się on w chwili obecnej, a wówczas prosty rachunek mówi nam, jak dawno temu odwrócono klepsydrę... Zegar piaskowy nie daje nam jednak pewności, że piasek sypie się stale z tą samą prędkością; metody geologiczne pozwalają wprawdzie stwierdzić, iż wiek Ziemi wynosić musi setki milionów lat, lecz aby otrzymać dane dokładniejsze, należy uciec się do ściślejszych metod fizycznych i astronomicznych. Na szczęście, atomy ciał promieniotwórczych, omówionych

w rozdziale poprzednim, stanowią znakomity zbiór «zegarów», których chód — o ile nam wiadomo — nie zmienia się wcale w ciągu wieków.

ZEGAR PROMIENIOTWÓRCZY. Mówiliśmy już, że po upływie dostatecznie długiego czasu jeden gram uranu rozpada się na 0,865 g ołowiu i 0,135 g helu. Jest to zjawisko *zupełnie samorzutne*: nie znamy we Wszechświecie czynnika, który mógłby w najmniejszej nawet mierze przyspieszyć lub zwolnić ten proces. Poniższa tabliczka ilustruje nam postęp rozpadu:

Dzieje jednego grama uranu

Początkowo			1 g uranu	0 g ołowiu
Po upływie	100 milionów lat		0,985 g uranu	0,013 g ołowiu
»	1000	»	0,865 »	0,116 »
»	2000	»	0,747 «	0,219 »
»	3000	»	0,646 »	0,306 »

itd. A zatem pewna niewielka ilość uranu może być doskonałym «zegarem», jeżeli tylko umiemy wyznaczyć ilość ołowiu, która się z niej wytworzyła, oraz ilość pozostałego uranu. W czasie, gdy powierzchnia Ziemi zakrzepła, w świeżo utworzonych skałach uwięzła niejedna cząstka uranu, która może nam dać dzisiaj świadectwo o wieku Ziemi. Oczywiście, nie mamy prawa przypuszczać z góry, że *w s z y s t e k* ołów, występujący łącznie z uranem w skałach uranonośnych, powstał na drodze rozpadu promieniotwórczego. Na szczęście jednak, ten właśnie rodzaj ołowiu *r ó ż n i* się nieco od zwykłego: posiada on mianowicie ciężar atomowy 206,0, gdy tymczasem ciężar atomowy ołowiu zwykłego wynosi aż 207,2. Analiza chemiczna kawałka skały promieniotwórczej dostarcza nam więc dokładnych danych o tym, jaka część obecnego w niej ołowiu jest ołowiem zwykłym, a jaka powstała wskutek przemian promieniotwórczych. Stosunek tej ostatniej ilości do ilości pozostałego uranu określa dokładnie okres czasu, w ciągu którego zachodził w tym kawałku skały proces rozpadu promieniotwórczego.

W ogólności wszystkie próbki skał pochodzące z tej samej warstwy geologicznej dają odpowiedzi z g o d n e i pozwalają w ten sposób ustalić, ile czasu upłynęło od powstania danej warstwy. Zestawiając te dane z wynikami badania skamieniałości organicznych, otrzymujemy taką mniej więcej *tabliczkę chronologiczną*:

	Czas trwania danej epoki	Ogółem
	w milionach lat	
Era kenozoiczna (ssaki, ptaki bezzębne, rośliny kwiatowe)	60	60
Era mezozoiczna (olbrzymie gady, ptaki uzębione)	140	200
Era paleozoiczna (ryby w morzach, roślinność na lądzie)	400 (?)	600 (?)
Ery przedkambryjskie (pierwotne formy życia)	400 (?)	1000 (?)

W ten sposób możemy ustalić *czas istnienia życia na Ziemi* jako zawarty w granicach *od 300 do 1000 milionów lat*. Trudniejszą rzeczą jest podać *wiek samej Ziemi*. Najstarsze z dotychczasowych zbadanych skał mają *1750 milionów lat*, jest to więc minimalny okres czasu, jaki upłynął od skrzepnięcia skorupy ziemskiej. Jednakże «zegar promieniotwórczy» nie zdoła określić, jak długo Ziemia znajdowała się przedtem w stanie *c i e k ł y m* lub plastycznym, gdyż produkty rozpadu atomów mogły wówczas łatwo oddzielić się jedne od drugich; musimy tu więc poszukać innego źródła wiadomości.

Uran posiada izotop (p. str. 130), zwany *aktynouranem*. Stosunek wzajemny ilości obu tych izotopów ulega wciąż zmianie, ponieważ posiadają one niejednakowy okres rozpadu. Z obecnej wartości tego stosunku Rutherford obliczył, iż wiek materii ziemskiej *nie może przekraczać 3400 milionów lat*, prawdopodobnie zaś wynosi znacznie mniej.

Inne wyniki są nieco większe. O ł ó w posiada osiem izotopów o ciężarach atomowych zawartych w granicach od 203

do 210; niektóre z nich są produktami rozpadu promieniotwórczego uranu i aktynu. Na podstawie względnej obfitości różnych izotopów S. Meyer ocenia wiek materii ziemskiej na około 4600 milionów lat. Kocky posługując się nowszymi danymi poprawił tę liczbę na 5300 milionów lat. Wiek Ziemi jako planety musi być oczywiście mniej «poważny».

Z przeciętnej zawartości ołowiu, uranu i toru w skałach pochodzenia plutonicznego, wynoszącej 7,5 gramów ołowiu, 6 gramów uranu i 15 gramów toru na tonę skały, Russell oblicza, iż nawet gdyby wszystkie ten ołów pochodził z rozpadu promieniotwórczego, wiek Ziemi nie mógłby przekraczać 3000 milionów lat. W rzeczywistości nie dosięga on tej wartości, po pierwsze dlatego, że część tego ołowiu może w ogóle nie być produktem rozpadu promieniotwórczego, po wtóre zaś dlatego, że część «promieniotwórczego» ołowiu mogła być powstać jeszcze na Słońcu, z a n i m Ziemia oderwała się od niego (str. 275 i nast.).

Zestawmy więc raz jeszcze oceny czasu, który upłynął od skrzepnięcia skorupy ziemskiej:

Wiek ziemi odczytany na «zegarze promieniotwórczym»

- | | | | |
|---|----------------------------|---|---|
| 1. Ze stosunku ilości ołowiu do ilości uranu w skałach promieniotwórczych | przeszło 1750 milionów lat | | |
| 2. Ze stosunku ilości uranu i aktynouranu | mniej niż 3400 | » | » |
| 3. Z ilości względnej izotopów ołowiu | mniej niż 5300 | » | » |
| 4. Z zawartości ołowiu w skałach plutonicznych | mniej niż 3000 | » | » |

Do oceny czasu, jaki upłynął od powstania układu słonecznego, służą również różne metody astronomiczne. «Zegarem» jest tu *kształt orbit* planet i satelitów; wprawdzie nie zmienia się on z jednakową prędkością, znamy wszakże prawa, które rządzą tymi zmianami, tak iż można obliczyć prędkość ich w przeszłości, a stąd przez odpowiednie sumo-

wanie wyznaczyć czas potrzebny do wytworzenia się warunków obecnych.

Poniższe dane zawdzięczamy H. Jeffreysowi.

Wiek układu słonecznego według «zegara astronomicznego»:

1. Z orbity Merkurego: od 1000 do 10 000 milionów lat.
2. Z orbity Księżyca: w przybliżeniu 4000 milionów lat.

Jeszcze jednym «zegarem» jest *promieniotwórczość meteorytów* (str. 284 i nast.). Paneth oraz jego współpracownicy wykonali analizy składu chemicznego i promieniotwórczego wielkiej liczby brył meteorycznych, otrzymując stąd ich wiek w granicach od niecałych 110 milionów do około 7 miliardów lat. Gdybyśmy byli pewni, że te ostatnie meteoryty powstały wewnątrz układu słonecznego, musielibyśmy przyjąć 7 miliardów lat jako minimalny wiek materii, z której układ ten jest zbudowany.

Aczkolwiek wszystkie przytoczone liczby nie stanowią jakiegś bardzo dokładnej oceny wieku Ziemi jako planety oraz wieku materii ziemskiej, to jednak wszystkie one wskazują, że musi on wyrażać się w *miliardach lat*. Jeśliby chodziło o wybór, dla ustalenia uwagi, jakiegś liczby okrągłej, określającej wiek Ziemi, to może najodpowiedniejsza byłaby *trzy miliardy lat*. Materia, z której Ziemia się składa, musiała istnieć oczywiście przez pewien okres przed jej powstaniem.

PROMIENIOWANIE SŁOŃCA

Badania geologiczne sięgające aż do tych skał, które utworzyły się jakieś 300 milionów lat temu, świadczą, że podczas całego tego okresu Słońce wysyłało promieniowanie mniej więcej *tak samo* obficie, jak obecnie. Co więcej, ogólne względy natury astronomicznej, które wkrótce rozpatrzymy, każą przypuszczać, że Słońce promieniowało tak samo w ciągu *większej części* owych 3 miliardów lat, jakie upłynęły od narodzin Ziemi.

Jeśli nasi przodkowie zastanawiali się kiedyś nad tą sprawą, to prawdopodobnie nie widzieli nic osobliwego w tym tak obfitym upływie światła i ciepła; nie mieli oni jasnego pojęcia o zasadzie zachowania energii oraz o zdumiewającej długości czasu, w ciągu którego upływ ten trwa. Dopiero w połowie ubiegłego wieku, gdy zaczęto sobie jasno zdawać sprawę z zasady zachowania energii, źródło energii słonecznej stało się zagadnieniem naukowym i to zagadnieniem niezmiernie trudnym. Promieniowanie Słońca stanowi dlań oczywiście stratę energii, a ponieważ zasada zachowania energii uczy, że nie może ona wziąć się z niczego, energia ta musi pochodzić z jakiegoś źródła czy zapasu, mogącego pokryć olbrzymie jej straty przez czas tak długi. Gdzie należy szukać tego źródła czy zasobu?

Słońce wysyła obecnie promieniowanie w takiej ilości, że jeśliby energia ta była wytwarzana w jakiejś fabryce znajdującej się poza nim, centrala owa musiałaby spalać wiele tysięcy bilionów ton węgla na sekundę. Oczywiście centrala taka nie istnieje: Słońce zdane jest całkowicie na własne zasoby — jest to okręt samotny na pustym oceanie. Gdyby Słońce, jak okręt, niosło z sobą swój zapas węgla lub gdyby cała jego masa była tym zapasem paliwa, którego spalanie wytwarza jego światło i ciepło — to zamieniłoby się doszczętnie w żużel i popiół w przeciągu *kilku tysięcy lat*.

Historia nauki zanotowała jedną tylko próbę przypisania energii słonecznej pochodzenia z *e w n ę t r z n e g o*. Mówiliśmy już, że energia ruchu pocisku zamienia się na ciepło, gdy prędkość pocisku maleje. W astronomii spotykamy dobrze znany przykład tego zjawiska w przypadku gwiazd spadających. Są to ciała, które jak pociski wpadają w atmosferę ziemską z przestrzeni międzyplanetarnych. Gdy ciało takie biegnie w przestrzeni próżnej, przyciąganie przez Ziemię zwiększa jego prędkość; po wkroczeniu jednak w obręb atmosfery ziemskiej opór powietrza hamuje jego ruch i energia ruchu przekształca się stopniowo w ciepło. Gwiazda spadająca najpierw rozgrzewa się a potem rozżarza, wysyłając jasne światło, które nam świadczy o jej istnieniu; na koniec zmienia się

całkowicie w parę i znika, pozostawiając za sobą jedynie krótkotrwałą smugę świecącego gazu. Pierwotny zasób energii kinetycznej meteorytu uległ przemianie w światło i ciepło — światło, które pozwala nam ją ujrzeć, i ciepło, które ją zamienia w parę.

W r. 1849 R o b e r t M a y e r wypowiedział przypuszczenie, że energia wysyłana przez Słońce mogłaby pochodzić z nieustannego wpadania meteorytów czy innych ciał podobnych w głąb atmosfery słonecznej. Przedzierając się przez nią, traciłyby swą prędkość, energia kinetyczna zaś przekształcałaby się w ciepło. Oczywiście nie może być wątpliwości, że meteoryty istotnie spadają wciąż na Słońce, lecz przyczyniają się one jedynie w zupełnie znikomej części do wydatków energetycznych Słońca. Prosty rachunek wykazuje, iż całkowita masa tych ciał równa masie Ziemi wystarczyłaby z trudem na pokrycie promieniowania słonecznego w ciągu jednego zaledwie stulecia; po trzydziestu milionach lat takiego bombardowania masa Słońca podwoiłaby się. O tak szybkim wzrastaniu masy Słońca nie może być nawet mowy; trzeba zatem odrzucić hipotezę M a y e r a.

W r. 1853 H e l m h o l t z podał teorię dość zbliżoną do poprzedniej, mianowicie sławną «teorię kontrakcyjną», według której samo *kurczenie się Słońca wyzwala energię* pojawiającą się ostatecznie jako promieniowanie. Gdy promień Słońca kurczy się o kilometr, warstwa zewnętrzna Słońca «spada» z wysokości jednego kilometra i wyzwala przy tym tyle energii, co taka sama masa meteorytów spadających z wysokości kilometra i tracących całą swą prędkość. W teorii H e l m h o l t z a części samej bryły słonecznej odgrywają tę rolę, którą M a y e r przeznaczył meteorytom spadającym z zewnątrz; rolę tę odgrywałyby dopóty, dopóki Słońce nie skurczyłoby się tak dalece, że dalsze zmniejszanie się byłoby niemożliwe. Teoria kontrakcyjna H e l m h o l t z a również nie przeżyła próby poddania jej ścisłemu rachunkowi. W r. 1862 lord K e l v i n obliczył, że skurczenie się Słońca do jego obecnych rozmiarów mogłoby pokrywać straty energii wskutek

promieniowania *najwyżej w ciągu 50 milionów lat*, gdy tymczasem dane, których nam dostarcza geologia (str. 171), świadczą o tym, że Słońce świeciło na pewno w ciągu okresów nieporównanie dłuższych. I tutaj nie ma wątpliwości, że kurczenie się dostarczało pewnej części energii, którą Słońce wysyłało dawniej; obecna wydajność tego źródła musi być jednak zupełnie znikoma.

By w poszukiwaniach źródła energii słonecznej mieć pewną nadzieję powodzenia, musimy porzucić zgadywanie i spojrzeć na zagadnienie z nowego punktu widzenia. Widzieliśmy już poprzednio (str. 146), że promieniowanie niesie z sobą masę, tak iż każde ciało promieniujące tracić ją musi nieustannie; w naszym przykładzie promieniowanie reflektora o mocy 40 koni unosiłoby z sobą jeden gram masy na stulecie. Otóż każdy centymetr kwadratowy powierzchni Słońca przedstawia reflektor o mocy 8 koni; stąd wniosek, że traci ono masę w ilości około jednej piątej grama na stulecie, na każdy centymetr kwadratowy. Utrata owa wydaje się bardzo nieznaczna, dopóki nie pomnożymy jej przez całkowitą liczbę centymetrów kwadratowych zawartych w powierzchni Słońca; okazuje się, że *Słońce jako całość traci przeszło 4 miliony ton masy na sekundę*, czyli 250 milionów ton na minutę, to znaczy *650 razy więcej, niż niesie wody Niagara*. Jeśliby promieniowało ono z jednakową siłą w ciągu całego okresu owych trzech miliardów lat, które upłynęły od czasu powstania Ziemi, to całkowita utrata masy wyniosłaby 400 000 trylionów ton, czyli około 1/5000 całej masy Słońca.

W poprzednim rozdziale omawialiśmy przemianę materii w promieniowanie, towarzyszącą samorzutnemu rozpadowi atomów promieniotwórczych. Ze znanych na Ziemi przykładów tego zjawiska najwydajniejszą energetycznie jest przemiana uranu w ołów, przy której około 1/4000 całości masy przekształca się w promieniowanie *. Gdyby zatem Słońce skła-

* Przemianą jeszcze wydajniejszą jest rozszczepienie uranu i innych ciężkich jąder (około $\frac{1}{1000}$ masy przechodzi w energię), na którym oparta jest bomba atomowa. (Przyp. tłum.)

dało się początkowo z czystego uranu, mogłoby ten właśnie ułamek swej masy wydatkować w postaci promieniowania; wystarczyłby on na podtrzymanie promieniowania słonecznego o obecnym natężeniu w ciągu niespełna 4 miliardów lat. Jakkolwiek samorzutny rozpad promieniotwórczy mógłby dostarczyć Słońcu dostatecznego zapasu energii, nie ma podstaw do przypuszczenia, że jest on istotnym źródłem tej energii. Gdyby bowiem tak było, większa część materii słonecznej musiałaby obecnie składać się z produktów rozpadu uranu, możemy zaś być pewni, że tak nie jest. Co więcej, zagadnienie promieniowania słonecznego nie jest problemem izolowanym, lecz stanowi mały wycinek obszerniejszego zagadnienia promieniowania gwiazd w ogóle. Liczne gwiazdy promieniają o wiele energiczniej niż Słońce, toteż źródło, które wystarcza dla Słońca, byłoby na pewno niedostateczne dla owych gwiazd. Wkrótce zobaczymy, że promieniotwórczość nie daje wystarczającego rozwiązania problemu dla ogółu gwiazd.

Rozpatrywaliśmy również inną utratę masy, mianowicie towarzyszącą przemianie pierwiastków, która, jak widzieliśmy, mogłaby zachodzić w rozżarzonej wnętrzu gwiazdy. Widzieliśmy, że zespolenie się czterech atomów wodoru w jeden atom helu uwolniłoby 0,0280 jednostek masy, która zostałaby wydaloną w postaci promieniowania. Wynosi to 0,0070 jednostek masy na każdy atom wodoru, czyli $1/144$ całej jego masy. Gdyby więc Słońce składało się początkowo z czystego wodoru, całkowita przemiana tego wodoru w hel dałaby mu zasób energii wystarczającej na pokrycie promieniowania o dzisiejszym natężeniu w ciągu przeszło 100 miliardów lat.

Inne przemiany wodoru umożliwiłyby promieniowanie w ciągu okresów podobnych. Patrząc na problem z bardzo ogólnego punktu widzenia możemy przypuścić, że wszystkie ciężary atomowe są w przybliżeniu liczbami całkowitymi, z wyjątkiem wodoru, którego ciężar atomowy wynosi 1,0081. W takim razie masa przemieniona na energię w dowolnej przemianie byłaby równa 0,81% masy przekształcającego się wo-

doru, co można też wyrazić jako $1/124$. Przemiany takie mogą więc oczywiście dostarczyć dość energii na promieniowanie Słońca; zobaczymy, iż stanowią one prawdopodobnie główne źródło energii zarówno Słońca, jak i innych gwiazd. Aby jednak podjąć dyskusję tego zagadnienia, musimy bliżej zapoznać się z gwiazdami, tak pod względem ogólnych prawidłowości, jak również przykładów szczególnych. Będzie to przedmiotem następnego rozdziału.

ROZDZIAŁ IV

Gwiazdy

W ROZDZIALE poprzedzającym traktowaliśmy Słońce jako zbiornik energii, jego promieniowanie zaś jako wysyłanie tej energii w przestrzeń świata; to samo dotyczy innych gwiazd. Gdybyśmy mogli osiągnąć dokładną znajomość budowy gwiazdy, zasobu jej energii oraz charakteru emisji tejże, potrafilibyśmy śledzić zachodzące w gwieździe zmiany rok po roku, a więc moglibyśmy nakreślić całkowitą historię jej rozwoju. Każdy znany ustrój gwiazdowy dałby się wówczas rozłożyć na cały szereg konfiguracji możliwych, tak iż moglibyśmy powiedzieć np. «Ta gwiazda jest taka, jaką nasze Słońce było miliard lat temu, a tamta — jaką Słońce będzie za miliard lat». Gwiazdy stałyby się dla nas wielką armią maszerującą po ściśle określonych drogach. Poznalibyśmy stan pierwotny oraz wiek każdej gwiazdy. Bylibyśmy w stanie orzec, czy gwiazdy powstawały w przeszłości nieustannie, czy też wszystkie pojawiły się w jednej określonej epoce.

Zajmiemy się obecnie takimi właśnie zagadnieniami, przede wszystkim jednak musimy omówić warunki fizyczne panujące na gwiazdach różnych typów i wyjaśnić, w jaki sposób astronom zużytkowuje swe obserwacje w celu wysnuwania wniosków dotyczących stanu fizycznego gwiazdy.

OBSERWOWANE CECHY GWIAZD

TEMPERATURA POWIERZCHNIOWA. W rozdziale II (str. 163) była mowa o tym, że każdej barwie światła, czyli długości fali promieniowania, odpowiada pewna określona temperatura w tym znaczeniu, że barwa owa występuje w widmie najsilniej wówczas, gdy ciało posiada tę właśnie tempe-

raturę. Tak np. ciało ogrzane do tzw. «czerwonego żaru» wysyła więcej światła czerwonego niż jakiegokolwiek innej barwy i dlatego wydaje się czerwonym dla naszego oka.

Jeśli więc jakaś gwiazda ma barwę czerwoną, wolno nam wnioskować, że powierzchnia jej posiada tę temperaturę, która nosi nazwę temperatury «czerwonego żaru»; jeśli inna gwiazda okazuje barwę węgla w łuku elektrycznym, możemy powiedzieć, że powierzchnia jej jest rozżarzona do tej mniej więcej temperatury, co ów węgiel w łuku. W ten sposób właśnie oceniamy temperaturę powierzchni gwiazd.

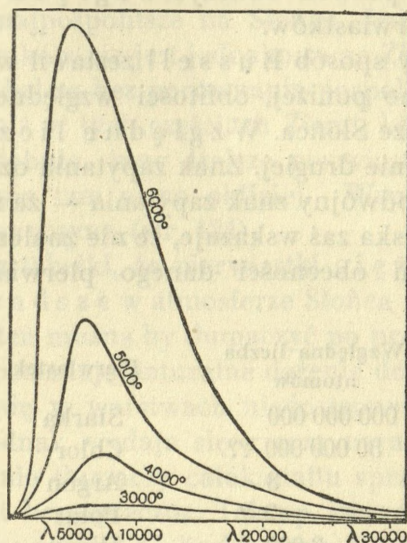
W rzeczywistości stosowane metody nie są tak prymitywne, jak mogłoby się wydawać na podstawie powyższych uwag. Astronom przepuszcza światło gwiazdy przez spektroskop rozkładając je w ten sposób na poszczególne barwy. Następnie wyznacza za pomocą dokładnych pomiarów stosunkowe ilości światła o różnych barwach, skąd znajduje, która z nich występuje najobficiej w widmie gwiazdy. To zaś, względnie także zbadanie o g ó ł n e g o r o z k ł a d u barw, pozwala wyznaczyć temperaturę powierzchniową gwiazdy.

Wiemy już (str. 150), że Planck odkrył prawo rządzące rozkładem promieniowania, wysyłanego przez ciało doskonale pochłaniające, na poszczególne barwy, czyli długości fali w widmie. Cztery krzywe na rys. 11 przedstawiają teoretyczny rozkład promieniowania wysyłanego przez ciała o temperaturach: 3000, 4000, 5000 i 6000° skali bezwzględnej. Na osi odciętych (poziomej) zaznaczono długości fali wyrażone w jednostkach Ångströma (Å — stumilionowa część centymetra). Wzniesienie krzywej nad osią poziomą, czyli rzędna, wskazuje względne natężenie promieniowania o danej długości fali.

Krzywe te pozwolą nam łatwo wyjaśnić na przykładzie wspomniane dwie metody wyznaczania temperatur gwiazdowych. Krzywa dla 6000° osiąga największą wysokość przy długości fali 4800 Å; jeśli więc okaże się, że w widmie pewnej gwiazdy najobficiej występuje światło o tej długości fali, świadczy to, iż powierzchnia tej gwiazdy posiada temperaturę 6000°. Druga metoda polega po prostu na zbadaniu, która z krzy-

wych teoretycznych na rys. 11 zgadza się możliwie najdokładniej z krzywą zaobserwowaną.

Obie te metody wykazują, że temperatura powierzchni Słońca wynosi około 6000° bezwzględnych (lub nieco mniej), w każdym razie jednak jest o 2000° wyższa od temperatury najgorętszych części łuku elektrycznego. Ogólna ilość promie-



Rys. 11. Rozkład promieniowania w zależności od długości fali w różnych temperaturach.

niowania otrzymywanego na Ziemi od Słońca dowodzi, iż promieniowanie to jest prawie dokładnie (jakkolwiek niezupełnie ściśle) promieniowaniem ciała doskonale pochłaniającego o tejże temperaturze. Zresztą wynika to i z faktu, że rozkład promieniowania słonecznego na poszczególne barwy zgadza się bardzo dokładnie z krzywą teoretyczną dla ciała doskonale pochłaniającego, obliczoną dla 6000° (rys. 11).

SKŁAD CHEMICZNY GWIAZD. Na podstawie widma gwiazdy możemy powiedzieć (str. 35), jakie substancje chemiczne znajdują się w jej atmosferze oraz w jakich proporcjach wystę-

pują. Jeśli bowiem znamy temperaturę atmosfery gwiazdy, można obliczyć, jak wyglądałoby jej widmo, gdyby wszystkie substancje występowały równie obficie. Porównanie owego hipotetycznego widma z istotnie obserwowanym okazuje natychmiast, których pierwiastków jest dużo w atmosferze gwiazdy, które zaś istnieją tam w małych tylko ilościach. Dokładniejsze porównanie pozwoli obliczyć w z g l ę d n e i l o ś c i poszczególne pierwiastków.

W podobny sposób R u s s e l l zestawiał w tablicy, której część przytoczono poniżej, obfitości względne różnych atomów w atmosferze Słońca. W z g l ę d n e l i c z b y a t o m ó w podano w kolumnie drugiej. Znak zapytania oznacza, że ocena jest niepewna, podwójny znak zapytania — że niepewność jest bardzo duża, kreska zaś wskazuje, że nie znaleziono na Słońcu żadnego dowodu obecności danego pierwiastka lub jego związków.

Pierwiastek	Względna liczba atomów	Pierwiastek	Względna liczba atomów
Wodór	1 000 000 000	Siarka	16 000 ?
Hel	30 000 000 ??	Chlor	—
Lit	3	Argon	—
Beryl	2 ?	Potas	200 000 ?
Bor	3 000	Wapń	160 000
Węgiel	1 000 000	Skand	130
Azot	3 000 000 ?	Tytan	5 000
Tlen	30 000 000	Wanad	3 000
Fluor	30 000 ?	Chrom	16 000
Neon	—	Mangan	25 000
Sód	500 000	Żelazo	500 000
Magnez	600 000	Kobalt	13 000
Glin	80 000	Nikiel	30 000
Krzem	1 000 000	Miedź	3 000
Fosfor	300 ?	Cynk	2 500

Spośród pierwiastków nie wymienionych tutaj, niektóre są obecne jedynie w ilościach bardzo drobnych, innych natomiast nie udało się wykryć w ogóle. Jednakże dla niektórych pierwiastków metoda spektroskopowa jest bardzo mało czuła,

tak iż mogłyby się one ujawnić tylko wówczas, gdyby ilości ich były bardzo znaczne. Dlatego też Russell sądzi, że nie ma powodu do przypuszczania, iż jakiegoś pierwiastka naprawdę nie ma na Słońcu.

Mówiliśmy już (str. 123), że na Ziemi występuje obficie tylko mniej więcej czternaście pierwiastków. Tablica Russella świadczy, że te same pierwiastki — z wyjątkiem fosforu i chloru — są najpospolitsze na Słońcu. Jednakże względna obfitość pierwiastków nie jest jednakowa na Ziemi i na Słońcu; tak np. wodór i hel są bez porównania pospolitsze w atmosferze słonecznej niż w tych częściach Ziemi, które są dostępne dla badań. Podobnie inne lżejsze pierwiastki, aż do azotu i tlenu, występują tam nieco obficie. Wspominaliśmy już, jaka jest tego przyczyna (str. 124).

Widzimy z tabelki, że pierwiastki cięższe są w ogólności o wiele rzadsze w atmosferze Słońca od pierwiastków lżejszych. Fakt ten można by tłumaczyć po prostu tym, że substancje cięższe posiadają naturalne dążenie do opadania w dół i gromadzenia się w warstwach niedostępnych dla obserwacji. Obecnie jednak wydaje się rzeczą coraz pewniejszą, iż wyjaśnienie to nie tłumaczy całokształtu sprawy, a może nawet jest zupełnie bezużyteczne. Tak np. zwraca uwagę fakt, że pierwiastki o parzystej liczbie porządkowej (str. 127) występują obficie niż znacznie lżejsze pierwiastki «nieparzyste»: z tabelki widzimy np., że magnezu jest więcej niż lżejszego sodu, a krzemu więcej niż lżejszego glinu. Podobne zjawisko spotykamy przy badaniu składu skorupy ziemskiej: pierwiastki najcięższe nie pogrążyły się całkowicie we wnętrzu Ziemi, a poza tym istnieje i tutaj ogólna reguła, że pierwiastki o liczbach porządkowych parzystych występują obficie niż pierwiastki «nieparzyste».

Jest rzeczą zmienną, że praktycznie biorąc wszystkie pierwiastki pospolitsze na Ziemi udało się utożsamić w atmosferze Słońca. Z 92 pierwiastków znanych na Ziemi 58 wykryto na Słońcu z całą pewnością, co do czterech dalszych nie ma jeszcze pewności ostatecznej, osiemnastu zdaje się braknąć, co się zaś tyczy 12 pozostałych, to widma ich są znane tak

niedokładnie, że nawet gdyby pierwiastki te znajdowały się na Słońcu, wykrycie ich byłoby prawie niemożliwe.

Podobne badania miss P a y n e w Harvard Observatory oraz A d a m s a i R u s s e l l a na Mount Wilson prowadzą do wniosku, że *skład chemiczny wszystkich gwiazd jest prawie jednakowy*. Jakkolwiek widma gwiazd różnią się bardzo pomiędzy sobą, to jednak różnice te należy przypisać raczej różnicom t e m p e r a t u r y (a w mniejszym stopniu i ciśnienia), niż zmienności składu chemicznego. Tak np. w pewnych oznaczonych temperaturach atmosfer gwiazdowych widmo wodoru jest bardzo silne; w temperaturach niższych jest ono o wiele słabsze, widmo żelaza zaś występuje silniej. Dawniejsi spektroskopisci mylili się sądząc, że w pierwszym przypadku gwiazda zawiera więcej wodoru a mniej żelaza niż w drugim; sprawa polega po prostu na tym, że atmosfera tamtej gwiazdy jest dostatecznie gorąca, aby wodór mógł należycie ujawnić swą obecność, natomiast temperatura atmosfery drugiej gwiazdy jest na to zbyt niska.

TYPY WIDMOWE. Opierając się na fakcie, że widmo gwiazdy zależy przede wszystkim od temperatury jej powierzchni, można uporządkować widma gwiazdowe zasadniczo w j e d e n s z e r e g ciągły. Główne typy oznacza się literami: O, B, A, F, G, K, M z podziałami dziesiętnymi, przy czym podana kolejność typów odpowiada obniżaniu się temperatury: gwiazdy typu O posiadają zatem najwyższe temperatury powierzchniowe, gwiazdy typu M — najniższe. Przykłady widm gwiazdowych mieliśmy już na tabl. XV (str. 36); oznaczenia typów podano po lewej stronie.

Wobec tego, że typ widmowy gwiazdy jest uzależniony głównie od jej temperatury powierzchniowej, tę ostatnią można ocenić wprost na podstawie typu widmowego. Liczne prążki widm gwiazdowych są emitowane przez atomy, które utraciły jeden lub więcej elektronów wskutek wysokiej temperatury panującej w atmosferach gwiazd. Z drugiej strony, znamy temperatury niezbędne do tego, aby owa utrata elek-

tronów mogła nastąpić, możemy więc ocenić w ten sposób temperaturę gwiazdy.

W tabelce poniższej podano przybliżone temperatury odpowiadające różnym typom widm gwiazdowych.

Typ widmowy	Temperatura
<i>B</i>	20 000°
<i>A</i>	10 000
<i>F</i>	7 000
<i>G</i>	6 000
<i>K</i>	5 100
<i>M</i>	3 400

Trzy ostatnie liczby w tabelicy dotyczą wyłącznie gwiazd normalnych, o średnicach porównywalnych co do wielkości ze słoneczną. Zobaczymy (str. 206), że istnieją gwiazdy «olbrzymy», o rozmiarach nieporównanie większych od Słońca; otóż ich temperatury powierzchniowe są wyraźnie niższe:

Typ widmowy	Temperatura
<i>G</i>	5 600°
<i>K</i>	4 200
<i>M</i>	3 200

Temperatury powierzchniowe gwiazd typu O są znane mniej dokładnie, lecz na pewno przekraczają wszystkie podane wyżej, mieszcząc się w granicach od 20 000° do około 100 000°. Do tego typu należą gwiazdy Nowe (str. 62) w maximum blasku, poza tym gwiazdy centralne mgławic planetarnych (str. 24). Z a n s t r a, który przeprowadził specjalne badania tych ostatnich, stwierdził, że średnia temperatura 18 takich gwiazd centralnych wynosi 42 000°. B e a l s znajduje, że temperatura Nowej Orła sięgała w maximum 65 000° i sądzi, że większość Nowych osiąga temperaturę tego rzędu w którymś stadium swego wybuchu.

Przy badaniu budowy gwiazd i zachodzących w nich zjawisk temperatura powierzchni gwiazdy odgrywa mniej ważną rolę niż ilość promieniowania wysyłanego przez jednostkę powierzchni gwiazdy na zewnątrz.

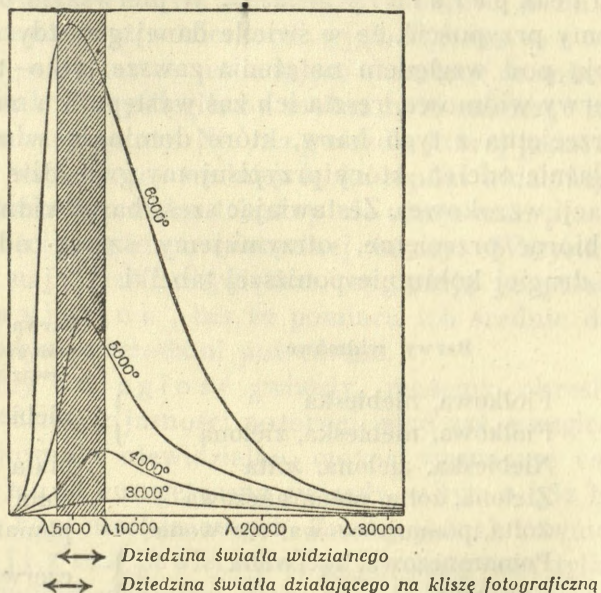
Oczywiście ilość ta zależy od temperatury: im gorętsza jest powierzchnia, tym więcej promieniowania wysyła, lecz wielkości te nie są do siebie proporcjonalne. Jeżeli podwoimy temperaturę pewnej powierzchni, wysyła ona szesnaście razy więcej promieniowania: promieniowanie na jednostkę powierzchni jest proporcjonalne do *czwartej potęgi temperatury bezwzględnej*. Tak więc gwiazda o temperaturze powierzchniowej 3000° emituje z każdego cm^2 swej powierzchni zaledwie jedną szesnastą część tej ilości, którą wysyła powierzchnia Słońca*. Promieniowanie każdej gwiazdy składa się z promieniowania świetlnego, cieplnego i nadfioletowego, przy czym ich ilości względne nie są jednakowe dla różnych gwiazd; im chłodniejsza jest powierzchnia gwiazdy, tym większy ułamek odpowiada promieniowaniu cieplnemu. A więc gwiazda o temperaturze 3000° wysyła z cm^2 mniej niż $1/16$ część ilości światła wysyłanego przez Słońce, lecz za to przesyła $1/16$ część ciepła słonecznego.

Stąd wniosek, że nie można oceniać całkowitej ilości promieniowania gwiazdy według samej tylko jasności wizualnej: należy zawsze uwzględnić promieniowania niewidzialne, zarówno cieplne, poza czerwonym końcem widma, jak i nadfioletowe, na krańcu przeciwnym. Jak ważne są te poprawki, widać z rys. 12. Mamy tu cztery krzywe, jak na rys. 11, podające rozkład promieniowania gwiazdy o danej temperaturze powierzchniowej na różne długości fali; całkowite promieniowanie przy pewnej temperaturze przedstawia oczywiście wielkość powierzchni zawartej pomiędzy odpowiednią krzywą a osią poziomą. Oko ludzkie wrażliwe jest na promieniowanie tylko w granicach od 3750 do $7500 \text{ \AA}$, tak iż z ogólnej ilości promieniowania widzimy tylko część za-

* Na rys. 11 powierzchnia objęta krzywą dla 6000° jest 16 razy większa od pola krzywej dla 3000° .

wartą w pasie zakreskowanym, cała reszta zaś stanowi promieniowanie niewidzialne.

Widać stąd od razu, że w dziedzinie widzialnej przypada znaczna część ogólnej ilości promieniowania gwiazdy o temperaturze 6000° , niewielki natomiast ułamek — w przypadku gwiazdy o temperaturze 3000° ; większa część jej promieniowa-



Rys. 12. Podział promieniowania na widzialne i niewidzialne.

nia jest promieniowaniem «cieplnym» o falach dłuższych niż fale światła widzialnego. Byłoby rzeczą niemożliwą umieścić na rys. 12 krzywą rozkładu promieniowania gwiazdy o temperaturze powierzchniowej $60\,000^{\circ}$, gdyż krzywa taka miałaby przeszło sześć kilometrów wysokości; gdybyśmy jednak ją wykreśliли, okazałoby się, że praktycznie biorąc całe promieniowanie przypadałoby w części na d f i o ł k o w e j, w zakresie fal krótszych od fal światła widzialnego. Światło gwiazd jest, w ogóle mówiąc, m a ł ą t y l k o c z ę ś c i ą c a ł k o w i t e g o i c h p r o m i e n i o w a n i a.

W obliczeniach przytaczanych w niniejszej książce uwzględniono wszędzie promieniowania niewidzialne, chociażby nawet nie było to specjalnie zaznaczone.

BARWY. Widzialne promieniowanie gwiazd zawiera światło o najrozmaitszych czystych (tj. widmowych) barwach, zmieszanych w różnych stosunkach, uzależnionych oczywiście od temperatury gwiazdy. W pierwszym przybliżeniu możemy przypuścić, że w świetle danej gwiazdy rzeczywiście górują pod względem natężenia zawsze tylko trzy sąsiednie barwy widmowe, reszta ich zaś występuje w małych ilościach. Przeciętna z tych barw, które dominują w widmie, stanowi właśnie odcień, który przypisujemy gwiazdzie na mocy obserwacji wzrokowej. Zestawiając sześć barw widmowych w grupy i biorąc przeciętne, otrzymujemy szereg odcieni podanych w drugiej kolumnie poniższej tabelki.

Barwy widmowe	Barwa przeciętna (barwa gwiazdy na mocy oceny wzrokowej)
Fiołkowa, niebieska	} niebieska
Fiołkowa, niebieska, zielona	
Niebieska, zielona, żółta	biała
Zielona, żółta, pomarańczowa	żółta
Żółta, pomarańczowa, czerwona	pomarańczowa
Pomarańczowa, czerwona	} czerwona
Czerwona	

Często dogodnie jest mówić o barwach gwiazd zamiast o ściślejszych pomiarach opartych na ich temperaturach, które mogą nie być dokładnie znane.

Gdyby wzrok nasz stał się nagle wrażliwy na wszelkie rodzaje promieniowania, nie tylko na światło, wygląd nieba uległby dziwnej zmianie. Czerwone gwiazdy Beteigeuze i Antares zajmujące dziś dwunaste, względnie szesnaste miejsce w kolei jasności, rozbłysłyby jako dwie najjaśniejsze gwiazdy nieba, Syriusz zaś, obecnie najjaśniejsza ze wszystkich, spadłby na trzecie miejsce. Gwiazda α w niezbyt wybitnym gwiazdozbiorze Herkulesa, obecnie 250-ta z kolei jasności, znalazłaby

się na miejscu szóstym; wskutek bowiem swej niezwykle niskiej temperatury (2650°) wysyła ona swe promieniowanie niemal wyłącznie w postaci niewidzialnego ciepła. Tak np. emituje ona 60 razy więcej ciepła, niż niebieska gwiazda η Woźnicy posiadająca temperaturę około $20\,000^{\circ}$, lecz tylko $\frac{4}{5}$ tej ilości światła, co ta ostatnia.

SREDNICE GWIAZD. Łatwą jest rzeczą zmierzyć średnice większości planet, gdyż w teleskopie wyglądają one — z wyjątkiem Plutona — jak tarcze posiadające określone rozmiary. Gwiazdy są jednak zbyt odległe, by można było zmierzyć ich średnice w sposób tak prosty. Nie ma gwiazdy, której pozorna średnica byłaby większa, niż średnica łebka szpilki widzianego z odległości siedmiu km: żaden teleskop nie ukaże nam przedmiotu tej wielkości w postaci mierzalnej tarczy. Wszystkie gwiazdy, nawet najbliższe i największe, wyglądają po prostu jak punkty świetlne*, tak że pomiaru ich średnic dokonać można jedynie metodami pośrednimi.

Jeżeli znamy odległość gwiazdy, możemy określić jej jasność prawdziwą z jasności pozornej; stąd zaś, uwzględniając promieniowania niewidzialne, można wyznaczyć całkowitą wydajność energetyczną gwiazdy — tyle a tyle bilionów bilionów koni mechanicznych. Znamy jednak również wielkość emisji z cm^2 powierzchni, gdyż zależy ona tylko od temperatury powierzchniowej, którą określamy z pomiarów widmowych. Obliczenie ilości cm^2 zawartych w powierzchni gwiazdy, a więc i jej średnicy, jest już sprawą zwykłego dzielenia.

Średnice gwiazd o wyjątkowo wielkich rozmiarach można mierzyć w sposób bardziej bezpośredni przy pomocy przyrządu, zwanego *interferometrem gwiazdowym*. Gdy nastawiamy lunetę na gwiazdę, nie widzimy, ściśle biorąc, pojedynczego punktu świetlnego, lecz punkt otoczony dość złożonym układem pierścieni na przemian jasnych i ciemnych,

* Wielkie okrągłe obrazy gwiazd spotykane często na fotografiach astronomicznych (np. na tabl. I) są po prostu wynikiem zbyt silnego naswietlenia kliszy i nie mają nic wspólnego z istotnymi rozmiarami gwiazd.

tw. pierścieni dyfrakcyjnych. Rozmiary ich nie mają nic wspólnego z rozmiarami gwiazdy, są one bowiem wynikiem nieuniknionych wad przyrządów i wielkość ich zależy wyłącznie od rozmiarów i urządzenia optyki teleskopu. Rozwijając myśl wypowiedzianą w r. 1868 przez Fizeau, Michelson okazał, że wada owa może oddać cenne usługi, i zbudował przyrząd najbardziej może ciekawy i pomysłowy spośród instrumentów, jakimi posługuje się współczesna astronomia — interferometr gwiazdowy. W przyrządzie tym nakładają się na siebie dwa odrębne obrazy dyfrakcyjne tej samej gwiazdy, przesunięte jeden względem drugiego w taki sposób, iż pozwala to wyznaczyć pozorną średnicę tejże. Metodą tą zmierzono średnice pozorne kilku największych gwiazd, uzyskując zatem dane dotyczące ich rozmiarów przy pomocy obserwacji bezpośredniej; zgodność wyników z obliczonymi drogą pośrednią jest zadowalająca, aczkolwiek niezupełnie ścisła. Odstępstwa, niezbyt poważne zresztą, zdają się wynikać stąd, że gwiazdy czerwone nie promieniują ściśle tak, jak ciała doskonale pochłaniające (p. str. 150).

Metoda interferometryczna ma zastosowanie jedynie do gwiazd największych; na przeciwnym krańcu skali przychodzi z pomocą *teoria względności*. Jak wykazał Einstein, z teorii względności wynika, że widmo gwiazdy jest przesunięte w stronę czerwieni o wielkość zależną zarówno od masy, jak i od średnicy gwiazdy. Jeżeli zatem znamy masę, to z obserwowanego przesunięcia widma można od razu obliczyć średnicę. Przesunięcie takie stwierdzono niedawno w widmie towarzysza Syriusza; jego wielkość daje wartość średnicy tej gwiazdy dosyć zgodną z wartością obliczoną z jasności rzeczywistej. Na obu zatem krańcach skali — dla gwiazd największych i najmniejszych — obserwacja bezpośrednia potwierdza wyniki otrzymane dla średnic gwiazd z rachunku.

Na tej podstawie opieramy zaufanie do innych obliczonych wartości średnic gwiazdowych, nawet jeśli nie można ich sprawdzić metodą pomiaru bezpośredniego. Rachunek opiera się na założeniu, że gwiazdy promieniują jak ciała do-

skonale pochłaniające. Jesliby założenie to nie było w przybliżeniu słuszne, wówczas otrzymalibyśmy rozbieżności pomiędzy obliczonymi a zmierzonymi średnicami gwiazd. Fakt, iż wielkich niezgodności nie ma, świadczy o tym, że promieniotwanie gwiazd jest zbliżone do promieniowania ciała doskonale pochłaniającego — od gwiazd najmniejszych do największych.

RÓŻNORODNOŚĆ GWIAZD

Obserwacja wykazuje, że cechy fizyczne gwiazd posiadają ogromny zakres zmienności, tak iż łatwo podać szereg uderzających przeciwieństw zestawiając ze sobą najjaśniejsze i najślabsze, najmniejsze i największe itd. Dałoby to nam jednak mylne wyobrażenie o mieszkankach nieba: nie można wszak sądzić narodu według olbrzymów i karłów, atletów i głodomorów pokazywanych w budzie cyrkowej.

Lepsze wyobrażenie o istotnym stopniu różnorodności ogółu gwiazd otrzymamy, rozpatrzywszy cechy fizyczne gwiazd najbliższych Słońca. Biorąc je w kolei rosnących odległości unikamy podejrzenia, iż zbaczamy z drogi po to jedynie, by wyszukać gwiazdy dziwaczne czy wyjątkowe. Tak otrzymaną niewielką grupę będzie można uważać za «uczciwą próbkę materiału gwiazdowego», chociaż oczywiście jest ona zbyt mała, by objąć przypadki krańcowe. Samego Słońca nie będziemy rozpatrywali szczegółowo, ponieważ odgrywa ono tu rolę wzorca, z którym porównywać będziemy inne gwiazdy.

Układ α Centaura. Składa się on z trzech gwiazd będących prawdopodobnie najbliższymi naszymi sąsiadkami w przestrzeni.

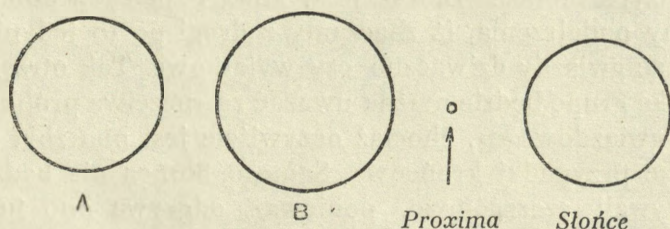
Najjaśniejsza z nich, α Centaura A, jest bardzo podobna do Słońca; posiada tę samą barwę i typ widmowy, masę jednak ma o 10%, jasność zaś o 14% większą. Wobec podobieństwa barwy, emisja energii na cm² powierzchni jest również ta sama, co w przypadku Słońca; jeśli więc siła świetlna jest

o 14% większa, zatem powierzchnia musi być o tyleż, a średnica o 7% większa, niż powierzchnia i średnica Słońca.

Druga składowa, α Centaura B, jest znacznie czerwiejsza od Słońca, temperatura powierzchni wynosi bowiem tylko około 4400° (w porównaniu z 6000° Słońca); masa jej wynosi 89% masy Słońca, jasność — około $1/3$. Jednak z powodu niskiej stosunkowo temperatury powierzchnia jej musi przewyższać powierzchnię Słońca o 50%, by emitować tę ilość promieniowania, skąd wynika, że średnica jej jest o 22% większa od słonecznej. α Centaura A i B tworzą gwiazdę podwójną wizualną, przy czym okres obiegu składowych wynosi 80 lat.

Obie te gwiazdy są względnie dość podobne do Słońca; natomiast trzeci składnik układu, Proxima Centauri («Najbliższa w Centaurze»), przedstawia typ zupełnie odmienny: barwa jej jest czerwona, temperatura powierzchni wynosi około 3000° . Jest to gwiazda bardzo słaba, wysyła bowiem tylko $1/20\,000$ tej ilości światła, co Słońce; średnica jej równa się zaledwie $1/20$ średnicy Słońca, masa dotychczas nie została wyznaczona.

Stosunkowe rozmiary trzech gwiazd tego układu, wraz ze Słońcem dla porównania, są przedstawione na rys. 13.



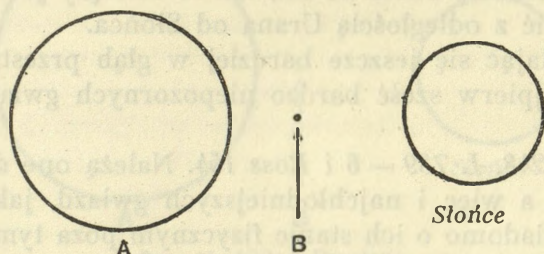
Rys. 13. Układ α Centaura.

München 15 040. Jest to pojedyncza słaba gwiazda, o której mało posiadamy wiadomości. Barwy czerwonej, o temperaturze zapewne niewiele przekraczającej 2500° , wysyła ona zaledwie $1/20\,000$ część światła słonecznego.

Wolf 359. Jest to jedna z trzech najsłabszych gwiazd, jakie znamy, poza tym mało o niej wiemy. Jest czerwona, emituje zaledwie $1/50\,000$ część światła słonecznego.

Lalande 21 185. Słaba gwiazda czerwona o jasności prawdziwej 160 razy mniejszej niż słoneczna.

Układ Syriusza. Składa się on z dwu gwiazd, zupełnie niepodobnych do siebie, przy czym, być może, istnieje również trzeci składnik.



Rys. 14. Układ Syriusza.

Gwiazda główna, Syriusz A (α Psa Wielkiego), najjaśniejsza gwiazda nieba («Psia Gwiazda»), barwy białej, posiada temperaturę powierzchniową około $11\,000^\circ$, prawie dwukrotnie wyższą od temperatury Słońca; stąd też każdy centymetr kwadratowy powierzchni Syriusza A emituje blisko 16 razy tyle promieniowania, co cm^2 powierzchni Słońca. Jasność rzeczywista tej gwiazdy jest 24 razy większa od słonecznej, skąd wynika, że średnica jej musi być o 50% większa od słonecznej. Masą przewyższa Syriusz A Słońce tylko 2,35 razy, objętością zaś około 3,5 razy, materia jego posiada zatem mniejszą gęstość: metr sześcienny materii Słońca zawiera średnio 1,42 ton, materii Syriusza A — około jednej tony.

Słaby towarzysz, Syriusz B, jest *jedną z najciekawszych gwiazd*. Posiada on prawie tę samą barwę i typ widmowy, co Syriusz A, lecz wysyła 10 000 razy mniej światła. Uwzględnivszy niewielką różnicę w temperaturze powierzchniowej, otrzymamy, że powierzchnia jego wynosi $1/3000$, średnica $1/55$ w stosunku do Syriusza A. Masa gwiazdy B równa się 0,98 masy Słońca, tak iż Syriusz A przewyższa swego towarzysza zaledwie 2,4 razy pod względem masy, chociaż posiada aż 160 000 razy większą objętość. To właśnie czyni z Syriusza B obiekt

tak zadziwiający: *średnia gęstość jego materii jest przeszło 80 000 razy większa od gęstości wody*; jeden centymetr sześcienny jej ważyłby na Ziemi 80 kilogramów!

Na rys. 14 mamy przedstawione oba składniki układu Syriusza w tej samej skali, co rys. 13. Okrążają się one wzajemnie w okresie około 50 lat, tak iż dzielący je odstęp można zestawzić z odległością Urana od Słońca.

Oddalając się jeszcze bardziej w głąb przestrzeni spotykamy najpierw sześć bardzo niepozornych gwiazd, a mianowicie:

Ross 248, L 789 — 6 i Ross 154. Należą one do najczerwieńszych, a więc i najchłodniejszych gwiazd, jakie znamy. Niewiele wiadomo o ich stanie fizycznym poza tym, że wysyłają odpowiednio 1/9000, 1/10 000 i 1/2000 część światła słonecznego.

ϵ *Erydanu* i τ *Wieloryba*. Gwiazdy jaśniejsze od powyższych, lecz znacznie bardziej czerwone i chłodniejsze od Słońca. Każda z nich emituje około 1/3 światła słonecznego.

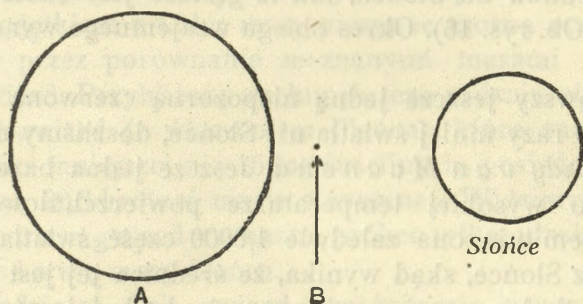
61 Łabędzia. Gwiazda podwójna; obie składowe czerwieniejsze i chłodniejsze od Słońca, emitują 1/14 i 1/16 jego światła. Łączna masa wynosi prawdopodobnie około $1\frac{1}{8}$ masy słonecznej, okres obiegu zaś około 720 lat. Wynika stąd, że dzieli je odległość większa niż Słońce od Plutona. Nieprawidłowości w ruchu orbitalnym (str. 49) wskazują na istnienie trzeciego ciemnego ciała o masie sześćdziesiąt razy mniejszej niż słoneczna, okrążającego jedną ze składowych raz na 4,9 lat. Układ 61 Łabędzie jest więc zapewne potrójny.

Z kolei napotykamy:

Układ Procjona. Jest to gwiazda podwójna, pod wieloma względami podobna do Syriusza. Gwiazda główna, Procjon A, jest zbliżony do typu Słońca, lecz przewyższa je masą o 48%, ilością zaś wysyłanego światła $6\frac{1}{2}$ razy. Temperatura powierzchniowa wynosi około 7000°, średnica zaś jest blisko dwa razy większa od słonecznej.

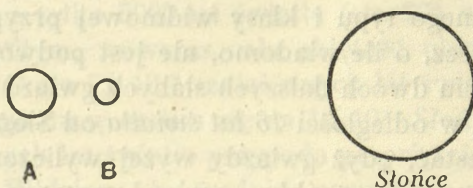
Procjon B jest gwiazdą tak słabą, że o ile chodzi o jego cechy fizyczne, wiadomo tylko to, iż wysyła on zaledwie 1/2000 część światła słonecznego, masa natomiast wynosi 46% masy

Słońca. Oba składniki układu Procjona mamy na rys. 15 w tej samej skali, co poprzednio. Obiegają one jeden wokół drugiego w okresie nieco przekraczającym 40 lat.



Rys. 15. Układ Procjona.

W miarę oddalania się od Słońca trafiamy na słabą czerwoną gwiazdę ϵ Indianina, dającą 7 razy mniej światła niż Słońce. Dalej mamy siedem bardzo niepozornych gwiazd typu widmowego M , a więc czerwieniszonych i słabszych od Słońca. Temperatura powierzchniowa żadnej z nich nie przekracza 3400° , żadna też nie wysyła więcej światła niż 3% słonecznego, a pięć spośród nich daje mniej niż $1/160$ tej ilości. Dalej spotykamy:



Rys. 16. Układ Krüger 60.

Układ Krüger 60. Gwiazda podwójna, której obie składowe są małe, czerwone i słabe. Składowa jaśniejsza, Krüger 60 A, ma temperaturę powierzchniową 3200° i wysyła $1/660$ część światła słonecznego; średnica jej jest 5 razy, masa zaś 4 razy mniejsza, gęstość średnia zatem około 30 razy większa, niż w przypadku Słońca.

Składowa słabsza, Krüger 60 B, posiada podobną temperaturę powierzchniową, lecz emituje zaledwie $1/2400$ część tej ilości światła, co Słońce; średnica wynosi zaledwie $1/8$, masa — $1/7$ w stosunku do Słońca, tak iż gęstość jest około 70 razy większa. (Ob. rys. 16). Okres obiegu wzajemnego wynosi około 44 lat.

Minąwszy jeszcze jedną niepozorną czerwoną gwiazdę, dającą 600 razy mniej światła niż Słońce, doszliśmy do

Gwiazdy van Maanena. Jeszcze jedna bardzo słaba gwiazda o wysokiej temperaturze powierzchniowej 7000° ; mimo to emituje ona zaledwie $1/6000$ część światła wysyłanego przez Słońce, skąd wynika, że średnica jej jest 110 razy mniejsza od słonecznej, a więc prawie dokładnie równa średnicy Ziemi. Masa jest nieznana, lecz według wszelkiego prawdopodobieństwa gęstość średnia jest jeszcze większa niż w przypadku Syriusza B.

Za gwiazdą van Maanena idzie układ podwójny, złożony z dwóch bardzo czerwonych i bardzo słabych składowych, z których każda jest 7000 razy mniej jasna od Słońca. Dalej mamy jeszcze cztery słabe czerwone gwiazdy (najjaśniejsza wysyła zaledwie $1/150$ część światła słonecznego), po czym następuje

α *Orla*. Jest ona dziewięć razy jaśniejsza od Słońca. Pod względem ogólnego typu i klasy widmowej przypomina bardzo Syriusza, lecz, o ile wiadomo, nie jest podwójna.

Po minięciu dwóch dalszych słabych gwiazd czerwonych znaleźliśmy się w odległości 16 lat światła od Słońca. Możemy na tym poprzestać, gdyż gwiazdy wyżej wyliczone stanowią już zapewne «uczciwą próbkę» gwiazd naszego zakątka we Wszechświecie. Gdybyśmy posunęli się dalej, znaleźlibyśmy się w obszarach, w których znamy gwiazdy jasn e, gdzie natomiast gwiazdy słabe, w części przynajmniej, pozostają nieznane.

Rozpatrzenie tej «próbki» gwiazd nasuwa przekonanie, że większość ich jest *mniejsza, chłodniejsza i mniej jasna od Słońca*. Istnieją wprawdzie gwiazdy o wiele od niego jaśniej-

sze, lecz są to wyjątki; *gwiazda przeciętna jest to bryła mała i ciemna w porównaniu z naszym Słońcem.*

To samo dotyczy *mas gwiazdowych*. Znamy masy wszystkich wybitniejszych i cięższych gwiazd spośród przytoczonych, z wyjątkiem α Orla; masy nieznane można ocenić dość dokładnie przez porównanie ze znanymi masami podobnych gwiazd. Przybliżony rachunek tego rodzaju okazuje, że owych 40 gwiazd (z włączeniem Słońca), które znajdują się w odległości mniejszej niż 16 lat świetlnych, posiada masę łączną równą 20,8-krotnej masie słonecznej. Widzimy więc, że przeciętna masa gwiazdy w naszej próbce tylko odrobinę przekracza połowę masy Słońca.

Czterdzieści tych gwiazd znajduje się wewnątrz kuli o promieniu 16 lat światła, a więc o objętości 17 200 sześciennych lat świetlnych; na jedną gwiazdę przypada zatem 430 sześciennych lat świetlnych, czyli po jednej gwiazdzie na sześcian o krawędzi $7\frac{1}{2}$ lat świetlnych, natomiast dopiero 800 sześciennych lat świetlnych obejmuje tyle masy gwiazdowej, ile jej zawiera Słońce. Nie wiemy, ile do tej ostatniej masy trzeba dodać, aby uwzględnić pył i gaz kosmiczny oraz gwiazdy ciemne, lecz w związku z tym dość ciekawy jest następujący rachunek. — Przypuśćmy, że Galaktyka ma kształt bardzo spłaszczonej sferoidy o promieniu 60 000 lat światła w płaszczyźnie galaktycznej, a tylko 5000 lat światła (str. 27) w kierunku do niej prostopadłym; wówczas cała objętość układu galaktycznego wynosi około $7,5 \cdot 10^{13}$ sześciennych lat światła. Ponieważ zaś ogólną jego masę ocenia się na $1,5 \cdot 10^{11}$ Słońc, na każdych 500 sześciennych lat światła przypada przeciętnie masa równa słonecznej. Widzimy, że średnia zawartość masy wszelkich rodzajów w całym układzie jest znacznie (o 60%) większa niż przeciętna masa zawarta w gwiazdach w najbliższym sąsiedztwie Słońca. Można to wyjaśnić przypuszczenia, że w środkowych częściach układu galaktycznego gwiazdy i w ogóle materia skupione są gęściej, albo też, że duża część masy Galaktyki stanowi materia nie wchodząca w skład gwiazd.

Mając taką próbkę «zaludnienia» nieba, możemy teraz przystąpić do systematycznej dyskusji rozmaitych właściwości gwiazd, nie obawiając się przytaczania przypadków skrajnych. Zaczniemy od mas.

MASY GWIAZD. Gwiazdami o *najmniejszej znanej masie* są wspomniana już słabsza składowa Krüger 60 oraz najslabsza składowa układu potrójnego α_2 Rzeki Erydan; masy ich wynoszą $1/5$ masy Słońca. Należy jednak zaznaczyć, iż gwiazdy o masach znanych są tak nieliczne, że trudno przypuścić, aby miały to być istotnie *najmniejsze* masy, jakie występują w świecie gwiazdowym. Wspominaliśmy już o trzecim składniku gwiazdy 61 Łabędzia, którego masa wynosi tylko około $1/60$ masy Słońca. Dotychczas jednak pozostaje nierozstrzygniętą kwestia, czy mamy tu do czynienia z gwiazdą, czy z planetą. Z ogólnego przeglądu sytuacji zdaje się wynikać, że może istnieć wiele gwiazd o masach jeszcze mniejszych, lecz masy *bardzo znacznie* mniejsze zdarzają się prawdopodobnie *bardzo rzadko*: już gwiazd o masach nie przekraczających $1/10$ masy Słońca jest zapewne *bardzo niewiele*.

Ogromna większość gwiazd posiada masy zawarte w granicach pomiędzy $1/10$ a 10-krotną masą Słońca. Już gwiazdy o masach trzykrotnie większych od słonecznej są rzadkie — nie znaleźliśmy ani jednej w naszej próbce 39 gwiazd bliskich Słońca — masy zaś dziesięć razy większe należą do wyjątków zdarzających się prawdopodobnie nie częściej niż raz na sto tysięcy. Niewątpliwie istnieją i *większe* masy: przytaczaliśmy już gwiazdę Plasketta, której składowe posiadają masy przeszło 75 i 63 razy większe od słonecznej, oraz gwiazdy Trümplera o masach rzędu stukrotnej masy Słońca — przypadki takie wszakże są *nadzwyczaj rzadkie*. Możemy wypowiedzieć jako *prawidło ogólne*, że *masy gwiazd zawarte są w granicach od $1/10$ do 10 mas słonecznych*; zobaczymy w dalszym ciągu, że gwiazdy różnią się między sobą pod względem masy *mniej*, niż w większości pozostałych cech fizycznych.

JASNOŚCI RZECZYWISTE. O wiele obszerniejszy zakres zmienności spotykamy np. w przypadku ich *jasności rzeczywistej* — tj. «ilości świec», wyrażonej przy założeniu, że «ilość świec», emitowaną przez Słońce, przyjęto za jednostkę. Spośród gwiazd o dokładnie znanej jasności rzeczywistej najslabszą jest Wolf 359 (str. 194), wysyłająca zaledwie $1/50\,000$ część światła słonecznego. Wstępne pomiary zdają się jednakże wskazywać, że gwiazda L 789 — 6 może być aż $300\,000$ razy mniej jasna od Słońca.

Na przeciwnym krańcu skali gwiazdami najjaśniejszymi ze wszystkich są «*Supernowe*», wspomniane już poprzednio (str. 62) — zjawiska, które palają niesłychanie silnie przez kilka miesięcy, a potem przygasają do stanu zupełnej przeciętności. Najjaśniejsza z dotychczas poznanych Supernowych pojawiła się w sierpniu 1937 r. w mgławicy *IC 4182*; jasność jej w maximum *przewyższała 350 milionów razy jasność Słońca*. Być może, iż wartość ta jest zbyt duża, gdyż odległości owej mgławicy nie znamy dość dokładnie, jednakże nie ulega wątpliwości, że niektóre Supernowe świecą sto milionów razy jaśniej od Słońca.

Pomijając Supernowe oraz wszystkie inne krótkotrwałe źródła niezwykłego blasku, za najjaśniejszą z gwiazd świecących blaskiem bardziej ustalonym można uważać *S Dorado*. Jest to gwiazda zmienna o przeciętnej jasności rzeczywistej przynajmniej $300\,000$ razy większej niż słoneczna; być może, iż liczba ta powinna być zwiększona kilkakrotnie.

Widzimy więc, że zakres jasności gwiazdowych, podobnie jak zakres mas, rozciąga się mniej więcej *j e d n a k o w o* «z obu stron» Słońca, które jest pod obu względami gwiazdą raczej *p r z e c i ę t n ą*. Mamy tu na myśli, że jest ono pośrodku pomiędzy przypadkami skrajnymi, widzieliśmy już wszakże, iż o wiele więcej gwiazd przypada *p o n i ż e j* niż powyżej Słońca; trudno zaś wytworzyć sobie pojęcie o liczbie gwiazd *t a k s ł a b y c h*, że są wskutek tego zupełnie *n i e d o s t r z e g a l n e*.

W zestawieniu z umiarkowanym zakresem mas gwiazdowych zakres jasności rzeczywistych jest olbrzymi: *S Dorado*

przewyższa przeszło 90 miliardów razy $L_{789} = 6$. Jeśli Słońce wyobrazić sobie jako zwykłą świecę, wówczas Wolf 359 i $L_{789} = 6$ byłyby słabsze od robaczków świętojańskich, *S Dorado* natomiast byłaby latarnią morską, Supernowe zaś — płonącymi miastami. Gdyby Słońce zaczęło nagle promieniować tyle światła i ciepła, co *S Dorado*, temperatura Ziemi wraz ze wszystkim, co się na niej znajduje, podniosłaby się do 7000° , tak iż Ziemia i my wraz z nią zamienilibyśmy się wszyscy w parę. Z drugiej strony, gdyby promieniowanie słoneczne spadło do tej ilości, jaką wysyła Wolf 359, mieszkańcom równika ziemskiego nowe ich słońce dawałoby w południe tyle światła i ciepła, co ognisko rozpalone w odległości dwustu metrów; wszyscy bylibyśmy zmarznięci na kamień, nawet atmosfera zamieniłaby się na «lód». O ile wiadomo, jest rzeczą niemożliwą, by Słońce przeistoczyło się nagle w *S Dorado*, zobaczymy jednak w dalszym ciągu, że możliwość przejścia Słońca w stan podobny do Wolfa 359 nie jest po prostu tylko fantazją.

TEMPERATURY POWIERZCHNIOWE I PROMIENIOWANIE. Spośród gwiazd najbliższych Słońca najwyższą temperaturę powierzchniową posiada Syriusz: $11\,000^{\circ}$, czyli prawie dwa razy wyższą od słonecznej. Posuwając się dalej w głąb nieba znajdujemy liczne gwiazdy o temperaturach znacznie wyższych. Tak np. gwiazdzie *Plasketta* przypisują temperaturę $28\,000^{\circ}$; trzy gwiazdy typu O, klasy *Wolfa-Rayeta** posiadają temperatury rzędu $110\,000^{\circ}$ i $95\,000^{\circ}$ (2), a Nowa w Orle osiągnęła maksymalną temperaturę $65\,000^{\circ}$. Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie oceny bardzo wysokich temperatur gwiazdowych obarczone są znaczną dozą niepewności.

Na przeciwnym krańcu temperatury gwiazd dochodzące aż do 2500° są stosunkowo dość częste. Najniższe temperatury posiadają czerwone gwiazdy olbrzymich rozmiarów, które są również zmiennymi długookresowymi (str. 57) i w których zmianom blasku towarzyszą — jako ich główna przy-

* Są to gwiazdy typu O, które w widmie okazują linie jasne zamiast zwykle występujących ciemnych linii absorbujących.

czy na — zmiany temperatury powierzchniowej. Temperatury tych gwiazd w minimum spadają aż do 1650° , co nieznacznie tylko przewyższa temperaturę zwykłego ogniska z węgla kamiennego. W wielu przypadkach temperatura zmienia się w szerokich granicach, nigdy jednak nie spada tak nisko, by gwiazda w ogóle przestała być widoczna. Tak więc poniżej 2500° przypada obszar temperatur, który nie spotyka się u gwiazd — z wyjątkiem zmiennych długookresowych, i to tylko w pewnych odstępach czasu, w pobliżu minimum. Można by na tej podstawie przypuszczać, że liczba gwiazd zupełnie ciemnych jest stosunkowo mała.

O ile nam zatem wiadomo w chwili obecnej, temperatura powierzchni gwiazd zawiera się zasadniczo w granicach od $60\,000^{\circ}$ do 2500° , przy czym dolna granica obniża się do 1650° dla zmiennych długookresowych w minimum temperatury.

Jeżeli pominiemy te ostatnie, mamy tu do czynienia ze zmiennością w stosunku 1:24; widzimy więc, że temperatury gwiazd są *bardziej do siebie zbliżone* niż ich masy czy jasności. Należy jednak pamiętać, że ilość promieniowania emitowanego przez jednostkę powierzchni gwiazdy ma o wiele bardziej podstawowe znaczenie niż temperatura tej powierzchni; otóż zmiana temperatury w stosunku 1 do 24 odpowiada stosunkowi 1:330 000 przeszło w wydajności promieniowania; jeśli zaś uwzględnić również zmienne długookresowe, otrzymamy stosunek 1:1 750 000.

Wyrażając dzielności promieniowania w koniach mechanicznych, otrzymujemy, że Słońce emituje energię z dzielnością 8 koni na cm^2 , gwiazda o temperaturze powierzchniowej 1650° daje tylko 0,055 konia na cm^2 , natomiast gwiazda *P l a s k e t t a* o temperaturze $28\,000^{\circ}$ — 4400 koni na cm^2 . Mówiąc inaczej, każdy cal kwadratowy tej ostatniej gwiazdy wysyła ilość energii wystarczającą do poruszania bez przerwy z pełną prędkością, przez niezliczone wieki, dużego parowca transatlantyckiego. Energia zaś wysyłana przez cal kwadratowy gwiazdy o temperaturze $70\,000^{\circ}$ jest jeszcze 40 razy większa, czyli wynosi przeszło milion koni.

ROZMIARY. W tabliczce poniższej przytoczono cztery gwiazdy posiadające średnice największe ze znanych dotychczas.

Gwiazda	Średnica w stosunku do Słońca	Średnica w km
Antares	450	630 000 000
α Herkulesa	około 400	560 000 000
$\circ$ Wieloryba (w max.)	300	420 000 000
Beteigeuze (maximum)	355	500 000 000
„ (minimum)	210	290 000 000

Wszystkie te średnice zmierzono bezpośrednio za pomocą interferometru. W skali użytej na rys. 13—16, gdzie Słońce ma rozmiary dziesięciogroszówki, koło przedstawiające o Wieloryba byłoby wielkości podłogi dużego pokoju, gdy tymczasem druga gwiazda układu (o Ceti jest bowiem podwójna) wyglądałaby jak ziarnko piasku. Olbrzymie rozmiary tych gwiazd uprzytomnimy sobie zwróciwszy uwagę na to, że średnice ich są większe od średnicy orbity Ziemi dookoła Słońca, tak iż gdyby Słońce rozszerzyło się nagle tak dalece, znaleźlibyśmy się sami wewnątrz bryły słonecznej.

Materia gwiazd tych musi być niezmiernie rozrzedzona. Antares np. zajmuje objętość 90 milionów razy większą niż Słońce, tzn., że gdyby substancja jego posiadała tę samą gęstość, masa musiałaby przewyższać 90 milionów razy masę Słońca. W istocie jednak posiada on masę prawdopodobnie zaledwie 40 do 50 razy większą od słonecznej; różnica pomiędzy tą liczbą a 90 000 000 wynika z różnicy gęstości Antaresa i Słońca. Średnio biorąc, tona materii na Słońcu zajmuje miejsca znacznie mniej niż jeden metr sześcienny; na Antaresie zajmuje ona objętość większą niż wnętrze katedry św. Pawła w Londynie. Jednakże dokładniejsze badania budowy wnętrza gwiazd wykazują, że podobne wartości średnie nie mają wielkiego znaczenia. Jest rzeczą wysoce prawdopodobną, że w środku Antaresa materia posiada gęstość w przybliżeniu (lecz może niezupełnie) taką, jaka pa-

nuje w pobliżu środka Słońca (str. 221). Olbrzymie rozmiary Antaresa zawdzięczamy istnieniu niezmiernie rozległej atmosfery złożonej z bardzo rozrzedzonego gazu.

S Dorado jest, jak się zdaje, jeszcze większa. Według Gaposzkin a jest to gwiazda podwójna zaćmieniowa (str. 53), przy czym składowe mają średnice co najmniej 1400 i 1200 razy większe od średnicy Słońca. Istnieją dane pozwalające przypuszczać, że większy składnik innej podwójnej zaćmieniowej, ϵ Woźnicy, posiada średnicę 3000 razy większą od słonecznej, czyli 4,2 miliarda kilometrów.

Mgławice planetarne należałoby może uważać za gwiazdy o jeszcze większych średnicach. W środku każdej z nich teleskopy wykrywają słabą stosunkowo gwiazdę o nadzwyczaj wysokiej temperaturze powierzchniowej. Otacza ją mgławica, od której pochodzi nazwa, zresztą dość niefortunnie wybrana, tych ciał niebieskich; jest to najprawdopodobniej po prostu atmosfera jeszcze rozleglejsza od atmosfer sześciu gwiazd omówionych przed chwilą. V a n M a a n e n ocenia średnicę mgławicy «Pierścieniowej» w Lutni (rys. 2, tabl. VI, str. 24) na około $6\frac{1}{2}$ bilionów km; wartość przeciętna średnicy 21 zbadanych przez niego mgławic planetarnych wynosi około jednego roku świetlnego, czyli $9\frac{1}{2}$ biliona km. Mgławice te różnią się jednak od atmosfery zwykłej gwiazdy tym, że są prawie zupełnie przezroczyste: możemy widzieć na wskroś poprzez biliony km mgławicy Pierścieniowej, natomiast do wnętrza zwykłej gwiazdy zajrzeć można zaledwie na głębokość kilkudziesięciu czy kilkuset km.

Na przeciwnym krańcu skali rozmiarów gwiazda v a n M a a n e n a, najmniejsza ze znanych (str. 198), jest mniej więcej wielkości Ziemi: milion takich gwiazd zmieściłoby się we wnętrzu Słońca pozostawiając jeszcze sporo wolnego miejsca. Mimo to masa jej jest zapewne porównywalna nie z masą Ziemi, lecz z masą Słońca; może ona wynosić przypuszczalnie $\frac{1}{5}$ tejże. By wtłoczyć piątą część masy Słońca w kulę wielkości Ziemi, trzeba by tonę materii zapakować w objętość niewielkiej wiśni. Twardość i masywność Ziemi

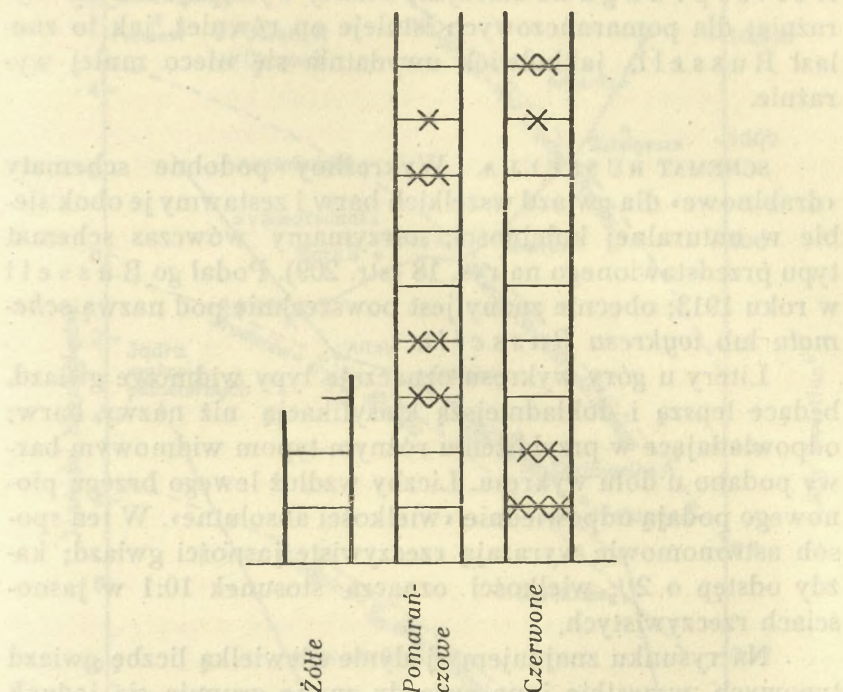
świadczy o tym, iż atomy jej muszą być rozmieszczone w dość małych odstępach od siebie: *atomy w gwieździe van Maanena są jednakże stłoczone 66 000 razy silniej.*

Jak się to dzieje? Jak zobaczymy nieco dalej (str. 223), możliwa jest tylko jedna odpowiedź na to pytanie. Atom składa się w przeważnej mierze z pustki — porównywalśmy przecież atom węgla do sześciu os bujających wewnątrz dworca Waterloo. Rozbijmy atom na części składowe, stłoczmy je razem tak ciasno, jak się tylko da: i oto mamy sposób upakowania materii w gwieździe van Maanena. Sześć os latających po całym wnętrzu dworca Waterloo zmieścić można mimo to w małym pudełku.

OLBRZYMY I KARŁY. Pomiędzy wspomnianymi granicami masy gwiazd, ich temperatury, barwy, wreszcie — rozmiarów, znaleźć można wszędzie ciągłe przejście. Można w tych granicach znaleźć gwiazdę o takiej masie, barwie czy wielkości, jak się nam podoba. Nie znaczy to jednak bynajmniej, aby udało się to zawsze, jeśli obierzemy jednocześnie masę, barwę i wielkość w sposób dowolny. Jeżeli obierzemy masę, żądana barwa może okazać się niemożliwą itp. Tak np. gdybyśmy chcieli mieć gwiazdę czerwoną, to można by znaleźć albo bardzo ciężką, albo bardzo lekką taką gwiazdę, nie zaś o masie pośredniej: o ile wiadomo, *gwiazd czerwonych o masach średniej wielkości po prostu wcale nie ma.* To samo odnosi się do rozmiarów: *nie ma gwiazd czerwonych o rozmiarach pośrednich.* Hertzsprung z Lejdy spostrzegł w r. 1905, że gwiazdy czerwone można podzielić na *dwie zupełnie odrębne klasy*, wyróżniające się wielkimi, względnie małymi rozmiarami; nadał on im nazwę «olbrzymów» i «karłów». Russell, prowadząc dalsze badania w tej dziedzinie, potwierdził w r. 1913 dawniejsze wnioski Hertzsprunga i wykazał, że podział na olbrzymy i karły stosuje się również do gwiazd o innych barwach, nie tylko do czerwonych.

Wyobraźmy sobie szereg kolorowych drabin, po jednej dla każdej barwy gwiazdowej: czerwoną, pomarańczową itd.

Umieścimy wszystkie gwiazdy czerwone na szczeblach takiejże drabiny w porządku ich jasności rzeczywistych, mianowicie najjaśniejsze najwyżej; na tym samym szczeblu może się przy tym znaleźć kilka gwiazd, jeśli ich jasności rzeczywiste są pra-



Rys. 17. Gwiazdy różnych barw, uporządkowane według ich jasności rzeczywistych

wie równe. Dla ustalenia uwagi założmy, że każdy szczebel drabiny oznacza 5 razy większą jasność, niż sąsiedni szczebel niższy, tak iż każdemu z nich odpowiada pewna określona jasność rzeczywista*.

Teraz możemy pójść dalej. Umieszczamy gwiazdy czer-

* Ze względów czysto praktycznych nie odmierzamy na wykresie odinków proporcjonalnych do jasności, lecz do jej logarytmu, inaczej bowiem byłoby rzeczą niemożliwą przedstawić na jednym wykresie cały obszar jasności rzeczywistych gwiazd czerwonych, zawarty w granicach od 1 do miliona przeszło.

wone, pomarańczowe itd. na odpowiednich szczeblach drabin; wynik mamy przedstawiony schematycznie na rys. 17, na którym gwiazdy oznaczone są krzyżykami. Dla gwiazd czerwonych, przypadających po prawej stronie schematu, podział Hertzsprunga na olbrzymy i karły występuje bardzo wyraźnie; dla pomarańczowych istnieje on również, jak to znalazł Russell, jakkolwiek uwydatnia się nieco mniej wyraźnie.

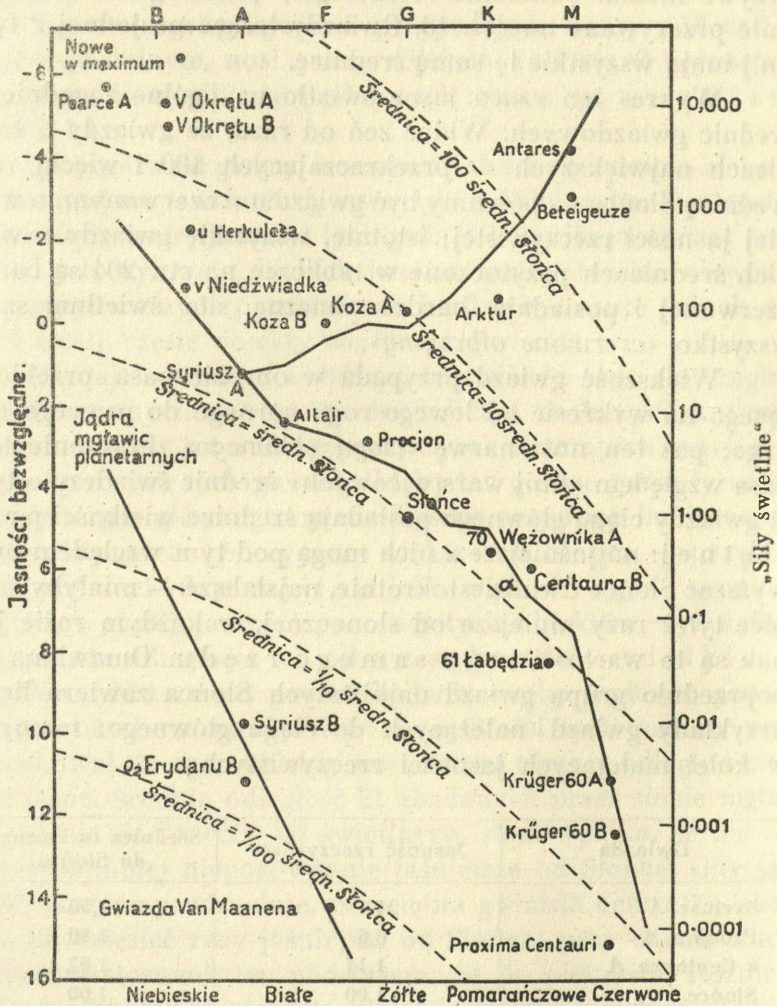
SCHEMAT RUSSELLA. Wykreślmy podobne schematy «drabinowe» dla gwiazd wszelkich barw i zestawmy je obok siebie w naturalnej kolejności; otrzymamy wówczas schemat typu przedstawionego na rys. 18 (str. 209). Podał go Russell w roku 1913; obecnie znany jest powszechnie pod nazwą *schematu* lub *wykresu Russella*.

Litery u góry wykresu oznaczają typy widmowe gwiazd, będące lepszą i dokładniejszą klasyfikacją niż nazwy barw; odpowiadające w przybliżeniu różnym typom widmowym barwy podano u dołu wykresu. Liczby wzdłuż lewego brzegu pionowego podają odpowiednie «wielkości absolutne». W ten sposób astronomowie wyrażają rzeczywiste jasności gwiazd; każdy odstęp o $2\frac{1}{2}$ wielkości oznacza stosunek 10:1 w jasnościach rzeczywistych.

Na rysunku znajdujemy jedynie niewielką liczbę gwiazd typowych, wszystkie inne gwiazdy znane grupują się jednak wokół punktów oznaczających owe gwiazdy «wzorcowe». W ogóle mówiąc, istnieją dwa odrębne obszary zajęte przez gwiazdy: pierwszy i ważniejszy z nich przypomina nieco kształtem przewróconą literę γ : środkową linię tego obszaru zaznaczono, według danych Redmana, grubą linią czarną. Drugi obszar, mniejszy, przypada w pobliżu lewego dolnego rogu wykresu: gwiazdy w nim zawarte są bardzo słabe i posiadają o wiele wyższe temperatury powierzchniowe, niż inne gwiazdy o podobnej jasności prawdziwej.

Wspominaliśmy już poprzednio, że średnicę gwiazdy można obliczyć z jej jasności prawdziwej oraz temperatury po-

wierzchni. Innymi słowy, dwie gwiazdy zajmujące to samo miejsce na wykresie Russella muszą mieć jednakowe



Rys. 18. Schemat Russella.

średnice. Każdemu punktowi wykresu odpowiada zatem określona wartość średnicy, tak iż można zaznaczyć na nim średnice gwiazd w sposób analogiczny, jak na mapie geograficz-

nej zaznacza się wysokości nad poziomem morza przy pomocy układu «warstwic». W naszym przypadku warstwice te są to krzywe niemal dokładnie równoległe; przebieg ich wskazują linie przerywane na rys. 18. Gwiazdy leżące na jednej z tych linii mają wszystkie tę samą średnicę.

Wykres ten rzuca jasne światło na ogólne zagadnienie średnic gwiazdowych. Widać zeń od razu, że gwiazdy o średnicach największych — przekraczających 100 i więcej razy średnicę Słońca — powinny być gwiazdami czerwonymi o wielkiej jasności rzeczywistej; istotnie, wszystkie gwiazdy o wielkich średnicach przytoczone w tabliczce na str. 204 są barwy czerwonej i posiadają bardzo znaczną siłę świetlną: są to wszystko «czerwone olbrzymy».

Większość gwiazd przypada w obrębie pasa przebiegającego na wykresie od lewego rogu górnego do prawego dolnego; pas ten nosi nazwę «ciągu głównego». Położenie tego pasa względem «linij warstwicowych» średnic świadczy o tym, iż gwiazdy ciągu głównego posiadają średnice wielkości *p r z e c i ę t n e j*: najjaśniejsze z nich mogą pod tym względem przewyższać Słońce dwudziestokrotnie, najślabsze — miałyby średnice tyleż razy mniejsze od słonecznej, w każdym razie jednak są to wartości tego samego rzędu. Omawiana już poprzednio grupa gwiazd najbliższych Słońca zawiera liczne przykłady gwiazd należących do ciągu głównego: mamy tu w kolei malejących jasności rzeczywistych:

Gwiazda	Jasność rzeczywista	Średnica (w stosunku do Słońca)
Syriusz A	24	1,50
Procyon A	6,6	1,80
α Centaura A	1,14	1,07
Słońce	1,00	1,00
α Centaura B	0,32	1,22
τ Wieloryba	0,32	0,95
ϵ Indianina	0,14	0,82
Krüger 60 A	0,0015	0,20
Krüger 60 B	0,0004	0,12
Wolf 359	0,00002	0,03

Tablica ta wykazuje jasno, iż zarówno *średnice gwiazd*, jak *ich jasności rzeczywiste maleją*, gdy posuwamy się w ciągu głównym ku dołowi.

Pozostała grupa gwiazd, przypadająca na rys. 18 w lewym rogu dolnym, nosi nazwę *«białych karłów»*. Z położenia na schemacie wynika, że średnice ich muszą być *nie z m i e r n i e m a ł e*.

Oprócz trzech gwiazd zaznaczonych na wykresie — białym karłem jest na pewno słaby towarzysz o Wieloryba. Z powodu niezmiernie małej jasności tych gwiazd i wynikającej stąd trudności ich wykrycia, białych karłów znamy bardzo niewiele poza przytoczonymi przykładami; bardzo być może jednak, że są to wcale częste obiekty we Wszechświecie.

Wydaje się rzeczą ustaloną, że gwiazdy centralne mgławic planetarnych należy również zaliczyć do białych karłów. Wspominaliśmy już o nadzwyczaj wysokich temperaturach powierzchniowych tych gwiazd. Gdyby tak gorące gwiazdy należały do ciągu głównego, musielibyśmy przypisać im jasności rzeczywiste wiele tysięcy razy większe niż Słońca — przybliżony rachunek daje milion jako wartość tego stosunku. Z kolei, z małej jasności pozornej tych obiektów wynikałby wniosek, że odległości ich od nas są *bardzo wielkie*.

V a n M a a n e n poddał badaniu ruchy mgławic planetarnych na sferze niebieskiej i z prędkości tych ruchów wnioskuje, że są to obiekty stosunkowo niezbyt odległe i niezbyt jasne. Średnią odległość 21 zbadanych przez siebie mgławic ocenia on na 4500 lat świetlnych, skąd wynika, że nie są one bynajmniej nieporównanie jaśniejsze od Słońca. Gdy jasność oceniamy wizualnie, przeciętna gwiazda centralna okazuje się dziesięć razy jaśniejsza od Słońca; przy ocenie fotograficznej stosunek ten podwyższa się do piętnastu. Różnica ta pochodzi stąd, że światło mgławic, daleko bardziej niebieskie niż słoneczne, silniej działa na płytę fotograficzną.

Zestawiając tę przeciętną jasność rzeczywistą ze znaną temperaturą powierzchniową nie trudno obliczyć, że przeciętna gwiazda centralna mgławicy planetarnej posiada średnicę *około pięć razy mniejszą niż Słońce*. Połączenie

niewielkiej jasności z małą średnicą zmusza do zaliczenia tych gwiazd do klasy białych karłów.

Poniższa tabliczka podaje jasności i średnice typowych gwiazd tej klasy.

Gwiazda	Jasność rzeczywista	Średnica w stosunku do Słońca
Jądro mgławicy planetarnej	10	0,2
Syriusz B	0,0024	0,03
α Erydanu B	0,003	0,02
Gwiazda van Maanena	0,00016	0,009

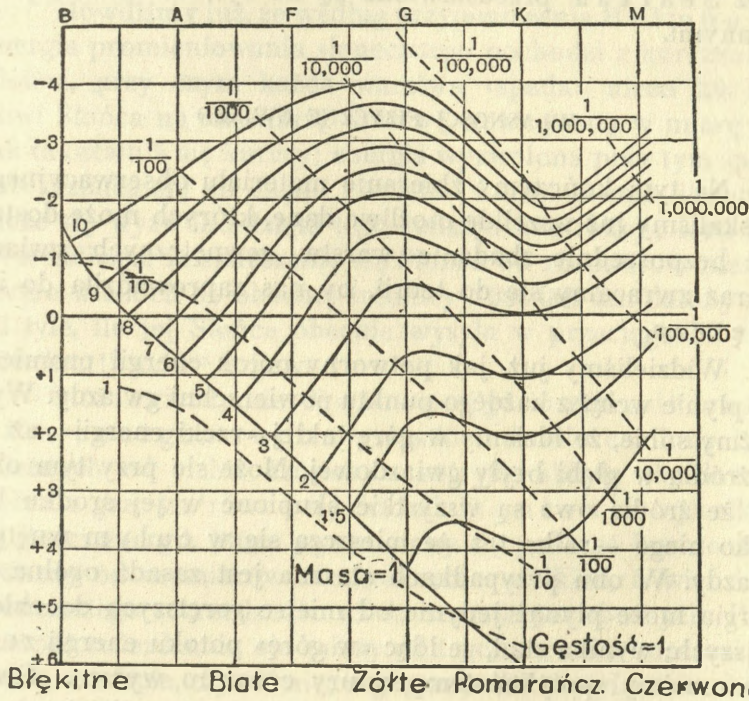
W tablicy na str. 210 mieliśmy gwiazdy ciągu głównego uporządkowane w kolei ich jasności rzeczywistych — jest to jednak również kolejność mas. Masy trzech spośród tych gwiazd są nieznane; resztę zestawiono w poniższej tabliczce:

Gwiazda	Jasność rzeczywista	Masa (w stos. do Słońca)
Syriusz A	24	2,35
Procyon A	6,5	1,48
α Centaura A	1,14	1,10
Słońce	1,00	1,00
α Centaura B	0,32	0,89
Krüger 60 A	0,0015	0,27
„ B	0,0004	0,14

Masy zmniejszają się systematycznie w miarę posuwania się w ciągu głównym ku dołowi, podobnie jak jasności, aczkolwiek znacznie wolniej niż te ostatnie.

Bezpośrednio zmierzyć masy można prawie wyłącznie w przypadku składowych gwiazd podwójnych — te zaś są stosunkowo nieliczne. Seares wykazał jednak, że masy układów podwójnych podlegają prawu ekwipartycji energii, rozpatrzonemu w rozdziale III, prawdopodobnie więc gwiazdy pojedyncze również stosują się do tego prawa, trudno bowiem wyobrazić sobie powód, dla którego podwójne miałyby osiągnąć stan ekwipartycji, inne zaś nie. Należy tu pamiętać, że

stan ten jest określony przez prawo o charakterze czysto statystycznym, wiążące ze sobą masy i prędkości ruchu gwiazd; fakt więc, iż jakiś układ gwiazdowy osiągnął stan ekwipartycji, nie mówi nic o wartości masy pewnej *określonej gwiazdy* o znanej prędkości, lecz pozwala wyznaczyć *średnią masę pewnej grupy gwiazd* w zależności od ich średniej



Rys. 19. Masy i gęstości gwiazd na wykresie Russella, według Searesa.

prędkości. W ten sposób Seares ocenił w r. 1922 przy pomocy tej metody średnie masy gwiazd o różnych jasnościach rzeczywistych i typach widmowych; innymi słowy: średnie masy gwiazd reprezentowanych przez poszczególne punkty wykresu Russella. Wyniki Searesa przedstawiono za pomocą krzywych ciągłych na rys. 19. Rozkład tych linii potwierdza wniosek, który wyprowadziliśmy poprzednio z rozpatrzenia kilku gwiazd wybranych: masy gwiazd ciągu głów-

nego maleją stale przy posuwaniu się w nim ku dołowi, w kierunku mniejszych jasności.

Krzywe na rys. 19 podają średnią masę gwiazd odpowiadających każdemu punktowi diagramu Russella, średnice zaś mieliśmy już na rys. 18. Stąd można oczywiście obliczyć gęstość średnią gwiazd; wyniki otrzymane tu przez Searesa przedstawione są na rys. 19 liniami przerywanymi.

WŁASNOŚCI FIZYCZNE GWIAZD

Na tym kończymy zbieranie materiału obserwacyjnego. Uzyskaliśmy już wszelkie możliwe dane, których może dostarczyć bezpośrednie zbadanie warstw zewnętrznych gwiazd, a teraz zwracamy się do teorii, by nas zaprowadziła do ich wnętrza.

Widzieliśmy już, jak potworny potok energii promienistej płynie wciąż z każdego punktu powierzchni gwiazdy. Wyobraźmy sobie, że idziemy w górę takiej «rzeki energii» aż do jej źródła w głębi bryły gwiazdowej. Może się przy tym okazać, że źródła owe są wszystkie skupione w jej środku lub blisko niego — albo też że mieszczą się w całym wnętrzu gwiazdy. W obu przypadkach słuszna jest zasada ogólna, że energia może płynąć jedynie od miejsc gorętszych do chłodniejszych; wynika stąd, że idąc «w górę» potoku energii zawsze musimy spotykać temperatury coraz to wyższe. Gwałtowny upływ ciepła z powierzchni gwiazdy dowodzi istnienia stromego spadku temperatur w jej wnętrzu. Tak więc potężny strumień energii płynący ze Słońca wskazuje, że przy zagłębieniu się pod powierzchnię Słońca temperatura wzrasta gwałtownie, przy czym wzrost ten, sumując się na przestrzeni 700 000 kilometrów aż do środka Słońca, musi prowadzić tam do bardzo wysokich temperatur.

Istnieje proste twierdzenie matematyczne, znane pod nazwą twierdzenia Poincaré'go, które okazuje nadzwyczaj cenne usługi przy rozpatrywaniu wewnętrznego stanu gwiazd,

zwłaszcza co się tyczy temperatury. Twierdzenie to jest słuszne jedynie w założeniu, że cała gwiazda znajduje się w stanie gazowym. Możemy przypuścić na chwilę, że hipoteza ta odpowiada prawdzie, a to z tej czysto oportunistycznej przyczyny, że jest to najodpowiedniejsza «droga podejścia» do niezwykle trudnego zagadnienia o budowie wnętrza gwiazdowych.

Mówiliśmy już, że według przypuszczenia *Helmholtza* energia promieniowania słonecznego pochodzi z kurczenia się Słońca, przy czym każda warstwa «spada» nieco ku środkowi Słońca na najbliższą warstwę wewnętrzną w miarę tego, jak ta ostatnia się kurczy; energia wyzwolona przy tym spadku przekształca się na ciepło i światło. Łatwo ocenić, ile energii może się wyzwolić dzięki tego rodzaju kontrakcji; lord *Kelvin* obliczył, iż skurczenie się Słońca od rozmiarów nieskończenie wielkich do obecnej średnicy 1 390 000 km dałoby energii tyle, ile jej Słońce obecnie wysyła w przeciągu 50 milionów lat, tj. $6 \cdot 10^{48}$ ergów.

Otóż twierdzenie *Poincaré*'go orzeka, iż całkowita energia ruchu wszystkich drobin czy innych niezależnych od siebie cząstek, z których składa się dowolna gwiazda gazowa, równa się dokładnie połowie tej całkowitej ilości energii, która wyzwoliłaby się podczas kurczenia się gwiazdy od rozmiarów nieskończenie wielkich, a więc i nieskończonego rozrzedzenia aż do rozmiarów obecnych. Prawdziwość twierdzenia nie zależy od tego, czy owo kurczenie się zaszło w istocie, czy też nie; w grę wchodzi tu wyłącznie obecny stan gwiazdy.

Wynika stąd ciekawy wniosek: im bardziej kurczy się gwiazda gazowa, tym wyżej podnosi się jej temperatura; jeśli gwiazda skurczy się do połowy, całkowita energia wyzwolona przy kurczeniu się od rozmiarów nieskończenie wielkich będzie dwa razy większa, tak iż całkowita energia kinetyczna cząsteczek, a więc i temperatura średnia, również wzrośnie dwukrotnie — przynajmniej, o ile cząsteczki pozostają te same. Jest to przypadek szczególny tzw. prawa *Lane'a*.

Wykonajmy rachunek dla przykładu Słońca. Z twierdzenia Poincaré'go wynika, że jeśli Słońce jest bryłą gazową, to całkowita energia kinetyczna jego cząsteczek wynosi $3 \cdot 10^{48}$ ergów. Chcielibyśmy teraz dowiedzieć się, z ilu cząstek składa się Słońce? Masa jego wynosi $2 \cdot 10^{33}$ gramów, ile jednak cząstek przypada na gram? Odpowiedź zależy oczywiście od rodzaju cząstek: w gramie wodoru jest $3 \cdot 10^{23}$ cząsteczek, w gramie powietrza $2 \cdot 10^{22}$, a tylko $2,5 \cdot 10^{21}$ atomów w gramie uranu.

TEMPERATURA. Gdyby Słońce składało się z powietrza, zawierałoby $4 \cdot 10^{55}$ cząsteczek, tak iż średnia energia kinetyczna każdej z nich równałaby się $7,5 \cdot 10^{-8}$ erga, skąd wynikałaby średnia temperatura wnętrza Słońca równa 375 milionom stopni. W r. 1907 Emden znalazł przy pomocy innego rachunku, że gdyby Słońce zbudowane było z powietrza, temperatura w jego środku wynosiłaby 455 milionów stopni. W ogólności więc temperatura wnętrza Słońca, złożonego z powietrza, musiałaby sięgać *setek milionów stopni*.

Jednakże wynik ten dowodzi z całą pewnością, że Słońce nie może być zbudowane z cząsteczek powietrza. Prosty rachunek (tego rodzaju, co przytoczony na str. 161) wykazuje, że kwanty promieniowania wysyłane przy tak wysokich temperaturach są dostatecznie potężne nie tylko na to, by rozbić cząsteczki powietrza na atomy, lecz również by oderwać od tych ostatnich *wszystkie* lub *prawie wszystkie elektrony*; przy tych temperaturach każda cząsteczka powietrza *rozpadałaby się* na swe składowe jądra i elektrony, jak w dzień upalny kawałek lodu rozpada się na cząsteczki wody. Siły elektryczne wystarczające do powiązania ze sobą — w spokojniejszym otoczeniu — elektronów i jąder początkowo w atomy, następnie w cząsteczki, są *bezsilne* wobec nieustannego gradu pocisków biegnących z ogromną prędkością oraz druzgoczących ciosów zadawanych przez kwanty o wielkiej energii: nie podobna przecież zbudować domku z kart wśród huraganu. Słońce złożone z cząsteczek powietrza okazuje się więc przedmiotem sprzecznym; przypuszczenie nasze obaliło samo siebie i dyskusję musimy zaczynać od początku.

JONIZACJA. Mówiliśmy już poprzednio, że rozmaite typy widm gwiazdowych odpowiadają w zasadzie różnym temperaturom; różnice ciśnienia, gęstości i składu chemicznego mogą odbić się na wyglądzie widm gwiazdowych, lecz zmiany te są niewielkie w porównaniu z wywołanymi przez różnice temperatur. Otóż gdy posuwamy się od powierzchni w głąb gwiazdy, przechodzimy wciąż poprzez warstwy o różnych temperaturach. Próbkę materii pobrane z tych warstw okazywałyby różne widma, które zgadzałyby się wcale dobrze z rozmaitymi typami widm gwiazdowych.

A więc typy owe powinny reprezentować poszczególne warstwy jednej i tej samej gwiazdy: powierzchnia Słońca o temperaturze 6000° okazuje widmo klasy *G*, lecz warstwy nieco głębsze, gdzie panuje temperatura 7500° , powinnyby dawać widmo typu *F*, a warstwy jeszcze głębsze — kolejno widma typu *A*, *B* i *O*. Otóż w tym szeregu widm — od najchłodniejszych do najgorętszych — stwierdzamy coraz to dalej posunięte rozszczepienie atomów. Widma klasy *M*, które odpowiadają temperaturom najniższym, świadczą o występowaniu całkowitych częścierek, np. tlenku tytanu i wodoru manganu. W temperaturach wyższych pełne cząsteczki zanikają i kolejno przechodzimy przez stadia: atomów kompletnych, atomów «*pojedynczo zjonizowanych*», od których oderwał się jeden elektron, wreszcie atomów «*podwójnie zjonizowanych*», pozbawionych dwóch elektronów. Stwierdzono, że na powierzchniach najgorętszych gwiazd zwykłych atomy krzemu i tlenu są podwójnie zjonizowane; w jeszcze gorętszych gwiazdach centralnych mgławic planetarnych również neon ulega podwójnej jonizacji. Nie ma wątpliwości, że widma materii o temperaturach jeszcze wyższych wskazywałyby na jeszcze dalej posunięty stopień jonizacji.

Posuwając się zatem w głąb Słońca czy innej gwiazdy napotykamy coraz to silniejszą jonizację atomów. Z przybliżonego rachunku (który potem można poprawić) wynika, że temperatura panująca w środkowych częściach gwiazd rozbija *wszystkie cząsteczki i atomy*, całkowicie lub prawie całkowicie, na jądra i elektrony. Okoliczności tej zawdzięczamy

ogromne uproszczenie w badaniu wewnętrznej budowy gwiazd. Nie wiedząc, z jakimi cząsteczkami mamy do czynienia, nie możemy powiedzieć, ile ich przypada na jeden gram; jeśli jednak cząsteczki te rozpadły się na swe jądra i elektrony, wówczas ogólna liczba owych części składowych da się wyznaczyć dość dokładnie nawet bez znajomości składu chemicznego materii gwiazdowej. Zawdzięczamy to faktowi, że ciężary atomowe większości pierwiastków — z wyjątkiem wodoru — są w przybliżeniu dwa razy większe od ich liczb porządkowych (str. 129).

W materii zdysocjowanej na jądra i elektrony — z wyjątkiem właśnie substancyj najlżejszych, jak wodór i hel — liczba jąder jest mała w porównaniu z liczbą elektronów, możemy ją więc zaniedbać. W takim razie liczba cząstek przypadająca na każdy atom równa się jego liczbie porządkowej, a więc mniej więcej *połowie ciężaru atomowego*; innymi słowy, *przeciętna masa* owych cząstek wynosi w przybliżeniu 2, tzn. tyle, co masa drobin wodoru (H_2). Widzimy więc, że liczba cząstek zawartych w dowolnej masie jest prawie taka, jak gdyby masa owa składała się z cząsteczek wodoru.

Weźmy przykład. Liczba porządkowa tlenu jest 8, a ciężar atomowy 16. Atom tlenu zupełnie rozłożony na części składowe składałby się więc z 9 odrębnych cząstek: z jednego jądra i ośmiu elektronów. Przeciętny ciężar atomowy tej mieszaniny wynosiłby $16/9$, czyli blisko 2. Jak zobaczymy w dalszym ciągu, jest rzeczą możliwą, iż wewnętrzna warstwa elektronowa K , złożona z dwóch elektronów, zostaje przy jądrze; w tym przypadku odrębnych części byłoby tylko siedem i efektywny ciężar atomowy wynosiłby $16/7$, czyli znów blisko 2.

Podobny stan rzeczy, z różnym stopniem dokładności, mamy dla innych pierwiastków. Wyjątek stanowią w o d ó r i h e l, ponieważ ich efektywne ciężary atomowe — po całkowitym rozłożeniu atomów — wynoszą zaledwie $1/2$ i $4/3$; nie możemy tu oczywiście uważać liczby jąder za małą w stosunku do liczby elektronów. Poza wodorem i helem, najlżejszym pierwiastkiem występującym względnie obficie w gwiazdach jest w ę g i e l o liczbie porządkowej 6 i ciężarze ato-

nowym 12. Wobec tego efektywny ciężar atomowy całkowicie rozłożonych atomów węgla wynosi 1,71, a jeżeli warstwa *K* jest nietknięta — 2,4. Obie te liczby nie różnią się zbyt od 2. Najcięższy z pierwiastków, jakie obficie występują w gwiazdach, to żelazo o liczbie porządkowej 26 i ciężarze atomowym 56; dla niego odpowiednie liczby są: 2,08 oraz 2,24. Dochodzimy więc do paradoksalnego wniosku, że jeśli materia gwiazdowa składa się z wodoru, to zachowuje się ona w sposób całkiem różny od wodoru ziemskiego, natomiast jeśli nie jest wodorem, to okazuje właściwości wodoru ziemskiego, tj. złożonego z pełnych cząsteczek H_2 .

A zatem, wracając do podanego już obliczenia, widzimy, że jeśli jakaś gwiazda nie zawiera dużych ilości wodoru lub helu, to liczba części składowych w gramie całkowicie rozłożonej materii gwiazdowej wynosi około $3 \cdot 10^{23}$ niezależnie od rodzaju atomów, z których szczątki owe powstały. Skoro zaś znamy ogólną liczbę tych cząstek w jakiejś gwiazdzie, łatwo możemy obliczyć temperaturę jej wnętrza z twierdzenia Poincaré'go, czy w inny sposób: będzie to temperatura taka, jaka by występowała w gwiazdzie zbudowanej z nierozbitych cząsteczek wodoru. Emden obliczył w r. 1907, że temperatura środka Słońca, zbudowanego w ten sposób, wynosiłaby około $31\,500\,000^\circ$; późniejsze bardziej dokładne obliczenia Eddingtona i innych dały wynik prawie identyczny.

Z drugiej strony jednak widzieliśmy już, że atmosfery Słońca i gwiazd składają się głównie z wodoru; nie jest więc rzeczą niemożliwą, iż jest on głównym składnikiem również wewnątrz gwiazdowych. W przypadku skrajnym, gdyby Słońce składało się w całej swej objętości wyłącznie lub prawie wyłącznie z wodoru, oceny wyżej przytoczone należałoby podzielić przez 4. Oznacza to, że temperatura obszarów środkowych wynosiłaby tylko około $8\,000\,000$ stopni.

Biorąc wszystkie istotne czynniki pod uwagę można ocenić tę temperaturę na około $20\,000\,000$ stopni. Temperatura taka przekracza tak dalece wszelkie ludzkie doświadczenie, że trudno nawet wyobrazić sobie, co w istocie oznacza. Weźmy

pod uwagę ilość materii wielkości łebka szpilki w temperaturze 20 000 000°; otóż jedynie w celu utrzymania owej odrobiny w tej temperaturze, tzn. w celu powetowania jej strat energii wskutek promieniowania, należałoby zużywać energię wytwarzaną przez silnik o mocy stu bilionów koni mechanicznych; promieniowanie tej okruszyny materii zabiłoby wszelką istotę żywą, która zbliżyłaby się do niej na odległość przeszło stu kilometrów*.

Rachunek wykazuje, iż nawet tak wysoka temperatura nie wystarcza do zupełnego rozbicia atomów w gwiazdach. Oderwane zostaną tu wszystkie elektrony aż do warstwy *K* (str. 159), lecz ta ostatni pozostanie nietknięta: oderwanie elektronów z warstwy *K* wymagałoby bowiem temperatur jeszcze wyższych. Odnosi się to do całego zakresu temperatur, w jakim przypadać powinna temperatura środka Słońca, i to prawie niezależnie od ciężaru atomowego oraz liczby porządkowej atomów, z których Słońce jest zbudowane.

Tak więc możemy sobie wyobrażać centralne obszary Słońca jako zbiorowisko atomów odartych z powłoki elektronowej aż do warstwy *K*, poruszających się niezależnie od siebie, podobnie jak cząsteczki zwykłego gazu pośród mnóstwa elektronów swobodnych, które pierwotnie tworzyły warstwy *L*, *M* itd. atomów; wszystko to zaś posiada temperaturę około 20 milionów stopni. Bliżej powierzchni Słońca występują temperatury niższe, przy których atomy są mniej gruntownie rozbite; wreszcie tuż przy powierzchni możemy spotkać atomy zupełnie ukształtowane z wyjątkiem jednego lub dwóch elektronów zewnętrznych, a nawet całkowite cząsteczki, nie raz będące rzadkością na Ziemi, jak np. CN, CH, NH, OH, TiO, AlH, AlO, BO i SiF.

Analogiczne badania przeprowadzone dla innych gwiazd dają wynik nader znamieny: *wszystkie gwiazdy ciągu głównego posiadają mniej więcej taką samą temperaturę cen-*

* Wysoka temperatura tego samego rzędu wielkości (aczkolwiek istniejąca jedynie w ciągu ułamka sekundy) jest niewątpliwie jedną z głównych przyczyn zniszczeń, jakie powoduje wybuch bomby atomowej. (Przyp. tłum.)

tralną jak Słońce. W rzeczywistości wahają się one od około 20 milionów stopni w Słońcu i w gwiazdach doń zbliżonych w ciągu głównym — aż do około 30 milionów stopni w najjaśniejszych znanych gwiazdach ciągu głównego. Tak więc setkom tysięcy dla stosunku jasności rzeczywistych odpowiada zaledwie 1,5 dla temperatur centralnych.

Nie jest to jedyna własność wspólna gwiazd ciągu głównego. Z rys. 19 ilustrującego badania *Searsa* nad gęstością gwiazd widzimy, że *gęstości średnie gwiazd ciągu głównego są w przybliżeniu jednakowe*, jeśli pominąć niewielkie stosunkowo odstępstwa na obu krańcach ciągu.

Średnia gęstość Słońca wynosi 1,4; oznacza to, iż przeciętnie biorąc metr sześcienny materii Słońca posiada masę 1,4 tony. W pobliżu środka Słońca gęstość jest zapewne około 70 razy większa, tak że metr sześcienny zawiera tam 100 ton materii; przypomnijmy dla porównania, że metr sześcienny ołowiu zawiera zaledwie około 11 ton. Gdyby wszystkie gwiazdy były zbudowane w ten sam sposób jak Słońce, to przy jednakowej gęstości średniej musiałyby posiadać również jednakową gęstość w obszarach centralnych. Jednakże u gwiazd kilkakrotnie cięższych od Słońca wchodzi w grę nowy czynnik, mianowicie *ciśnienie promieniowania*: — ciśnienie, które promieniowanie wywiera dzięki temu, że niesie z sobą masę. Dla większości gwiazd ciśnienie to jest bardzo małe w porównaniu z wywieranym przez uderzenia atomów i elektronów, lecz w przypadku gwiazd o bardzo wielkich masach jest ono tak znaczne, że wywiera wpływ na ich budowę. Tej właśnie okoliczności zawdzięczają swe nienormalnie wielkie rozmiary gwiazdy ciężkie, przytoczone w tabliczce na str. 204. Zakłócający wpływ ciśnienia promieniowania ujawnia się w tym, iż materia gwiazdy *ciężkiej* jest daleko *bardziej skoncentrowana* w obszarach środkowych niż w przypadku gwiazdy lżejszej, tak że jeśli weźmiemy gwiazdę lekką i ciężką o tej samej gęstości średniej, to ciężka wykaże o wiele większą gęstość w pobliżu środka. Po uwzględnieniu tej okoliczności okazuje się, iż *wszystkie gwiazdy w górnej części ciągu głównego posiadają te same w przybliżeniu gęstości centralne zbliżone do gęstości*

w środku Słońca, którą ocenia się na 100 ton na metr sześcienny. Widzieliśmy już także, że środkowe obszary tych gwiazd mają w przybliżeniu tę samą temperaturę, jaka panuje w środku Słońca, z czego wynika, że *wszystkie ich cechy fizyczne są na ogół jednakowe*. Tak więc atomy w obszarach centralnych wszystkich tych gwiazd są odarte z elektronów w tym samym stopniu, jak w środku Słońca; *elektronowa warstwa K istnieje nienaruszona*, lecz warstwy położone bardziej na zewnątrz zamieniły się w grad elektronów biegnących bezładnie, jak niezależne od siebie cząsteczki.

Ze ścisłością wystarczającą dla naszego obecnego celu możemy powiedzieć, iż *wszystkie gwiazdy ciągu głównego* — z wyjątkiem być może skrajnego dolnego końca — *znajdują się prawdopodobnie w jednakowym stanie fizycznym*. Z tego powodu ciąg główny stanowi znakomitą podstawę, od której można rozpocząć przegląd wykresu *Russella* z punktu widzenia budowy fizycznej wnętrz gwiazdowych.

Rys. 18 wskazuje, że gwiazda położona na prawo od ciągu głównego posiada średnicę większą, niż gwiazda o tej samej masie należąca do ciągu. Wobec tego wypromieniowałaby ona mniej energii podczas procesu kurczenia się do swych rozmiarów obecnych. Z twierdzenia *Poincaré*'go zaś wynika, że musi posiadać mniejszą energię ruchu cząsteczkowego, a więc również niższą temperaturę wewnętrzną; atomy jej są zatem w mniejszym stopniu pozbawione powłoki elektronowej. Temperatury centralne *czerwonych olbrzymów*, np. Antaresa, wynoszą zapewne zaledwie od 1 do 5 milionów stopni, tak iż *atomy ich zachowują prawdopodobnie nie tylko elektronową warstwę K, lecz również L, a może i część warstwy M*.

Gdyby istniały gwiazdy położone na lewo od ciągu głównego i gdyby można było uważać je za bryły gazowe, musiałyby one posiadać mniejsze średnice, a więc wyższe temperatury i atomy bardziej gruntownie rozbite. W rzeczywistości gwiazd takich nie ma, dopóki nie dojdziemy do białych karłów, tu zaś jest rzeczą prawie pewną, iż materii gwiazdowej nie można nawet w przybliżeniu uważać za gazową.

Średnia gęstość Syriusza *B* wynosi około 80 000, gwiazdy *v* a n *M* a a n e n a zaś prawdopodobnie ponad 300 000 w stosunku do wody. Nie ma innego sposobu takiego zagęszczenia materii poza oderwaniem w s z y s t k i c h elektronów od atomów, tak aby pozostały same tylko nagie jądra. Pomijając niewielką liczbę atomów, którym udało się uniknąć ogólnego losu, materia gwiazdowa musi tu składać się z jąder całkowicie ogolonych oraz z elektronów swobodnych, poruszających się niezależnie od siebie we wnętrzu gwiazdy.

BUDOWA GWIAZD

Gwiazda, podobnie jak dom lub kupa piasku, jest two-rem, który zapadłby się pod wpływem swego własnego ciężaru, jeśliby każda warstwa nie była podtrzymywana przez ciśnienie, wywierane na nią przez najbliższą warstwę wewnętrzną. Ciśnienie to nie jest, jak w przypadku zwykłego gazu, skutkiem uderzeń kompletnych c z ą s t e c z e k, lecz powstaje częściowo dzięki uderzeniom a t o m ó w, pozbawionych całkowicie lub prawie całkowicie swych elektronów, w prze-ważnej zaś mierze — wskutek uderzeń g r a d u e l e k t r o n ó w s w o b o d n y c h. Widzieliśmy, że dodatkowe ciśnienie wy-wiera p r o m i e n i o w a n i e, które niesie z sobą masę i przez to samo wywiera nacisk na każdą napotkaną przeszkodę. W gwiazdach cięższych jest on niezbyt drobnym ułamkiem ogólnego ciśnienia, przekraczając 50% dla gwiazd najcięższych. Łączne działanie uderzeń elektronów swobodnych, atomów (względnie nagich jąder) oraz promieniowania uniemożliwia gwieździe zapadnięcie się pod wpływem własnego ciężaru.

Mamy tu niezły obraz migawkowy budowy gwiazdy; obraz jej mechanizmu wewnętrznego otrzymamy rozpatrując jądra jako cząstki α , elektrony swobodne jako cząstki β , a pro-mieniowanie — jako promienie γ (choć w większości gwiazd przeważna część promieniowania posiada długość fali taką, jak promienie R o e n t g e n a). Wszystkie te «promienie» roz-chodzą się w materii gwiazdowej, przy czym, zupełnie analo-

gicznie jak w doświadczeniach laboratoryjnych, promienie β są bardziej przenikliwe od promieni α , promienie γ zaś jeszcze przenikliwsze, niż β .

PRZENOSZENIE SIĘ ENERGII WEWNĄTRZ GWIAZDY. Wiemy już, że energia cieplna gazu jest po prostu energią ruchu jego cząsteczek. Przy rozpatrywaniu przewodnictwa cieplnego gazów uważa się każdą cząsteczkę za przenośnik energii: przy zderzeniu z inną następuje nowy podział energii pomiędzy nimi i w ten sposób ciepło przenosi się od miejsc cieplejszych do zimniejszych. «Zdolność przenoszenia energii» jest dla danej cząsteczki proporcjonalna do jej energii kinetycznej, prędkości oraz «drogi swobodnej», czyli odległości przebywanej pomiędzy dwoma kolejnymi zderzeniami.

We wnętrzu gwiazdy odgrywają rolę trzy typy nośników energii: atomy (względnie jądra), elektrony swobodne, wreszcie promieniowanie. Mnożąc odpowiednio przez siebie energię, prędkość i drogę swobodną każdego z tych nośników możemy porównać ze sobą ich «wartość» jako przenośników energii. Za drogę swobodną promieniowania uważamy tu odległość, którą przebywa ono, zanim zostanie pochłonięte 63% jego natężenia; jest to bowiem średnia odległość, na jaką promieniowanie przenosi swą energię. Z rachunku wynika, że zdolność przenoszenia energii jest w przypadku jąder i elektronów nieznaczna w porównaniu z promieniowaniem. Jądra i elektrony mogą wprowadzić ze sobą większe ilości energii, lecz wobec o wiele mniejszej ich przenikliwości odległość, na jaką mogą przenieść ową energię, czyli «droga swobodna», jest daleko mniejsza niż w przypadku promieniowania. Prędkość unoszenia jest u nich również mniejsza, promieniowanie bowiem rozprzestrzenia energię z prędkością światła. A więc *cały, praktycznie biorąc, transport energii z wnętrza gwiazdy ku jej powierzchni odbywa się za pośrednictwem promieniowania.*

Istnieją dwa wyjątki od tego twierdzenia ogólnego. Przede wszystkim, Kothari udowodnił, że w gwiazdach o bardzo wielkiej gęstości (białe karły) najbardziej skutecznymi prze-

nośnikami energii są e l e k t r o n y. Po wtóre, C o w l i n g o w i udało się znaleźć dane przemawiające za tym, że w większości gwiazd istnieje niewielki obszar centralny, gdzie przenoszenie się energii odbywa się głównie za pośrednictwem k o n w e k c j i, tj. prądów materii gwiazdowej płynących ku górze i ku dołowi i mieszających tę materię w owym obszarze tak starannie, jak nasze wiatry mieszają atmosferę ziemską w jej warstwie dolnej, czyli w troposferze.

Pomijając te przypadki wyjątkowe, promieniowanie odgrywa w porównaniu z atomami i elektronami rolę dominującą jako przenośnik energii z wnętrza gwiazdy ku jej powierzchni; stąd wynika, że *budowa gwiazdy jest ściśle uzależniona od przezroczystości materii w jej wnętrzu*. Jeśliby przezroczystość ta uległa zmianie, zmieniłaby się zdolność przenoszenia energii za pośrednictwem promieniowania, co wywarłoby wpływ na cały ustrój gwiazdy. Gdyby wnętrze gwiazdy było całkowicie p r z e z r o c z y s t e, ciepło nie mogłoby w ogóle w nim się utrzymać; temperatura wnętrza byłaby bardzo n i s k a, rozmiary gwiazdy zaś olbrzymie. Z drugiej strony, w gwieździe bardzo n i e p r z e z r o c z y s t e j energia gromadziłaby się w miejscu, gdzie powstała, wskutek czego temperatura wnętrza podniosłaby się do bardzo z n a c z n e j w y s o k o ś c i, średnica gwiazdy zaś byłaby odpowiednio mała. Praktyczne znaczenie posiadają oczywiście przypadki pośrednie, jednakże wspomniane przypadki skrajne wskazują, w jak znacznym stopniu budowa gwiazdy zależy od przezroczystości jej materii.

Niestety nie podobna zmierzyć bezpośrednio przezroczystości materii gwiazdowej; nie można nawet mierzyć przezroczystości substancji ziemskich w warunkach takich, jakie panują w gwiazdach; jak wiadomo bowiem, temperatury są tam nieporównanie wyższe od tych, jakie możemy osiągnąć w laboratorium. Wiadomo jednak, że nieprzezroczystość materii gwiazdowej jest wynikiem o d d z i a ł y w a n i a składających ją a t o m ó w, j ą d e r i swobodnych e l e k t r o n ó w na przedzierające się ku powierzchni p r o m i e n i o w a n i e; choć nie posiadamy «próbki» materii gwiazdowej, to jednak wiemy

dość dobrze, ile próbka taka zawierałaby atomów, jąder i elektronów. Wyznaczenie stopnia jej przezroczystości staje się więc sprawą rachunku matematycznego.

Obliczenie takie wykonał w r. 1923 Kramers w Kopenhadze; wyniki otrzymane przez niego zostały z małymi zmianami ogólnie przyjęte. Stosują się one zarówno do warunków gwiazdowych jak ziemskich i w tym zakresie, w jakim możliwe jest sprawdzenie doświadczalne w pracowni, zgadzają się dobrze z doświadczeniem. Chociaż więc istnieje wielka przepaść pomiędzy warunkami laboratoryjnymi a gwiazdowymi, trudno przypuścić, aby wzór Kramersa miał zawodzić w zastosowaniu do gwiazd.

Ze wzoru tego możemy w zupełności wyznaczyć budowę gwiazdy lub też odwrotnie, jeśli przypuścimy, że budowa gwiazdy jest znana, wzór Kramersa daje nam natężenie prądu energii płynącego ku powierzchni (natężenie to zależy wyłącznie od przezroczystości substancji gwiazdowej), to zaś z kolei pozwala obliczyć wydajność, z jaką energia musi wytwarzać się wewnątrz gwiazdy, aby mogła ona pozostać w danej konfiguracji w stanie równowagi stałej. Można teraz obliczyć również zależność, jaka istnieje pomiędzy rzeczywistą jasnością gwiazdy, a jej masą i średnicą. To zaś wyjaśnia z kolei fakt wzmiankowany już na str. 51, że gwiazdy różnią się zazwyczaj znacznie więcej pod względem jasności rzeczywistej niż pod względem masy: niewielka różnica mas pociąga za sobą często znaczną różnicę jasności. Przy pewnych założeniach dotyczących stanu wewnątrz gwiazdowych Eddington zdołał obliczyć teoretycznie związek pomiędzy masą i jasnością gwiazd. Związek ten okazał się w przybliżeniu zgodny z rzeczywistością, przynajmniej dla gwiazd należących do ciągu głównego, tak iż używa się go niekiedy do oceny masy jakiejś gwiazdy na podstawie znanej jasności rzeczywistej. To tzw. «prawo jasności rzeczywistych» wyraża się dość skomplikowanym wzorem matematycznym, można je wszakże zastąpić, bez uszczerbku dla ścisłości, prostym twierdzeniem, że *jasność rzeczywista jest proporcjonalna do trzeciej potęgi masy*: jeśli pewna gwiazda przewyższa inną

dwukrotnie pod względem masy, to jest od niej ośmiokrotnie jaśniejsza itd.

Weźmy teraz pod uwagę gwiazdę, w której materia jest tak rozrzedzona, że elektrony i reszty atomów poruszają się swobodnie jak w gazie doskonałym, zderzenia są rzadkimi wypadkami, odległości zaś pomiędzy sąsiednimi cząstkami duże w porównaniu z liniowymi rozmiarami tychże. Stan taki można nazwać «gazowym», ponieważ wewnątrz gwiazdy zachowuje się jakby było gazem, jedynie zamiast cząsteczek jak w zwykłym gazie mamy tu elektrony i zjonizowane atomy.

Zgodnie z teorią Kramersa *przezroczystość materii zależy od liczb porządkowych i ciężarów atomowych pierwiastków*, z których się ona składa. Masywna bryłka materii — ciężkie jądro — posiada przy tym o wiele większą zdolność absorbcji promieniowania niż wielka liczba bryłek mniejszych o tej samej łącznej masie. Codzienne doświadczenie przekonywa nas o tym; z tego właśnie powodu fizyk i lekarz obierają ołów za materiał mający osłaniać ich aparaty rentgenowskie. Tona ołowiu bowiem o wiele lepiej powstrzymuje niepożądane promienie X niż tona drzewa lub żelaza. Jeśli byśmy znali wydajność energetyczną aparatu rentgenowskiego oraz całkowitą masę zasłony, moglibyśmy zupełnie trafnie ocenić ciężar atomowy materiału osłaniającego na podstawie pomiaru ilości promieniowania X, które przenika przez ekran.

Podobną metodę można zastosować w celu wyznaczenia ciężarów atomowych *pierwiastków wchodzących w skład gwiazd*. Gwiazda — to przecież ogromny aparat rentgenowski. Znamy masy licznych gwiazd, wydajność ich zaś jako źródeł promieni Roentgena jest to po prostu wydajność, z jaką wysyłają w przestrzeń energię w postaci promieniowania. Gdybyśmy mogli przeciąć każde jądro atomowe w gwieździe na dwie połowy, podwoilibyśmy przezroczystość materii gwiazdowej, tak iż promieniowanie wędrowałoby we wnętrzu gwiazdy dwa razy dalej, zanim uległoby pochłonięciu. W przypadku gwiazdy całkowicie gazowej pociągnęłoby to za sobą czterokrotne zwiększenie się jej średnicy oraz dwukrotny

spadek temperatury powierzchniowej. Wynika stąd, że możemy obliczyć ciężar atomowy wchodzących w skład gwiazdy atomów z jej masy, jasności rzeczywistej i temperatury powierzchniowej.

Jeśli przypuścimy, że gwiazda nie składa się w znacznej części z wodoru, wówczas ciężary atomowe licznych gwiazd, obliczone przy założeniu, iż są one w całości «gazowe», wypadają w niemal wszystkich przypadkach większe niż u r a n u, najcięższego ze znanych na Ziemi atomów. Co więcej, otrzymujemy tu tak olbrzymie wartości ciężarów atomowych, że wydają się one całkowicie nieprawdopodobne.

Z drugiej strony, jeżeli przypuścimy, że materia gwiazdowa może składać się w znacznej części z wodoru, otrzymujemy drugie rozwiązanie, które wymaga, aby przynajmniej niektóre gwiazdy składały się z wodoru prawie wyłącznie, inne zaś — w znacznej części. Nie ma w tym nic a priori nieprawdopodobnego, gdyż ta część materii gwiazdowej, której skład znamy mniej więcej dokładnie, mianowicie atmosfery Słońca i gwiazd, jest właśnie niemal w całości złożona z wodoru.

Musimy zatem wysnuć stąd wniosek, że gwiazdy są zbudowane w znacznej części z wodoru. Strömberg i Eddington wykazali, że wszystkie zasadnicze fakty wskazują na to, że gwiazdy ciągu głównego zawierają $\frac{1}{3}$ lub więcej wodoru. Dla Słońca najbardziej prawdopodobna proporcja wynosi 35%, dla niebieskich olbrzymów u góry ciągu głównego udział ten sięga 80%. Wiadomości nasze o składzie nie-gazowych białych karłów są mniej ustalone, wydaje się jednak pewne, że zawartość wodoru w nich w każdym razie nie jest znikoma.

EWOLUCJA GWIAZD

W następnym rozdziale (str. 251) postaramy się uzasadnić przypuszczenie, że gwiazdy powstały z bryzgów materii gazowej odrzuconej w przestrzeń przez wirujące mgławice, przy

czym początkowo uzyskały one byt odrębny jako k o n d e n s a c j e w zewnętrznych strefach tych mgławic. Kondensacje owe posiadały, jak to wynika z samego sposobu ich powstawania, wszelkie możliwe rozmiary, podlegając jednemu tylko ograniczeniu: masa ich musiała być większa od pewnej wartości granicznej. Wszystkie one miały jedną cechę wspólną — *niezmiernie małą gęstość*, porównywalną z gęstością materii w samej mgławicy.

Spróbujemy teraz uprzytomnić sobie, jakim stopniowym zmianom podlegały gwiazdy pod wpływem nieustannie działających sił przyrody.

Gdyby Słońce promieniowało z dzisiejszą siłą w ciągu 3 miliardów lat, straciłoby 1/5000 część swej masy w postaci promieniowania. W obecnej naszej dyskusji możemy zaniedbać tak małą stratę i założyć, że Słońce posiadało masę niezmienną w ciągu całego swego istnienia. Z wykresu na str. 213 widzimy, że Słońce musiało stale przebywać gdzieś na linii oznaczonej «masa = 1», a więc wszystkie zmiany, jakich doznało, powinien reprezentować *ruch wzdłuż tej linii*, oczywiście z uwzględnieniem niewykreślonej jej części, na lewo od ciągu głównego.

To samo dotyczy gwiazd w ogóle; jedyny możliwy przebieg ewolucji gwiazdy — to przesuwanie się po którejś krzywej stałej masy na wspomnianym wykresie. Oczywiście musimy pamiętać, że krzywe te przedstawiają właściwości przeciętne, a nie odnoszą się do jakiejś poszczegółnej gwiazdy. Jednakże obserwacje wykazują, że odstępstwa od średnich są tu zwykle małe, tak iż nie popełniamy dużego błędu przypuszczenia, iż rys. 19 odnosi się do określonych indywidualnych gwiazd; ewolucja każdej z nich musi więc z wielkim przybliżeniem odbywać się wzdłuż jednej z linii stałej masy na wykresie.

Ruch ten zachodzi w ogóle od strony prawej ku lewej, tzn. w kierunku od mniejszych do większych gęstości, czyli od większych do mniejszych rozmiarów. Gdy gwiazda rozpoczyna swój żywot jako niezmiernie rzadka kondensacja, jej punkt reprezentacyjny znajduje się gdzieś poza prawym brzegiem

wykresu; w miarę kurczenia się gwiazdy pod wpływem jej własnej grawitacji punkt ten przesuwa się na lewo, do większych gęstości. Podczas kurczenia się temperatura całej gwiazdy podnosi się, zgodnie z zasadami objaśnionymi na str. 215. Z biegiem czasu temperatura części środkowych osiąga wysokość — być może około 200 000 stopni — przy której termiczne reakcje jądrowe (str. 166) stają się już dostrzegalne, dostarczając pokaźnego ułamka energii emitowanej przez gwiazdę. Ewolucja ta trwa najwyżej kilka milionów lat; widzieliśmy przecież, że gdyby reakcje jądrowe wcale nie dostarczały energii, skurczenie się Słońca do obecnych rozmiarów zajęłoby około 50 milionów lat, a oczywiście mniejsza kontrakcja, którą właśnie rozpatrujemy, wymagałaby znacznie krótszego czasu.

Jako pierwsza z reakcyj jądrowych wchodzi w grę łączenie się *protonów z protonami* na deuterony, a potem na inne jądra cięższe oraz reakcje deuteronów z protonami i z innymi deuteronami. Reakcja protonowa przebiega tak leniwie, że nie zdoła pokryć w całości strat energii wskutek promieniowania z powierzchni gwiazdy. Reakcja ta może więc zwolnić kurczenie się, lecz nie zdoła go usunąć całkowicie. Natomiast reakcje z deuteronami mogą dostarczyć energii tyle, że kurczenie się gwiazdy nie zachodzi, dopóki starczy deuteronów; potem kontrakcja rozpoczyna się na nowo i trwa aż do osiągnięcia temperatur — parę milionów stopni — przy których protony poczynają reagować z jądrami lekkich pierwiastków litu, berylu i boru. Reakcje te dają dość energii, aby przeszkodzić kurczeniu się, dopóki nie wyczerpie się zapas lekkich jąder w środkowych obszarach gwiazdy.

Wszystkie gwiazdy na prawo od ciągu głównego znajdują się prawdopodobnie w jednym z rozpatrywanych przed chwilą stanów. W rzeczywistości gwiazdy te podzielić można na trzy dość wyraźnie wyodrębnione grupy. Najbardziej na prawo na rys. 18 przypadają *czerwone olbrzymy* (str. 202), potem idą cefeidy i wreszcie najdalej na lewo, a więc najbliżej ciągu głównego — «zmienne gromad» (str. 58). Gamow i Teller wykazali, że położenia tych gwiazd na wykresie 18 zgadzają się doskonale z tym, co przewiduje teoria w przy-

padku, gdy w gwiazdach zachodzą wspomniane przed chwilą reakcje. Grupa gwiazd na «skrajnej prawicy» — czerwone olbrzymy — znajduje się dokładnie w tym miejscu, które powinnyby zajmować gwiazdy czerpiące swą energię z reakcji deuteronów z protonami i deuteronami. Grupa następna, cefeidy, jest mniej jednolita; zdaje się, że występują tu trzy pokrywające się grupy, które odpowiadają reakcjom protonów z jądrami litu, berylu i boru o ciężarze atomowym 11. Wreszcie zmienne gromad zajmują miejsca przynależne gwiazdom, w których główną reakcją jest łączenie się protonów z jądrami boru o ciężarze atomowym 10.

W końcu musi nadejść czas, gdy zużyte zostaną wszystkie lekkie jądra w centralnych obszarach gwiazdy i jedynym źródłem energii, jakie jej pozostanie, będzie dalsze kurczenie się oraz mało wydajna reakcja protonów z protonami, która nie wystarcza na pokrycie strat energii wskutek promieniowania. Gwiazda kurczy się więc dalej, póki nie osiągnie temperatury tak wysokiej, że mogą wejść w rachubę nowe reakcje jądrowe. Pierwszą wśród nich jest reakcja protonów z jądrami atomów węgla (str. 168). Zachodzi ona w temperaturze około 20 milionów stopni — i jeśli gwiazda była na początku obficie zaopatrzona w wodór, reakcja ta może dostarczać energii przez czas bardzo długi, jakieś 100 miliardów lat, jeśli chodzi o gwiazdę o takiej masie i jasności rzeczywistej jak Słońce. W tej fazie swego żywota gwiazda należy do ciągu głównego; właśnie długim trwaniem tego stadium rozwoju można wyjaśnić fakt, że tak znaczna część ogółu gwiazd należy do ciągu głównego.

Na koniec jednak zapas wodoru w centralnych obszarach gwiazdy wyczerpuje się i znów jedynym źródłem energii pozostaje kontrakcja. Rzeczywiście, gwiazda kurczy się przechodząc do dziedziny położonej na lewo od ciągu głównego i staje się białym karłem lub «podkarłem». Gwiazdy te promieniują tak słabo, że samo kurczenie się może im dostarczyć zasobu energii wystarczającego na wiele miliardów lat. Niektóre karły nie posiadają zapewne dodatkowych źródeł energii, inne znów skurczyły się, być może, tak znacznie,

że poczęły w nich odgrywać rolę nowe reakcje jądrowe dostarczające energii na emisję promieniowania.

Jak już wspominaliśmy, termiczne reakcje jądrowe są bardzo wrażliwe na zmiany temperatury. Tak np. z rachunku wynika, że w warunkach, jakie panują w środku Słońca, ilość energii wytwarzanej w reakcji protonów z jądrami węgla jest proporcjonalna do siedemnastej potęgi temperatury: podwyższenie tej temperatury zaledwie o 4% podwoi prawie wytwarzanie energii.

Podwojenie to nie może być jednak natychmiastowe, gdyż gwiazdy byłyby niezmiernie nietrwałe. Minimalny wzrost centralnej temperatury gwiazdy spowodowałby silniejsze wytwarzanie energii, to zaś z kolei podniosłoby temperaturę jeszcze wyżej, generacja energii wzrosłaby ponownie i tak dalej nieograniczenie. Gwiazda byłaby czymś w rodzaju materiału wybuchowego.

Na podstawie ogólnych zasad możemy więc wywnioskować, że musi istnieć pewien *o d s t ę p c z a s u* w przystosowaniu się generacji energii do temperatury: generacja ta w danej chwili zależy nie tylko od temperatury, jaka w tej chwili panuje, lecz również od temperatury w chwilach poprzedzających. Co więcej, zarówno teoria, jak doświadczenia laboratoryjne dowodzą, że taki odstęp czasu musi istnieć w rzeczywistości: przecież energia staje się tu dostępna dopiero po szeregu przemian tego typu co przemiany promieniotwórcze, a te, jak wiemy, wymagają odpowiedniego czasu. W reakcji protonów z jądrami węgla niektóre przemiany trwają miliony lat. Wszystko to prowadzi do określonych stałych wahań w wytwarzaniu energii, co znów powoduje *p e r i o d y c z n e z m i a n y j a s n o ś c i* gwiazdy oraz jej budowy. Krótko mówiąc, należałoby oczekiwać, że wszystkie gwiazdy powinny być «zmiennymi» w sensie wyjaśnionym w rozdziale I.

W związku z tym jest rzeczą godną uwagi, że praktycznie biorąc wszystkie gwiazdy w obszarze na prawo od ciągu głównego są gwiazdami *z m i e n n y m i*. Nie tylko blask ich waha się okresowo w sposób doskonale regularny, lecz — jak to wynika z badań spektroskopowych — fluktuacjom tym to-

warzyszają *pulsacje całej struktury gwiazdowej*. Zależnie od tego, czy jasność gwiazdy powiększa się, czy zmniejsza, rosną i maleją jej rozmiary.

Widzimy więc, że nie trudno obecnie zrozumieć, dlaczego zmienne długookresowe, cefeidy i zmienne gromad okazują fluktuacje blasku; trudność polega na wyjaśnieniu, dlaczego gwiazdy ciągu głównego nie ujawniają zmian podobnych. Wy-suwano różne możliwości, zanim jednak będziemy mogli je sprawiedliwie ocenić, powinniśmy zapewne uzyskać bardziej szczegółowe wiadomości zarówno o termicznych reakcjach ją-drowych, jak i o budowie wewnątrz gwiazd.

Aby pogodzić ten pogląd na ewolucję gwiazd z wnio-skami, do których doszliśmy na str. 228, musimy przypuścić, że wodór w zewnętrznych warstwach gwiazdy nie jest zużyty w czasie, gdy gwiazda przebywa w stadium ciągu głównego, lecz pozostaje jeszcze w późniejszej fazie białego karła. Wo-dór «spala się» tylko w centralnych obszarach gwiazdy. We-dług Schö n b e r g a i C h a n d r a s e k h a r a w miarę zu-żywania się wodoru konwekcyjne jądro gwiazdy stopniowo ulega zmianom i ostatecznie staje się obszarem, w którym wszędzie panuje ta sama temperatura, wskutek czego prądy konwekcyjne ustają. Badacze ci znajdują, że zaledwie *około 1/10 całej zawartości wodoru w gwieździe może ulec przemian-e*, zanim opuści ona ciąg główny. Nawet zużycie tej niewiel-kiej ilości wymagałoby *około 10 miliardów lat* w przypadku Słońca; okres ten wypada znacznie krótszy dla gwiazd o więk-szych masach.

W każdym razie wydaje się rzeczą prawdopodobną (jak-kolwiek nie jest to pewne), że gwiazdy nie mogą być wszyst-kie w jednakowym wieku: narodziny gwiazd musiały nastąpić *w różnych czasach*. Białe karzeł o masie takiej jak Słońce, np. Syriusz B, istnieje prawie na pewno dłużej niż od dziesię-ciu miliardów lat; «pod-karzeł» o jeszcze mniejszej masie i ja-sności posiada wiek jeszcze sędziwszy. Z drugiej strony tru-dno przypuścić, aby ciężki i bardzo jasny czerwony olbrzym mógł istnieć od tak długiego czasu: jego promieniowanie po-chodziło z grawitacyjnego kurczenia się, które starczyłoby

z trudem na milion lat, tudzież ze «spalenia» małej ilości wodoru (może też trochę litu), co zapewniłoby dopływ energii tylko na niewiele milionów lat.*

Jednakże hipoteza, że wiek gwiazd nie jest jednakowy, napotyka różnorakie trudności; niektóre z nich rozpatrzymy w następnym rozdziale. Trzeba przyznać, że w całym tym zagadnieniu jest wiele stron niepewnych, a nawet tajemniczych, musimy jednak pamiętać, że chodzi tu o plon badań kilkunastu lat zaledwie. Ład szybko wyłania się z chaosu i można mieć nadzieję, że wkrótce rozwieją się wszystkie trudności.

* W ostatnich czasach wypowiedziano pogląd, że gwiazdy o wielkiej jasności «pasą» się wodorem, rozproszonym w przestrzeni; gaz i pył międzygwiazdowy ma w ogóle stanowić przeważną część masy mgławic (H o y l e). (Przyp. tłum.)

ROZDZIAŁ V

Geneza światów

ZBADALIŚMY już Wszechświat do najdalszych głębi, dokąd sięgnąć mogą teleskopy; staraliśmy się rozpoznać zawiłą strukturę tych tworów małych, z których zbudowany jest cały Wszechświat materialny — a t o m ó w. Okazało się z kolei, że one także składają się z cząstek jeszcze prostszych, bardziej podstawowych — małych ciałek naelektryzowanych, które zwiemy elektronami i pozytronami, protonami i neutronami — a może z innych jeszcze. Niewyobrażalnie wielka liczba tych cząstek — według oceny E d d i n g t o n a około 10^{79} protonów i tyleż elektronów — jakoś zebrała się razem, by utworzyć Wszechświat. Nie powstały przy tym całkiem dowolne skupienia materii, lecz twory określone, zupełnie swoiste — gwiazdy, mgławice itd. Nasuwa się tu zaraz pytanie, dlaczego powstały właśnie te obiekty kosmiczne, a nie jakieś całkiem inne.

Zwracaliśmy uwagę czytelnika na zdumiewającą p u s t k ę przestrzeni: sześć pyłków, unoszących się we wnętrzu dworca Waterloo w Londynie, przedstawia zapelnienie przestrzeni gwiazdami w jej najgęściej «zaludnionych» obszarach. Ten sam stan rzeczy można oświetlić z innego punktu widzenia. Sześć pyłków zawiera, powiedzmy, tysiąc Bilionów cząsteczek. Nasz model przestrzeni wydaje się tak pusty dlatego, że owa wielka liczba cząsteczek jest zebrana w s z e ś c i u zaledwie bryłkach. W przestrzeni rzeczywistej jednostką jest gwiazda, a przeciętna gwiazda zawiera około 10^{56} cząsteczek — liczbę tak wielką, że każda próba wyobrażenia jej sobie jest całkowicie bezcelowa. Pustka przestrzeni nie wynika więc z istotnej r z a d k o ś c i cząsteczek, lecz stąd, że są one zgrupowane w o l b r z y m i e k o l o n i e zwane przez nas gwiazdami, posiadające przeciętnie po 10^{56} członków każda; wyjątek stanowią te cząsteczki,

z których składają się chmury rozrzedzonego gazu, rozpościerające się w przestrzeniach międzygwiazdowych. Wylania się tu pytanie: dlaczego cząsteczki w przestrzeni Wszechświata skupiają się w ten sposób, natomiast nie czynią tego cząsteczki, znajdujące się np. w pokoju?

Stosując wypróbowaną metodę naukową próbujemy odpowiedzieć na pytanie, dlaczego zbiorowiska te się wytworzyły, badając czynniki, które obecnie podtrzymują ich istnienie. Atmosfera ziemska składa się z około 10^{44} cząsteczek; dlaczego trzymają się one powierzchni naszego globu zamiast rozproszyć się w przestrzeni? Oczywiście, dzieje się to dzięki przyciąganiu Ziemi. Pocisk wyrzucony z Ziemi z prędkością przekraczającą 11 kilometrów na sekundę nie powróci już nigdy na Ziemię, gdyż przyciąganie jej nie wystarczy do zatrzymania ciała poruszającego się z tak znaczną prędkością. Przy prędkościach mniejszych od 11 kilometrów na sekundę pocisk nie mógłby opuścić Ziemi na zawsze — przyciąganie jej wzięłoby górę. Stąd też «pociski» molekularne, z których składa się atmosfera ziemska, biegnące z prędkościami przeważnie nie przekraczającymi pół kilometra na sekundę, nie mają żadnych szans na oderwanie się od Ziemi. Przyciąganie jej nieustannie cofa je wstecz, tak iż Ziemia może zachować swą pokrywę powietrzną w sposób trwały.

W rzadkich wypadkach jakaś cząsteczka może doznać serii wyjątkowo pomyślnych zderzeń z innymi cząsteczkami, które nadadzą jej prędkość 11 kilometrów na sekundę. Jeżeli dostanie się ona, posiadając podobną prędkość, do zewnętrznych warstw atmosfery, to opuści Ziemię na zawsze i przyłączy się do tłumu cząsteczek rozproszonych w przestrzeni międzygwiazdowej. Ziemia wciąż traci po trosze swą atmosferę w sposób opisany, rachunek jednak wykazuje, że utrata owa nawet po upływie miliardów lat byłaby bardzo nieznaczna, tak iż możemy uważać istnienie atmosfery ziemskiej za zupełnie trwałe.

Podobny stan rzeczy mamy w przypadku Słońca. Zar słoneczny rozłożył cząsteczki w jego atmosferze na atomy składowe, które poruszają się z prędkością przeciętną około 3 km

na sekundę; natomiast, aby pocisk wyrzucony ze Słońca mógł je opuścić na zawsze, musiałby posiadać prędkość blisko 600 km na sekundę; dlatego to atomy atmosfery słonecznej nie rozpraszają się w przestrzeni.

Gdyby wszystkie cząsteczki powietrza zawarte w zwykłym pokoju zebrać w małej przestrzeni w środku pokoju, to kula powietrzna tak utworzona wywierałaby oczywiście działanie przyciągające na cząsteczki położone w jej warstwie zewnętrznej, podobnie jak Słońce i Ziemia przyciągają cząsteczki swych atmosfer. Jednakże wobec małej masy owej kuli powietrznej natężenie jej przyciągania byłoby również niezmiernie małe, tak małe, że wystarczyłaby prędkość 1 metr na godzinę, by zewnętrzne cząsteczki mogły się od niej oderwać. Ponieważ zaś cząsteczki powietrza poruszają się w zwykłych warunkach z prędkością blisko 500 metrów na sekundę, podobna kula powietrzna rozproszyłaby się momentalnie po całym pokoju. Z drugiej strony, gdyby pokój nasz był tak duży, by zmieściło się w nim Słońce, wszystkie cząsteczki mogłyby trwale pozostawać zebrane w kulę w środku, podobnie jak się to dzieje z cząsteczkami, z których zbudowane jest Słońce. Cząsteczki zewnętrzne mogłyby uciec tylko przy prędkościach przewyższających 600 kilometrów na sekundę, tak że ich prędkość rzeczywista, około pół kilometra na sekundę, byłaby zupełnie niewystarczająca.

ATMOSFERY PLANETARNE. W ogólności zatem sprawa, czy cząsteczki znajdujące się w warstwach zewnętrznych mogą uciec, czy też nie, zależy od wyniku współzawodnictwa pomiędzy ich prędkościami a natężeniem przyciągania wywieranego na nie przez resztę masy. Liczne przykłady tego spotkamy później (str. 291). Księżyc przetrzymywałby cząsteczki atmosfery 23 razy słabiej niż Ziemia, wobec czego atmosfera, którą Księżyc mógł być nawet niegdyś posiadać, musiała od dawna rozproszyć się w przestrzeni. Dla Merkurego odpowiedni stosunek wynosi 1/10; poza tym z powodu bliskości Słońca zwrócona ku niemu część Merkurego jest bardzo gorąca, tak iż jego atmosfera znikła również w ca-

łości lub w przeważającej części. Przyciąganie Marsa jest pięć razy słabsze niż Ziemi, lecz powierzchnia jego ma niższą temperaturę; rachunek wykazuje, że para wodna oraz cząsteczki cięższe powinny były pozostać, lekkie zaś cząsteczki helu i wodoru musiały uciec. Prawdopodobnie taki jest też istotny stan rzeczy. Największy księżyc Saturna i oba największe księżyce Jowisza wywierają przyciąganie zbliżone do tego, jakie panuje na naszym Księżycu, ponieważ jednak powierzchnia ich jest niewątpliwie o wiele zimniejsza, powinnyby były zachować atmosferę; niektórzy astronomowie utrzymują, że udało im się stwierdzić dane świadczące o istnieniu atmosfery na wszystkich trzech tych satelitach. Co się tyczy czterech wielkich planet zewnętrznych, to przyciąganie ich jest większe niż Ziemi, wystarcza więc w zupełności do utrzymania atmosfery; podobnie i Wenus, o przyciąganiu prawie takim jak ziemskie, również posiada atmosferę.

To, co powiedzieliśmy, tłumaczy w sposób zadowalający, dlaczego cząsteczki, z których zbudowane są gwiazdy, wchodzą trwale w ich skład, skoro skupienia owe raz już powstały; o wiele trudniejsze jest jednak zagadnienie, jak i dlaczego zbiory takie w ogóle się wytworzyły? *Dlaczego np. gwiazdy zawierają przeciętnie po 10^{56} cząsteczek, a nie po 10^{54} lub 10^{58} ?*

GRAWITACYJNA NIESTAŁOŚĆ RÓWNOWAGI

Nasuwa się tu w sposób naturalny pytanie, czy może te same siły, które obecnie utrzymują cząsteczki w ich zgrupowaniu w gwiazdy, wytworzyły na początku czasów owe ugrupowania? By odpowiedzieć na to pytanie, musimy rozpatrzyć nieco dokładniej «zbierającą» działalność sił grawitacyjnych.

W pięć lat po ogłoszeniu przez Newtona prawa ciążenia powszechnego, Bentley, późniejszy rektor Trinity College w Cambridge, napisał do niego list, w którym porusza kwestię, czy nowo odkryta siła grawitacji nie mogłaby wy-

tłumaczyć skupiania się materii w gwiazdy. *Newton* odpowiedział listem, datowanym 10 grudnia 1692:

«Wydaje mi się, że gdyby materia, z której zbudowane jest nasze Słońce i planety oraz w ogóle wszelka materia Wszechświata była równomiernie rozproszona w przestrzeni nieba; gdyby, dalej, każda cząstka posiadała naturalne ciążenie ku wszystkim pozostałym i gdyby wreszcie przestrzeń zajęta przez tę rozproszoną materię była ograniczona: to w częściach zewnętrznych owej przestrzeni materia dążyłaby, dzięki ciążeniu, w kierunku wnętrza, spadając ku środkowi i tworząc tam jedną wielką masę kulistą. Jeśliby jednak materia była rozmieszczona równomiernie w przestrzeni nieskończonej, to nie mogłaby nigdy zebrać się w jedną masę; pewna jej część utworzyłaby jedno skupienie, inna część — inne, tak iż powstałaby nieskończona mnogość wielkich mas rozproszonych na wielkich odległościach wzajemnych po całej nieskończonej przestrzeni. W ten sposób mogły powstać Słońce i gwiazdy stałe, jeśli przypuścić, że materia owa miała naturę świetlną».

Ścisłe badania matematyczne nie tylko potwierdzają w zasadzie przypuszczenie *Newtona*, lecz również pozwalają obliczyć rozmiary skupień tworzących się pod wpływem ciążenia.

POWSTAWANIE KONDENSACYJ. Wyobraźmy sobie, że stoimy na środku pokoju i klaszczemy w dłonie. W języku życia codziennego powiemy, że robimy w ten sposób hałas; fizyk natomiast wyrażając się fachowo powiedziałby, że wytwarzamy fale głosowe. Dłonie nasze zbliżając się ku sobie usuwają znajdujące się pomiędzy nimi cząsteczki powietrza, które w swej ucieczce zderzają się z cząsteczkami z warstw położonych bardziej na zewnątrz; te zaś, odrzucone z kolei, spotykają cząsteczki z warstw jeszcze dalszych: zaburzenie wytworzone pierwotnie przez ruch dłoni przenosi się coraz dalej w postaci fali. Jakkolwiek poszczególne cząsteczki posiadają prędkości

średnie rzędu 450 metrów na sekundę, to jednak, jak już wspominaliśmy, wskutek zygzakowatego kształtu ich torów prędkość rozchodzenia się zaburzenia jest mniejsza i wynosi około 340 m/sek (przybliżona wartość prędkości głosu w powietrzu). W chwili, gdy zaburzenie dosięga pewnego miejsca w przestrzeni, liczba cząsteczek ulega tam zwiększeniu ponad wartość normalną, ponieważ cząsteczki «odrzucone» dodają się do przebywających stale w danym miejscu. Oczywiście, dzięki temu powstaje pewna zwyżka ciśnienia; ten właśnie nadmiar ciśnienia, działając na błonę bębenkową czyjegoś ucha, powoduje powstanie w jego mózgu świadomości tego, iż w danej chwili klaszczemy w dłonie.

Owa nadwyżka ciśnienia nie może oczywiście istnieć przez czas dłuższy, tak iż nadmiar ilości cząsteczek, który ją wytworzył, musi szybko ulec rozproszeniu; dlatego też właśnie fala przenosi się coraz dalej. Istnieje tu jednak pewien czynnik przeciwdziałający rozpraszaniu się cząsteczek; każda z nich mianowicie wywiera działanie przyciągające na wszystkie swe sąsiadki, tak iż gdzie tylko pojawi się zagęszczenie cząsteczek, tam wystąpić musi również wzmożone przyciąganie. W zwykłej fali głosowej jest ono niedostrzegalnie słabe, bądź co bądź jednak wywiera pewną nieznaczną siłę przytrzymującą cząsteczki w stanie zagęszczenia i przeszkadzającą im rozpraszać się tak swobodnie, jakby to bez niej czyniły. Gdy mamy do czynienia z analogicznym zjawiskiem w skali astronomicznej, odpowiednie siły mogą uzyskać znaczenie rozstrzygające.

Nazwijmy «*kondensacją*» albo «*zagęszczeniem*» tę część ośrodka gazowego, w której liczba cząsteczek przewyższa wartość przeciętną dla przestrzeni otaczającej. Otóż można udowodnić, iż jeśli rozmiary kondensacji są dostatecznie wielkie, nadwyżka przyciągania wystarcza na to, by zupełnie uniemożliwić jej rozproszenie się w przestrzeni. W tym przypadku kondensacja może nieustannie wzrastać przyciągając z zewnątrz cząsteczki, których prędkości molekularne są zbyt małe, by unieść je swobodnie z powrotem w przestrzeń.

Rozstrzygającą rolę w tym zjawisku odgrywa oczywiście prędkość ruchu molekularnego w gazie oraz rozmiary kondensacji, nie zaś to, jak daleko posunął się już proces zagęszczania. Zwiększając bowiem np. dwukrotnie nadwyżkę liczby cząsteczek w jakiejś kondensacji podwajamy natężenie sił grawitacyjnych, dzięki którym kondensacja się rozrasta, lecz jednocześnie zwiększamy dwukrotnie nadmiar ciśnienia, który stara się ją rozproszyć: podwajamy więc niejako ciężary na obu szalach wagi, wychyla się ona jednak w tę samą stronę, co poprzednio. *Jeśli raz zdarzyły się warunki sprzyjające wzrostowi kondensacji, będzie ona wzrastała automatycznie, dopóki nie zbraknie materiału do pochłaniania.*

Im większe są rozmiary kondensacji tym korzystniej przedstawiają się warunki dla jej dalszego wzrostu. Caeteris paribus, kondensacja o średnicy 2 milionów km wywiera na swe cząsteczki zewnętrzne przyciąganie dwa razy silniejsze niż kondensacja o średnicy miliona km, nadwyżka ciśnienia natomiast jest jednakowa w obu przypadkach. Im większa zatem jest kondensacja, tym większe jest prawdopodobieństwo, że będzie wzrastać w dalszym ciągu; przechodząc stopniowo do kondensacyj coraz to większych napotkamy wreszcie takie, które wzrastać *muszą*. Mamy tu do czynienia z prawem przyrody «nieograniczonego współzawodnictwa». Jedno powodzenie idzie zwykle za drugim; widzimy tu, że kondensacje o rozmiarach takich, iż mogą «zacząć» rosnąć — rosną w dalszym ciągu, gdy tymczasem losem małych zagęszczeń jest ostateczne rozsypanie się w przestrzeni.

Przypuśćmy teraz, że olbrzymia masa jednorodnego gazu rozciąga się w przestrzeni biliony kilometrów we wszystkich kierunkach. Każde zaburzenie zakłócające jej jednorodność można uważać za początek tworzenia się kondensacyj wszelkich możliwych rozmiarów.

Nie wydaje się to oczywiste na pierwszy rzut oka; można by przypuścić, iż zaburzenie zachodzące w niewielkiej objętości gazu zdoła wytworzyć kondensacje o nieznacznym jedynie rozmiarach. Rozumując w ten sposób nie uwzględni-

byśmy jednak faktu, że przyciąganie najmniejszego nawet ciała rozpościera się na cały Wszechświat. Księżyc wywołuje przy-
 pływ na Ziemi, lecz również i na najdalszych gwiazdach, jak-
 kolwiek bez porównania słabsze. Dziecko wyrzucając grze-
 chotkę z kołyski zakłóca tym samym ruch każdej gwiazdy we
 Wszechświecie. O ile chodzi o działanie grawitacyjne, wszel-
 kie zakłócenie rozciąga się na całą przestrzeń. Im potężniej-
 sze jest zaburzenie będące źródłem kondensacji, tym silniej
 wystąpią one od początku, lecz na j s ł a b s z e nawet zakłó-
 cenie musi wytworzyć kondensacje, jakkolwiek mogą one
 być niesłychanie słabe. Widzieliśmy jednak przed chwilą, że
 los kondensacji zależy nie od stopnia zagęszczenia, lecz od
 jej rozmiarów: bez względu na to, jak słabe byłoby to zagęsz-
 czenie na początku, będzie wzrastało, jeśli tylko rozmiary jego
 są dostatecznie wielkie, w przeciwnym zaś razie — zaniknie:
 po upływie pewnego czasu pozostanie więc jedynie gromada
 wielkich kondensacji. Wzmiankowana już matematyczna
 analiza zagadnienia wykazuje, że *istnieje pewne określone mi-
 nimum masy, poniżej którego kondensacje skazane są na roz-
 proszenie się w przestrzeni*. O tej minimalnej masie wytwor-
 zymy sobie pojęcie w następujący sposób. Wyobraźmy sobie
dziesiątą część owej minimalnej masy izolowaną w przestrzeni
 (poza tym więcej gazu nie ma); wówczas przyciąganie owej
 części właśnie d o k ł a d n i e w y s t a r c z a ł o b y na to, by
 przeszkodzić cząsteczkom gazu w ucieczce z powierzchni kon-
 densacji *.

* Jest to słuszne tylko w przybliżeniu. Dokładny rachunek wykazuje,
 że minimalna masa kondensacji M dana jest przez równość:

$$M = \left(\frac{1}{3} \pi z \right)^{\frac{3}{2}} \cdot \frac{C^3}{\gamma^{\frac{3}{2}} \rho^{\frac{1}{2}}},$$

gdzie γ oznacza stałą grawitacji, C — prędkość ruchu cząsteczek, ρ — gę-
 stość początkową, z — stosunek ciepła właściwego c_p/c_v ; z drugiej strony,
 masa M' wystarczająca właśnie na przytrzymanie cząsteczek o prędkości C
 wynosi:

$$M' = \frac{3 C^3}{4 \pi \gamma^{\frac{3}{2}} \rho^{\frac{1}{2}}}.$$

Jeżeli $z = 1,66 \dots$, to minimalna masa kondensacji M jest 9,7 razy większa
 od masy M' .

Można powiedzieć, że ów gaz rozpostarty początkowo równomiernie w przestrzeni znajduje się w stanie *równowagi niestalej*, gdyż najmniejsze nawet zakłócenie powoduje całkowitą zmianę jego rozmieszczenia; pod względem dynamicznym można by go porównać np. do laski postawionej pionowo na jednym z końców lub do bańki mydlanej, mającej pęknąć za chwilę.

CHAOS PIERWOTNY. Te ogólne rozważania teoretyczne możemy teraz zastosować do dowolnej masy gazowej. Weźmy na przód pod uwagę hipotetyczną Newtonowską materię «równomiernie rozmieszczoną w nieskończonej przestrzeni» (str. 239). Cofamy się w przeszłość aż do czasu, gdy wszelka materia, stanowiąca dziś gwiazdy i mgławice, rozpościerała się równomiernie w przestrzeni: innymi słowy, rozpoczynamy rozważania nasze od *chaosu pierwotnego*, który był punktem wyjścia większości naukowych teorii kosmogonicznych.

Widzieliśmy już (str. 88), że gdyby cała ilość materii zawarta w obecnym Wszechświecie — mgławice, gwiazdy, materia rozproszona itd. — została równomiernie rozpostarta w przestrzeni, wówczas posiadałaby ona gęstość rzędu 10^{-28} w stosunku do wody. Taką więc gęstość musimy przypisać hipotetycznej pra-mgławicy. Jest to wartość nie wyobrażalnie mała. W powietrzu zwyczajnym o gęstości równej jednej osiemsetnej gęstości wody średnia odległość pomiędzy sąsiednimi cząsteczkami wynosi około trzech milionowych części milimetra; w naszym pra-gazie odległość ta wynosiłaby blisko metr. Jeśli by tę ilość powietrza, która zajmuje objętość łebka szpilki w naszym powietrzu rozrzedzić do tej znikomej gęstości, zajęłoby ono czterysta milionów kilometrów sześciennych — czyli sześcian o krawędzi długości blisko 750 kilometrów. Znowu stoimy tu wobec faktu niesłychanej pustki panującej w przestrzeni świata.

Nie zapominajmy jednak, że Wszechświat zdaje się szybko rozszerzać, dzięki czemu zmienia się średnia gęstość materii w przestrzeni. Gęstość średnia chaosu pierwotnego była większa względnie mniejsza od obecnej zależnie od tego,

czy objętość przestrzeni zwiększyła się czy zmniejszyła od owego czasu. Przyjmując kosmologię Friedmanna - Lemaitre'a Eddington ocenia, że średnia gęstość materii w pierwotnej przestrzeni Einsteina wynosiła około 10^{-27} .

Jakaż jest tedy minimalna masa kondensacji, zdolnej utrzymać się trwale w tym gazie pierwotnym?

Rachunek wykazuje, że jeśli by wziąć zwykłe powietrze rozrzedzone do gęstości 10^{-28} , tak iż odległość pomiędzy cząsteczkami wynosiłaby około metra, to owa minimalna masa kondensacji musiałaby być przynajmniej 640 000 razy większa od masy Słońca; masa mniejsza wywierałaby tak słabe przyciąganie na cząsteczki warstw zewnętrznych, że normalne ich prędkości (około 450 m/sek) wystarczyłyby do szybkiego rozproszenia się kondensacji.

Gdyby zatem w gazie takim, rozpostartym równomiernie w przestrzeni, powstało jakieś zakłócenie równowagi, to wszelkie tworzące się kondensacje o masach mniejszych niż 640 000 mas słonecznych rozproszyłyby się i gaz ów rozpadłby się ostatecznie na kondensacje większe, przynajmniej 640 000 razy masywniejsze od naszego Słońca.

Analogiczny rachunek można przeprowadzić dla innych prędkości molekularnych. W tablicy poniższej zestawiono masy kondensacji, które utworzyłyby się w masach gazowych chaosu pierwotnego o gęstości 10^{-28} przy różnych prędkościach cząsteczek:

Prędkość (metrów na sekundę)	Gdzie występuje	Minimalna masa kondensacji
450	Powietrze w pokoju	640 000 mas słonecznych
1800	Wodór przy 0° C	40 milionów „ „
24500	?	100 miliardów „ „
110000	Elektrony swobodne przy 0° C	9 bilionów „ „

Przy założeniu, że gęstość wynosi 10^{-27} gramów na centymetr sześcienny, otrzymuje się masy około 3 razy mniejsze od przytoczonych w tabelce.

Wszystkie znane nam gwiazdy posiadają masy tego samego rzędu wielkości co Słońce. Jeśli więc, jak przypuszczał Newton, gwiazdy powstały jako kondensacje omawianego tu rodzaju, to liczby w powyższej tablicy powinny być *bliskie jedności*. Hipoteza Newtona w postaci rozpatrywanej jest więc oczywiście *niemożliwa do przyjęcia*, gdyż wszelkie owe obliczone masy są *miliony razy większe* od masy Słońca. Jeżeli kiedykolwiek istniał ów *chaos pierwotny*, *musiałby był on skupić się nie w gwiazdy, lecz w kondensacje o masach nieporównanie większych, miliony razy przewyższających masę jednej gwiazdy*.

POWSTANIE WIELKICH MGŁAWIC

Otóż jest rzeczą charakterystyczną, iż znamy istotnie ciała niebieskie o masach takich, jak obliczone przed chwilą — mianowicie *wielkie mgławice pozagalaktyczne*. Masy ich są rzędu stu miliardów Słońc. Jeśli więc szukamy mas porównywalnych z dopiero co podanymi, musimy zwrócić się nie do gwiazd, lecz do *mgławic*.

Rząd wielkości mas mgławicowych nasuwa myśl, że pierwszymi kondensacjami tworzącymi się w mgławicy pierwotnej musiały być wielkie mgławice pozagalaktyczne, a nie zwykłe gwiazdy. Oczywiście pogląd, że wielkie mgławice powstały w ten sposób, jest w najlepszym razie jedynie przypuszczeniem — choćby dlatego, że nie wiemy nawet, czy owa hipotetyczna pra-mgławica w ogóle istniała; — lecz wydaje się on najbardziej prawdopodobną hipotezą wyjaśniającą fakt, że mgławice te istnieją *obecnie*. Są one w ogólności tak podobne do siebie, że najprawdopodobniej powstały dzięki działaniu jednego i tego samego czynnika; ten zaś, o którym mówiliśmy przed chwilą, daje nam racjonalne wytłumaczenie istniejącego stanu rzeczy, oparte — poza hipotezą ciągłej pra-mgławicy — na *«verae causae»*.

Zwróćmy uwagę na to, że jeśli mgławice powstały w sposób opisany, cząsteczki ich musiały posiadać bardzo znaczną

prędkość rzędu 25 kilometrów na sekundę, czyli przeszło 50 razy większą od prędkości cząsteczek zwykłego powietrza. Te ostatnie nigdy nie mogłyby osiągnąć takich prędkości, gdyż wysoka temperatura zdysocjowałaby cząsteczki na atomy składowe zanim osiągnęłyby prędkość 25 km/sek; co więcej, same atomy uległyby już częściowemu rozpadowi tracąc parę swych najbardziej zewnętrznych elektronów.

Jeśli zatem wyobrażamy sobie powstanie mgławic z kondensacyj w chaosie pierwotnym, wówczas chaos ten nie mógł składać się z całkowitych cząsteczek, ani nawet z całkowitych atomów, lecz raczej z mieszaniny elektronów swobodnych, a t o m ó w i może niewielkiej liczby niezdysocjowanych cząsteczek. Mając taki chaos jako materiał wyjściowy łatwo można sobie wyobrazić utworzenie się mgławic jako kondensacyj grawitacyjnych, jak to przypuszczał Newton. Temperatura owej pra-materii mogłaby nawet nie być zbyt wysoka. Nawet w temperaturze pokojowej elektrony swobodne mają przeciętną prędkość 110 kilometrów na sekundę, tak iż mała ilość elektronów swobodnych powiększa w bardzo znacznym stopniu średnią prędkość w mieszaninie; żądanej prędkości 25 km/sek odpowiada mieszanina o składzie najzupełniej możliwym do pomyślenia.

Oczywiście wielkie mgławice nie są z u p e ł n i e podobne do siebie; zajmiemy się obecnie rozpatrzeniem przyczyn powstania tych różnic pomiędzy nimi.

Jeśliby kondensacje w gazowej pra-mgławicy utworzyły się i zgęszczały w sposób zupełnie prawidłowy, to ostatecznym wynikiem tego procesu byłby układ dokładnie jednakowych mas gazowych, rozmieszczonych w równych odległościach od siebie. Przyroda jednak rzadko okazuje tak doskonałą prawidłowość, nie możemy więc dziwić się, że zbiór mgławic rzeczywiście istniejących nie jest prawidłowo rozmieszczony w przestrzeni, że jego składniki nie mają jednakowych mas, ani też dokładnie symetrycznej budowy. W miarę kurczenia się pierwotnych kondensacyj w pra-gazie powstawały w nim prądy, które nie mogły posiadać doskonałej symetrii. Gdyby ruch zagęszczającego się gazu był skierowany wszędzie wprost

ku środkowi kondensacji, musiałyby utworzyć się mgławice kuliste zupełnie nieruchome; w przypadku jednak mniej doskonałej symetrii układu prądów pojawiłby się ruch obrotowy kurczącej się masy, początkowo bez wątpienia bardzo powolny. Znana zasada «zachowania momentu ilości ruchu» żąda jednak, by prędkość obrotu wzrastała w miarę kurczenia się ciała wirującego. Tak więc po zakończeniu procesu zagęszczania się kondensacji mielibyśmy do czynienia z układem mgławic obracających się z różnymi prędkościami.

WIRUJĄCE BRYŁY GAZOWE. Wielkie mgławice nie są już obracającymi się masami gazowymi; raczej można by je określić jako gromady gwiazd obdarzone ruchem obrotowym. Jednak rozważania wyżej przytoczone nasuwają myśl, że rozpoczęły one swe istnienie po prostu jako wirujące masy gazu, które z biegiem czasu przekształciły się w gromady gwiazdowe, jakie obserwujemy w mgławicach oraz w naszym układzie galaktycznym.

Masa gazowa całkowicie pozbawiona ruchu obrotowego oraz wszelkich ruchów wewnętrznych przybrałaby oczywiście pod działaniem własnego ciężenia kształt dokładnie kulisty. Gęstość w tej kuli gazowej wzrastałaby ku środkowi, gdzie panowałoby największe ciśnienie. Natomiast obracające się masy gazowe przybierają odmienne kształty zależne od prędkości ruchu obrotowego. Kształty te można obliczyć teoretycznie i jest rzeczą znamionną, iż wynikiowych obliczeń zgadzają się prawie dokładnie z istotnie obserwowanymi postaciami mgławic. Zgodność jest tak zupełna, że najlepiej będzie wymienić teoretyczne postacie wirującej bryły gazowej łącznie z opisem kształtów rzeczywistych mgławic.

Przegląd ten rozpoczniemy od postaci kulistej, odpowiadającej brakowi ruchu obrotowego. Mgławica o kształcie kuli wygląda oczywiście jak kolistą plamka świetlna na ciemnym tle nieba; nie można jednak twierdzić, że mgławica o takim właśnie pozornym kształcie musi być w rzeczywistości kulą. Talerz zawieszony na ścianie na wysokości oczu ma za-

rys kolisty, a przecież nie posiada kształtu kuli. Znamy wiele mgławic wyglądających jak kolistą tarczą i chociaż nie możemy twierdzić, że właśnie jakaś dana mgławica jest kulista, to jednak możemy być pewni, że przynajmniej niektóre spośród nich muszą tę postać posiadać. Gdyby bowiem żadna z nich nie była w rzeczywistości kulista, to mogłaby pozorować ten kształt jedynie dzięki rzadko zdarzającemu się przypadkowi; proste obliczenie statystyczne wykazuje, że liczba mgławic o wyglądzie kolistych tarcz jest o wiele za duża, aby można było kształt ich wyjaśnić w ten sposób. Przykład takiej mgławicy o zarysie kołowym widzimy na fotografii 1 tabl. XXVIII.

Przy niewielkiej prędkości ruchu obrotowego masa gazowa spłaszcza się lekko na kształt pomarańczy, podobnie jak to widzimy w przypadku Ziemi lub Jowisza; znana jest wielka liczba mgławic tego typu (por. rys. 2, tabl. XXVIII).

W miarę wzrastania prędkości obrotu zwiększa się również stopień spłaszczenia, rachunek wykazuje jednak, że kształt zbliżony do pomarańczy ulega wkrótce zupełnej zmianie: na równiku powstaje najpierw wydatne wzniesienie, które przy dostatecznie szybkim obrocie przechodzi w ostrze, tak iż obracająca się masa gazowa przypomina teraz kształtem soczewkę dwuwypukłą. Znamy znaczną ilość takich mgławic soczewkowatych, których przykład podaje rys. 3 na tabl. XXVIII.

Następny krok naprzód wydaje się dość nieoczekiwany. Dalszy wzrost prędkości obrotu nie pociąga za sobą, jak można by oczekiwać, jeszcze większego spłaszczenia się masy wirującej. Dotychczas wzrost ten powodował coraz wyraźniejsze zaost్రzanie się występu na równiku, lecz w końcu proces ten dobiega kresu. Teoria wskazuje, że spłaszczenie doszło również do ostatecznej wartości możliwej i że *następne stadium musi polegać na wyrzuceniu materii z «ostrza» równikowego i na rozpostarciu się jej w płaszczyźnie równika*. I w tym przypadku obserwacja potwierdza przepowiednie teorii: rys. 4 i 5 tabl. XXVIII okazują omawiane typy mgławic (rys. 4 przedstawia mgławicę N. G. C. 4594 w Pannie, o której mówiliśmy już poprzednio, str. 80).



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica M 51 w Psach Gończych

TABLICA XXVIII



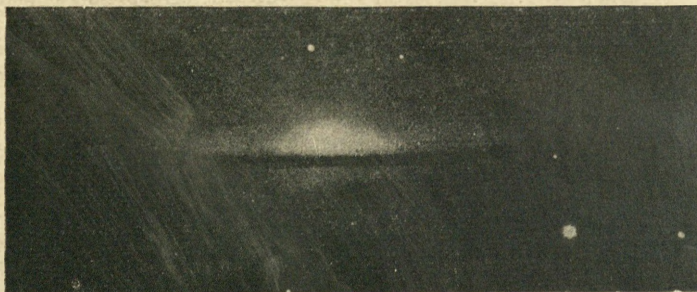
Rys. 1. N. G. C. 3379



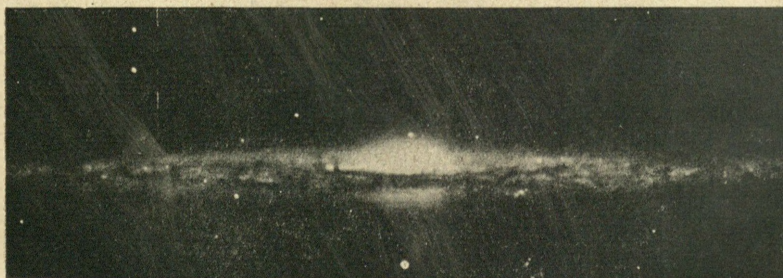
Rys. 2. N. G. C. 4621



Rys. 3
N. G. C. 3115



Rys. 4
N. G. C. 4594
w Pannie



Rys. 5
N. G. C.
4565
w War-
koczu
Bereniki

Obserwatorium na M1 Wilson

Szereg konfiguracji mgławicowych

Stosunkowo cienka warstwa gazu, rozpostarta teraz w płaszczyźnie równika, przypomina pod jednym przynajmniej względem newtonowską materię «równomiernie rozpostartą w nieskończonej przestrzeni», z której miały powstać gwiazdy. Dzięki najrozmaitszym przyczynom mogą w niej wytworzyć się lokalne *zakłócenia* i każde z nich, choćby najslabsze, musi doprowadzić do powstania szeregu kondensacji. Podobnie jak poprzednio, kondensacje o rozmiarach mniejszych od pewnej granicy znikną same przez się, większe zaś rozrosną się stopniowo, dopóki nie pochłoną całej masy gazu rozpostartej w płaszczyźnie równika. Jak w przypadku chaosu pierwotnego, tak i tutaj możemy obliczyć minimalną masę kondensacji zapewniającą im trwałe istnienie. Wyniki są bardzo charakterystyczne.

Wiemy już (str. 199), że w kuli zakreślonej dokoła Słońca promieniem 16 lat światła mieści się około 40 gwiazd, przeważnie mniejszych i lżejszych od Słońca. Jeżeli przyjmimy, że przeciętna masa ich wynosi *pół* masy słonecznej, że więc we wspomnianej kuli zawiera się łączna masa dwudziestu Słońc, wówczas średnia gęstość materii w sąsiedztwie Słońca wypada $3 \cdot 10^{-24}$. Bliżej środka Galaktyki gęstość ta musi być oczywiście większa.

Istotnie, tylko na podstawie faktu, że okres obiegu Słońca w Galaktyce wynosi około 250 milionów lat, można obliczyć z dużą dokładnością średnią gęstość materii wewnątrz orbity Słońca: wartość ta, $3 \cdot 10^{-23}$, jest dziesięciokrotnie większa od obliczonej przed chwilą dla bezpośredniego sąsiedztwa Słońca. Głównym źródłem niepewności przy owym obliczeniu jest niedokładna znajomość rozmieszczenia gwiazd wewnątrz tej orbity.

Podobne rachunki można przeprowadzić dla wszystkich mgławic o znanym okresie obrotu. Tak np. stwierdzamy, że środkowe części mgławicy w Andromedzie muszą mieć gęstość rzędu $5 \cdot 10^{-21}$, a podobne wyniki otrzymujemy dla innych mgławic.

Na podstawie tych danych można zapewne obrać wartość 10^{-22} jako rozsądną ocenę gęstości materii w płaszczyźnie rów-

nika pierwotnej mgławicy gazowej. W poniższej tabelce zestawiono wartości mas n a j m n i e j s z y c h t r w a ł y c h k o n d e n s a c y j w gazie o tak małej gęstości. Prędkości cząsteczek przyjęto dość niewielkie, aby uwzględnić oziębienie towarzyszące rozpostarcu się gazu w płaszczyźnie równikowej mgławicy.

Prędkości cząsteczek	Masa kondensacyj w jednostkach masy Słońca
90 metrów na sekundę	5
270 " " "	140
450 " " "	640
900 " " "	5000

Masy kondensacyj wyrażono tu w odniesieniu do Słońca. Większa część danych w tabelce odpowiada masom p o r ó w n y w a l n y m z masą Słońca: *kondensacje tworzące się w zewnętrznych obszarach mgławic posiadałyby masę taką jak gwiazdy.*

NARODZINY GWIAZD

W istocie trudno wątpić, że proces opisany przed chwilą przedstawia właśnie n a r o d z i n y g w i a z d. Pobieżny nawet rzut oka na fotografie mgławic przekonywa nas, że materia odrzucona w płaszczyźnie równikowej mgławicy nie jest rozpostarta równomiernie, lecz okazuje z g r u b i e n i a, w ę z ł y i k o n d e n s a c j e. Widać je dość wyraźnie na wielu fotografiach danych poprzednio, lecz występują one jeszcze wybitniej w przypadku mgławic widzianych «en face», jak np. na pięknych zdjęciach tablicy XXIV (str. 83) i XXVII (str. 248).

Węzły te są zawsze zbyt duże, aby mogły być uważane za pojedyncze gwiazdy; są to prawdopodobnie g r u p y gwiazd. Przy zastosowaniu najpotężniejszych teleskopów rozpadają się one, jak wiemy, na wielką ilość oddzielnych punkcików świetlnych (p. tabl. V, str. 24). Omawialiśmy już powody skłaniające nas do uważania ich za «prawdziwe» gwiazdy: jednym

z najważniejszych jest fakt, że wiele z nich okazuje charakterystyczne zmiany jasności, typowe dla cefeid. Nie jest rzeczą zupełnie pewną, czy gwiazdy tworzą się bezpośrednio jako kondensacje w płaszczyźnie równikowej mgławicy, czy też najpierw powstają większe kondensacje widzialne na fotografiach jako zgrubienia i węzły, które z kolei rozpadają się na kondensacje mniejsze — na gwiazdy. Na ogół wydaje się, iż mamy tu do czynienia z dwoma procesami: po pierwsze — z rozpadem materii mgławicowej na wielkie kondensacje, po wtóre — z podziałem tych ostatnich na gwiazdy. W takiej kolejności owe procesy towarzyszyłyby zapewne stopniowemu oziębianiu się materii; zresztą jest oczywiście rzeczą możliwą, iż wchodzi tu w grę więcej niż dwa procesy. Nie ma potrzeby rozstrzygania o tych sprawach już obecnie, gdyż nie posiada to istotnego znaczenia dla zasadniczego toku naszych rozważań.

Posługując się odpowiednim zbiorem fotografii można prześledzić ewolucję mgławic od najwcześniejszego jej stadium (tabl. XXVIII, str. 249) poprzez pierwsze pojawienie się pierścienia równikowego oraz węzłów i zgrubień (tabl. XXVII, str. 248) oraz oddzielnych gwiazd (tabl. V, str. 24) aż do stadiów późniejszych, jak np. przedstawione na tabl. XXXI (str. 284), gdzie mgławica jest już raczej tylko chmurą gwiazdową. Hubble zdołał prześledzić ciąg ten jeszcze dalej, wyznaczając ciągle przejście od mgławic tych ostatnich typów aż do czystych chmur gwiazdowych, takich jak Obłoki Magellana przedstawione na tabl. XIII (str. 32).

Tak więc gwiazdy zawdzięczają zapewne swe powstanie temu samemu czynnikowi, co i ich rodzicielki — wielkie mgławice — mianowicie «*grawitacyjnej niestłości równowagi*»; dzięki niej wszelka chaotyczna masa gazu musi rozpaść się na odrębne kondensacje, przy czym im rzadszy jest gaz pierwotny, tym większe są masy wytworzonych zeń kondensacyj. Pra-mgławica pierwotna miała gęstość tak małą, że powstałe w niej kondensacje posiadały masy miliardy razy większe od słonecznej. Przy dalszym kurczeniu się gęstość owych kondensacyj wzrasta do tego stopnia, że gdy skutek ruchu

obrotowego oddzieliły się od nich strzępy gazowej materii, mogły one skupić się w kondensacje o masach tego rzędu wielkości, co masy gwiazd: według naszego przypuszczenia kondensacje owe są to właśnie gwiazdy.

O pierwszym z tych dwu procesów mamy daleko mniej wiadomości niż o następnym. Jedynym powodem, który każe nam mniemać, że proces ów istotnie miał miejsce, jest samo istnienie mgławic pozagalaktycznych w chwili obecnej oraz fakt, że hipoteza o chaotycznej pra-mgławicy pozwala w sposób zadowalający wytłumaczyć istnienie dziś obserwowanych mgławic. Z drugiej zaś strony wiemy nie tylko to, że gwiazdy istnieją, lecz wiemy również, że istnieje — lub istniała — materia, gdzie gwiazdy mogły być powstać jako wynik działania sił przyrody: są to smugi równikowe mgławic pozagalaktycznych. *

GROMADY GWIAZD

Znaczny odsetek gwiazd, czy to należących do naszej Galaktyki, czy też do mgławic pozagalaktycznych, nie wędruje samotnie w przestrzeni, lecz w zgrupowaniach, w «gromadach». Najbardziej uderzającym przykładem tych ugrupowań są gromady kuliste, zaobserwowane zarówno w naszym układzie (str. 63), jak i w bliższych mgławicach. Zdaje się, iż gromady te są — i zawsze były — tak «zbite», że nie groził im rozpad wskutek oddziaływań innych gwiazd; dlatego też przybrały one pod wpływem własnego przyciągania kształt kulisty, tak jak to uczyniłyby cząsteczki gazu. W naszym układzie gromady te leżą poza płaszczyzną Drogi Mlecznej. Być może, iż — jak przypuszczał Shapley — ulegają one rozpadowi gdy przekraczają tę płaszczyznę, gdzie mogą napotkać wiele innych gwiazd, a może po prostu ciemna materia w płą-

* W ostatnich latach wykryto (Baade, Hoyle) ważny fakt, że w ramionach spirali mgławic spiralnych występują na dółbrzymy wczesnych klas widmowych, natomiast w jądrach tych mgławic i w mgławicach eliptycznych gwiazd tych nie ma, istnieją zaś gwiazdy znacznie mniej jasne, raczej żółte i czerwone. (Przyp. tłum.).

szczyźnie Galaktyki nie pozwala dostrzec gromad kulistych, jeśli nawet jakieś tam istnieją.

Przeciwnie, grupy gwiazd znane pod nazwą «gromad otwartych» lub «rozproszonych» (str. 41) — Plejady, Hyady, gwiazdy Wielkiej Niedźwiedzicy i mnóstwo innych, towarzyszących tamtym w wędrówce w przestworzu — poruszają się na ogół w płaszczyźnie Drogi Mlecznej. Być może, iż są to szczątki gromad kulistych rozproszonych przez oddziaływania obcych gwiazd, przy czym ostały się w grupie tylko bryły o największych masach. Jak już wspomniano, rachunek wykazuje, że oddziaływania pomiędzy gwiazdami z tych gromad otwartych a innymi gwiazdami leżącymi w płaszczyźnie Galaktyki nadałyby każdej gromadzie kształt podobny do placka lub zegarka o średnicy $2\frac{1}{2}$ razy większej niż grubość. Jest rzeczą charakterystyczną, iż większość gromad otwartych wykazuje istotnie takie spłaszczenie, przy czym wielkość jego zgadza się dość dobrze z wartością obliczoną.

Wszelkie gromady, zarówno kuliste jak otwarte, są jedynie grupami gwiazd, które trzymają się razem dzięki wzajemnemu przyciąganiu grawitacyjnemu i razem wędrują w przestrzeni. Gromady kuliste zawierają wielką liczbę gwiazd, gromady otwarte — mniejszą, nie ma tu jednak wyraźnej granicy dolnej: istnieje bowiem przejście ciągłe od największych gromad otwartych do gromad, składających się z bardzo małej liczby gwiazd.

Skrajnym przykładem mogą być gwiazdy α Centaura i Proxima Centauri, o których wspominaliśmy już poprzednio, jako o najbliższych sąsiadach Słońca. Jest to niejako «gromada» złożona z trzech tylko składników — trzech, gdyż α Centaura jest układem podwójnym (str. 193). Trzy składowe wędrują razem w przestrzeni związane siłami wzajemnego przyciągania. Podobnie układy podwójne — Syriusz, Procyon itd. — można traktować jako gromady złożone z dwu tylko składników.

Trzy są możliwe przyczyny, które mogłyby sprawić, że niewielkie grupy gwiazd są w opisany sposób trwale związane z sobą w swej wędrówce w przestworzu:

(1) gwiazdy te mogły rozpocząć żywot jako odrębne i niezależnie poruszające się ciała niebieskie, lecz z biegiem czasu dostały się w sferę wzajemnych oddziaływań i pozostały już połączone trwale — np. gwiazda o większej masie mogła «schwytać» lżejszą;

(2) mogą to być «odłamki» większej gwiazdy pojedynczej, która rozpadła się na części;

(3) mogły one powstać jako sąsiednie kondensacje w mgławicy pierwotnej, kondensacje, które odtąd stale przebywają w ścisłej łączności ze sobą.

Rozpatrzmy kolejno te trzy możliwości.

SCHWYTANIE GWIAZDY JAKO PRZYCZYNA POWSTANIA UKŁADU PODWÓJNEGO

Znaczny odsetek układów podwójnych robi na pierwszy rzut oka wrażenie par bardzo źle dobranych. W tabelce na str. 48 spośród czterech układów można by do nich zaliczyć dwa, mianowicie Syriusza i Procjona. W obu ciężkiej i bardzo jasnej gwieździe głównej towarzyszy znacznie lżejsza i nieporównanie mniej jasna druga składowa. Prawdopodobnie ten odsetek dziwacznych par w innych częściach Wszechświata nie różni się zbyt od przytoczonego. Skrajnym przykładem jest system o Wieloryba, w którym gwieździe o średnicy trzydziestu razy większej od słonecznej towarzyszy bryła prawie tak mała jak Ziemia. Zupełnie jakby słoń umówił się z pchłą na wspólną wędrówkę. Wprost nasuwa się tu przypuszczenie, że w tak dziwnie dobranych parach mniejszy składnik przyłączył się przypadkowo «po drodze» — został schwytany przez większego. Musimy jednak pamiętać o tym, że gwiazda może schwytować inną tylko dwoma sposobami: albo przez zderzenie, albo przy współudziale gwiazdy trzeciej, odgrywającej rolę pośredniczącą. Wiadomo bowiem dobrze, iż jeśli dwie gwiazdy mijają się tylko bez zetknięcia, przy czym nie ma tuż obok jakiejś gwiazdy trzeciej, to jedynym skutkiem ich wzajemnego przyciągania jest mniejsza lub większa zmiana kierunku zakreślonych przez nie dróg prostoliniowych.

Jednakże zderzenie się dwóch gwiazd jest zjawiskiem niezmiernie rzadkim — gwiazda musiałaby na nie czekać, przeciętnie biorąc, tysiące bilionów lat — a jeszcze rzadsze jest spotkanie się w jednej «okolicy» aż trzech gwiazd. W spotkaniu takim, czy też w zderzeniu mogła brać udział jedynie mała część cząstka ogółu istniejących dziś gwiazd, a więc liczba układów podwójnych, które miałyby w ten sposób powstać, musi być zupełnie znikoma.

Gdybyśmy nawet zaryzykowali przypuszczenie, że taka była geneza układów Syriusza i Procyona — mimo, iż szanse przeciw temu są jak miliony do jednego — to jeszcze poważniejsze trudności spotkalibyśmy w przypadku układów takich, jak np. o² Rzeki Erydan. W tym ostatnim układzie gwiazda główna jest dość podobna do Słońca, a towarzyszą jej dwie gwiazdy o mniejszej masie najzupełniej od niej różne. Śmieszne byłoby wyobrażać sobie, że główna gwiazda tego układu schwytała kolejno obie swe towarzysзки; układy takie musiały powstać w jakiś inny sposób.

UKŁADY PODWÓJNE JAKO WYNIK PODZIAŁU GWIAZDY

Rozpatrzmy teraz drugą z przytoczonych możliwości. Omawiając proces tworzenia się mgławic z chaosu pierwotnego zazaczyliśmy, że istniejące w nim prądy nadałyby nowo powstałym mgławicom ruchy wirowe o rozmaitych prędkościach obrotu. Z tego samego powodu dzieci mgławic, gwiazdy, uzyskały również przy swych narodzinach ruch obrotowy. Istnieje zresztą inna jeszcze tego przyczyna. Ogólna zasada «zachowania momentu ilości ruchu» orzeka, iż ruch obrotowy, podobnie jak energia, nie może zniknąć, lecz całkowita jego ilość pozostaje stała; gdy więc mgławica rozpada się na gwiazdy, pierwotny jej ruch wirowy musi pojawić się u tych ostatnich. Od chwili narodzin zatem gwiazdy posiadać muszą ruch wirowy przekazany im przez mgławicę macierzystą, oprócz obrotu wynikającego z prądów powstałych przy zagęszczaniu się kondensacji.

Nieustanna emisja energii pociąga za sobą zmiany warunków fizycznych, w jakich znajdują się gwiazdy: w poprzednim rozdziale widzieliśmy, że zmiany te powodują *kurczenie się gwiazd*. Z tej samej zasady zachowania momentu ilości ruchu wynika, że w miarę kurczenia się gwiazdy obrót jej musi stawać się coraz szybszy: *im gwiazda jest starsza, tym szybciej wiruje*.

Widzieliśmy już (str. 38), że ruch obrotowy gwiazd można wykryć i mierzyć przy pomocy metody spektroskopowej. Ogranicza się ona dotychczas głównie do gwiazd największych i tu prawo wspomniane przed chwilą zdaje się potwierdzać. Gwiazdy największe ze wszystkich — czerwone olbrzymy opisane na str. 210 — prawie nie okazują ruchu obrotowego, natomiast gwiazdy niebieskie o znacznie mniejszych rozmiarach obracają się szybko, przy czym prędkość na równiku sięga a nawet przekracza 300 kilometrów na sekundę.

Widzieliśmy, że mgławice obdarzone pierwotnie ruchem obrotowym kurcząc się wirowałyby coraz to szybciej, dopóki nie spowodowałyby to ich rozpadu i ostatecznie powstania zbiorowisk gwiazdowych z każdej z nich. Obecnie nasuwa się naturalne pytanie, czy w miarę tego, jak wzrasta prędkość obrotu gwiazd, nie rozpadają się one z kolei tworząc w ten sposób trzecie pokolenie ciał niebieskich. Można oczekiwać, że metody analizy matematycznej stosują się i tutaj zarówno do ciał wielkich jak małych niezależnie od skali rozpatrywanego zjawiska; szczegółowe badania prowadzą do wniosku, że istotnie proces podziału mógłby powtórzyć się raz jeszcze wytwarzając nową generację mniejszych ciał niebieskich, jeżeliby tylko istniały stosowne warunki fizyczne.

Warunki te jednakże okazują się *n i e o d p o w i e d n i e*, przynajmniej pod jednym względem. Jakkolwiek od wirującej gwiazdy może oddzielać się w płaszczyźnie równika jej materia w stanie gazowym, to jednak całe zjawisko odbywałoby się w skali daleko mniejszej niż w przypadku mgławicy. Można wprawdzie przypuścić jak poprzednio, że materia ta utworzy kondensację, lecz z rachunku wynika, iż jeśli prędkości cząsteczek nie są niezmiernie małe, to trwałe istnienie

owych kondensacyj byłyby możliwe tylko wówczas, gdyby masy ich przewyższały masę całej gwiazdy! Znaczy to, iż przy wszelkich racjonalnych założeniach, dotyczących prędkości molekularnych, oddzielone masy gazowe nie utworzyłyby w ogóle kondensacyj, lecz rozproszyłyby się w otaczającej przestrzeni tworząc atmosferę pozbawioną wszelkich wyraźniejszych zagęszczeń lokalnych.

Taki byłby bieg wypadków, gdyby uważać gwiazdy, podobnie jak poprzednio mgławice, za masy czysto gazowe. Musimy tu jednak rozważyć inną jeszcze możliwość.

PODZIAŁ MAS CIEKŁYCH. Widzieliśmy, iż mgławica gazowa pozbawiona ruchu obrotowego przyjąłaby pod wpływem swego własnego przyciągania postać dokładnie kulistą; powolny obrót zaś spłaszczyłby ją na kształt pomarańczy. Spłaszczony kształt Ziemi jest również wynikiem jej obrotu, aczkolwiek budowa wewnętrzna Ziemi różni się bardzo od masy gazowej.

Można okazać, że kształt spłaszczony jest charakterystyczny dla wszelkich ciał obdarzonych powolnym ruchem obrotowym niezależnie od ich budowy wewnętrznej: gazowych, ciekłych i stałych plastycznych. Natomiast postać ciała wirującego szybko zależy w wysokim stopniu od jego budowy i rozmieszczenia mas, przy czym szczególnie ważny jest stopień skoncentrowania masy w pobliżu środka.

Wskutek wielkiej ściśliwości gazów to skoncentrowanie masy występuje najwybitniej w bryle czysto gazowej; wprost przeciwny stan rzeczy mamy w przypadku cieczy jednorodnej nieściśliwej (jak np. w przybliżeniu woda), w której w ogóle nie wytworzy się zagęszczenie środkowe.

W miarę wzrastania prędkości obrotu bryła ciekła spłaszcza się coraz bardziej; nie ma tu jednak wcale tendencji występującej w przypadku masy gazowej do tworzenia ostrego występu dokoła równika, lecz przekrój południkowy bryły zachowuje postać elipsy. Przy obrocie jeszcze szybszym równik traci swój dotychczasowy kształt kołowy i staje się również elipsą; bryła ma obecnie trzy nierówne średnice, lecz każdy

jej przekrój jest dokładną elipsą: jest ona tzw. «*elipsoidą trójosiową*». W dalszym ciągu największa średnica wydłuża się jeszcze bardziej, dopóki bryła, wciąż jeszcze elipsoidalna, nie przybierze kształtu cygara o długości blisko trzy razy przewyższającej średnicę najmniejszą.

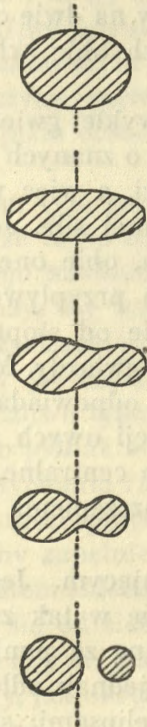
Teraz rozpoczyna się nowa seria zjawisk. Masa cieczy zaczyna zbierać się stopniowo wokół dwu punktów na średnicy najdłuższej, przy czym pośrodku tworzy się zagłębienie, b r u d a, która pogłębia się ciągle, aż w końcu *rozcina bryłę na dwa ciała oddzielne*, obiegające dokoła wspólnego środka masy jako *składowe gwiazdy podwójnej*. Na rys. 20 mamy przedstawiony schematycznie opisany bieg wypadków.

Dla porównania przytaczamy na rys. 21 ciąg konfiguracji wirującej masy g a z o w e j, identyczny z szeregiem istotnie obserwowanych konfiguracji mgławicowych przedstawionych na tabl. XXVIII (str. 249).

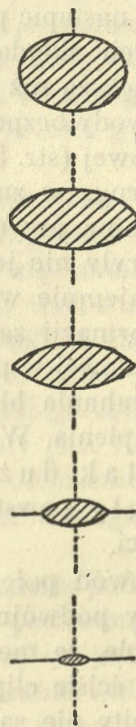
Przypomnijmy raz jeszcze, że oba szeregi konfiguracji na rys. 20 i 21 przedstawiają dwa przypadki k r a ń c o w e: ciała obracającego się o masie rozmieszczonej zupełnie równomiernie oraz ciała posiadającego bardzo znaczne zagęszczenie w pobliżu środka. Budowa rzeczywistych ciał niebieskich przypadać musi gdzieś p o m i ę d z y tymi możliwościami skrajnymi; moglibyśmy więc oczekiwać, że ciało takie powinno przechodzić przez szereg konfiguracji p o ś r e d n i c h pomiędzy figurami rys. 20 i 21. Otóż z teorii wynika, że tak nie jest: wszystkie ciała posiadające stopień zagęszczenia centralnego m n i e j s z y od pewnej wartości k r y t y c z n e j, przechodzą przez ciąg konfiguracji dany na rys. 20, względnie przez ciąg tylko nieznacznie od tamtego różny; do ciał zaś o zagęszczeniu przekraczającym tę wartość krytyczną odnosi się rys. 21. Skoro więc zagęszczenie centralne osiągnie ową wartość krytyczną, następuje nagle przejście od form rys. 20 do 21. Krótko mówiąc, *ciało wirujące zachowuje się albo jak gdyby było czysto ciekłe, albo czysto gazowe*, nie ma zaś możliwości pośrednich.

Ciąg konfiguracji przedstawiony na rys. 20 kończy się na układzie dwóch oddzielnych brył obiegających się wzajem-

nie zupełnie tak, jak składowe gwiazdy podwójnej. Często wypowiedziano przypuszczenie, że gwiazdy te właśnie w taki sposób powstały, jednakże od dawna wiadomo, że pogląd ten napotyka na pewne trudności, których bynajmniej nie ubywa w miarę wzrastania zasobu naszych wiadomości.



Rys. 20.
Ciąg konfiguracji
wirującej bryły ciekłej.



Rys. 21.
Ciąg konfiguracji
wirującej bryły gazowej.

Główna trudność polega na następującym. Mówiliśmy już wyżej o tym, iż nowoczesna fizyka doświadczalna dała nam niezbędne podstawy do badania budowy wnętrz gwiazdowych (str. 223): im dalej te badania się posuwają, tym lepiej ugruntowany wydaje się pogląd, że większość gwiazd zachowuje się tak, jak gdyby wnętrza ich były w stanie czysto

g a z o w y m. Wynika stąd, że powinny one przejść przez szereg zmian przedstawiony na rys. 21, nie tworząc bynajmniej układów podwójnych. Na podstawie naszych obecnych wiadomości o teorii wewnątrz gwiazdowych trudno wyobrazić sobie gwiazdę o masie takiej jak słoneczna, której materia byłaby rozpostarta d o s t a t e c z n i e r ó w n o m i e r n i e, aby w ogóle mógł nastąpić podział gwiazdy na dwie części. A przecież w licznych układach podwójnych obie składowe posiadają masę większą niż Słońce.

Są i dowody bezpośrednie. W zwykłej gwiazdzie podwójnej zaćmieniowej (str. 53) dwie bryły o znanych masach obiegały jedna drugą w znanej odległości, a więc wywierają na siebie wzajemnie przyciągania o znanej sile. Jeśli odległość dzieląca te bryły nie jest zbyt wielka, obie one silnie deformują się wzajemnie wskutek działań przyływowych. Wielkość tej deformacji zależy oczywiście od stopnia skupienia materii gwiazdowej w pobliżu środka gwiazdy. Można tu obliczyć, jakie wahania blasku gwiazdy odpowiadałyby różnym stopniom skupienia. Wyniki obserwacji owych zmian blasku wskazują na t a k d u ż e z a g e s z c z e n i a c e n t r a l n e, że składowe te nie mogły powstać przez rozszczepienie jednej bryły na dwie części.

Inny dowód polega na następującym. Jeśli obie składowe gwiazdy podwójnej znajdują się w tak znacznej odległości od siebie, że mogą być uważane za punkty, wówczas orbity ich są ściśle eliptyczne. Jeśli jednak odległość ta jest mniejsza, orbity nie są dokładnymi elipsami; sprawa przedstawia się tak, jak gdyby eliptyczna orbita zwolna o b r a c a ł a s i ę w p r z e s t r z e n i u. Obrót ten jest powolny, gdy masy składowych są silnie skoncentrowane w pobliżu środków, wówczas bowiem można je uważać prawie za punkty; odwrotnie, będzie on szybszy w przypadku mniejszej koncentracji mas. Prędkość obracania się orbit można zmierzyć, a wyniki świadczą znów o tak dużej koncentracji mas w pobliżu środków, że rozszczepienie jest niemożliwe.

Jeśli jednak nie uwzględnimy tych dowodów i będziemy podtrzymywali teorię podziału, to spotkamy nowe trudności

przy badaniu zmian zachodzących już po owym hipotetycznym podziale. Oczywiście, nie można oczekiwać, że obie składowe będą stale obracały się jedna dokoła drugiej w takim położeniu, jakie widzimy na rys. 20; gdyby zaś tak było, to wyjaśnienie istnienia gwiazd podwójnych speliłoby na niczym, gdyż odległości wzajemne składowych bywają bardzo różne i mogą być miliony razy większe od ich średnic. Chcielibyśmy zatem wiedzieć, jaki jest dalszy ciąg rys. 20 i czy prowadzi on do brył tak od siebie oddalonych? Czy można znaleźć przyczyny, prowadzące do tak znacznego rozsunęcia składowych, jakie obserwujemy u większości gwiazd podwójnych?

W całym tym zagadnieniu rozstrzygającą rolę posiada okoliczność, że takie oddalenie dwóch gwiazd od siebie wymaga *wielkiego nakładu energii*. Jeśli więc składowe gwiazdy podwójnej mają się istotnie rozsunąć, trzeba im tej energii dostarczyć i zachodzi pytanie, gdzie ją można znaleźć?

Mogłyby jej częściowo dostarczyć inne gwiazdy, lecz byłoby to możliwe tylko w czasie wielkiego zbliżenia się którejś z nich, co jednak — jak widzieliśmy (str. 108) — jest zjawiskiem niesłychanie rzadkim. Proste obliczenie wykazuje, że ilość energii zaczerpnięta z tego źródła w ciągu kilku miliardów lat byłaby zupełnie znikoma.

Jeżeli zatem składowe ciasnego układu podwójnego istotnie oddalają się od siebie, to energię potrzebną na to muszą znaleźć w *s a m y m u k ł a d z i e*: zdany on jest wyłącznie na własne zasoby, jak okręt na pustym oceanie. Jedynym znanym rodzajem energii, jaki mógłby tu w grę wchodzić, jest *e n e r g i a r u c h u o b r o t o w e g o* składowych. Zjawiskiem, które umożliwia jej wykorzystanie, jest

TARCIE PRZYPIYWÓW. Była już mowa o tym, że gdy odległość dzieląca składowe gwiazdy podwójnej jest niewielka, wówczas wzajemne ich oddziaływania mogą poważnie odkształcić bryły gwiazdowe. Zjawisko to jest identyczne — jeśli pominiemy różnicę skali — z wywoływaniem przez Księżyc *przypiływów i odpływów morskich*. W tym przypadku rzecz

istotną jest bliskość Księżyca: księżyc bardzo odległy przyciągałby jednakowo silnie wszystkie części bryły ziemskiej. Księżyc znajdujący się w niezbyt wielkiej odległości od Ziemi przyciąga części oceanu najbliższe mu, a więc położone wprost «pod Księżycem», silniej, niż — przeciętnie biorąc — materię stałej bryły ziemskiej. Odwrotnie, przyciąganie wywierane na położone na antypodach przeciwległe części oceanu, najdalsze od Księżyca, jest słabsze, niż przyciąganie przez Księżyc stałych części globu. Gdyby Ziemia nie obracała się dokoła osi, owa różnica w przyciąganiach sprawiłaby to, że w pierwszym przypadku woda nadmiernie zbliżyłaby się ku Księżycowi, a nadmiernie oddaliłaby się odeń w przypadku drugim. Innymi słowy, powstałyby dwa miejsca przypływu: dokładnie pod Księżycem oraz na przeciwległej stronie globu ziemskiego. Nakładanie się tego zjawiska i obrotu Ziemi dokoła osi powoduje skomplikowaną grę przypływów i odpływów morskich.

Podobnie, jeśli ciało niebieskie obdarzone ruchem obrotowym rozpada się tworząc układ podwójny, wówczas obie składowe są początkowo tak zbliżone do siebie, że każda z nich wywołuje z konieczności na swej towarzysze potężne przypływy. Te ostatnie niezmiernie komplikują oddziaływania grawitacyjne pomiędzy ciałami i powodują skutki, które badał J e r z y D a r w i n. Jest to tzw. «*tarcie przypływów*». D a r w i n wykazał, że nowe siły, wywołane przez przypływy, powodują oddalanie się obu ciał od siebie oraz stopniowe wyrównywanie się ich okresów obrotu. Po upływie milionów lat czasy obrotu obu ciał dokoła osi oraz czas obiegu dokoła wspólnego środka ciężkości muszą się zrównać, wskutek czego każda z brył zwraca stale ku swej towarzysze jedną i tę samą półkulę i obiega dokoła niej jakby połączona z nią jakimś niewidzialnym sztywnym prętem. Gdy stan ten zostanie osiągnięty, odległość wzajemna przestaje się zwiększać, nie ma już bowiem energii potrzebnej do dalszego oddalania się obu brył.

Jeżeli dany układ zawiera dwa ciała o bardzo nierów-

ných masach, energia wyzwolona przez zwolnienie obrotu większej masy może wywrzeć wielki wpływ na ruch ciała mniejszego odsuwając je na bardzo znaczną odległość. Gdy jednak obie bryły mają masy porównywalne ze sobą, jak to się zwykle dzieje w układach podwójnych, nic takiego nie może się zdarzyć: rozporządzalna ilość energii doprowadzi jedynie do niezbyt wielkiego oddalenia się obu brył, np. na odległość kilku średnic każdej z nich.

Otóż poprzednio już była mowa o tym, że odstęp pomiędzy składowymi gwiazdy podwójnej bywają najrozmaitsze: od ułamka średnicy do milionów średnic. Gdyby gwiazda podwójna powstała wskutek podziału pojedynczej bryły, składowe jej miałyby początkowo odstęp wynoszący zaledwie ułamek średnicy; tarcie przyptywów zupełnie nie wystarcza na zwiększenie go do milionów średnic, a innego źródła energii nie ma. A więc nawet pomijając trudności poprzednio wspomniane wydaje się rzeczą *bardzo nieprawdopodobną, aby przeważna część gwiazd podwójnych zawdzięczała swe istnienie podziałowi brył pojedynczych.*

Ostatni zarzut nie dotyczy układów «ciasnych». Znaczna ich część składa się z ciał, które nie tylko są do siebie podobne pod względem masy i rozmiarów, lecz również posiadają analogiczne widma, co świadczy o podobnej budowie fizycznej. Tę samą tendencję można dostrzec również w układach bardziej rozdzielonych, lecz występuje ona tu w stopniu daleko mniejszym — o tyle mniejszym, że ciasne i szerokie gwiazdy podwójne można by prawie uważać za dwa typy odrębne.

Z tego powodu często wyrażano przypuszczenie, że typy te mają różne pochodzenie. Układy ciasne — a przynajmniej te spośród nich, które okazują analogiczną budowę i typ widmowy — miały powstać przez podział, pozostałe — w jakiś inny sposób. Jednak obie części tej hipotezy podlegają poważnym zarzutom. Przypuszczenie, że układy ciasne powstały przez podział natrafia na trudności wspomniane wyżej na str. 260; z drugiej strony, jedyne — o ile możemy dziś orzec — sposoby powstania układów szerszych są to: schwy-

tanie, które już odrzuciliśmy jako niemożliwe oraz powstanie z sąsiednich kondensacyj w pierwotnej mgławicy, co omówimy za chwilę i co również okaże się nie do przyjęcia.

UKŁADY PODWÓJNE JAKO SĄSIEDNIE KONDENSACJE

Pozostaje jeszcze możliwość, że dwie składowe gwiazdy podwójnej pochodzą od sąsiednich kondensacyj w mgławicy pierwotnej. Możemy przypuścić, że od początku były one tak silnie związane ze sobą wzajemnym ciążeniem, iż w ciągu dalszego żywota nie udało się im zerwać tych więzów, by móc wędrować w przestrzeni jako dwie odrębne, niezależne od siebie gwiazdy.

Wiemy, że kondensacje tworzące się w masie gazu mgławicowego mogą posiadać najrozmaitsze rozmiary, byle przekraczające pewną wartość graniczną. Nie ma więc powodu, by pobliskie kondensacje miały mieć rozmiary jednakowe lub choćby zbliżone, i trudność wynikająca z faktu, iż składowe gwiazd podwójnych czy wielokrotnych są często tak niepodobne do siebie, nie istnieje.

Z drugiej strony jednak, jeśli takie jest istotnie pochodzenie omawianych gwiazd, wówczas wiek składowych powinien być j e d n a k o w y — tymczasem, jak zaznaczyliśmy (str. 254), składowe licznych układów podwójnych, np. Syriusza, Procjona, o Wieloryba itd., mają najwidoczniej wiek całkiem różny. Zgodnie z teorią ewolucji gwiazd przedstawioną w rozdziale poprzednim, białe karły oraz słabe gwiazdy czerwone powinny być bardzo s t a r e, natomiast czerwone olbrzymy oraz gwiazdy ciągu głównego o wielkich masach są z n a c z n i e m ł o d s z e.

Jest to tylko jedna z trudności, jakie wylania zagadnienie ewolucji gwiazd. Widzieliśmy już, że gwiazdy o największych masach promieniają najenergiczniej — nie tylko biorąc bezwzględnie, lecz również licząc na jednostkę masy ich substancji. W ciągu głównym np. promieniowanie jest w przybliżeniu proporcjonalne do trzeciej potęgi masy, tak iż gwiazda

o masie dziesięciokrotnie większej niż słoneczna przewyższa Słońce tysiąc razy w jasności rzeczywistej, a więc zużywa swe zasoby energii sto razy szybciej. Wynika stąd reguła ogólna, że gwiazdy bardziej masywne szybciej zużywają swą energię niż lżejsze: *starość przychodzi na nie prędzej*. Gdyby więc wszystkie gwiazdy były w tym samym wieku, można by się spodziewać, że najcięższe z nich okazywałyby najwyraźniej oznaki starości, najlżejsze zaś byłyby jeszcze w rozkwicie lat młodzięcych.* W rzeczywistości stwierdzamy wprost odwrotny stan rzeczy, tak iż przypuszczenie o jednakowym wieku gwiazd napotyka na bardzo poważne trudności.

Co się tyczy zagadnienia gwiazd podwójnych, trudno przyjąć, że obie składowe znajdują się w jednakowym wieku; a jednak tylko wtedy mogłoby być inaczej, gdyby układy owe powstały przez wzajemne zbliżenie się dwóch gwiazd pierwotnie niezależnych — przypadek tak nieprawdopodobny, że można nie brać go pod uwagę jako przyczyny powstania normalnych gwiazd podwójnych.

Podobne trudności otaczają oczywiście zagadnienie pochodzenia większych ugrupowań gwiazdowych, gromad kulistych, a także całego układu galaktycznego. Najwidoczniej brak tu jakiegś cegiełki w łamigłówce.

* Por. odsyłacz na str. 234. (Przyp. tłum.).

ROZDZIAŁ VI

Układ słoneczny

POWSTANIE UKŁADU SŁONECZNEGO

KOSMOGONIA powstała jako próba wyjaśnienia początku układu słonecznego. Przyczyna tego ograniczenia pola jej badań polegała na tym, że w owych odległych czasach astronomia nie zajmowała się prawie wcale ciałami niebieskimi poza granicami naszego układu.

HIPOTEZY DAWNIEJSZE. Już w odległej starożytności uważano prawidłowości w budowie układu słonecznego i w ruchach ciał niebieskich doń należących; najtęższe umysły starały się odkryć zasadę owych prawidłowości. Próby najdawniejsze polegały na spekulacjach czysto arytmetycznych lub geometrycznych, bez żadnego związku z zachodzącą pod wpływem sił przyrody ewolucją układu. Tak np. *Platon* sądził, że odległości Słońca, Księżyca i planet pozostają względem siebie w stosunku «podwójnych odstępów», przez co rozumiał on stosunki $1:2:3:4:8:9:27$. W dwa tysiące lat później *Kepler* ogłosił odkrycie, że odległości planet od Słońca są określone przez stosunki geometryczne wielościanów foremnych. Zakreślmy dokoła Słońca jako wspólnego środka szereg kul współśrodkowych i niech na każdej z nich leży jedna z orbit planetarnych; według *Keplera*, pomiędzy każdą parą kul sąsiednich mieści się dokładnie jeden z owych wielościanów: tak mianowicie, że mniejsza z kul jest weń wpisana, a większa — opisana na nim.

Kepler miał o swej teorii przez czas jakiś bardzo wysokie mniemanie, potem jednak porzucił ją na rzecz poglądu, że odległości planet znajdują się względem siebie w takich stosunkach jak częstości drgań interwałów muzycznych.

Kierując się analogicznym rozumowaniem B o d e zwrócił w r. 1772 uwagę na prostą zależność wiążącą odległości planet od Słońca. Napiszmy najpierw ciąg liczb:

0 1 2 4 8 16 32 64 128 256

w którym każda, począwszy od trzeciej, jest dwa razy większa od poprzedzającej; pomnóżmy dalej wszystkie liczby ciągu przez 3, więc:

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768

i dodajmy do każdej z nich 4:

4 7 10 16 28 52 100 196 388 772

Liczby te są ze znacznym przybliżeniem proporcjonalne do rzeczywistych odległości planet od Słońca, które wynoszą (jeżeli odległość Ziemi od Słońca przyjmiemy równą 10):

3,9 7,2 10,0 15,2 26,5 52,0 95,4 191,9 300,7 395

Merkury	Wenus	Ziemia	Mars	Planetoidy	Jowisz	Saturn	Uran	Neptun	Pluton
---------	-------	--------	------	------------	--------	--------	------	--------	--------

Prawo to zostało wypowiedziane przed odkryciem Urana oraz planetoid; wydaje się więc rzeczą godną uwagi, że przypadają one tak dokładnie w przewidzianych dla nich miejscach. Z drugiej jednak strony widzimy zupełną niezgodność w przypadku Neptuna i nowoodkrytego Plutona, tak iż zapewne prawo B o d e g o polega tylko na zbiegu okoliczności pozabawionym głębszej podstawy.

Nauka nowoczesna nie interesuje się już liczbowymi stosunkami w odległościach planet, natomiast na plan pierwszy wysuwa zagadnienie, czy rozmaite dostrzeżone prawidłowości dadzą się wytłumaczyć ewolucyjnie, jako wynik działania znanych sił przyrody.

N e w t o n powiada, że P l a t o n wyobrażał sobie, iż planety zostały stworzone gdzieś w nieskończenie odległym punk-

cie przestrzeni, a potem poczęły spadać z rąk Stwórcy ku Słońcu biegnąc wciąż szybciej i szybciej, dopóki nie osiągnęły wyznaczonych sobie orbit. Tutaj kierunek ich ruchu miał ulec naglej zmianie o kąt prosty — bez utraty prędkości. P l a t o n przypuszczał, że wyjaśni w ten sposób większą prędkość biegu planet wewnętrznych, lecz N e w t o n wykazał, że uzyskane w ten sposób prędkości nie pozwoliłyby planetom na zakreślanie orbit kołowych; byłoby to możliwe jedynie w tym przypadku, gdyby przyciąganie planet przez Słońce p o d w o i ł o się nagle w chwili owej zmiany kierunku ruchu.

W r. 1750 B u f f o n wypowiedział przypuszczenie, że planety powstały dzięki zderzeniu k o m e t y ze Słońcem: rozprysnięte ze Słońca fragmenty materii miały z czasem skondensować się w planety.

Pierwsza teoria o charakterze istotnie ewolucyjnym jest dziełem filozofa I m m a n u e l a K a n t a, który rozpoczął swą działalność naukową jako uczony. Wyraża on swą wdzięczność pewnemu autorowi angielskiemu, nazwiskiem T h o m a s W r i g h t z Durham, zdaje się jednak, że W r i g h t odegrał tylko rolę wyzwalającego impulsu. W r. 1751 ogłosił on książkę pod tytułem: *«Teoria oryginalna czyli nowa hipoteza o Wszechświecie, oparta na prawach Natury i rozwiązująca na podstawach matematycznych ogólne zjawiska widomego Stworzenia»*.

Jak się zdaje, K a n t znał z tej książki tylko tytuł i recenzję w pewnym czasopiśmie hamburskim; było to jednak dla niego bodźcem do rozmyślań nad problemem, w jaki sposób Wszechświat mógł być osiągnąć dzisiejszą swą postać pod działaniem znanych sił przyrody. Wynik tych rozmyślań opublikował w cztery lata później pod tytułem *«Ogólna Historia Naturalna i Teoria Nieba»*. Nakreślił on tu obraz pierwotnego Wszechświata jako chaotycznej chmury z pyłu i cząstek materii najrozmaitszego rodzaju, bądź to nieruchomych, bądź pędzących we wszelkich kierunkach w sposób zupełnie bezładny. Taki sam hipotetyczny początek wszechrzeczy założył N e w t o n jakieś sześćdziesiąt lat przedtem (str. 239), nie ma jednak danych do przypuszczania, że K a n t znał spekulacje swego poprzednika.

K a n t opisuje dalej, jak z chaosu tego stopniowo zaczyna wyłaniać się ład i porządek. Pierwotna materia poczyną się skupiać tworząc w końcu olbrzymią ciągłą bryłę, która później ma utworzyć Słońce. K a n t sądził, że bryła ta poczęła się obracać dokoła osi skutkiem samego procesu skupienia się w jedną masę, tutaj jednak popełnił błąd. Przypuścił on dalej, że bryła ta stopniowo ostygła kurcząc się jednocześnie, co powodowało znowu coraz szybszy ruch obrotowy. Wreszcie prędkość obrotu wzrosła tak dalece, że bryła nie mogła pozostać nadal cała i nienaruszona, lecz p ę k ł a — jak zbyt szybko obracające się koło zamachowe. Z równika jej zostały odrzucone masy gazowe, które przy dalszym ochłodzeniu najpierw skropliły się na ciecz, a potem skrzeły na ciała stałe. Owe bryły stałe są to, według K a n t a, planety, do których należy i nasza Ziemia.

HIPOTEZA MGŁAWICOWA LAPLACE'A. L a p l a c e podał w r. 1796 tę samą — praktycznie biorąc — hipotezę i to niezależnie od K a n t a; jak powiada bowiem, nikt inny prócz B u f f o n a nie zajmował się poprzednio tym zagadnieniem. L a p l a c e był nieporównanie lepszym matematykiem niż K a n t, toteż wiedział dobrze, iż sam proces kondensacji nie mógłby wprowadzić mgławicy pierwotnej w ruch obrotowy: moment obrotowy mgławicy nie mógłby się zwiększyć w porównaniu ze stanem początkowym. Założył więc, że masa mgławicowa była obdarzona ruchem obrotowym o d p o c z ą t k u; trudno temu coś zarzucić, wiemy bowiem, że większość obserwowanych mgławic istotnie posiada ruch wirowy. Z kolei — zupełnie jak u K a n t a — wchodzi w grę stygnięcie, kurczenie się i wzrost szybkości obrotu. L a p l a c e prześledził szczegółowo, z matematyczną ścisłością, zmiany, jakie powinny przy tym nastąpić. Wykazał on, że w miarę wzrastania prędkości obrotu kurcząca się masa gazowa spłaszcza się, przybiera omawianą już postać soczewkowatą (rys. 3, tabl. XXVIII, str. 249), i wreszcie poczyną odrzucać materię w płaszczyźnie równika lub raczej *pozostawia ją poza sobą* w miarę dalszego kurczenia się głównej masy. W tym stadium mielibyśmy coś na

kształt mgławic przedstawionych na rys. 4 i 5 tabl. XXVIII, aczkolwiek Laplace nie znając mgławic tego typu przytacza Saturna z jego pierścieniami jako przykład tego stadium rozwoju (tabl. XXXII). Laplace sądził, że oderwana smuga gazu uległaby później kondensacji i utworzyłaby planetę. Przy dalszym kurczeniu się głównej masy, w płaszczyźnie równikowej oddzieliłaby się nowa porcja gazu i w swoim czasie wytworzyłaby się z niej inna planeta — i tak dalej aż do czasu, gdy Słońce przestałoby się kurczyć i rodzić planety. Taki sam proces, lecz w daleko mniejszej skali, doprowadziłby do powstania satelitów z planet.

Najlepszym dowodem tego, że hipoteza Laplace'a wydaje się na pierwszy rzut oka prawdopodobna, jest fakt, iż przetrwała powszechnie uznawana blisko stulecie, zanim napotkała poważniejszą krytykę. W czasach nowszych nagromadziło się jednak przeciw niej tyle zasadniczych zarzutów, że hipotezę Laplace'a musimy obecnie odrzucić.

Według Laplace'a — wskutek nadmiernej prędkości obrotu — Słońce uległo rozpadowi dając początek planetom. Jednakże zasada zachowania momentu ilości ruchu wymaga, by ruch wirowy pra-słońca «zachował się» w obrocie Słońca dzisiejszego oraz w ruchu orbitalnym planet. Dodając wszystkie te wielkości otrzymujemy wartość momentu ilości ruchu pra-słońca. Ścisłe biorąc, należałoby uwzględnić jeszcze całkowitą masę promieniowania wyemitowanego przez Słońce od czasu narodzin planet. Dodatkową tę wielkość można obliczyć, znamy bowiem dość dokładnie wiek Ziemi, okazuje się ona jednak tak mała, że można ją zupełnie pominąć.

Całkowity moment ilości ruchu pra-Słońca można wyznaczyć bardzo dokładnie, ponieważ przeszło 95% całkowitego momentu w obecnym układzie słonecznym przypada na ruch orbitalny czterech planet wielkich, przy czym udział samego Jowisza wynosi 60%. Udział owych czterech planet może być wyznaczony bardzo dokładnie, tak iż mała niepewność w pozostałej reszcie (5%) nie ma wielkiego wpływu na sumę.

Gdy sumę tę obliczymy, przekonujemy się, że pra-słońce w ogóle nie mogło posiadać ruchu obrotowego dostatecznie

szybkiego, by nastąpić mógł rozpad. Jest rzeczą widoczną, że o ile chodzi o obecne Słońce, nie ma nawet mowy o jego rozpadzie wskutek ruchu wirowego; pierwszym krokiem w tym kierunku jest przecież spłaszczenie, które w przypadku Słońca jest tak nieznaczne, że dotychczas nie zdołano w ogóle stwierdzić jego istnienia. Biorąc sumę wszystkich momentów ilości ruchu reprezentowanych przez ruchy Jowisza i reszty składników układu słonecznego, otrzymujemy pra-słońce wirujące z taką mniej więcej prędkością, jak obecnie Jowisz i w podobnym stopniu jak on, spłaszczone — co łatwo byłoby zmierzyć w teleskopie, czy nawet wykryć gołym okiem, lecz co nie pozwala nawet myśleć o grożącym rozpadzie. Jednym słowem, Słońce nie mogło było ulec rozpadowi wskutek zbyt wielkiej prędkości obrotu, jak to przypuszczał Laplace, nigdy bowiem nie posiadało ono więcej nad nieznaczny ułamek tej ilości ruchu obrotowego, która byłaby konieczna do spowodowania podziału.

Hipoteza Laplace'a podlega jeszcze innemu zarzutowi o nieco odmiennym charakterze. Laplace był wielkim matematykiem i teorii jego pod względem matematycznym nie zarzucić nie można; nowoczesne udoskonalone metody analizy potwierdzają ją na każdym kroku, zarówno jak i obserwacja, o czym świadczą znane nam już fotografie mgławic obdarzonych ruchem obrotowym (tabl. XXVIII). Zdjęcia te przedstawiają proces, odbywający się jak gdyby w naszych oczach, identyczny co do swej istoty z procesem, który wyobrażał sobie Laplace — lecz w skali tak wielkiej, o jakiej ten ostatni nawet nie marzył. Na fotografiach tych mgławica nie jest tworzącym się pojedynczym słońcem, lecz zawiera dość materii na to, by utworzyć setki milionów słońc; kondensacje nie są zaczątkami maleńkich planet takich jak nasza Ziemia, lecz są same słońcami, a jest ich nie osiem czy dziewięć lecz miliony.

Nasuwa się tu pytanie, czemu to samo zjawisko nie może zajść w skali zmniejszonej, w skali Laplace'a; czyż nie można stosować wniosków matematycznych niezależnie od wielkości ciała, z którym mamy do czynienia? Odpowiedź na to pytanie daliśmy właściwie już wyżej (str. 242). W małej skali

wszystko dzieje się zgodnie z planem, dopóki nie dojdziemy do tworzenia się kondensacyj; tutaj to sprawa skali nabiera rozstrzygającego znaczenia. Widzieliśmy już (str. 237), że cząsteczki, wchodzące dziś w skład Słońca, skupiły się tworząc gwiazdę dlatego, że było ich tak wiele; cząsteczki powietrza w pokoju nie skupiają się, gdyż jest ich zbyt mało. Podobnie, cząsteczki pozostawione w płaszczyźnie równikowej przy powolnym kurczeniu się Słońca (przypuśćmy na chwilę, że posiadało ono dostatecznie szybki ruch obrotowy), nie wytworzyłyby kondensacyj, ponieważ w każdej danej chwili rozporządzalna ilość ich byłaby zbyt mała. Odrywałyby się one drobnymi porcjami, a takie ilości gazu po prostu rozproszyłyby się w przestrzeni jak gaz uchodzący z nieuszczelnego palnika. Rachunek rozstrzyga tę sprawę ostatecznie; L a p l a c e wykonać go nie mógł, gdyż nieznane mu były molekularne właściwości gazów. Rozstrzygnięcie to jest stanowczo sprzeczne z hipotezą L a p l a c e'a. *Wyjaśnia ona — pomijając mniej ważne szczegóły — narodzenie się słońc z mgławic lecz nie powstanie planet ze słońc.*

Wszystkie badania nowsze potwierdzają te zarzuty przeciw hipotezie L a p l a c e'a oraz przeciw każdej innej hipotezie, przypisującej genezę planet gwieździe pojedynczej. Obecnie jest rzeczą jasną, iż w grę musiałyby tu wchodzić dwa ciała: planety musiały posiadać nie tylko matkę lecz również i ojca.

HIPOTEZY O DWÓCH CIAŁACH

Hipotezy tej kategorii są dość liczne. Wspominaliśmy już, że B u f f o n wyobrażał sobie genezę rodziny słonecznej w zderzeniu pomiędzy Słońcem a kometą: odprysnięte części Słońca miały skondensować się i utworzyć planety. W roku 1880 B i c k e r t o n z Nowej Zelandii wysunął podobną teorię; różnice polegały tylko na tym, że kometę zastąpił gwiazdą, a zderzenie czołowe — «muśnięciem» stycznym. Przypuścił on, że z odłamków powstałych przy zderzeniu utworzyła się trzecia

masa, rodzaj mgławicy; kondensacje w niej dały początek planetom. Bickerton wykazał również, że opór, który napotykałyby planety w swym ruchu poprzez otaczającą je mgławicę, musiałby stopniowo zbliżać kształt ich orbit coraz bardziej do postaci obecnej, tzn. prawie dokładnie kołistej. Dziesięć lat przedtem autor angielski R. A. Proctor wypowiedział poglądy podobne, jakkolwiek mniej sprecyzowane. W czasach ostatnich H. Jeffreys z Cambridge powrócił do rozważań o tym samym charakterze.

Jednakże przeciw wszystkim teoriom tego rodzaju można wysunąć bardzo poważny zarzut. Obie planety-olbrzymy, Jowisz i Saturn, są otoczone księżycami i w obu przypadkach planeta wraz ze swym orszakiem satelitów jest niemal dokładnym, w miniaturze, obrazem układu słonecznego: Słońca i planet. Podobieństwo to jest tak wybitne, że przypisywanie owym trzem układom odmiennego pochodzenia wydaje się czystą fantazją; — a jednak przypuszczenie, że zaszły tu trzy zderzenia «styczne», z których każde miało utworzyć jeden z układów, jest również niedopuszczalnym nadużyciem pojęcia prawdopodobieństwa. Już jedno zderzenie, które byłoby tylko «muśnięciem», jest czymś wysoce nieprawdopodobnym, a trzech nie może wymagać żadna teoria.

TEORIE PRZYPŁYWOWE. W roku 1898 matematyk z Cambridge, W. F. Sedgwick, zastąpił hipotezę faktycznego zderzenia oddziaływaniem przypływowym; planety miały być wydarte ze Słońca siłami przypływowymi przebiegającej obok obcej gwiazdy. W r. 1901 autor tej książki niezależnie wysunął pogląd podobny. Trzecia hipoteza o charakterze analogicznym została wypowiedziana w r. 1905 przez Chamberlina i Moultona z Chicago. Przypuścili oni, że w odległej przeszłości na Słońcu zdarzały się wybuchy podobne do dzisiejszych «protuberancji», lecz daleko silniejsze. Przypadkowo w pobliżu Słońca przebiegała wówczas jakaś obca gwiazda; wskutek jej oddziaływań przypływowych erupcje te stały się tak silne, że spore masy gazowe oderwały się całkowicie od atmosfery słonecznej i skondensowały się ostatecznie w bryły

stałe, tzw. «*planetezymale*». Były one daleko mniejsze od planet, lecz z czasem ze skupienia się wielkiej ich liczby powstały dzisiejsze planety. Teoria ta ma tę wadę, że masy gazowe o wielkości planetezymal nie mogły utworzyć brył stałych, gdyż wskutek wewnętrznej prężności gazu rozszerzałyby się nieustannie aż wreszcie rozproszyłyby się w przestrzeni, podobnie jak wytryski gazowe w teorii Laplace'a (str. 272).

Omawiane teorie nie wyszły prawie wcale poza ramy przypuszczeń, zazwyczaj nie popartych rachunkiem i w małym tylko stopniu przydatnych do wyjaśnienia zasadniczych cech układu słonecznego. Tak np. żadna z nich nie tłumaczyła faktu, że większe planety są otoczone orszakiem satelitów znacznie od swych planet mniejszych.

W r. 1916 spróbowałem rozwiązać czysto matematyczne zagadnienie, jakie zjawiska towarzyszyłyby zbliżeniu się innej gwiazdy do Słońca na bardzo małą odległość. Stwierdziłem wówczas, że same działania przyływowe obcej gwiazdy mogłyby doprowadzić do rozerwania bryły słonecznej i utworzenia rodziny planet. Stadia pośredniczące, jak wybuchy i tworzenie się planetezymal, wydają się zupełnie zbyteczne. Proces ten przebiegałby w krótkości jak następuje.

Bliskości Księżyca zawdzięczamy powstawanie przyływów i odpływów w naszej atmosferze, na oceanach, a nawet w stałej bryle ziemskiej; podobnie, działanie pobliskiej obcej gwiazdy wzniciłoby przyływy w gazowej bryle Słońca. Przyływy spowodowane przez Księżyc na Ziemi są zupełnie nieznaczne, raz dlatego, że jego masa jest daleko mniejsza od ziemskiej, a po wtóre z powodu stosunkowo znacznej odległości od Ziemi — około trzydziestu średnic ziemskich; wiadomo, że działania przyływowe maleją z trzecią potęgą odległości. Gdyby jednak jakaś gwiazda o masie przynajmniej takiej jak słoneczna zbliżyła się do Słońca na odległość dwóch czy trzech promieni, skutki przyływowe byłyby olbrzymie. Rachunek dowodzi, że zamiast łagodnych uwypukleń powierzchni, jakie znajdujemy w przyływach ziemskich, utworzyłaby się na Słońcu — w miarę zbliżania się obcej gwiazdy — kolosalna góra gazowa, rosnąca coraz to szybciej niemal bez granic, aż

wreszcie wytrysnąłby z bryły słonecznej długi język gazu wydarty przyciąganiem gwiazdy i w jej stronę zwrócony.

Otóż wiadomo, że wszelka masa gazowa — byle tylko miała dostatecznie dużą masę i rozmiary — *nie może być w równowadze trwałej* wskutek oddziaływań, które nazwalibyśmy grawitacyjną niestałością równowagi. W owej smudze gazowej poczynają więc tworzyć się kondensacje w sposób już opisany (str. 240); małe skupienia rozpraszają się, większe — przeciwnie — przybierają na sile, aż w końcu materia wyrwana rozpada się na pewną liczbę oddzielnych mas. Rachunek podobny do omówionego na str. 242 wykazuje, że masy te byłyby *porównywalne z masami planet* naszego układu, tak iż w dalszym ciągu możemy je nazywać planetami. Pary mgławic, przedstawione na tabl. XXIII (str. 82) i w górnej części tabl. XXIX (str. 276), podlegają prawdopodobnie wzajemnemu oddziaływaniu przyływowemu i mogą służyć jako ogólna ilustracja procesu, który rozpatrujemy, chociaż nie trzeba zapominać, że to, co się tu rozgrywa, dzieje się w skali nieporównanie większej niż układ słoneczny — inaczej nie byłoby mowy, byśmy w ogóle mogli to zaobserwować.

SZCZĄTKI POZOSTAŁE PO KATASTROFIE. Nowonarodzone planety, rozpoczynające swą wędrówkę jako ciała odrębne, niezależne, podlegają przyciąganiu obu gwiazd i wskutek tego zakreślają orbity niezmiernie skomplikowane. Stopniowo większa gwiazda oddala się, wreszcie przyciąganie jej staje się znikome i planety opisują orbity już tylko dokoła mniejszej gwiazdy. Gdyby poruszały się one w przestrzeni próżnej, orbity te byłyby dokładnymi elipsami; niedawna katastrofa musiała jednak pozostawić mnóstwo najrozmaitszych *s z c z ą t k ó w* i okruchów. Być może, iż drobną ich częścią są komety, meteoryty i inne mniejsze ciała niebieskie istniejące jeszcze dotychczas w układzie słonecznym. Główna część jednak pozostała prawdopodobnie w postaci pyłu lub gazu, tak iż nowonarodzone planety zmuszone były początkowo torować sobie drogę w ośrodku stawiającym opór ich ruchowi. W tych warunkach drogi planet nie mogły być dokładnymi elipsami: mo-

zna wykazać, iż wskutek oporu ośrodka kształt orbit musiałby stopniowo zbliżać się do kołowego stając się dokładnie kołowym po upływie dostatecznie długiego czasu.

Krążące planety zabierałyby jednak nieustannie resztki pyłu i gazów rozsiane w przestrzeni, tak iż z czasem znikłyby one niemal zupełnie pozostawiając prawdopodobnie orbitom planetarnym kształty jeszcze nieco różne od kół. Jeżeli wszystkie te zdarzenia zaszły rzeczywiście w układzie słonecznym, do chwili obecnej pozostać mogło tylko bardzo niewiele owych odłamków pierwotnych; takimi resztkami są prawdopodobnie cząstki pyłu, którym zawdzięczamy powstawanie światła zodiakalnego. Mimo to ośrodek stawiający opór ruchowi istniał widocznie dość długo na to, by nadać orbitom zarówno planet jak ich Księżyców postać w większości wypadków niemal dokładnie kołową.

Przypadki wyjątkowe są zupełnie tak samo znamienne, jak zgodne z regułą. Orbitsy stosunkowo znacznie wydłużone istnieją jeszcze w tych obszarach, gdzie mielibyśmy prawo oczekiwać najmniej obfitego rozmieszczenia pierwotnego ośrodka hamującego: na kresach układu słonecznego oraz układów satelitów. Pluton, planeta najdalsza, posiada orbitę bardziej wydłużoną niż jakakolwiek inna planeta; podobnie w układach Jowisza i Saturna satelity o najbardziej eliptycznych orbitach krążą najdalej od swych ciał centralnych. Co więcej, można stwierdzić ogólną tendencję orbit wydłużonych do występowania w połączeniu z małymi masami, zarówno u planet jak i u satelitów. Merkury o masie 25 razy mniejszej od Ziemi zakreśla orbitę znacznie spłaszczoną; nieco mniej wydłużoną orbitę posiada Mars 9 razy lżejszy od Ziemi. Wyjaśnienie tego stanu rzeczy podał Jeffreys. Planety o wielkich masach, jak Jowisz i Saturn, zgromadziły były zapewne znaczne masy ośrodka dokoła siebie unosząc je z sobą na kształt bardzo rozległej osłony; na ruch tych planet wpływało oddziaływanie pomiędzy całą ową osłoną a resztą ośrodka, tak iż zdołały one wcześniej uzyskać kołowy kształt orbit niż planety lżejsze, które zgromadziły do-

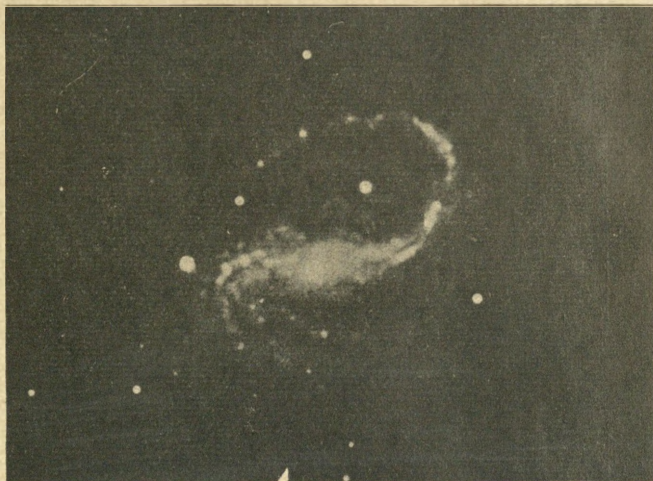
TABLICA XXIX



Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławice (N. G. C. 4395, 4401) nasuwające
myśl o działaniu przyptywowym

TABLICA XXX



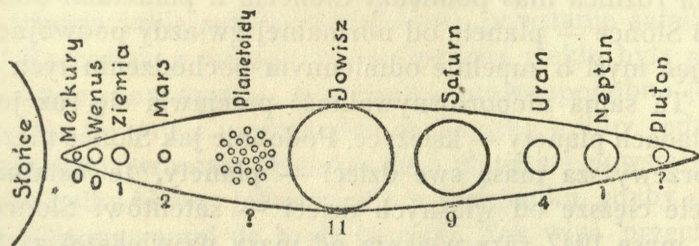
Obserwatorium na Mt Wilson

Mgławica N. G. C. 7479

koła siebie osłony daleko mniej rozległe. To samo z odpowiednimi zmianami odnosi się do układów satelitów (str. 278).

Jeffreys obliczył prędkość, z jaką zmieniałby się kształt orbit planetarnych pod wpływem oporu owego ośrodka. Dane w zagadnieniu tym są z konieczności niepewne, co wpływa oczywiście na wnioski; widzieliśmy już jednak (str. 175), że badania te dały cenne potwierdzenie oceny wieku planet uzyskanej przy pomocy innych metod.

EWOLUCJA PLANET. Zajmiemy się teraz rozpatrzeniem zmian fizycznych, zachodzących w ciągu całego okresu rozwoju planet. Wydłużona smuga materii, wydarta ze Słońca, była rozwinięta na odcinek zapewne gdzieś w części środkowej, która oddzieliła się w czasie, gdy obca gwiazda była najbliżej, a przyciąganie jej najsilniejsze. Schematycznie przynajmniej możemy sobie wyobrazić smugę tę w postaci cygara — grubszą w środku, cieńszą z obu końców — tak iż



Rys. 22.

Schemat obrazujący powstanie planet ze smugi gazowej o kształcie cygara, wydartej ze Słońca. Pod każdą planetą podano liczbę jej satelitów (p. str. 279 i 280).

gdy poczęły się tworzyć kondensacje, te, które powstały w pobliżu środka powinny być bogatsze w materię niż skupienia bliższe końców. Prawdopodobnie tłumaczy to fakt, że dwie najcięższe planety, Jowisz i Saturn, zajmują miejsce środkowe w szeregu planet.

Na rys. 22 mamy przedstawione planety w porządku ich odległości od Słońca, przy czym wielkość kółek odpowiada mniej więcej rzeczywistym stosunkom średnic. Tysiące plane-

toid, których orbity wypełniają obecnie przestrzeń między drogami Marsa i Jowisza, zaznaczono jako jedną planetę zgodnie z powszechnie przyjmowanym przypuszczeniem, że powstały one z rozpadu pojedynczej planety w sposób, który rozpatrzemy nieco niżej.

Otoczając kółka, reprezentujące na schemacie planety, linią ciągłą możemy w wyobraźni zrekonstruować wrzecionowatą smugę materii, z której powstały; widzimy też od razu, że planety największe utworzyły się tam, gdzie materii tej było najwięcej.

Teoria przyływowa, która przepowiada istnienie wszystkich tych cech, została wypowiedziana wraz z wnioskami z niej wynikającymi na wiele lat przed odkryciem nowej planety Plutona, toteż cennym poparciem teorii tej jest fakt, iż Pluton odpowiada pod każdym względem jej wymaganiom.

POWSTANIE KSIĘŻYCÓW. Zaznaczyliśmy już wyżej, iż wielka różnica mas pomiędzy Słońcem a planetami odróżnia układ Słońce — planeta od normalnej gwiazdy podwójnej nasuwając myśl o zupełnie odmiennym pochodzeniu tych układów. Ta sama nieporównywalność przejawia się raz jeszcze w układach planety — księżyce. Podobnie jak Słońce niezmiernie przewyższa masą swe dzieci — planety, te ostatnie są o wiele cięższe od własnych dzieci — satelitów: Słońce posiada masę 1047 razy większą od masy największej z planet, Jowisza, i około 6 milionów razy większą od masy najmniejszej z nich. W układzie Saturna odpowiednie liczby są: 4150 i około 16 000 000. Najbardziej zbliżony do równości mas jest układ Ziemia — Księżyc, gdzie Ziemia zaledwie 81 razy przewyższa Księżyc pod względem masy. W układzie Saturna podobnie jak w słonecznym istnieje ogólna tendencja do wzrostu mas satelitów w miarę tego, jak oddalamy się od planety, po czym po przekroczeniu pewnego maximum masy te ponownie maleją. To samo w mniejszym stopniu spotykamy też w układzie Jowisza. Nasuwa to znów myśl o *utworzeniu się satelitów z wrzecionowatego wytrysku materii* o masie najobficiej zebranej w pobliżu środka. W związku z istniejącą

i tutaj ogromną różnicą mas pomiędzy ciałem centralnym a ciałami wtórnymi wskazuje to w sposób przekonywający, że *księżyce planet zawdzięczają swe istnienie procesowi tego samego rodzaju co ten, który poprzednio dał początek ich rodzicielkom — planetom.*

Proces ten możemy sobie wyobrazić w ogólnych zarysach. Natychmiast po swym powstaniu planety poczęły stygnąć; największe, Jowisz i Saturn — najwolniej, najmniejsze — najszybciej. Te ostatnie mogły być utracić ciepło tak szybko, iż przeszły w stan ciekły lub nawet stały prawie natychmiast po swych narodzinach. Gdy się to dzieje, planety zakreślają jeszcze orbity o kształtach dość dziwaczných, przy czym może się zdarzyć, iż znajdują się one tak blisko Słońca, że nastąpi nowa seria erupcyj przyływowych: teraz Słońce odgrywa rolę obcej gwiazdy, planety zaś — poprzednią rolę Słońca. Słońce wyrwa długie smugi materii z brył planetarnych, te zaś tworząc kondensacje dają początek nowemu pokoleniu ciał niebieskich — księżycom. Tak mniej więcej przedstawia sobie teoria przyływowa powstanie satelitów.

Rachunek wykazuje, że im bardziej ciekła była planeta przy swym narodzeniu, tym mniej prawdopodobne jest zerwanie jej przez gazowe jeszcze Słońce; jeśliby jednak to się zdarzyło, wówczas stosunek mas planety i powstałych satelitów byłby bliższy jedności niż w przypadku, gdyby planeta była zbliżona raczej do bryły gazowej. Tak więc przechodząc od planet czysto gazowych do takich, które przeszły w stan ciekły przy narodzeniu lub natychmiast po nim, musimy oczekiwać początkowo planet o wielkiej liczbie stosunkowo małych księżyców, po czym, po przekroczeniu granicy gdzie spotykamy planety o niewielu dużych księżycach, powinniśmy natopkać planety w ogóle pozbawione satelitów.

Mówiliśmy już, że wielkie planety środkowe, Jowisz i Saturn, powinny być najdłużej pozostać w stanie gazowym, małe zaś — najszybciej przejść w stan ciekły; obecnie widzimy, że ta przepowiednia teoretyczna odpowiada dokładnie istotnemu stanowi rzeczy w układzie słonecznym. Poczynając od Jowisza i Saturna z jedenastoma i dziewięcioma stosunkowo małymi

satelitami, napotykamy Marsa obdarzonego dwoma tylko satelitami oraz Ziemię, z jej jednym wielkim księżycem; w końcu idą Wenus i Merkury w ogóle pozbawione satelitów. Posuwając się w kierunku przeciwnym widzimy, że Uran ma cztery małe księżyce, Neptun zaś — jeden stosunkowo duży. Pod każdą planetą na rys. 22 zaznaczono liczbę jej satelitów; prawidłowość w budowie układów wtórnych występuje tu bardzo wyraźnie. Prawidłowości te są w całkowitej zgodzie z przepowiedniami teorii przypływowej: «rozkład wrzecionowaty» stosuje się nie tylko do rozmiarów planet lecz także, jak być powinno, do liczby ich satelitów.

Ziemia i Neptun, posiadające po jednym stosunkowo dużym księżycu, stanowią granicę pomiędzy planetami, które znajdowały się na początku w stanie gazowym oraz ciekłym. Nasuwa to przypuszczenie, że Merkury, Wenus i Pluton przeszły w stan ciekły lub stały natychmiast po swym urodzeniu, że Neptun i Ziemia były w części gazowe, w części ciekłe i wreszcie, iż Mars, Jowisz, Saturn i Uran narodziły się jako bryły gazowe i pozostały w tym stanie przynajmniej do chwili powstania ich satelitów.

Dalszym dowodem na korzyść teorii przypływowej jest być może fakt, że masy Marsa i Urana są zbyt małe, jeśli wziąć pod uwagę miejsce, które zajmują w szeregu planet. Jeżeli, jak przypuściliśmy, planety powstały były wszystkie z ciągłego strumienia materii, to według wszelkiego prawdopodobieństwa masa «nowo-narodzonego» Marsa powinna być pośrednią pomiędzy masami Ziemi i Jowisza, masa Urana zaś — pomiędzy masą Saturna i Neptuna. Lecz jeżeli, jak na to wskazują wspomniane już okoliczności, obie planety anormalne, Mars i Uran, były najmniejszymi planetami narodzonymi w stanie gazowym, to prawdopodobnie utraciły przez rozproszenie cząsteczek z warstw zewnętrznych więcej materii od innych planet, zanim ostygły do tego stopnia, że mogło nastąpić skroplenie. Jeśli uważać Marsa i Urana jedynie za resztki planet pierwotnie znacznie cięższych niż

obecnie, to anomalie znikają i cegiełki łamigłówek poczynają się układać zupełnie dobrze.

PLASZCZYZNY ORBIT. Wszelka bryła obracająca się, zarówno gazowa, jak ciekła czy stała, posiada określoną oś obrotu i prostopadłą do niej płaszczyznę równikową, która dzieli bryłę symetrycznie na dwie dokładnie równe i podobne połowy. Gdy bryła taka ulega rozpadowi wskutek ruchu obrotowego, płaszczyzna równika oraz symetria zachowują się. Ilustrację tego stanu rzeczy znaleźć można w każdym zbiorze fotografii mgławic obdarzonych ruchem obrotowym, jak np. na tabl. XI (str. 28) i XXI (str. 80). W życiu bardziej «przyziemnym» ilustrują to bryzgi błota odrzucane przez obracające się koło roweru: nie wychodzą one poza płaszczyznę tego koła.

Gdyby się okazało, iż płaszczyzna równikowa Słońca jest płaszczyzną symetrii układu słonecznego, tak iż cały ten układ jest rozmieszczony w podobny sposób po obu jej stronach, wówczas można by próbować wyjaśnić powstanie układu słonecznego rozpadem wskutek obrotu. *Płaszczyzna równikowa Słońca nie jest jednak płaszczyzną symetrii*: planety nie poruszają się w tej płaszczyźnie, lecz orbity większości ich tworzą z nią kąt 5 do 6 stopni. W naszej «przyziemnej» analogii bryzgi błota nie biegną w płaszczyźnie koła rowerowego.

Hipoteza, iż planety powstały wskutek rozpadu spowodowanego przez ruch obrotowy Słońca jest bezsilna wobec tego faktu, teoria przypływowa natomiast tłumaczy go natychmiast. Słońce wiruje dzisiaj prawie tak samo jak przed narodzeniem planet, zachowuje więc swą pierwotną płaszczyznę równikową. W owej innej płaszczyźnie, w której (lub blisko której) leżą orbity planetarne, rozciągała się najwidoczniej erupcja przypływowa wyrwana ze Słońca przez przyciąganie obcej gwiazdy. Tak więc obecna płaszczyzna orbit planet zewnętrznych *ujawnia nam położenie płaszczyzny, w której przed trzema miliardami lat leżały orbity Słońca i owej gwiazdy błędnej*, «ojca rodziny słonecznej». Jest to j e d y n y ślad, jaki po niej pozostał — oczywiście zbyt nikły, by można było ją po tak długim czasie odnaleźć i utożsamić.

Przedstawiliśmy tu teorię przyływową powstania i rozwoju układu słonecznego, teorię, która tłumaczy wiele zaobserwowanych cech charakterystycznych tego układu. Mimo to zajmuje ona tylko małą część płótna, na którym usiłujemy odmalować ewolucję Wszechświata wziętego w całość.

W rozdziale V wypowiedzieliśmy przypuszczenie, że gwiazdy powstały jako kondensacje o niezmiernie małej gęstości; kondensacje te kurcząc się utworzyłyby gwiazdy takie, jakie znamy obecnie.

Przez cały czas swych dziejów gwiazdy te wędrowały w przestrzeni przeważnie niezależnie od siebie, dzięki czemu zdarzało się od czasu do czasu, że dwie spośród nich tak znacznie zbliżyły się do siebie, iż mogły wytworzyć rodziny planet w sposób dopiero co opisany.

Długi czas panowało mniemanie, że proces kurczenia się nowo-narodzonych gwiazd odbywa się tak szybko, iż powstanie planet w trakcie tego procesu jest bardzo mało prawdopodobne. Zapominano tu jednak o tym, że nowo-narodzone gwiazdy muszą być szczególnie wrażliwe na działania przyływowe, a to z powodu swych olbrzymich rozmiarów i małej gęstości. Pozostawiając chwilowo na uboczu układ słoneczny wydaje się rzeczą pewną, że wskutek opisanych działań przyływowych *musiało powstać wiele układów planetarnych* i że bardzo znaczna część ich utworzyła się ze słońc będących jeszcze w stanie na pół mgławicowym. Wszystko to jest sprawą obliczenia statystycznego. Własny nasz układ słoneczny ujawnia w sposób przekonywający, że narodził się w ten sam sposób jak owa większość, a więc gdy Słońce miało jeszcze rozmiary olbrzymie. Nie podobna byłoby inaczej zrozumieć kolosalnych rozmiarów układu; gdyby planety były powstały ze Słońca tej wielkości co obecne, to nie byłoby siły, która by przeniosła materię od Słońca aż do orbity Plutona. Żaden znany czynnik nie mógłby też zmusić planet do tak szybkiego obrotu dokoła osi, jaki dziś obserwujemy.

Mimo to przez długi czas sądzono, że jeśli we Wszechświecie istnieją inne układy planetarne, to powstały one przeważnie z gwiazd o rozmiarach obecnych, niewielkich; w tych

warunkach takie zbliżenie się wzajemne dwóch gwiazd, które umożliwiłoby utworzenie się planet, musiałyby być wypadkiem nader rzadkim. Na tej podstawie przypuszczano więc, że układy planetarne są we Wszechświecie rzadkością. Obecnie jednak wiemy, że w czasie gdy gwiazdy miały jeszcze wielkie rozmiary, skuteczne spotkania musiały być daleko częstsze, i że układy planetarne powinny być o wiele pospolitsze niż to przypuszczano dawniej. Pewnemu — choć zapewne niewielkiemu — ułamkowi ogółu gwiazd towarzyszą planety: narodziny ich wciąż nie są normalnym losem gwiazdy, w każdym razie jednak są czymś mniej nienormalnym niż sądziliśmy; musiało się to zdarzyć niejednej gwiazdzie. Całkowita liczba gwiazd w przestrzeni jest tak olbrzymia — przy najniższej ocenie większa od liczby wszystkich ździebelskich traw, jakie rosną na Ziemi — że *liczba układów planetarnych we Wszechświecie musi być niewyobrażalnie wielka*. Biliony wśród nich są zapewne prawie dokładnymi kopiami naszego układu, a *miliony planet — prawie dokładnymi kopiami naszej Ziemi*.

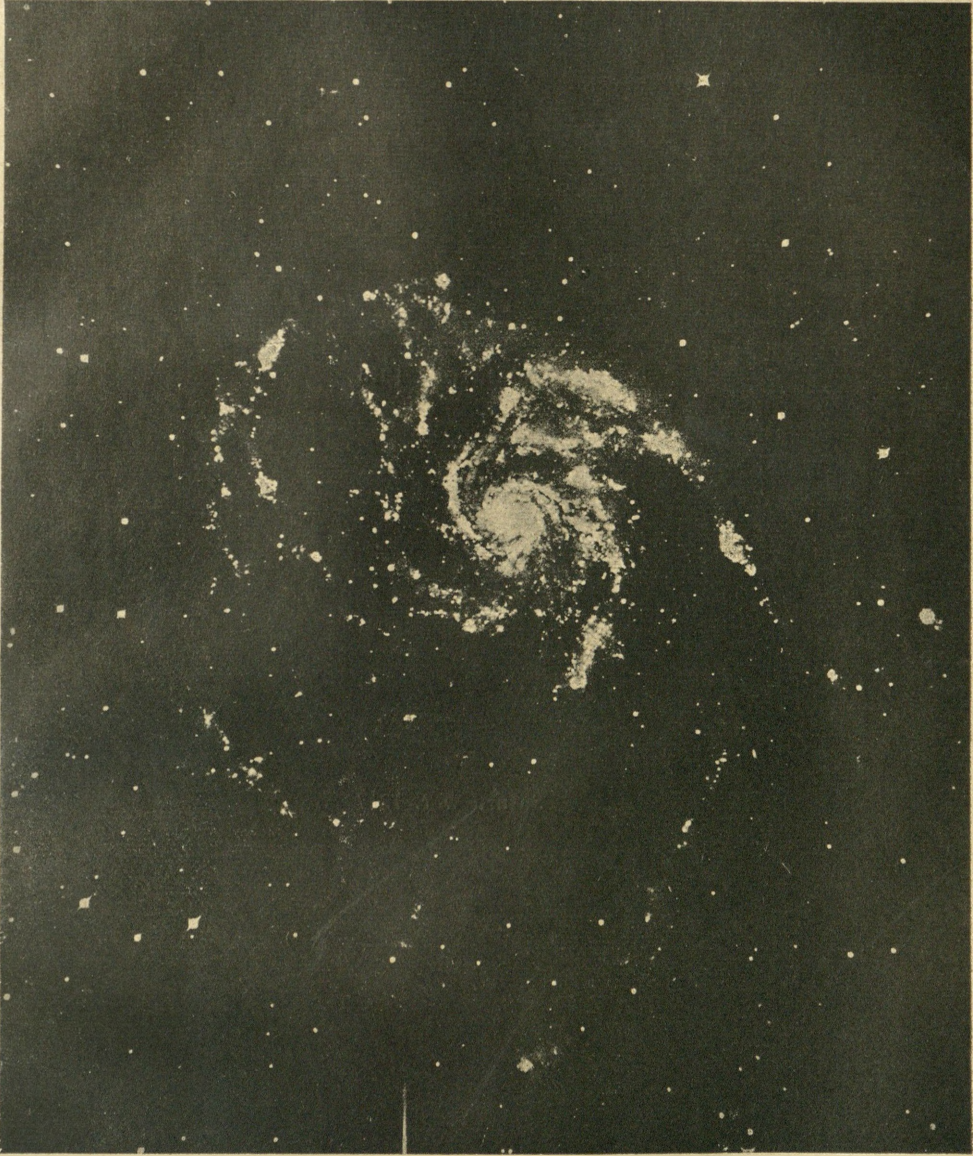
GRANICA ROCHE'A

Panowanie grawitacyjnej niestalości równowagi musi kończyć się z chwilą narodzin księżyców, ponieważ bryły gazowe o mniejszej masie nie mogły istnieć trwale. Nawet w najbardziej sprzyjających warunkach zbyt słabe ich przyciąganie nie zdołałoby przeszkodzić ucieczce cząsteczek z warstw zewnętrznych, tak iż wkrótce cała masa rozproszyłaby się w przestrzeni. W rzeczywistości spotykamy jednak liczne przykłady *mniejszych ciał niebieskich*: wspominaliśmy już o planetoidach, meteoroidach, czyli gwiazdach spadających, o cząstkach pierścienia Saturnowego. Ponieważ wszystkie te ciała są zbyt małe, by mogły utworzyć się jako masy gazowe, musimy przypuścić, iż są to *odłamki* powstałe z rozpadu brył większych. Zgadza się z tym również okoliczność, że owe drobne ciała z reguły występują *nie pojedynczo, lecz rojami*.

Planetoidy tworzą jeden rój. Gdyby były rozproszone po

całym układzie słonecznym, wyjaśnienie ich pochodzenia mogłoby przedstawiać duże trudności. Obecnie zaś tłumaczy się ono po prostu rozpadem jakiejś pra-planety. Pierścienie Saturna uważać można podobnie za szczątki strzaskanego księżyca Saturnowego. Komety, o których dotychczas prawie nie mówiliśmy, są najprawdopodobniej rojami drobnutkich ciałek, których wzajemne przyciąganie ledwo wystarcza do utrzymania ich razem na wspólnej drodze w przestrzeni. Kometa Halle'ya przy ukazaniu się w roku 1909 odbijała tyle światła słonecznego, co jedna bryła o 40 km średnicy; pozorną jej powierzchnia przewyższała wszakże 300 000 razy powierzchnię takiej bryłki, przy czym była całkowicie przezroczysta. Trudno oprzeć się wrażeniu, że kometa ta składa się z roju drobnych ciałek rozsianych w dużych odległościach od siebie; powstanie zaś takiego roju wyjaśnić można w sposób najprostszy znów rozpadem jednej bryły większej.

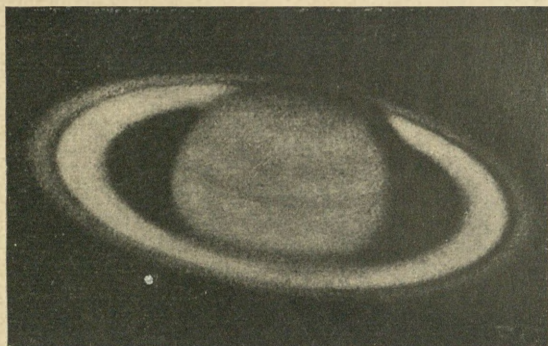
Gwiazdy spadające, czyli meteoryty występują również rojami. Jak zobaczymy niżej, ruch wielu takich rojów pozwala na utożsamienie ich z kometami, które uległy rozpadowi. Odlamki więc, wchodzące w skład komety, są identyczne z meteorytami, które widzimy w postaci gwiazd spadających, gdy wpadają w atmosferę ziemską. Według oceny Shapley'a atmosfera nasza chwyta codziennie miliardy gwiazd spadających, z których najwyżej jedna na sto posiada jasność dostateczną, by ją można było dostrzec gołym okiem. Zwykle zamieniają się one w parę zanim dotrą do powierzchni Ziemi; niekiedy zdarzy się wśród nich ciało większe, tak iż rozżarzenie w atmosferze nie zdoła rozpylić go w całości, lecz pozostała bryłka spada na Ziemię jako odlamek stały — meteoryt. Każdą gwiazdę spadającą i meteoryt można uważać za miniaturową kometa złożoną z jednego tylko odlamka. Niekiedy cała gromada odlamków, poruszająca się po drogach równoległych w nieznacznych odległościach wzajemnych, wpada w naszą atmosferę jako «kula ognista» lub «bolid». W ogóle wszelki «drobiazg» układu słonecznego porusza się w rojach i stanowi prawdopodobnie odlamki zniszczonych ciał o większych rozmiarach.



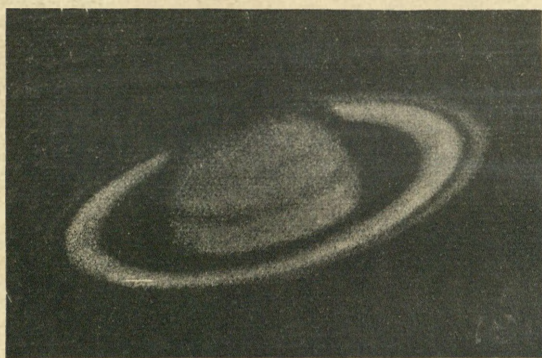
Obserwatorium na M1 Wilson

Mgławica M101 w Wielkiej Niedźwiedzicy

TABLICA XXXII



Saturn w r. 1916



Saturn w r. 1917



Obserwatorium Lowella

Saturn w r. 1921

Saturn i jego pierścienie

Łatwo spostrzec, w jaki sposób większe bryły mogą ulec rozpadowi na roje meteorytów. Założyliśmy poprzednio, że Słońce zostało rozerwane — przynajmniej w tym znaczeniu, iż dało to początek rodzinie planetarnej — przez działanie przyływowe obcej gwiazdy; co by się jednak stało, gdyby gwiazda ta nie była odbiegła w przestrzeń z powrotem, lecz gdyby pozostała dłużej w pobliżu Słońca? Gdy znajdowała się ona dostatecznie blisko Słońca, siły przyływowe rwały Słońce na sztuki; dłuższy pobyt skończyłby się większym zaburzeniem bryły słonecznej i powstaniem większej rodziny planetarnej; na koniec pobyt nieograniczenie długi rozerwałby Słońce na kawałki.

W roku 1850 Roche zbadał matematycznie wspomniany proces rozpadu przyływowego. Wprawdzie rozpatrzył on tylko bryły ciekłe i stałe, lecz mechanizm zasadniczy jest ten sam również w przypadku ciał gazowych. Mówiliśmy już, że mniejsze z dwu ciał, podlegających wzajemnym oddziaływaniom przyływowym, ucierpi bardziej. Roche zajmował się tylko tym przypadkiem, gdy jedno ciało jest bardzo drobne w porównaniu z drugim: ulec ono może tutaj zupełnie u rozpadowi, gdy tymczasem większe pozostanie nietknięte. Roche założył, że mniejsze ciało opisuje dokoła większego orbitę o stopniowo malejących rozmiarach; jeśliby gęstość obu była jednakowa, z rachunku wypada, że ów satelita rozpadłby się z chwilą, gdyby *promień jego orbity spadł poniżej 2,45-krotnej wartości promienia ciała centralnego*. W razie różnej gęstości zagadnienie jest nieco bardziej złożone: musimy sobie przy tym wyobrazić, że ciało większe rozszerza się lub kurczy, dopóki nie przybierze gęstości średniej takiej jak satelita; wówczas odległość krytyczna jest 2,45 razy większa od promienia ciała centralnego w tym stanie pomyślanym.

Odległość ta nosi nazwę «granicy Roche'a». Satelita jakiś może krążyć bezpiecznie dokoła swego ciała centralnego dopóty, póki orbita jego leży na zewnątrz granicy Roche'a, lecz rozpadnie się na szczątki, gdy zabłąka się bliżej. Następujące dane obserwacyjne potwierdzają słuszność matematycznych wywodów Roche'a:

Promień zewnętrznego pierścienia Saturna	2,30	promieni Saturna
<i>Granica Roche'a</i>	2,45	„ <i>ciała centralnego</i>
Promień orbity księżycy Saturna najbliższego		
planety	3,11	„ Saturna
Promień orbity księżycy Jowisza najbliż-		
szego planety	2,54	„ Jowisza
Promień orbity księżycy Marsa najbliższego		
planety	2,79	„ Marsa

Jednocześnie liczby te nasuwają nieodparcie myśl, że *pierścienie Saturna są odłamkami księżycy*, który dostał się do strefy niebezpiecznej *wewnątrz granicy Roche'a*. Mówimy o pierścieniach Saturna w liczbie mnogiej, ponieważ dwie wyraźne przerwy koliste nadają im wygląd taki, jak gdyby były to trzy pierścienie oddzielne. Byłoby jednak rzeczą niesłuszną wyciągać stąd pośpiesznie wniosek, że są to odłamki trzech różnych księżyców. Niektóre orbity otaczające Saturna są niestałe wskutek oddziaływań większych satelitów tegoż, tak iż żadne ciało nie mogłoby poruszać się stale po jednej z takich orbit. Obliczone położenia ich zgadzają się dokładnie z położeniami rzeczywiście obserwowanych przerw pomiędzy pierścieniami. Pierścienie więc powstały najprawdopodobniej z rozpadu *pojedynczego* księżycy.

Zasadniczą myśl *Roche'a* rozwinąć można w wielu kierunkach i zastosować w rozmaitych przypadkach. Tak np. dookoła Słońca istnieć musi również strefa niebezpieczna, odgraniczona linią *Roche'a*. Odległość tej granicy od Słońca zależy od gęstości ciała, dla którego rozpatrujemy stan bezpieczeństwa (str. 285); dla ciał o tak małej gęstości jak komety odległość ta jest bardzo znaczna. Komety nieraz zapewne przekraczają ową granicę *ulegając przy tym rozpadowi*; istotnie, zdołano zaobserwować rozpad dwóch komet, *Bieli* (1846) i *Taylora* (1916), na dwie części, gdy znajdowały się one w tej mniej więcej odległości od Słońca, co Ziemia; w roku 1882 zaś stwierdzono rozpad komety na cztery części. Kometa *Bieli* powróciła w swoim czasie (w r. 1852) w postaci dwóch komet oddalonych od siebie o $2\frac{1}{2}$ miliona km, później jednak nie widziano już nigdy żadnej z tych części. Orbita tej komety była identyczna z orbitą gwiazd spadających *Androme-*

did, które ukazują się w postaci obfitego deszczu co pewną liczbę lat w dniu 27 listopada, tak iż prawdopodobnie są to szczątki komety Bieli. Inne wybitne roje gwiazd spadających poruszają się również po orbitach komet: Leonidy, które dawały wspaniały deszcz co 33 lata — po orbicie komety 1866 I, Perseidy — po orbicie komety 1862 II, Akwaridy — po orbicie sławnej komety Halley'a. We wszystkich tych przypadkach prawie nie ulega wątpliwości, iż owe *gwiazdy spadające są rozproszonymi szczątkami komet*. Poza tym istnieje kilka «rodzin» komet, których członkinie poruszają się jedna za drugą po tej samej orbicie, jak gdyby niegdyś tworzyły jedno ciało.

Analogiczna «granica Roche'a» otacza planetę Jowisza, tak iż komety i inne ciała, które dostaną się do jej wnętrza, znajdują się w strefie niebezpiecznej, grożącej rozpadem. Wewnętrzny księżyc Jowisza jest już bardzo blisko granicy; najciekawsze jest jednak to, że *ta właśnie strefa niebezpieczna wytłumaczyć może istnienie planetoid*. We wczesnych okresach układu słonecznego, gdy orbity planet różniły się od kół bardziej niż obecnie, *p r a - p l a n e t a* istniejąca wówczas pomiędzy Marsem a Jowiszem opisywała, być może, orbitę tak *w y d ł u ż o n ą*, iż niejednokrotnie przekraczała granicę strefy niebezpiecznej Jowisza. Jeśli tak było istotnie — nie trzeba szukać innych przyczyn powstania planetoid. Charakterystyczną jest rzeczą, iż średnia orbita wszystkich planetoid zgadza się niemal dokładnie z orbitą planety, która według prawa *B o d e ' g o* (str. 267) powinna by krążyć w przestrzeni pomiędzy Marsem a Jowiszem.

Podobna strefa niebezpieczna otacza również naszą Ziemię. Księżyc znajduje się obecnie bardzo daleko od niej, nie zawsze jednak tak będzie w przyszłości. Jak bowiem niżej zobaczymy (str. 289), ostatecznym losem Księżyca jest *z b l i ż e n i e* się z powrotem ku Ziemi, z której niegdyś powstał, wskutek oddziaływań przyływowych wzbudzonych na Ziemi. Gdy wreszcie znajdzie się on w odległości około 13 000 kilometrów od powierzchni Ziemi, przyływy wytworzone przez nią w stałej bryle Księżyca *r o z e r w ą g o n a k a w a ł k i*.

Powstanie z nich rój maleńkich satelitów obiegających dokoła Ziemi tak samo, jak cząstki pierścienia Saturna obiegają dokoła tej planety albo jak planetoidy krążą wokół Słońca.

Zamiast światła Księżyca będzie wówczas oświecać Ziemię światło odbite przez pierścień małych satelitów; będzie ono o wiele jaśniejsze od obecnego światła księżycowego z powodu o wiele większej powierzchni odbijającej światło Słońca.

TARCIE PRZYPLYWÓW

Z chwilą, gdy planety stały się odrębnymi, niezależnymi ciałami niebieskimi, zaczęło działać t a r c i e p r z y p ł y w ó w, jak to opisano już na str. 262. Wszystkie planety muszą oddalać się od Słońca, istnieje też tendencja do zrównania okresów obrotu planet dokoła osi z czasem obiegu ich wokół Słońca, tak iż dążą one stopniowo do tego, by zwracać ku Słońcu stale tę samą swą półkulę.

Jest rzeczą prawie pewną, że właśnie skutkiem tych oddziaływań przyływowych Merkury zwraca zawsze tę samą półkulę ku Słońcu, a Wenus obraca się dokoła swej osi prawie z tą samą szybkością co Słońce, tak iż na jeden obrót zużywa zapewne całe tygodnie. W miarę tego jak oddalamy się od Słońca, działanie tarcia przyływowego szybko maleje, znamienny jednak wydaje się fakt, że planety bliższe, Ziemia i Mars, mają doby blisko 24-godzinne, natomiast dalsze: Jowisz, Saturn i Uran — mniej więcej 10-godzinne; okresy obrotu Neptuna i Plutona są nieznane. W ogólności więc im dalej od Słońca, tym s z y b s z y ruch obrotowy posiadają planety; taki właśnie stan rzeczy musiałby być skutkiem oddziaływania tarcia przyływowego.

Tak samo również według wszelkiego prawdopodobieństwa tarcia przyływowemu zawdzięczamy w głównej mierze obecne ukształtowanie układu Ziemia-Księżyc: odsunięcie Księżyca na obecną jego odległość od Ziemi i stałe zwracanie ku nam tej samej półkuli. Tarcie przyływów działa i dziś jeszcze. Księżyc powoduje powstawanie fal przyływowych

w oceanach ziemskich, te zaś oddziaływając na skorupę ziemską zmniejszają prędkość obrotu Ziemi, wskutek czego długość doby wciąż w z r a s t a i wzrastać będzie aż do czasu, gdy okresy obrotu Ziemi i Księżyca oraz okres obiegu z r ó w n a j ą się zupełnie. Ziemia odtąd będzie zwracała również wciąż tę samą półkulę ku Księżycowi, tak iż mieszkańcy tejże zawsze mieć będą Księżyc nad horyzontem, na drugiej zaś półkuli będzie on stale niewidzialny. Długości doby i miesiąca będą więc wówczas równe i wynosić będą około 47 naszych obecnych dni.

Po upływie tego czasu tarcie przyływowe nie będzie już oddziaływało w kierunku zwiększania odległości Księżyca od Ziemi. Łączne działanie przyływów słonecznych i księżycowych z w a l n i a ć będzie w dalszym ciągu obrót Ziemi dokoła osi, przy czym Księżyc będzie zbliżał się stopniowo ku Ziemi, aż wreszcie spotka go los wyżej wspomniany (str. 287). Jak już wspominaliśmy (str. 175), J e f f r e y s spróbował znaleźć odpowiedź na pytanie, jaki czas zająć muszą wszystkie te zjawiska? Ocenia on, że upłynęły już mniej więcej 4 *miliardy lat*, nim układ Ziemia-Księżyc osiągnął swą obecną konfigurację; od stanu zaś, w którym doba będzie równa miesiącowi, a Ziemia będzie stale zwracać do Księżyca tę samą półkulę — dzieli nas jeszcze około 50 *miliardów lat*.

WARUNKI FIZYCZNE PANUJĄCE NA PLANETACH

Zgodnie z wyżej przedstawioną hipotezą planety rozpoczęły swój żywot w postaci kondensacyj w wydłużonej masie rozrzedzonego gazu. Bryły te, kurcząc się stopniowo, przeszły kolejno w stan ciekły i stały i wreszcie osiągnęły swe obecne właściwości fizyczne. Zajmiemy się teraz ich rozpatrzeniem i zobaczymy, czy ich powstanie będzie można wyjaśnić ze wszystkimi szczegółami. Istnieją tu dwa główne kierunki badań: pierwszy polega na pomiarze całkowitej ilości promieniowania, jaką otrzymujemy od każdej z planet, drugi — na spektroskopowej analizie tego promieniowania.

TEMPERATURY PLANET. Planety dostrzegamy dzięki światłu słonecznemu odbitemu ku nam przez ich powierzchnie. Prócz tego promieniowania powierzchnie planet wysyłają pewną ilość «promieni ciepłych» zupełnie tak, jak to czyni wszelka powierzchnia, której temperatura jest wyższa od bezwzględnego zera. Ilości te można zmierzyć przy pomocy bolometru*; bardzo dokładne obserwacje przeprowadzone w latach ostatnich wykazały, że każda planeta wysyła na zewnątrz pod postacią światła i ciepła razem *ściśle tyleż energii, ile jej otrzymuje od Słońca*. Wynika stąd, że planety nie posiadają większych zasobów ciepła własnego i temperaturę, jaka panuje na ich powierzchni, zawdzięczają w y ł ą c z n i e ogrzewaniu przez Słońce: najbliższe Słońca planety są najgorętsze — i odwrotnie.

Jednakże odległość od Słońca rozstrzyga tylko o średniej temperaturze planety; wahania wokół tej średniej zależą od jej stanu fizycznego. Tak na przykład, Ziemia i Księżyc mają tę samą odległość od Słońca, tak że ich średnie temperatury są w przybliżeniu jednakowe, a jednak warunki fizyczne na obu tych ciałach są bardzo różne. Księżyc, pozbawiony atmosfery, wody, roślinności czy jakiegokolwiek życia, jest światem martwym, gdzie góry zbudowane ze skał wulkanicznych wznoszą się na równinach pokrytych lawą i popiołem. Ziemia, przeciwnie, posiada atmosferę, obfitość wody i bujnie kwitnące życie. Toteż temperatura nie wykazuje na Ziemi większych zmian we dnie i w nocy, gdy tymczasem temperatura Księżyca przechodzi przy tym z jednej skrajności w drugą. Można to sprawdzić w miniaturze podczas zaćmienia Księżyca, kiedy to Ziemia nie dopuszcza promieniowania słonecznego do jego powierzchni. P e t t i t stwierdził, że punkt powierzchni Księżyca znajdujący się dokładnie «pod Słońcem» posiada temperaturę około 101° C, dopóki promienie słoneczne padają nań bez przeszkód. W miarę tego, jak Ziemia

* Jest to przyrząd, który pozwala mierzyć niezmiernie małe przyrosty temperatury wywołane przez badane promieniowanie, za pośrednictwem zmiany oporu elektrycznego, cieniutkiej blaszki platynowej, na którą to promieniowanie pada (Przyp. tłum.)

zasłania Słońce, temperatura powierzchni Księżyca poczyną szybko spadać aż do -73°C (a więc o 174°!) w chwili, gdy zaćmienie w tym punkcie staje się całkowite, tzn. gdy promienie słoneczne w ogóle przestają doń dochodzić. Po godzinie przebywania w ciemności zaznacza się dalszy spadek do -91° , a gdy Słońce ma znów ukazać się po $2\frac{3}{4}$ godzinach * całkowitego zaćmienia, temperatura sięga już -117°C . W miarę odsłaniania tarczy Słońca Księżyc ogrzewa się z tą samą szybkością, z jaką przedtem ostygł.

Podobnie kolosalnych zmian temperatury nie znamy na Ziemi ani podczas kilku minut zaćmienia Słońca, ani też w ciągu nocy. Gdy promienie słoneczne nie padają bezpośrednio, Ziemia korzysta z zapasu ciepła nagromadzonego w atmosferze i w stałej powierzchni. Księżyc takich zasobów nie posiada; nie ma on atmosfery, a powierzchnia jego jest niemal doskonałym nieprzewodnikiem ciepła. Rachunek wykazuje, że ciepło, które Księżyc oddaje podczas zaćmienia, pochodzi z warstwy o grubości zaledwie około dwóch centymetrów.

ATMOSFERY PLANET. Była już mowa o tym (str. 237), że brak atmosfery na Księżycu wynika bezpośrednio z małej masy Księżyca: przyciąganie jej nie wystarcza do utrzymania atmosfery wbrew dążeniu cząsteczek do rozpraszania się w przestrzeni.

W atmosferze ziemskiej na poziomie morza cząsteczka przebiega swobodnie drogę wynoszącą około 1/100 000 centymetra, zanim zderzy się z jakąś inną cząsteczką zmieniając przy tym kierunek swego ruchu. W wyższych warstwach atmosfery, gdzie ilość cząsteczek jest mniejsza, długość ich drogi odpowiednio wzrasta, aż wreszcie na granicy atmosfery cząsteczka może przebyć wiele kilometrów czy nawet tysięcy kilometrów zanim spotka się z inną. Cząsteczka poruszająca się tam w odpowiednim kierunku z odpowiednią prędkością (od ośmiu do jedenastu kilometrów na sekundę) może obieć bez przeszkód kilka razy dokoła Ziemi, jakby miniaturowy sate-

* W oryginale błąd: $4\frac{3}{4}$ godz. (Przyp. tłum.)

lita — zupełnie jak nasz Księżyc, jeśli pominiemy różnicę rozmiarów (str. 43). W razie, gdy prędkość jej przekroczy 11,2 kilometra na sekundę, o d e r w i e się od Ziemi c a ł k o w i c i e i rozpocznie swobodną wędrówkę w przestrzeni.

Wobec tego, że p r z e c i ę t n a prędkość cząsteczek atmosfery ziemskiej wynosi zaledwie około 1/2 kilometra na sekundę, tylko bardzo nieliczne wśród nich mogą przekroczyć owe 11,2 kilometrów w sekundzie. W każdym razie zawsze cząsteczki takie istnieją, tak iż strumyczek drobin powietrza, umykających na zawsze od Ziemi sący się nieustannie. Cząsteczki te nie stanowią jednak «uczciwej» przeciętnej próbki ogółu cząsteczek atmosfery. Widzieliśmy już przecież (str. 119), że drobiny lżejsze w mieszaninie gazów poruszają się z większymi prędkościami, natomiast bardziej masywne są powolniejsze. Wobec tego drobiny lżejsze daleko łatwiej mogą osiągnąć prędkości przekraczające 11 kilometrów na sekundę; a więc uchodzący w przestrzeń gaz składałby się przeważnie lub w całości z cząsteczek lekkich.

Prosty rachunek wykazuje, że w obecnych warunkach atmosfera ziemska nie traci w dostrzegalnych ilościach żadnego gazu, Księżyc natomiast tak słabo trzyma cząsteczki na swej powierzchni, że wystarczy im prędkość 2,4 k i l o m e t r a n a s e k u n d ę do ucieczki z jego pola grawitacyjnego. Z dokładnych obliczeń wynika, że w tych warunkach wodór, hel, para wodna, azot, tlen i argon rozproszyłyby się rychło w przestrzeni. W przeszłości, gdy Księżyc był gorętszy niż obecnie, gdy znajdował się jeszcze w stadium kształtowania się, musiał być utracić również gazy c i ęż s z e, tak że jest rzeczą łatwo zrozumiałą, iż jeśli nawet posiadał był wówczas jakąś atmosferę, musiała ona zniknąć już od dawna.

A więc przyciąganie Księżyca jest tak słabe, że cząsteczki pospolitszych gazów szybko umknęłyby odeń w przestrzeń, Ziemia zaś przyciąga je dość silnie, by zatrzymać je przy sobie przez czas niezmiernie długi. Mogą tu być również przypadki pośrednie, gdy planeta zdolna jest utrzymać tylko cząsteczki cięższe. Dotyczy to M a r s a, który jest większy od Księżyca, lecz mniejszy od Ziemi. Z rachunku wynika, że wodór

musiałby ująć z Marsa bardzo szybko, hel — znacznie wolniej, a wszystkie gazy cięższe — praktycznie nie rozpraszałyby się wcale. Można obliczyć dla każdej planety, jakie gazy są dzięki swej lekkości wyłączone ze składu jej atmosfery; aby jednak stwierdzić, jakie tam istotnie występują, musimy odwołać się do obserwacji.

Liczne mniejsze ciała układu słonecznego, w szczególności Merkury, Mars i Księżyc, okazują trwałe, wyraźne szczegóły, które najwidoczniej należą do ich stałej powierzchni. Planety większe nie ujawniają szczegółów tego rodzaju: to, co na nich widzimy, nie jest ani wyraziste, ani trwałe, lecz zdaje się składać z gęstych obłoków, być może zresztą całkiem różnych od naszych chmur ziemskich. Jednakże niezależnie od tego, jaka jest natura tych obłoków, muszą one oczywiście unosić się w jakiejś podtrzymującej je atmosferze.

W celu wykrycia składu tej atmosfery trzeba uciec się do drugiej metody badania, do analizy widmowej.

Ponieważ planety nie wysyłają własnego światła, można badać je tylko za pośrednictwem światła słonecznego, które ku nam odbijają. Gdy planeta ma atmosferę, światło to musi przebyć ją dwukrotnie, zanim dotrze do naszych przyrządów — raz w tamtą stronę, drugi raz z powrotem. Wędrowka ta nie może oczywiście nic dodać do światła słonecznego, ale może coś od niego ująć. Brak ten wystąpi pod postacią *pasm absorbcyjnych* w widmie światła planety; jeśli zdołamy te pasma utożsamić, dowiemy się, jakie to substancje w atmosferze planety stanęły na przeszkodzie przejściu światła, a więc będziemy mogli — przynajmniej częściowo — orzec, jaki jest skład tej atmosfery.

Gdy atmosfera jest tak przezroczysta, że wzrok dosięga stałej powierzchni planety, wówczas dzięki odbiciu od tej powierzchni zachodzi strata części światła, żadna bowiem substancja nie odbija światła w całości. Wielkość tej części utraconej jest dla różnych barw różna, toteż przez porównanie zdolności odbijającej powierzchni — dla każdej barwy osobno — ze zdolnościami odbijającymi znanych substancji ziemskich można pokusić się o ustalenie, z jakiego materiału po-

wierzchnia ta się składa. L y o t stwierdził niedawno, że zdolności odbijające powierzchni Merkurego, Marsa i Księżyca są takie, jak l a w y i p u m e k s u.

Światło odbite od stałej powierzchni doznaje nie tylko pewnej straty ilościowej, lecz równocześnie ulega zmianie jego *jakość*. Powiadamy, że światło jest «*spolaryzowane*», gdy jego właściwości nie są jednakowe we wszystkich kierunkach prostopadłych do kierunku rozchodzenia się. Odbicie zmienia zwykle tę polaryzację światła, przy czym wielkość zmiany zależy od barwy światła oraz od natury powierzchni odbijającej.

Powierzchnie wspomnianych przed chwilą ciał niebieskich posiadają nie tylko taką samą zdolność odbijającą dla poszczególnych barw jak lawa i pumeks, lecz również w ten sam sposób zmieniają p o l a r y z a c j ę światła; trudno więc wątpić, że wszystkie trzy te powierzchnie są zbudowane z substancyj, które możemy uważać za produkty wybuchów wulkanicznych.

Przy pomocy takich metod astronomowie badają warunki fizyczne panujące na planetach. Rozpatrzmy je teraz po kolei rozpoczynając od najbliższych Słońca.

MERKURY

Planetą najbliższą Słońca, a więc i najgorętszą ze wszystkich, jest Merkury. Podobnie jak Księżyc zwraca zawsze tę samą stronę ku Ziemi, tak Merkury nadstawia Słońcu stale jedną i tę samą swą półkulę. Panuje więc na niej w i e c z n y d z i e Ń — i to dzień bardzo upalny — na drugiej zaś półkuli jest wieczna noc. Stwierdzono, że w punkcie położonym dokładnie «pod Słońcem», gdzie stale jest południe, temperatura planety wynosi około 340° C; cyna i ołów byłyby tam już płynne. Jeśli chcemy sobie wyobrazić, że «Merkurianie» istnieją, to możemy być pewni, że nie zamieszkują oni tej części powierzchni planety. Mogliby raczej żyć w strefie zmierzchovej, gdzieś o 90° w bok od owego punktu. Tu Słońce stale jest na horyzoncie i upał mniej dokucza. Lecz i tutaj nie mo-

gliby chyba mieszkać w domach zbudowanych na d powierzchni gruntu, gdyż Słońce ogrzałoby natychmiast każdą ścianę ku sobie zwróconą do 340° i mieszkańcy usmażyliby się jak w piecu. Wyobraźmy ich sobie raczej zamieszkujących ulice wykopane na kształt rowów strzeleckich: oto gdzieniegdzie wysuwają ponad poziom gruntu kawał rury żelaznej, by zagotować sobie wodę lub poruszać maszyny. Jednakże astronomia nie posiada ani strzępka dowodu na to, by na Merkurym istniało jakiekolwiek życie.

Jest jeszcze sprawą sporną, czy Merkury posiada atmosferę. Ta najlżejsza z planet o masie dwudziestokrotnie mniejszej od ziemskiej nie może zbyt silnie przytrzymywać swej atmosfery. W obecnych warunkach utrzymałby się tlen i cięższe gazy, lecz dawniej, gdy temperatura była jeszcze wyższa, wszystkie gazy — z wyjątkiem najcięższych — musiałyby ulotnić się w przestrzeni. Szczegóły dostrzegane na powierzchni Merkurego są w ogólności tak trwałe i wyraźnie zaznaczone, jak gdyby nie przesłaniała ich żadna dostrzegalna atmosfera. Jednakże pięćdziesiąt lat temu *Schiaparelli* zauważył, że niektóre zarysy powierzchni wydawały się czasami zamglone, a nawet zasłonięte jakby jakąś chmurą; obserwacje jego potwierdził i rozszerzył *Antonini*. Wobec tego, że Merkury nie mógł zachować pary wodnej, wysuwano pogląd, iż owe chmury mogą składać się z pyłu, wzniesionego np. przez upadek brył skalnych. Lecz i w tym przypadku musiałyby istnieć jakaś atmosfera, inaczej bowiem cząstki pyłu opadłyby natychmiast z powrotem na powierzchnię planety.

WENUS

Po Merkurym idzie *Wenus*, bliźniacza siostra Ziemi. Obie te planety nie są zupełnie podobne do siebie, gdyż Ziemia ma o 3% większą średnicę i około 23% większą masę. Nie wielkie te różnice nie mogą dostrzegalnie wpłynąć na zdolność utrzymania atmosfery, tak iż *Wenus*, podobnie jak Ziemia, może zatrzymać wszystkie gazy łącznie z wodorem. Roz-

patrując więc zagadnienie wyłącznie z punktu widzenia obecnego stanu obu planet mielibyśmy prawo oczekiwać, że Wenus powinna posiadać atmosferę podobną do ziemskiej, chociaż może trochę mniej obfitą.

W rzeczywistości atmosfery owe różnią się bardzo od siebie. Już sam wygląd Wenus nasuwa przypuszczenie o tej różnicy. Astronom, który obserwowałby Ziemię z Wenus, widziałby błyszczące białe chmury, pokrywające około połowy powierzchni Ziemi, w przerwach zaś pomiędzy nimi dostrzegłby trwale zarysy mórz, pustyń i krain żyznych. Natomiast astronom obserwujący Wenus z Ziemi nie dostrzega zgoła jakichś ukształtowań trwałych — a tylko nieprzerwaną powierzchnię podobną do warstwy obłoków. Gerasimow i c z badał jasność owej powłoki chmur oraz zmiany tej jasności uzależnione od f a z planety i wykazał, że powłoka ta nie może być gazowa, lecz musi składać się z dużych c z ą s t e k rozpraszających — być może produktów kondensacji podobnych do kryształków lodowych, z których utworzone są chmury pierzaste w naszej atmosferze. Nie mamy żadnego sposobu zbadania, co znajduje się poniżej tej warstwy, lecz «górna atmosfera» ponad nią może być oczywiście badana przy pomocy analizy widmowej.

Okazuje się, że jest to pod wielu względami a n t y t e z a atmosfery ziemskiej. Metodą spektroskopową nie można w ogóle wykryć wodoru, azotu i jednoatomowych gazów szlachetnych; wobec tego analiza atmosfery ziemskiej przeprowadzona z Wenus ujawniłaby tylko wielką ilość tlenu, sporą — pary wodnej i minimalne ilości dwutlenku węgla. Badanie wyższych warstw atmosfery Wenus wykonane w obserwatoriach ziemskich *nie ujawnia w ogóle tlenu i pary wodnej*, a za to *obfitość dwutlenku węgla*. Nie znaczy to bynajmniej, że nie ma tam w c a l e tlenu czy też pary wodnej, gdyż metoda widmowa nie jest nieskończenie czuła, jednak ewentualnie obecne ilości tych ciał nie mogą przekraczać określonych granic. Jeśliby zebrać wszystek tlen zawarty w atmosferze ziemskiej i rozpostrzeć go w warstwie o ciśnieniu atmosferycznym, grubość takiej warstwy przewyższałaby 1600 me-

trów, natomiast dwutlenek węgla potraktowany w ten sam sposób dałby warstwę o grubości zaledwie paru metrów. Otóż odpowiednie grubości warstw dla górnej atmosfery Wenus wynosiłyby *niecałe 90 cm tlenu* i *około 800 metrów dwutlenku węgla*. Krótko mówiąc, na Ziemi i na Wenerze dwutlenek węgla i tlen zamieniają się miejscami. Poza tym St. John stwierdził, że cała zawartość pary wodnej w górnej warstwie atmosfery Wenus jest na pewno mniejsza niż ilość znajdująca się nad najwyższymi chmurami na Ziemi. Gdyby skropliła się ona w całości w postaci deszczu, opad byłby *mniejszy od jednego milimetra*.

Jest rzeczą dość dziwną, że dwie tak podobne planety posiadają tak odmienne atmosfery. Jednakże niespodziankę stanowi tu raczej Ziemia, nie Wenus. Tlen łączy się chciwie z innymi substancjami, tak iż należałoby oczekiwać, że na obu planetach powinnyby pozostać tylko nieznaczne resztki tlenu w stanie wolnym. Istnienie wolnego tlenu w atmosferze ziemskiej przypisuje się często wpływowi roślinności: ona to, rozkładając związki tlenu, w szczególności dwutlenek węgla, uwalnia tlen, który przechodzi do atmosfery. Zdaje się jednak, że na tym sprawa się nie kończy. Jakkolwiek bowiem niektórzy biologowie sądzą, że życie mogło być powstać na Ziemi samorzutnie nawet w nieobecności tlenu, bardziej prawdopodobne wydaje się przypuszczenie, iż dla pierwotnych organizmów, które pojawiły się na Ziemi, *nie z bę d n a* była niewielka przynajmniej ilość wolnego tlenu. Tamman wypowiedział pogląd, że ów tlen mógł uwolnić się przy rozkładzie cząsteczek pary wodnej na jej części składowe — tlen i wodór — pod działaniem wysokiej temperatury panującej na dopiero co powstałej Ziemi. Wodór ulotniłby się wkrótce w przestrzeni wobec niewystarczającego przyciągania Ziemi; część tlenu bez wątpienia połączyłaby się chemicznie z krzepnącymi skałami skorupy ziemskiej, lecz roślinność wkrótce przywróciłaby równowagę. Jeśli tylko możemy zdać sprawę z istnienia pary wodnej oraz roślinności, nie trudno jest wytłumaczyć obecność wolnego tlenu.

Przyczyną braku tlenu w atmosferze Wenus może być

więc *brak roślinności*, albo *pary wodnej*, albo oczywiście *brak obu tych czynników*. Rozpatrzmy najpierw pierwszą możliwość — zbyt skąpą roślinność lub jej brak zupełny.

Nie jest rzeczą niemożliwą, iż życie pojawiło się na naszej planecie dzięki jakiemuś niezwykle *p r z y p a d k o w i*, rzadkiemu zbiegowi okoliczności lub nawet — jeśli ktoś woli — dzięki specjalnemu aktowi stworzenia ograniczonemu do naszej planety. Przypuszczenie, że podobny wypadek nie zdarzył się na Wenerze, wyjaśniałoby wówczas całą sytuację: jeśli nawet istniał był niegdyś na planecie pewien zasób wolnego tlenu, to od dawna już utworzył on związki chemiczne ze skałami i osadami, a brak było roślinności, która by go odnowiła. Jednakże można również przypuścić, że życie pojawia się *z a w s z e*, gdy tylko warunki fizyczne temu sprzyjają, że więc odpowiednie warunki jeszcze na Wenerze nie istnieją. Istotnie, można sądzić, że Wenus była zawsze zbyt *g o r ą c a* dla życia. Mała ilość dwutlenku węgla obecna w atmosferze ziemskiej wywiera potężne działanie «cieplarniane» zatrzymując promieniowanie, które bez tego wpływu uszłoby w przestrzeń. Wskutek tego temperatura Ziemi jest znacznie wyższa niż byłaby w razie braku dwutlenku węgla. Tysiąckrotnie większa ilość tego gazu na Wenerze stanowi daleko silniejszą osłonę, tak iż ocena temperatury na powierzchni Wenery waha się w granicach 80—130° C. Ciśnienie atmosferyczne jest tam prawdopodobnie mniejsze niż na Ziemi, tak iż woda mogłaby istnieć zapewne tylko w postaci pary. Jeśli tak jest rzeczywiście, Wenus wydaje się obecnie obiektem bardzo nieodpowiednim jako siedlisko życia, a jeszcze mniej przystosowana do tego musiała być w przeszłości.

Druga możliwość, wysunięta przez Wildta, polega na tym, że Wenus mogła zawsze posiadać bardzo mało wody. Ponieważ Wenus utworzyła się prawie na pewno z takiej samej materii jak Ziemia — mianowicie wchodzącej w skład zewnętrznych warstw Słońca w czasie, gdy powstał jego układ planetarny — mielibyśmy prawo przypuszczać, że rozpoczęła swe istnienie z takim samym stosunkowo zasobem pary wodnej jak Ziemia. W późniejszych stadiach jednak, dzięki mniej-

szej masie i wyższej temperaturze Wenerzy większa część drobin pary wodnej mogła była umknąć z tej planety, aczkolwiek także same drobiny zostały zatrzymane przez Ziemię.

Z części tlenu w atmosferze ziemskiej utworzyła się warstwa ozonu, która chroni dolne rejony tej atmosfery przed niszczącymi skutkami promieni nadfioletowych wysyłanych przez Słońce. Wobec tego, że atmosfera na Wenerze nie zawiera takiej obfitości tlenu, nie ma tam podobnej osłony przed promieniami nadfioletowymi, które mogą przenikać całą atmosferę i rozbijać jej drobiny swym działaniem fotochemicznym (str. 153). W odpowiednich warunkach atomy, wchodzące pierwotnie w skład dwutlenku węgla (CO_2) i ewentualnych resztek pary wodnej (H_2O), mogłyby przegrupowywać się tworząc cząsteczki wolnego tlenu (O_2) oraz aldehydu mrówkowego («formaliny», CH_2O). Tlen zostałby znów pochłonięty przez skały, lecz aldehyd pozostałby w atmosferze. Wildt przypuszczał przez czas pewien, że tajemnicze białe obłoki w atmosferze Wenerzy mogą składać się ze związku chemicznego formaldehydu z wodą; później jednak (1942 r.) stwierdził, że przypuszczenie to nie daje się utrzymać, widmo nie wykazuje bowiem nawet śladu aldehydu w atmosferze Wenerzy.

Jakakolwiek byłyby geneza obecnego stanu rzeczy na Wenerze, należy sobie wyobrażać tę planetę jako glob pustynny, gorący, pozbawiony roślinności i prawdopodobnie wszelkiego życia podobnego do tego, jakie znamy na Ziemi. Otacza go atmosfera, w której unosi się warstwa nieprzezroczystych chmur. Prócz obłoków atmosfera ta składa się z wielkiej ilości dwutlenku węgla, nieznanej ilości azotu i co najwyżej niewielkich śladów pary wodnej oraz tlenu.

MARS

Po Wenerze — w kolejności oddalania się od Słońca — spotykamy najpierw Ziemię, a potem planety chłodniejsze od Ziemi. Pierwsza z nich, Mars, nie jest znów tak bardzo zimna. Promieniowanie, które otrzymuje on od Słońca, zapew-

niłoby mu średnią temperaturę (bezwzględna) równą 0,81 ziemskiej, czyli około -40° C. Temperatury istotnie obserwowane grupują się w dość szerokich granicach wokół tej wartości przeciętnej sięgając od $+10^{\circ}$ C na równiku podczas letniego popołudnia marsyjskiego, do -70° C w pobliżu biegunów w czasie marsyjskiej zimy.

Jednakże temperatury owe różniłyby się między sobą jeszcze bardziej, gdyby nie stosunkowo gęsta atmosfera otaczająca Marsa. Obserwacje potwierdzają jej istnienie. Wright z Obserwatorium Licka fotografował Marsa w świetle podczerwonym, które przenika każdą atmosferę, a więc utrwała obraz stałej powierzchni planety oraz przy użyciu światła nadfioletowego, które nie może przebić atmosfery, fotografuje więc powierzchnię nie samej planety, lecz jej powłoki gazowej. Stwierdził on, że obrazy nadfioletowe są dostrzegalnie większe od podczerwonych i dowiódł w ten sposób jasno, że Mars posiada atmosferę, której wysokość ocenił na 80 do 100 km.

Mało jeszcze wiadomo o składzie tej atmosfery. Analiza widmowa nie daje dotychczas ostatecznych dowodów istnienia tlenu, dwutlenku węgla i pary wodnej. Obserwacje Adamsa (1941) wykazały, że ilość pary wodnej nad metrem kwadratowym powierzchni nie sięga dziesiątej części tej ilości, jaka zawiera się w naszej atmosferze. Jeśliby cały ten zasób pary skroplił się w postaci deszczu, wysokość opadu byłaby na pewno mniejsza niż pół milimetra.

Wokół obu biegunów Marsa rozpościerają się białe obszary, zwane powszechnie «czapkami biegunowymi», które zmniejszają się przy nastaniu cieplejszej pory roku i znikają prawie zupełnie w lecie. Przypuszczano kierując się analogią z lodową pokrywą naszych ziemskich biegunów, że jest to warstwa śniegu czy lodu; jeśli tak byłoby istotnie, to musiałby to być lód bardzo cienki, inaczej chłodne słońce marsyjskiego lata nie zdołałoby go stopić. Można obliczyć, że grubość ta nie przekraczałaby kilkunastu centymetrów z wyjątkiem, być może, sąsiedztwa samych biegunów. Prawdziwą naturę «czapek» ujawniają zapewne wspomniane wyżej fotografie

Wrighta. Widać na nich czapki bardzo wyraźnie w świetle nadfioletowym, natomiast są one prawie niedostrzegalne w podczerwonym. Pokrywa lodowa zachowywałaby się oczywiście w sposób wręcz odwrotny. Jedynym możliwym wnioskiem byłby ten, że czapki istnieją w atmosferze, nie zaś na powierzchni planety. Mogą one składać się z obłoków drobnych cząstek stałych, podobnie jak chmury pierzaste w naszej atmosferze, a może też chmury pokrywające powierzchnię Wenerę.

Brak tlenu i dwutlenku węgla w atmosferze Marsa nasuwa myśl, że, podobnie jak na Wenerze, nie ma tam roślinności tego typu, jaki znamy na Ziemi. Na powierzchni planety dostrzegamy jednak pewne obszary ciemniejsze, które ulegają niewątpliwym zmianom, zarówno pod względem rozciągłości jak zabarwienia, równoległe do zmian pór roku w danej okolicy. Dawniej przytaczano te zjawiska jako dowód istnienia jakiejś roślinności, lecz w świetle naszej wiedzy obecnej wydaje się słuszniejszą interpretacją ich jako zjawisk meteorologicznych. Może tu chodzić o strumienie wody z tajania cienkich czapek biegunowych, raczej jednak o deszcze zraszające skalistą lub popiołami pokrytą pustynię. Była już przecież mowa o tym, że zdolność odbijania oraz polaryzowania światła różnych barw, jaką posiada powierzchnia Marsa, wskazuje na to, że składa się ona z lawy i popiołu wulkanicznego, podobnie jak powierzchnia Księżyca. Czerwony odcień powierzchni planety może świadczyć o pewnym stopniu utlenienia skał i minerałów, które pochłonęły już wszystkich wolny tlen, jaki kiedykolwiek mógł się tam znajdować. Tak więc ogólny obraz Marsa, jaki sobie obecnie tworzymy, pokrywa się z obrazem jakiegoś większego i zimniejszego «Księżyca», który z powodu swej nieco większej masy zachował trochę atmosfery, a więc wraz z nią deszcze, chmury i mgły, zmieniające niekiedy dostrzegalne na jego powierzchni szczegóły.

Słynne «kanały» na Marsie są wciąż jeszcze tematem dyskusyj, mniej jednak ożywionych niż dawniej. Niektórzy astronomowie twierdzą, że na powierzchni planety dostrzegają proste linie, które zwykle zdają się łączyć jakieś wybitne

szczegóły widziane na tarczy; często starano się interpretować te utwory jako wynik działania istot rozumnych, które bądź to obecnie zamieszkują planetę, bądź też zamieszkiwały ją w przeszłości, może w jakiejś cieplejszej epoce. Jednakże z licznych względów interpretacja ta nasuwa wątpliwości. Przede wszystkim podobne linie miano widzieć również na powierzchni Merkurego i na księżycach Jowisza, gdzie działalność życia organicznego o takim poziomie jest niezmiernie mało prawdopodobna, a nawet na Wenerze, na której w każdym razie nie moglibyśmy takich prac w ogóle dostrzec poprzez chmury, przesłaniające zupełnie powierzchnię planety. Pewien sławny obserwator twierdził, że widział p o d w ó j n e kanały na Marsie — jednakże ich wzajemna odległość była, jak się okazuje, zbyt mała, aby przy pomocy danego teleskopu oko mogło je widzieć o d d z i e l n i e. Jest rzeczą pewną, że gdy oko usiłuje dostrzec drobne przedmioty w nieodpowiednim oświetleniu, stara się ono łączyć wybitniejsze, wyróżniające się punkty liniami prostymi. Sprawdzone to eksperymentem z uczniami, którym kazano przerysować z daleka mapę źle oświetloną.

Wydawałoby się rzeczą łatwą odwołać się do pomocy fotografii, która nie ma takich stron ujemnych, niestety jednak kamera fotograficzna niezupełnie nadaje się do rozstrzygnięcia sprawy. Ziarnistość klisz fotograficznych kładzie kres subtelności szczegółów, które kamera może jeszcze «dostrzec»: podobnie jak skończona długość fal świetlnych ogranicza zdolność rozpoznawczą oka. Przypuszczalne kanały na Marsie są na pewno tak subtelne, że kamera nie mogłaby ich ujawnić; okazuje ona pewne smugi szersze, te jednak zwykle nie pokrywają się z kanałami opisywanymi przez obserwatorów wizualnych. Tego rodzaju powody sprawiały, że wielu astronomów nie wierzyło w realność kanałów; skłaniali się oni do uważania ich za z ł u d z e n i a subiektywne, będące skutkiem usiłowań ujrzenia wszystkiego, co tylko w danym obiekcie dostrzec się daje.

Jednakże w r. 1941, w specjalnie korzystnych dla obserwacji Marsa warunkach, L y o t i G e n t i l i ustawili trzydziestoośmiocentymetrowy teleskop w obserwatorium na Pic

du Midi i wykonali szereg obserwacji (wzrokowych i fotograficznych) w czystym powietrzu górskim. Rysunki, oparte na ich obserwacjach wizualnych, okazują szczegóły bardzo podobne do widzianych przez obserwatorów dawniejszych, w szczególności zaś linie przypominające owe rzekome kanały. Badacze ci wprowadzili jednak nową metodę wykorzystania negatywów fotograficznych. Zestawiając setki klisz tak, by utworzyły osiemnaście fotografii kombinowanych, Lyot eliminuje przypadkowe wpływy ziarnistości klisz, które dawniej występowały tak wyraźnie. Obserwatorzy są zdania, że owe zdjęcia kombinowane potwierdzają istnienie szczegółów dostrzeżonych wizualnie i przedstawionych na rysunkach odręcznych. Mamy tu najwidoczniej do czynienia z nową fazą «zagadnienia Marsa».

JOWISZ I SATURN

Mars jest ostatnią planetą, której stałą powierzchnię dostrzec możemy (co prawda, nie wiadomo, na co patrzymy obserwując ów słaby punkcik świetlny, który zowie się Pluton). Z wyjątkiem właśnie Plutona wszystkie planety dalsze od Marsa posiadają masę o wiele większą od ziemskiej, a ponieważ są także o wiele chłodniejsze niż Ziemia, można oczekiwać, że udało im się zachować grubą warstwę atmosfery. Szczegółowe badania potwierdzają to przypuszczenie w zupełności.

Mówiliśmy już, że światło o różnych barwach różni się zdolnością przenikania mgły i pyłu w atmosferze, przy czym najbardziej przenikliwe jest promieniowanie podczerwone. Atmosfery Jowisza i Saturna są — jak się okazuje — tak nieprzezroczyste, że nawet promienie podczerwone nie mogą ich przejść: fotografie wykonane przy zastosowaniu rozmaitych barw, również i podczerwieni, nie ujawniają *żadnych zarysów trwałych*, a tylko szereg nieustannie zmieniających się tworów, najwidoczniej mających swój początek w atmosferze. Pręcieta gęstość bryły Jowisza wynosi 1,34 w stosunku do wody,

Saturna zaś tylko 0,71. Liczby te wskazują wyraźnie, że znaczną część objętości obu tych planet musi zajmować atmosfera gazowa.

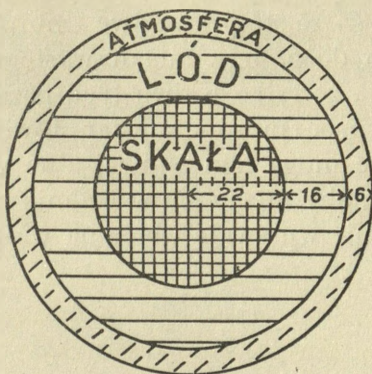
Dalszych wiadomości dostarcza nam zbadanie *p o s t a c i* omawianych planet na podstawie obserwacji teleskopowych. Obie są o wiele bardziej spłaszczone, bardziej zbliżone kształtem do pomarańczy niż Ziemia. Otóż stopień spłaszczenia obracającej się bryły zależy od dwóch czynników — okresu obrotu dookoła osi oraz od rozmieszczenia masy we wnętrzu bryły; nie zależy on natomiast wcale od jej rozmiarów. Przypuśćmy, że dwa ciała o dowolnych rozmiarach *A* i *B* obracają się z tą samą prędkością, przy czym jednak masa ciała *A* jest rozmieszczona mniej więcej równomiernie w jego wnętrzu, natomiast masa *B* jest o wiele bardziej skupiona w pobliżu środka. W tych warunkach ciało *B* będzie posiadało kształt znacznie bardziej spłaszczony niż *A*. Opierając się na tym można na podstawie okresu obrotu planety oraz jej spłaszczenia uzyskać pewne dane o wewnętrznej budowie bryły planetarnej.

Okresy obrotu Jowisza i Saturna można wyznaczyć z łatwością, gdyż na powierzchniach ich dostrzegamy szczegóły, które wprawdzie nie są całkiem trwałe, w każdym razie jednak istnieją w ciągu bardzo wielu obrotów planety dookoła osi. Okazuje się, że Jowisz obraca się raz dookoła osi w czasie blisko 10 godzin, Saturn zaś w około $10\frac{1}{2}$ godzin. Rachunek przekonywa nas, że gdyby Ziemia obracała się z taką prędkością, to spłaszczenie jej byłoby mniejsze niż zaobserwowane spłaszczenie Jowisza i Saturna. Wynika stąd wniosek, że obie te planety muszą mieć materię o *wiele bardziej skupioną w pobliżu środka* niż Ziemia — jak to np. byłoby w przypadku, gdyby były zbudowane z *niewielkiego stałego jądra*, otoczonego *bardzo rozległą atmosferą*.

Jeffreys przypuszcza, że każda z omawianych planet składa się ze skalistego jądra wewnętrznego, na którym spoczywa gruba warstwa lodu — całość zaś otacza bardzo głęboka atmosfera. Przy tych założeniach Wildt obliczył, że skaliste jądro Jowisza ma promień o długości około

35 000 kilometrów, warstwa lodu posiada grubość około 26 000 km, atmosfera zaś — grubość około 10 000 km. Średnia gęstość tej atmosfery wynosiłaby 0,78. Schemat budowy Jowisza przedstawia rys. 23.

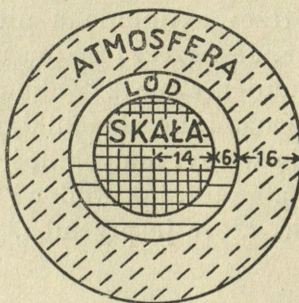
Liczby dla Saturna są jeszcze godniejsze uwagi, jak można by się tego spodziewać na podstawie mniejszej gęstości średniej równej 0,71. Promień skalistego jądra wynosi 22 500 kilometrów, grubość warstwy lodu 10 000 km, średnia gęstość atmosfery zaś tylko 0,41, co wskazuje na to, iż jądro i lód zajmują łącznie mniej niż jedną piątą całej objętości bryły Saturna. Cała reszta jej — to atmosfera (rys. 24).



Rys. 23.

JOWISZ

Gęstość średnia 1,34;
Gęstość atmosfery 0,78
(Liczby na rysunkach oznaczają tysiące mil ang.)



Rys. 24.

SATURN

Gęstość średnia 0,71;
Gęstość atmosfery 0,41

Jak na stosunki ziemskie, obie te atmosfery posiadają olbrzymią masę, wskutek czego muszą wywierać *olbrzymie ciśnienie*. Na Saturnie masa atmosfery nad metrem kwadratowym powierzchni jest milion razy większa niż na Ziemi, zatem przeważająca część tych powłok gazowych znajduje się pod ciśnieniem co najmniej miliona atmosfer.

Ciśnienia tego rzędu wielkości zgniotłyby większość substancyj do stanu o gęstości przewyższającej gęstość wody. Są tu wszakże wyjątki; najważniejsze z nich to najlżejsze pier-

wiastki, wodór i hel oraz związki chemiczne: metan, etan i amoniak. Wszystkie one zawierają wodór jako główny składnik, co tłumaczy oczywiście ich małą gęstość pod ciśnieniem. Mała wartość gęstości atmosfer Jowisza i Saturna nasuwa myśl, że muszą one składać się przynajmniej w znacznej części z tych pięciu substancyj.

Obfitość wodoru i helu jest prawdopodobna; wiemy przecież, w jak znacznych ilościach występują one w zewnętrznych warstwach Słońca; obie planety zaś są dostatecznie masywne na to, by mogły utrzymać te gazy nawet w bardzo wysokich temperaturach. Niestety nie można sprawdzić obecności tych pierwiastków przy pomocy analizy widmowej. Wykrywa ona jedynie metan i amoniak — zaiste prawdziwe «morowe powietrze». Amoniaku nie ma dużo, lecz metan występuje obficie. Jest rzeczą godną uwagi, że tylko o dwu tych gazach dowiadujemy się z widma absorbcyjnego atmosfer Jowisza i Saturna. Inne składniki, które mogą tam istnieć, albo występują w zbyt małych ilościach, aby mogły się w widmie ujawnić, albo też, jak wodór i hel, nie wpływają wcale na widmo światła, które je przenika.

URAN I NEPTUN

Jeszcze dalej od Słońca krążą Uran i Neptun, chłodniejsze miniatury Jowisza i Saturna. Zmierzona temperatura Jowisza wynosi -138°C , Saturna -153°C ; temperatura Urana jest na pewno niższa od -183°C , Neptuna zaś prawdopodobnie jeszcze niższa, być może około -210°C . Warstwa lodu na obu tych planetach ma jakieś 10 000 kilometrów grubości; na Uranie spoczywa na niej atmosfera o głębokości 5 000 kilometrów, na Neptunie — o 3 000 kilometrów. Widzimy więc, jak podobne są owe planety pod względem swej ogólnej budowy do Jowisza i Saturna. Widma ich atmosfer przypominają również widma tamtych wielkich planet wskazując na istnienie znacznych ilości metanu, jakkolwiek brak w nich dotychczas śladów amoniaku. Można przypuszczać, że wsku-

tek niezmiernie niskiej temperatury amoniak został «wymrożony» w postaci stałej z atmosfer obu tych planet. Pluton, ostatnia z planet układu, jest zbyt oddalony, by można było światło jego poddać badaniu widmowemu.

Spróbujmy teraz wytworzyć sobie obraz stanu fizycznego układu planet wziętego w całości. Pozostawiając na uboczu Plutona, ponieważ nic o nim nie wiemy, a także Wenus i Ziemię dla osobnej dyskusji — mamy szereg planet: Merkurego, Marsa, Jowisza, Siaturna, Urana i Neptuna, w którym warunki fizyczne zmieniają się w sposób ciągły w miarę posuwania się od pierwszej do ostatniej planety. Żar stopniowo przechodzi w zimno, absolutna susza — w obfitość wody czy lodu, przy jednoczesnym wzroście atmosfer pod względem rozmiarów i głębokości. Prawdopodobnie wzrasta też zawartość wodoru od zera do bardzo znacznych ilości, istniejących bądź to w stanie wolnym, bądź w postaci związków, w szczególności metanu.

Przyczyny wszystkich tych zmian są znane. Planety najbliższe Słońca są najgorętsze po prostu dlatego, że temperatura wszystkich planet zależy tylko od Słońca; są one suche i pustynne, ponieważ są zbyt małe i zbyt gorące (albo też były zbyt gorące w przeszłości), aby mogły utrzymać parę wodną. Brak wodoru wyjaśnia się tą samą przyczyną.

Blizniacze planety Wenus i Ziemia nie mieszczą się dokładnie w tym ciągu. Częściowo pochodzi to stąd, że są bardziej masywne od swych bezpośrednich sąsiadek — Merkurego i Marsa, że więc mogły zatrzymać gęstszą atmosferę. Gdy uwzględnimy tę okoliczność Wenus dość dobrze mieści się w naszym szeregu, natomiast Ziemia wyłamuje się wciąż z niego zbyt wielką ilością tlenu i pary wodnej w swej atmosferze. Jak już mówiliśmy, jest to prawdopodobnie skutkiem szaty roślinnej, jaka ją okrywa. Życie rozkrzewiło się na Ziemi i wytrąciło ją z należącego jej miejsca w szeregu planet.

Niedawno jeszcze sądzono, że Słońce, a więc wraz z nim i planety, stygna nieustannie. Wyrażano pogląd, że niezbyt dawno temu jeszcze Mars był tak ciepły jak obecnie Ziemia, i że w niezbyt dalekiej przyszłości Wenus obejmie rolę

Ziemi. Być może, iż Ziemia jest jedyną planetą, na której teraz istnieje życie, lecz Mars mógłby być planetą, na której życie już wygasło, na Wenus zaś życie dopiero ma zakwitnąć. Może tak być istotnie; obecny zasób wiedzy nie pozwala na rozstrzygnięcie tej kwestii. Jednakże poglądy te opierały się na teoriach ewolucji gwiazd, które nie cieszą się dziś uznaniem; nowe dane o tej ewolucji nasuwają zupełnie inne podejście do zagadnienia.

Sądźmy obecnie, że Słońce czerpie energię na promieniowanie z przegrupowań jąder atomowych swej materii, z przetwarzania się lekkich pierwiastków w cięższe; wprawdzie skład chemiczny Słońca ulega przy tym ciągłej zmianie, nie zmienia się jednak w poważniejszej mierze olbrzymia jego masa. A wiemy przecież także, iż wszystkie gwiazdy należące do ciągu głównego, o masie takiej jak Słońce, promieniają prawie tę samą ilość energii, co ono. Wynika stąd, że promieniowanie gwiazdy o masie Słońca może ulec tylko niewielkiej zmianie, dopóki należy ona do ciągu głównego. Jeśli tak jest istotnie, temperatury planet również nie mogą zmienić się w znaczniejszym stopniu. Mars był zapewne zawsze tak chłodny jak obecnie, począwszy od tych bardzo odległych czasów, gdy już przestało go ogrzewać własne jego ciepło zabrane ze Słońca; Wenus stale będzie tak upalna jak dziś, dopóki Słońce nie zużyje swego zasobu lekkich pierwiastków i nie zacznie kurczyć się do stanu chłodniejszej i mniejszej bryły «białego karła». Wydaje się zatem, że myśl o stopniowym przenoszeniu się życia w szeregu planet jest złudzeniem. Ziemia jest planetą «zaludnioną», ponieważ znajduje się w odpowiedniej odległości od Słońca. Nie mamy bynajmniej podstaw do przypuszczania, że życie podobne do tego, jakie znamy na Ziemi, wymagające setek milionów lat do swego rozwoju, zanikło już na Marsie, lub że pojawi się w stosownym czasie na Wenerze. Planety owe znajdują się w niekorzystnej odległości od Słońca.

ROZDZIAŁ VII

Początek i koniec

MÓWILIŚMY już, że materialna substancja Wszechświata roztapia się nieustannie w niematerialne promieniowanie. Słońce ważyło wczoraj o 360 miliardów ton więcej niż dziś; tyle wynosi masa dwudziestoczworogodzinnego promieniowania, które biegnie teraz w przestrzeni i biec ma — o ile nam o tym świadczy obserwacja bezpośrednia — aż do skończenia czasów. Niecały gram tego promieniowania zawiera dosyć energii, by umożliwić wielkiemu parowcowi podróż przez Atlantyk, kilogram zaś wystarczyłby na utrzymanie w ruchu przez miesiąc wszystkich fabryk, pociągów, okrętów, elektrowni i gospodarstw domowych całej Wielkiej Brytanii. Podobna przemiana masy materialnej w promieniowanie zachodzi we wszystkich gwiazdach, w wiele mniejszym zaś stopniu również na Ziemi. Być może też, że promienie kosmiczne są świadectwem takiej przemiany, odbywającej się na daleko większą skalę w głębiach przestrzeni międzygwiazdowych.

PROCESY KOŁOWE. Pojawia się tu pytanie, czy z badania Wszechświata jako całości nie wynika, że procesy te są tylko częścią jakiegoś *cyklu zamkniętego*, tak iż utrata masy zachodząca na Słońcu, na gwiazdach i na Ziemi byłaby może powetowana gdzie indziej? Patrząc na rzekę niosącą nieustannie masy wody do morza zdajemy sobie sprawę z tego, że woda owa zamienia się potem w chmury i deszcz, który z powrotem uzupełnia zasoby wody w rzece. Czy *Wszechświat* jest takim układem *cyklicznym*, czy też raczej należałoby go porównać do strumienia pozbawionego źródła, który przestanie płynąć, gdy wyczerpie się całkowicie?

TERMODYNAMIKA

Na to pytanie odpowiada nam ogólna zasada naukowa znana pod nazwą *drugiej zasady termodynamiki*.

Gdy szukamy przyczyn wszystkich tych żywych przemian i zjawisk, jakie widzimy w otaczającym nas świecie, napotykalmy zawsze jedną i tę samą — *energię*: energię chemiczną paliwa poruszającego okręty, pociągi i samochody; pożywienia, podtrzymującą życie i umożliwiającą nam pracę mięśniową; dalej energię mechaniczną ruchu Ziemi, która powoduje zmianę dnia i nocy, lata i zimy, przyływów i odpływów; energię ciepłą Słońca, dzięki której dojrzewają nasze zbiory, która daje nam wiatr i deszcz.

Termodynamika zajmuje się przede wszystkim energią i jej różnorodnymi przemianami. Opiera się ona na dwóch podstawowych prawach zwanych «*pierwszą i drugą zasadą termodynamiki*». Dotyczą one odpowiednio *ilości* oraz *jakości* energii.

PIERWSZA ZASADA TERMODYNAMIKI, *zasada zachowania energii* uczy, że energia jest niezniszczalna; może ona zmieniać swą postać, lecz całkowity jej zasób musi w ciągu tych przemian pozostawać zawsze ten sam, tak iż całkowita energia Wszechświata nie ulega zmianie. Ponieważ energia, przyczyna życia Wszechświata, jest niezniszczalna, można by mniemać, iż może ono trwać bez końca, tak bujnie jak obecnie.

UŻYTECZNOŚĆ ENERGII. *Druga zasada termodynamiki* wykazuje jednak, że sprawa przedstawia się inaczej. Energia jest wprawdzie niezniszczalna o ile chodzi o jej ilość, lecz nieustannie zmienia swe formy; w ogóle mówiąc możemy porównać dwa główne kierunki tych zmian z wędrówką «ku górze» i «ku dołowi». Powtarza się tu znana historia: schodzenie w dół jest łatwe, gdy tymczasem wspinanie się pod górę tak trudne, że słusznie uważamy je wprost za niemożliwe, wobec czego można brać pod uwagę przejście energii w jednym tylko kierunku.

W rzeczywistości *przejście odwrotne nie jest niemożliwe*, gdyż druga zasada termodynamiki dotyczy nie całkowitej pewności, lecz *tylko prawdopodobieństwa* — wprowadzie nieco osobliwego rodzaju. Zmiana jakości energii w kierunku, który nazwaliśmy «do góry», byłaby zupełnie zgodna z prawami mechaniki, lecz szanse *przeciwnie* takiej przemianie, zarówno dla całego Wszechświata jak znacznej jego części, są olbrzymie. Liczba cząstek we Wszechświecie jest — być może — rzędu 10^{79} , a szanse wspomniane zawierają 10^{79} podniesione do bardzo wysokiej potęgi. Gdy mamy do czynienia z tego rodzaju prawdopodobieństwem, nie potrzeba troszczyć się zbytnio o różnice pomiędzy prawdopodobieństwem a pewnością.

Tak np. zarówno światło jak ciepło są energią i milion ergów energii świetlnej może z największą łatwością przekształcić się na milion ergów ciepła: wystarczy, by światło to padało na jakąś chłodną, czarną powierzchnię. Jednakże szanse *przeciw* przemianie w kierunku przeciwnym mają ten właśnie charakter, o jakim wspominaliśmy przed chwilą, tak iż mówimy zwykle, że przemiana taka jest *niemożliwa*. Milion ergów energii, która przyjęła raz postać ciepła, nie stanie się już nigdy milionem ergów światła. Mamy tu przypadek specjalny ogólnej zasady, zgodnie z którą *energia promienista dąży zawsze do przemiany na postać o większej długości fali*, nie zaś odwrotnie. W zjawisku fluorescencji np., światło barwy niebieskiej przekształca się na zielone, żółte lub czerwone; ale promień czerwony nie ulegnie tu przemianie w zielony czy niebieski — tak iż przy fluorescencji długość fali światła na ogół wzrasta. Wprawdzie znamy wyjątki od tej zasady, lecz mają one jedynie znaczenie specjalne, tłumaczą się istnieniem specjalnych warunków i nie naruszają ważności reguły ogólnej.

Można by tu zrobić zarzut, że najprostsza czynność rozniesienia ognia obala nasze wywody. Istotnie, czyż nie mamy w węglu nagromadzonego zapasu energii cieplnej Słońca i czyż nie możemy wytworzyć światła spalając węgiel? Odpowiedź na to brzmi, że promieniowanie słoneczne jest mieszaniną zarówno światła jak ciepła, a raczej promieniowań *wszelkich* długości fali; w węglu nagromadzone mamy przede

wszystkim światło słoneczne i inne promieniowania o jeszcze krótszej fali. Spalając węgiel otrzymujemy nieco światła, lecz nie tyle, ile go węgiel pobrał od Słońca; uzyskujemy również pewną ilość ciepła — i przy tym większą od pierwotnie udzielonej. Wynikiem ostatecznym całego procesu jest więc to, iż pewna ilość światła uległa przemianom w odpowiednią ilość ciepła.

Energię musimy zatem rozpatrywać nie tylko z punktu widzenia ilości, lecz również jakości. Całkowita ilość jej pozostaje bez zmiany — jest to pierwsza zasada termodynamiki; natomiast *jakość jej zmienia się* dążąc przy tym do przemiany zawsze w tym samym kierunku; oto druga zasada termodynamiki. Pomiedzy różnymi postaciami energii są «drzwi obrotowe»: przejście jest łatwe w danym kierunku, niemożliwe w odwrotnym. Tłum ludzki umie niekiedy znaleźć drogę okólną — w przyrodzie jednak drogi takiej nie ma; energia płynie zawsze w tym samym kierunku — jak woda spływająca w dół po zboczu pagórka.

Część tej «drogi ku dołowi» składa się, jak widzieliśmy, z przekształcania się promieniowań o falach krótszych na promieniowania o falach dłuższych. W języku kwantów (str. 153) oznacza to przejście od nielicznych kwantów o wielkiej energii do większej liczby kwantów o małej energii przy zachowaniu całkowitej ilości tejże. Tu więc spadek jakości energii polega na rozdrabnianiu kwantów; skoro rozpad ten raz nastąpił, nie podobna już odtworzyć pierwotnych dużych kwantów.

Jest to jednak tylko część «drogi spadku energii». Termodynamika uczy, że każda postać energii posiada odpowiedni stopień «użyteczności», i że droga «w dół» prowadzi zawsze do użyteczności większej ku mniejszej.

Powróćmy teraz do pytania, które postawiliśmy sobie na początku niniejszego rozdziału. «Co podtrzymuje życie Wszechświata w jego rozlicznych przejawach?» Widzimy obecnie, iż pierwotna nasza odpowiedź: «energia» — jest niewystarczająca. Niewątpliwie, energia jest rzeczą zasadniczą, lecz chodzi tu o przemianę energii z form bardziej użytecznych

na mniej użyteczne — o «spadek» energii. Twierdzenie, że ponieważ całkowita energia świata nie może się zmniejszyć, więc życie jego trwać musi bez końca, ma tę samą wartość, co argument, że wobec niezmienności ciężaru wagi zegarowej zegar nie może się nigdy zatrzymać.

KONIEC WSZECHŚWIATA

Energia nie może opadać w dół bez końca i, podobnie jak waga zegara, musi dotknąć ostatecznie dna. Tak więc i życie Wszechświata nie może istnieć wiecznie; prędzej czy później nadejść musi czas, gdy ostatni erg jego energii osiągnie najniższy szczebel użyteczności i w tym momencie czynne życie Wszechświata znajdzie swój kres. Energii będzie jeszcze dość, lecz utraci ona wszelką zdolność przemiany: będzie ona tak niezdolna do podtrzymania życia Wszechświata, jak woda w płaskiej kałuży nie nadaje się do poruszania koła w młynie. Pozostanie świat martwy, choć, być może, niezupełnie wystygły — świat w stanie «śmierci cieplnej».

Tego uczy nas termodynamika nowoczesna. Nie mamy powodu do podawania jej twierdzeń w wątpliwość, całokształt zaś naszego doświadczenia potwierdza ją w sposób tak przekonujący, że trudno znaleźć punkt słaby, na który można by atak skierować. *Termodynamika zmusza do odrzucenia od razu hipotezy wszechświata cyklicznego*, w którym zjawiska obserwowane można by porównać do wlewania się wód z rzek do morza, zjawiska inne zaś, nieznane, odpowiadałyby powrotowi tych wód do rzeki. Woda może odbywać nieustannie ów proces kołowy właśnie dlatego, że nie jest ona całym wszechświatem, że jest coś poza obiegiem wody, co utrzymuje go w ruchu, mianowicie ciepło słoneczne. Lecz Wszechświat jako całość nie może wciąż opisywać cyklu zamkniętego. Jeżeli nie przypuścimy, że istnieje jakieś oddziaływanie «z zewnątrz», stopień użyteczności energii Wszechświata musi nieustannie maleć; Wszechświat, w którym energia nie mogłaby tracić użyteczności, byłby już martwy. Zmiany mogą zachodzić w je-

dnym tylko kierunku, tym, który prowadzi do śmierci cieplnej. Życie Wszechświata, tak jak i ludzkie, jest tylko nieustannym zbliżaniem się do grobu.

Nawet bieg rzeki ku morzu, który obraliśmy jako oczywisty przykład procesu kołowego, okazuje przy uwzględnieniu wszystkich czynników te same cechy zdążania do końcowego zastoju. Wody rzeki, przelewając się po spadkach i kaskadach koryta, wytwarzają ciepło uchodzące w przestrzeń w postaci promieniowania. Energia, która podtrzymuje ruch rzeki, pochodzi w ostatecznym rachunku od Słońca; jest to w przeważnej części energia świetlna: przerwijmy jej dopływ, a rzeka wkrótce przestanie płynąć. Woda płynie jedynie dzięki nieustannej przemianie energii świetlnej w ciepłą; z chwilą, gdy stygnące Słońce przestanie dostarczać energii o odpowiednim stopniu użyteczności, nurt rzeki wyschnie.

Te same zasady ogólne odnoszą się również do Wszechświata astronomicznego. Nie ma tu wątpliwości co do tego, w jaki sposób zachodzi w nim «spadek» energii. Wyzwała się ona w rozżarzonym wnętrzu gwiazdy w postaci kwantów o nadzwyczaj małej długości fali, a olbrzymiej energii. W miarę tego, jak owa energia promienista przedziera się na zewnątrz, ku powierzchni gwiazdy, ulega ona ciągłemu przystosowaniu, dzięki kolejnym absorbcjom i reemisjom, do temperatury tych części gwiazdy, przez którą właśnie przechodzi. Fale dłuższe są, jak wiemy, skojarzone z niższymi temperaturami (str. 164), toteż długość fali promieniowania wciąż wzrasta; mniej liczne potężne kwanty przekształcają się w wielką ilość kwantów słabych. Skoro wybiegną one w końcu swobodnie w przestrzeń, wędrują dalej bez zmiany, dopóki nie napotkają cząstek pyłu kosmicznego, rozproszonych atomów, swobodnych elektronów, czy też jakiejś innej postaci materii kosmicznej w jakiegokolwiek postaci. Spotkania te w dalszym ciągu zwiększają długość fali promieniowania z wyjątkiem bardzo mało prawdopodobnego przypadku, że materia owa posiada temperaturę wyższą niż powierzchnie gwiazd; w ostatecznym wyniku niezliczonych spotkań otrzymujemy promieniowanie bardzo długofalowe. Liczba kwantów wzrosła niepomier-
nie,

zato jednak zmalała odpowiednio ich energia indywidualna. *Zasadniczy proces w ewolucji Wszechświata polega więc na przemianie energii najwyższego stopnia użyteczności nagromadzonej w atomach i ich jądrach na energię cieplną o stopniu użyteczności możliwie najniższym.*

Niektórzy badacze, puszczając wodze fantazji, wypowiadali przypuszczenie, że ta małowartościowa energia cieplna ulega w swoim czasie z *powrotem* przekształceniu na nowe elektrony i protony. Wszechświat istniejący obecnie rozplywa się w promieniowaniu: oni zaś widzą oczyma wyobraźni nowe niebiosa i nową Ziemię, odradzające się z popiołów. Wiedza nie daje jednak podstaw do snucia takich fantazyj. Nie może ona, to prawda, dowieść, że owe przypuszczenia nie sprawdzą się w istocie; może tylko obliczyć szanse przemawiające przeciw takiemu zdarzeniu. Szanse te są tak olbrzymie, że realizacji owych zdarzeń można zupełnie nie brać w rachubę. Może to i lepiej; trudno bowiem zrozumieć, jaka byłaby korzyść z wiecznego powtarzania się tej samej historii lub nawet coraz to nowych jej odmian.

A zatem ostateczny stan Wszechświata zostanie osiągnięty wówczas, gdy każda cząstka materii zdolna do przemiany na promieniowanie istotnie się w nie przekształci.

Mówiliśmy już, że przeciętna gęstość materii w przestrzeni wynosi około 10^{-28} grama na centymetr sześcienny. Przemiana grama materii w promieniowanie wyzwala $9 \cdot 10^{20}$ ergów energii, a więc przemiana 10^{-28} gramów wyzwoliłaby $9 \cdot 10^{-8}$ ergów energii. Wynika stąd, że całkowita zamiana wszelkiej materii w istniejącym Wszechświecie wypełniłaby przestrzeń energią w ilości tylko $9 \cdot 10^{-8}$ ergów na centymetr sześcienny. Temperatura przestrzeni podniosłaby się wskutek tego od zera bezwzględnego do wartości znacznie jeszcze niższej od temperatury ciekłego powietrza; temperatura powierzchni Ziemi podniosłaby się tylko o dziesiątą część stopnia. Przyczyna tego, że skutek unicestwienia całego Wszechświata byłby tak niedostrzegalnie drobny, leży oczywiście w niezmiernie małej gęstości materii w przestrzeni. Próba ogrzania przestrzeni przez unicestwienie

wszelkiej obecnej w niej materii równałaby się ogrzewaniu dworca Waterloo przez spalenie w nim kilku ziarenek pyłu.

Taki byłby skutek przemiany całej materii Wszechświata w promieniowanie; wydaje się jednak, że tylko niewielka jej część ulegnie w ogóle temu losowi. Wobec tego, maksymalny efekt, jakiego można by oczekiwać, musiałby być jeszcze znacznie mniejszy od wspomnianego wyżej. W porównaniu z tą ilością promieniowania, która kiedykolwiek będzie mogła wlać się w przestrzeń, pojemność tej ostatniej jest przepaścią bezdenną.

Taki jest koniec wszechrzeczy, o ile zdolna jest ujrzeć go nauka współczesna — kres, oczekujący wszechświat materialny w odległych wiekach przyszłości, jeśli bieg przyrody nie ulegnie zmianie. Kres ów oznacza jednocześnie *nieodwołalną zagładę życia* takiego, jakie znamy obecnie na Ziemi.

ŻYCIE A WSZECHŚWIAT

Przyjrzyjmy się na chwilę stosunkowi życia do tego umierającego Wszechświata.

Dawny pogląd, że każdy punkcik świetlny widzialny na niebie stanowi podatny grunt dla rozkrzewienia się życia, jest całkowicie obcy astronomii dzisiejszej. Gwiazdy mają, jak wiemy, temperatury powierzchniowe zawarte w granicach od jakichś 1650° do 60 000° i więcej, przy czym ich temperatury wewnętrzne są oczywiście jeszcze o wiele wyższe. Wielka część materii we Wszechświecie posiada jako materia gwiazdowa temperaturę wynoszącą miliony stopni, tak iż cząsteczki muszą tam być zdysocjowane na atomy, te ostatnie zaś, przynajmniej częściowo, rozłożone na swe części składowe. Reszta jest przeważnie gazem lub pyłem mgławicowym. Otóż samo pojęcie życia zawiera logicznie pojęcie trwania w czasie. Nie może być życia — przynajmniej jeśli chodzi o życie podobne do ziemskiego — tam, gdzie atomy zmieniają swój «ubiór» miliony razy na sekundę i gdzie nie może istnieć trwale ani jedna para połączonych z sobą atomów. Pojęcie

życia implikuje również pewien stopień ruchliwości w przestrzeni; dwa te żądania ograniczają dziedzinę życia do niewielkiego zakresu warunków fizycznych, w których możliwe jest istnienie materii w stanie ciekłym. Przedstawiony wyżej opis Wszechświata wskazuje jasno, jak mały jest ten zakres w porównaniu z tym, co spotykamy we Wszechświecie rozpatrywanym jako całość. Nie znajdziemy go na gwiazdach ani w mgławicach, z których gwiazdy powstają. W istocie, zapewne tylko niezmiernie mała część materii Wszechświata znajduje się w stanie płynnym.

Z wyjątkiem planet podobnych do naszej Ziemi, obiegających dokoła jakiegoś słońca centralnego, nie znamy ciał kosmicznych, na których istniałyby warunki sprzyjające zakorzenieniu się życia. Lecz i planety mogą być zbyt chłodne lub zbyt gorące. W układzie słonecznym np. trudno wyobrazić sobie życie istniejące na Merkurym albo na Neptunie: ciecze zamieniłyby się w parę na pierwszym z nich, ścięłyby się w lód na ostatnim.

I wreszcie, jeśli wszystkie te warunki są spełnione, czy życie pojawi się istotnie? Prawdopodobnie należy odrzucić pogląd szeroko rozpowszechniony przed laty, że gdyby życie zjawilo się gdzieś we Wszechświecie, to rozprzestrzeniłoby się szybko od planety do planety, od jednego układu słonecznego do drugiego, póki nie «zasiałoby się» w całym Wszechświecie: — obecnie przestrzeń wydaje się nam na to zbyt zimna, a układy planetarne zbyt odległe od siebie. Nasze ziemskie życie powstało według wszelkiego prawdopodobieństwa na Ziemi. Chcielibyśmy tylko wiedzieć, czy powstało ono jako skutek jakiegoś zdumiewającego przypadku lub zbiegu okoliczności, czy też jest to zjawiskiem normalnym, iż materia nieożywiona wytwarza życie, jeśli tylko warunki fizyczne otoczenia są odpowiednie? Oczekujemy na to odpowiedzi od biologów, którzy jednak dotychczas nie są w stanie jej udzielić.

Astronom mógłby znaleźć częściową przynajmniej odpowiedź, gdyby mu się udało uzyskać dowód istnienia życia na jakiejś innej planecie, wiedzielibyśmy bowiem wów-

czas, iż życie pojawiło się w historii Wszechświata nie tylko raz jeden; dotychczas jednak nie posiadamy na to przekonujących dowodów. Nie ma pewnego dowodu na to, iż życie istnieje gdziekolwiek we Wszechświecie poza naszą Ziemią.

Poza faktem istnienia życia na Ziemi nie wiemy nic w tej sprawie na pewno prócz tego, iż *w najlepszym razie życie musi ograniczać się do bardzo małej części Wszechświata*. Istnieją biliony gwiazd, na których życia nie ma, nie było go i nigdy nie będzie. Spośród układów planetarnych wiele musi być zupełnie martwych, w innych zaś życie, jeśli w ogóle istnieje, ogranicza się zapewne do niewielu planet. Trzy stulecia, które upłynęły od czasu, gdy Giordano Bruno głosił naukę o wielości światów, zmieniły ogromnie pojęcia nasze o Wszechświecie, lecz nie zbliżyły nas wiele do zrozumienia stosunku pomiędzy życiem a światem. Musimy wciąż jeszcze tylko snuć domysły, jakie znaczenie ma to życie, będące według wszelkiego prawdopodobieństwa zjawiskiem tak rzadkim. *Czy jest to szczyt, ku któremu dąży cały Kosmos, dla którego miliardy lat przekształcania się materii w niezamieszkanym gwiazdach i mgławicach i rozpraszania promieniowań w pustej przestrzeni — były tylko nie do wiary rozrzuconym przygotowaniem? Lub też, czy nie jest to raczej przypadkowy, pozbawiony znaczenia produkt uboczny procesów przyrody, które wiedą być może do celów innych, bardziej zdumiewających? A może nawet — jeśli spojrzymy z jeszcze skromniejszego punktu widzenia — jest to rodzaj choroby, napadającej materię w starości, gdy utraciła ona wysoką temperaturę, dzięki której większa część materii we Wszechświecie zniszczyłaby życie w jednej chwili? Lecz może przeciwnie, odrzuciwszy pokorę, wolno myśleć, iż jest ono rzeczywistością jedyną, która stwarza kolosalne masy gwiazd i mgławic, nieobjęte okresy astromiczne — miał być przez nie stworzony?*

I znów nie jest rzeczą astronoma dokonywać wyboru pomiędzy tymi przypuszczeniami. Zadanie jego kończy się z chwilą, gdy przekazał nam wieści, które daje astronomia; być może nawet, iż zbyt wielką śmiałością jest z jego strony

formułowanie zagadnień, nasuwających się przy dyskusji wyników badań astronomicznych.

PRZYSZŁOŚĆ ZIEMI

Porzućmy jednak te abstrakcyjne rozważania i zejdźmy z powrotem na Ziemię. Masyw jej czujemy pod stopami; promienie słoneczne padają z góry na nasze głowy. Otacza nas życie, które pojawiło się niewiedomo jak, ani w jakim celu; sami jesteśmy jego częścią. Rzeczą naturalną więc byłoby żądać od astronomii odpowiedzi na pytanie, jakie mogą być *przyszłe losy życia*.

Ziemia, będąca na początku rozżarzoną masą gazową, ostygła zwolna do stanu obecnego, w którym nie posiada już prawie wcale innego ciepła, prócz tego, jakie otrzymuje od Słońca. Ciepło to równoważy się niemal dokładnie z ilością traconą przez promieniowanie, tak iż temperatura Ziemi nie uległaby zmianie przez całą wieczność, jeśliby nie zmieniły się warunki zewnętrzne. Wszelkie w ogóle zmiany obecnego stanu Ziemi muszą mieć swą przyczynę gdzieś na zewnątrz. Mogą one być stopniowe lub katastrofalnie nagłe.

Spośród możliwych zmian o charakterze stopniowym przychodzi na myśl przede wszystkim zmniejszenie się ilości światła i ciepła, jaką otrzymujemy od Słońca. Była już mowa o tym, że gdyby Słońce składało się wyłącznie z wodoru, mogłoby utracić 1/150 całej swej masy podczas przemiany wodoru w hel. Wyzwolona w ten sposób energia wystarczałaby na podtrzymywanie promieniowania w obecnej skali w ciągu stu miliardów lat.

Słońce nie jest i nigdy nie było zbudowane tylko z wodoru, prawdopodobnie jednak spora część jego masy składa się z tego pierwiastka, dzięki czemu wydaje się zapewniona możliwość promieniowania na kilka co najmniej miliardów lat. Po zużyciu wszelkich dostępnych zapasów wodoru Słońce zacznie, o ile możemy przypuszczać, kurczyć się zdążając do stanu białego karła, przypominającego zapewne słabego towa-

rzysza Syriusza. *Przejście Słońca do tego nowego stanu zamieniłoby nasze morza w lód, atmosferę zaś w ciekłe powietrze; dalsze istnienie życia ziemskiego byłoby w tych warunkach niemożliwe.* Wielkie muzeum niebios zawiera prawie na pewno okazy skarłałych słońc tego typu, otoczonych przez planety podobne do naszej Ziemi. Czy unoszą one na swych powierzchniach zamarzłe szczątki życia niegdyś tak bujnego jak nasze — byłoby rzeczą próżną nawet pytać.

Opisaną wyżej tragedię można uważać za normalny bieg wypadków; jednakże mogą zająć zdarzenia, które położą kres istnieniu ludzkości na długo przed upływem owych 10 miliardów lat. Przytoczymy tylko możliwości astronomiczne. Słońce może spotkać się z inną gwiazdą; jakaś planetoida może zderzyć się z inną i wskutek tego zboczyć tak znacznie ze swej drogi, że wpadnie na Ziemię; jedna z gwiazd może przebiec przez układ słoneczny i zakłócić orbity planetarne do tego stopnia, że istnienie życia na Ziemi stanie się niemożliwe. Trudno ocenić prawdopodobieństwo któregoś z tych zdarzeń, wydaje się ono jednak bardzo małe, jeśli chodzi o najbliższe 10 miliardów lat. Większe niebezpieczeństwo przedstawia możliwość takiego zwiększenia się ilości ciepła i światła wysyłanej przez Słońce, że wszelkie życie ziemskie uległoby zagładzie. Była już mowa o pojawianiu się na niebie gwiazd «Nowych», które przez pewien czas promieniają nieraz do 25 000 razy silniej niż Słońce. Wydaje się rzeczą pewną, że gdyby Słońce stało się nagle «Nową», emisja jego światła i ciepła wzrosłaby tak znacznie, że spopieliłoby w zupełności życie organiczne na Ziemi. Nie wiadomo jednak, czy Słońcu grozi przejście w stadium Nowej; jeśli tak jest istotnie, to stanowi to prawdopodobnie największe z niebezpieczeństw, na jakie narażone jest życie ziemskie.

W wielu przypadkach wykazano, że Nowa jest zwykłą gwiazdą, która była widzialna jako bardzo słaba gwiazdka na długo przed swym nagłym rozbłyśnięciem i następującym później powrotnym spadkiem do pospolitości. Wydaje się prawdopodobne, że wszystkie Nowe posiadają ten sam charakter, jakkolwiek często może się zdarzyć, iż obecność gwiazdy

stwierdzamy dopiero po osiągnięciu świetnego stanu Nowej. Zjawiska te nie są bynajmniej rzadkie; w samym układzie galaktycznym pojawia się średnio sześć gwiazd nowych rocznie. Załóżmy, że sześć innych pozostaje niedostrzeżonych. Z tego więc, że układ galaktyczny zawiera około 300 miliardów gwiazd, wynika, iż przeciętna gwiazda staje się Nową raz w ciągu 24 miliardów lat. Czysto statystyczne te rozważania wskazują, że istnieje *poważne niebezpieczeństwo* takiej przemiany naszego Słońca *przed upływem 10 miliardów lat*.

Niezawodnie chcielibyśmy wiedzieć, czy Słońcu istotnie grozi niebezpieczeństwo przejścia w stan Nowej. O ile możemy wnosić z danych geologicznych, nie zdarzyło się to w ciągu ostatniego miliarda lat. Astronomowie dotychczas nie są zgodni co do przyczyn, dzięki którym zwykła gwiazda przechodzi w Nową, ani co do warunków fizycznych, jakie w tych ostatnich panują. Żadna z dotychczas ogłoszonych teorii nie zyskała powszechnego uznania. Bardzo być może, że przez stadium «Nowej» przechodzi zwykła gwiazda należąca do ciągu głównego wtedy, gdy zaczyna kurczyć się do stanu białego karła. Jeśli tak jest istotnie, to rozważane dwa grożące nam niebezpieczeństwa sprowadzają się do jednego.

Z tego wszystkiego zdaje się wynikać wniosek, że jeśli pominąć «nieszczęśliwe wypadki», to przy naturalnym biegu ewolucji układu słonecznego, Ziemia mogłaby być siedliskiem życia organicznego jeszcze w przeciągu *miliardów lat*.

Być może, powinniśmy się cieszyć, że losy kazały nam żyć raczej na początku, nie zaś przy końcu tego olbrzymiego okresu czasu. Łatwo można sobie wyobrazić, że jeśli ludzkość dożyje do jego kresu, wiedza będzie nieporównanie rozleglejsza niż obecnie, lecz człowiek ówczesny nie zazna już radości pioniera, który odkrywa nowe dziedziny tej wiedzy. Pokonane będą choroby, a może i śmierć sama; życie bez wątpienia będzie pewniejsze i nieporównanie lepiej uporządkowane niż dzisiaj. Trudno będzie wówczas uwierzyć, iż mógł był istnieć czas, gdy ludzie narażali — i tracili — życie, podróżując po nieznanych krajach, wdzierając się na niedostępne wierzchołki górskie, walcząc z dzikimi zwierzętami — a wszystko to dla

rozkoszy czynu. Życie stanie się wówczas bardziej niż dziś sprawą rutyny, a mniej — przygody; stanie się też jednak prawie bezcelowe, gdy ludzkość zda sobie sprawę z tego, że w niezbyt odległej już przyszłości grozi jej zagłada na wieki, zagłada wszystkich jej nadziei, dążeń i osiągnięć.

Owe 10 miliardów lat, które zdają się stanowić przyszłość życia na Ziemi, to przeszło trzykrotny dotychczasowy wiek Ziemi i okres przeszło 10 000 razy dłuższy od czasu, w ciągu którego ludzkość istnieje na naszej planecie. Spróbujmy uprzytomnić sobie stosunki pomiędzy tymi okresami przy pomocy prostego modelu. Weźmy znaczek pocztowy i przyklejmy go do monety zdawkowej; połóżmy następnie tę monetę, marką do góry, na szczycie obelisku Kleopatry w Londynie. Całkowita wysokość tegoż uzmysławia czas, jaki upłynął od powstania Ziemi; w skali tej grubość monety razem ze znaczkiem odpowiada czasowi istnienia ludzkości. Grubość znaczka reprezentuje okres cywilizowanego życia ludzkości, grubość monety — przedstawia czasy przedhistoryczne. A teraz na ów znaczek naklejmy inny, oznaczający najbliższe dziesięć tysięcy lat cywilizacji — i tak dalej bez przerwy, dopóki nie utworzy się stos wysokości takiej, jak wieża Opactwa Westminsterskiego. I nawet teraz stos ten niedostatecznie ilustruje długość wieków przyszłych, rozpościerających się przed ludzkością, o ile nie przetnie ich biegu jakiś wypadek nieoczekiwany. *Grubość pierwszego znaczka — to przeszłość cywilizacji, kolumna wyższa od Westminsteru — to jej przyszłość.* Lub inaczej: pierwszy znaczek oznacza to, co ludzkość już osiągnęła i czego już dokonała; stos wyższy od Opactwa oznacza to, czego może jeszcze dokonać, jeśli przyszłe zdobycze będą proporcjonalne do czasu jej istnienia.

Jeśli chodzi o przeszłość, to postęp nie był tylko proporcjonalny do czasu. W pewnych dziedzinach przynajmniej — np. w technice — posuwamy się naprzód w coraz to rosnącym tempie. Wkład kolejnych pokoleń nie jest jednakowy, lecz wzrasta nieustannie w postępie geometrycznym, tak iż cywilizacja materialna wzrasta obecnie bardziej w ciągu jednego

pokolenia, niż w początkowych swych epokach w ciągu lat tysiąca. Gdyby ten coraz szybszy wzrost miał trwać podczas całej astronomicznej przyszłości Ziemi, nie podobna sobie wprost wyobrazić, jaką szybkość osiągnąłby ostatecznie przed wygaśnięciem życia na Ziemi. Łatwo jednak przytoczyć liczne czynniki, które powinny niezadługo tempo to zwolnić.

Musimy również pamiętać, że nie można liczyć na tak długą przyszłość z pewnością całkowitą. Ludzkość, jak i osobnika, spotkać może nieszczęśliwy wypadek. Zdarzyć się mogą zderzenia ciał kosmicznych; skurczenie się Słońca do stanu białego karła może zamrozić życie ziemskie; wybuch w postaci gwiazdy Nowej może je spalić na popiół. Wypadek może zamienić naszą wieżę ze znaczków pocztowych w uciętą kolumnę o znacznie mniejszej wysokości. Lecz nawet w tym przypadku prawdopodobne przyszłe życie ludzkości liczy się na *miliardy* lat. Jeśli chodzi o wszelkie wnioski realne, wystarczy najzupełnie twierdzenie, że przyszłość naszej rasy na Ziemi rozciąga się nieporównanie dalej niż możemy to sobie wyobrazić.

Jeśli spojrzymy na to, czego nas uczy astronomia z punktu widzenia przestrzeni, to odnosimy wrażenie melancholijnej wyniosłości i przygniatającego ogromu; z punktu widzenia czasu widzimy tu możliwości i nadzieje niemal nieograniczone. Jako mieszkańcy cywilizowanej Ziemi żyjemy na samym początku czasów: *przyszliśmy na świat w pierwszych brzaskach świtu i dzień prawie niewyobrażalnie długi rozpościera się przed nami* — dając nam możliwość osiągnięcia nieskończonego niemal rozwoju. Potomkom naszym z dalekich wieków przyszłych, spoglądającym wstecz, czasy obecne wydawać się będą mglistym porankiem dziejów świata; nasi współcześni — mrocznymi, bohaterskimi widmami, które przedzierały się przez gęstwinę niewiedzy, błędu i zabobonu — ku prawdzie, ku okiełznaniu sił przyrody, ku uczynieniu świata godną siedzibą ludzkości. Zbyt gęste jeszcze mgły nas otaczają, byśmy mogli wyobrazić sobie nawet w przybliżeniu, jak świat nasz będzie przedstawiał się tym, którzy przyjdą po nas i będą go widzieli w pełnym świetle dnia.

Lecz nawet w obecnym słabym świetle dostrzegamy w tym, co nam przynosi astronomia, posłannictwo nadziei dla rasy ludzkiej — lecz i odpowiedzialności jej członków: odpowiedzialności, gdyż kreślimy dziś plany i kładziemy podwaliny pod przyszłość bardziej odległą, niż możemy to sobie wyobrazić.

BIELCIEKA

Wyższej Szkoły Politechn.-Wych.

I. inw. - 1255

SKOROWIDZ

- α Centaura, jasność i masa, 48,
193, 210, 212
odległość, 29, 32, 41
układ, 48, 193, 209, 212, 253
- α cząstki, 133, 147, 166 oraz tabl.
XXV i XXVI
- α Herkulesa, 190, 204
- α Lutni, p. Wega
- α Niedźwiadka, p. Antares
- α Oriona, p. Beteigeuze
- α Orła, p. Altair
- α promienie, 133, 147
- α Psa Małego, p. Procjon
- α Psa Wielkiego, p. Syriusz
- Absolutna (bezwzględna) wielkość
gwiazdowa, 208
- Absolutna (bezwzględna) tempera-
tura, 120
- Absorbcja światła w przestrzeni,
19, 25, 65 i nast.
- Absorbcyjne prążki i pasma
w widmie, 35, 152, 293
- A d a m s J. C., 16
- A d a m s W. S., 62, 186, 300
- Aktynouran, 173
- Akwaridy, 287
- Altair (α Orła), 198, 209
- A n d e r s o n C. D., 141
- Andromeda, Wielka Mgławica M
31, 26, 73—75 oraz tabl. V, X,
XVII
masa, 80, 81
odległość, 26, 74
rozmiary, 26
ruch obrotowy, 81
- Andromedidy, 286
- Ångström (jednostka), 182
- Antares (α Niedźwiadka), 190, 204,
205, 209, 222
budowa wewnętrzna, 205, 222
- Antoniadi, 295
- Apertura teleskopu p. Otwór te-
leskopu
- Arystarch z Samos, 2, 12
- Arystoteles, 2, 5
- Asteroidy p. Planetoidy
- Aston F. W., 130
- Atkinson, 167
- Atmosfera, księżyc, 237, 291, 292
planet, 237, 291 i nast.
Słońca, 184, 185, 237
Ziemi, 236, 296, 297, 307
- Atomistyczna teoria, 110 i nast.
- Atomowe ciężary, 128
- Atomowe jądra, 125, 136 i nast.
budowa, 131, 136 i nast.
rozmiary i masa, 126
rozpad, 132 i nast.
- Atomowe liczby, 127
- Atomy, 110 i nast., 151 i nast.
orbity elektronowe, 126, 154
i nast.
- β cząstki, 133, 134, 147, 223 oraz
tabl. XXV i XXVI
- β Lutni, 49, 54
- β promienie, 133, 147, 224
- β Woźnicy, 54, 57
- B. D. 6° 1309, p. P l a s k e t t a
gwiazda
- B a b c o c k, 81
- Bacon Roger, 1

- Barwy gwiazd 190, 206
 Beals C. S., 187
 Becker, 137
 Becquerel H., 132
 Beda, 6
 Bentley, 238
 Bessel F. W., 29
 Beteigeuze (α Oriona), 190, 204, 209
 Bezwzględna temperatura, 120
 Bezwzględna wielkość gwiazdowa, 208
 Bickerton A. W., 272, 273
 Białe karły, 211, 222, 231, 233, 264
 Bieli kometa, 286
 Blackett P. M. S., 137, 141
 Błękitne gwiazdy, 62, 190, 256
 Bodego prawo, 267
 Bohr Niels, 126, 151, 154, 156
 Bok, 68
 Bolidy, 284
 Bothe, 137
 Bowen J. S., 148
 Browna ruchy, 120
 Bruno Giordano, 3, 318
 Budowa układu słonecznego, 14 i nast., 266 i nast., 277, 307
 Bodego prawo, 267
 Kopernika układ, 3, 4, 5, 27
 Ptolemeusza układ, 2, 3, 4, 5, 27
 Buffon G. L. L., 268, 269, 272
 Bunsen, 36

 Capella (Koza), 209
 Cassini D., 17
 Cefeidy, gwiazdy zmienne, 56 i nast., 61, 73, 76, 231, 251
 mechanizm zmienności, 232, 233
 Ceres, 15
 Chadwick J., 137
 Chamberlin T. C., 273
 Chandrasekhar, 233

 Chaos pierwotny,
 ewolucja, 239, 243, 268, 269
 gęstość, 243
 Charlier, C. V. L., 69
 Chemiczny skład gwiazd, 35, 186
 Słońca, 184
 Ziemi, 123
 Ciało doskonale pochłaniające, 149, 150, 182, 183, 193
 Ciąg główny gwiazd, 210, 220, 221, 230, 233
 Ciekłe masy wirujące, 257 i nast.
 Ciepła śmierć, 313
 Ciepła promieniowanie, 145, 188
 przenoszenie się wewnątrz gwiazdy, 224
 Ciepło, natura, 116
 wpływ na budowę cząstek złożonych, 164
 Ciśnienie, gazu, 113
 promieniowania, 146, 221
 promieniowania w gwiazdach, 223
 wewnątrz gwiazd, 221, 223
 Cowling, 225
 Crookes W., 124
 Cykle i epicykle (Ptolemeusza), 2, 3
 Cykliczne procesy w przyrodzie, 309, 313
 Czasowa skala, 174, 175, 229 i nast., 322
 Cząsteczki, 111
 ekwipartycja energii, 118
 prędkości, 113, 114, 121, 246, 250
 rozmiary, 112
 zderzenia, 117
 Czerwone olbrzymy, 202, 210, 231, 233, 256, 264
 Częstość drgań promieniowania, 145, 152
 Człowieka życie na Ziemi,
 przeszłe, 11, 12
 przyszłe, 320 i nast.

- δ Cefeusza, 56
 Darwin G., 262
 de Sitter, 89, 100
 kosmologia, 89 i nast., 100
 Demokryt, 110
 Deuteron, 167, 230
 Dirac P. A. M., 142
 Długookresowe zmienne, 57, 61, 202
 Długość fali promieniowania, 144, 145, 160 i nast.
 Dodatni elektron, 140 i nast.
 Dopplera zjawisko, 37
 Droga swobodna cząsteczek, 114, 224
 Droga swobodna promieniowania, 224
 Dyfrakcyjna siatka, 144

 ε Woźnicy, 205
 Eddington A. S., 69, 93, 95, 219, 226, 235, 244
 Einstein A.,
 (grawitacja), 87, 192
 (kosmologia), 88 i nast., 99
 (mechanika), 94
 (teoria kwantów), 153, 157
 (teoria względności), 84 i nast., 192
 Ekwipartycja energii w gazie, 118
 Elektromagnetyczna energia, 143 i nast.
 Elektron, 124
 dodatni, 140 i nast.
 Elektronowe orbity w atomach, 125, 126, 154 i nast.
 Elektryczność dodatnia i ujemna, 124
 przyciąganie i odpychanie, 124
 Elipsa (określenie), 46
 jako orbita grawitacyjna, 46 i nast., 260
 Ellis C. D., 162
 Emden R., 216, 219

 Energia, 114, 143
 masa, 146
 użyteczność, 310 i nast.
 zachowanie, 115, 117, 118, 310
 źródła w gwiazdach, 179, 229 i nast.
 Epicykle, 2, 3
 Eratostenes, 29
 Erg (określenie), 115
 Eros, 31
 Ewolucja, gwiazd, 228 i nast.
 z chaosu pierwotnego, 239, 243, 268, 269

 Falowa mechanika, 155
 Faraday, M., 149
 Fazy, Księżyca i planet wewnętrznych, 4, 5
 Filolaos, 2
 Fizeau H. L., 192
 Fluorescencja, 311
 Fotochemiczne prawo, 153
 Fotoelektryczne zjawisko, 154
 Fotografia w astronomii, 39
 Foton (określenie), 153
 Fraunhofer J., 35, 152
 Friedmann A., 91

 γ promienie, 133, 135, 146, 147, 165
 Galaktyczna długość i szerokość, 18, 20
 Galaktyczne mgławice, 25 oraz tabl. VII, VIII i IX
 Galaktyczny układ gwiazdowy, 18 i nast.
 budowa i rozmiary, 21, 65 i nast.
 liczba gwiazd, 72
 masa, 72
 ruch obrotowy, 68 i nast.
 Galaktyka, p. Galaktyczny układ
 Galileusz, 1 i nast., 14, 17, 23
 Galle J. G., 16

- G a m o w, 167
 G a p o s z k i n, 205
 Gazowe bryły wirujące, 247, 259
 Gazowy stan, ekwipartycja energii, 118
 natura, 112
 G e n t i l i, 302
 Geodezja, 29
 Geologia, 169 i nast., 178
 Geologiczny zegar, 170, 171
 G e r a s i m o w i c h B. P., 296
 Gęstość, gwiazd, 204, 213, 214
 materii w przestrzeni, 88, 244
 mgławic, 249
 Giroskopowy ruch, 69
 Głos, 113
 G r a h a m T., 119
 Grawitacji prawo, 42
 Grawitacyjna niestałość równowagi, 238 i nast., 251
 Gromada lokalna gwiazd, 67, 71
 Gromady, gwiazd, 41, 252
 kuliste, 57, 63, 74, 252 oraz tabl. XIV
 mgławic, 76, 77, 79
 otwarte, 41, 253
 Gwiazdozbiory, 40
 Gwiazdy,
 barwy, 190, 206
 ewolucja, 228 i nast.
 gęstości, 204, 213, 214
 jako ciała czarne, 183, 192, 193
 jasności, 50, 201, 210 i nast.
 liczba, 72
 masy, 48, 49, 192, 200, 212
 liczba, 72
 masy, 48, 49, 192, 200, 212
 narodziny, 250 i nast.
 odległości, 27, 31 i nast., 58
 podwójne, p. Podwójne gwiazdy
 rozmieszczenie, 18 i nast., 65
 i nast., 198, 199
 ruch obrotowy, 38, 255
 Gwiazdy,
 ruchy, 41, 70
 skład chemiczny, 35, 123
 średnice, 191, 204, 210 i nast.
 temperatury powierzchniowe, 181, 187, 202, 203
 wewnętrzne, 214, 220, 222, 230
 wewnętrzna budowa, 214 i nast. 223
 widma (p. również Przesunięcia), 35, 51, 123, 182 i nast., 186, 217 oraz tabl. XV i XVI
 wiek, 233, 234
 zmienne, 55 i nast., 232
 H. D. 1337, p. P e a r c e'a gwiazda
 H a l l e y E., 170
 H a l l e y a kometa, 284, 287
 H e l, 123, 127
 atom, 128, 131, 148
 H e l m h o l t z H., 177, 215
 H e n d e r s o n T., 29
 H e r s c h e l J., 18, 19
 H e r s c h e l W., 16, 18 i nast., 26, 65, 66, 77
 H e r t z s p r u n g E., 63, 206
 Hesperos, 15
 Hiperbola, 46
 H o l m e s A., 171
 H u b b l e E., 73, 74, 76, 79, 88, 251
 H u g g i n s W., 36
 H u m a s o n M. L., 79
 H u y g h e n s C., 17
 H y a d y, 253
 Interferometr, 191, 204
 Izotopy, 130, 132
 Jasność rzeczywista gwiazd, 50, 201, 210 i nast.
 Jądra atomowe, p. Atomowe jądra
 Jądra mgławic planetarnych, 205, 209, 211, 212

- Jeffreys H., 175, 273, 276, 277, 289, 304
 Jonizacja we wnętrzu gwiazd, 217
 Jowisz, 4, 15, 16, 23, 24, 303 i nast.
 atmosfera, 303, 305, 306
 budowa wewnętrzna, 304
 gęstość, 303, 305
 masa, 46
 powstanie, 277, 280
 rozmiary, 15, 305
 ruch obrotowy, 288, 304
 satelity, 4, 277, 279
 temperatura, 306

 K' warstwa elektronowa w atomach, 158, 220
 Kanaly na Marsie, 301
 Kant I., 268
 Kapteyn J. C., 21 i nast., 65, 66
 Karły białe, 211, 222, 231, 233, 264
 Karły i olbrzymy, 206
 Kelvin lord, 177, 215
 Kepler J., 5, 47, 266
 Kermack i McCrea, 102
 Kirchhoff J., 36
 Kocky, 174
 Komety, 275, 284
 pochodzenie, 275
 Komora Wilsona, 135, 136
 Kondensacje w gazie, 239 i nast.
 Konfiguracje bryły wirującej, 247, 258, 259, 269, 270
 Koniec Wszechświata, 313, 316
 Kopal, 54
 Kopernik, 3 i nast.
 Kopernikańska astronomia, 3 i nast., 23, 28
 Kosmiczna stała, 99
 Kosmiczne promienie, 138 i nast.
 Kosmologia Einsteina, 88 i nast., 99
 Friedmanna-Lemaître'a, 92
 Milne'a, 101 i nast.
 de Sittera, 89 i nast., 100

 Kosmologiczna zasada Milne'a, 101
 Kothari, 224
 Koza (Capella), 209
 Kramers, H. A., 226, 227
 Krüger 60, 48, 49, 197, 200, 209, 212
 układ, 197
 Krzywizna przestrzeni, 87, 99
 Księżyc, 3, 237, 278, 293
 atmosfera, 237, 238, 291
 narodziny, 278
 obrót, 288
 odległość, 31
 orbita, 31, 44, 287
 przyszłe losy, 287, 288, 289
 temperatura, 290, 291
 Kuiper, 42, 54
 Kuliste gromady, 57, 63, 74, 252
 oraz tabl. XIV
 kształt, 252
 pochodzenie, 250, 251
 Kuliste mgławice, 247
 Kwant (określenie), 152
 Kwantów teoria, 149 i nast.

 L warstwa elektronowa w atomie 158, 220
 Lalande 21185, 195
 Lane'a prawo, 215
 Laplace P. S., 269
 hipoteza mgławicowa, 269 i nast.
 Lauriston i Fowler, 148
 Leavitt, miss, 58
 Lemaître G., 92, 97, 102
 Lenard P., 124
 Leonidy, 287
 Leukipp, 110
 Leverrier U. J. J., 16, 17
 Lindblad B., 69, 72
 Lippershey, 1
 Lokalny układ gwiazdowy, 67, 71
 Lowell P., 17
 Lucifer, 15

- Lukrecjusz, 110, 121
 Lutnia, mgławica pierścieniowa
 N. G. C. 6720, 205 oraz tabl. VI
 Lyot, 293, 302

M warstwa elektronowa w atomach, 158, 220
 Mc Crea W. H., 102
 Mach, 94
 Mc Vittie, 105
 Magellana Obłoki, 75, 251 oraz tabl. XIII
 Mały Obłok Magellana, 58, 63, 75
 Marius, 26
 Mars, 14, 15, 31, 32, 292, 299 i nast.
 atmosfera, 292, 293, 300
 orbita, 14, 15, 276
 powstanie, 280
 ruch obrotowy, 288
 satelity, 280
 temperatura, 300
 życie na M., 302, 308
 Mas i jasności prawo, 226
 Masa (określenie), 44
 Masy gwiazd, 48, 49, 192, 200, 212
 Materia, unicestwienie, 141, 142, 148, 178, 179, 309, 315
 Maxwell J. C., 118, 119, 149
 Mayall i Allen, 81
 Mayer R., 177
 Mechaniczne skutki promieniowania, 160 i nast.
 Merkatora rzut, 102, 104
 Merkury, 4, 5, 14, 15, 17, 32, 294
 atmosfera, 295
 brak satelitów, 17, 277, 280
 orbita, 15, 87, 276
 powstanie, 277, 280
 ruch obrotowy, 288
 temperatura, 294
 życie na M., 294
 Meteoryty, 175, 275, 284
 Meyer S., 174
 Mezon, 141, 142

 Mgławice, galaktyczne, 25 oraz tabl. VII, VIII i IX
 Mgławice, klasyfikacja, 24
 Mgławice, planetarne, 24, 205, 211
 Mgławice, pozagalaktyczne, 23, 73 i nast., 245
 masy, 80 i nast.
 odległość i rozmiary, 26, 74, 75 i nast., 81
 pochodzenie, 245 i nast.
 ruch obrotowy, 81, 247 i nast., 252
 ruchy, 78, 79, 82
 M 31, p. Andromeda, Wielka Mgławica
 M 33, 75, 81 oraz tabl. XVIII
 N. G. C. 4594, 80, 248 oraz tabl. XXI
 Mgławice, spiralne, 26
 Mgławicowa hipoteza Laplace'a, 269 i nast.
 Michelson A. A., 85, 192
 Michelsona i Morleya doświadczenie, 85
 Międzygwiazdowa materia, 25, 65 i nast.
 Międzygwiazdowa przestrzeń, temperatura, 120
 Mikołaj z Kuzy, 2
 Millikan R. A., 140, 148
 Milne R. A., 101 i nast.
 Mimośród elipsy (określenie), 47
 Mleczna Droga, 3, 18 i nast., p. również Galaktyczny układ
 Moment pędu (obrotowy), jego zachowanie, 247, 255, 270 układu słonecznego, 269
 Moulton F. R., 273
 München 15040, 32, 194

 Nadfioletowe promieniowanie, 145, 163, 188, 189
 Narodziny, p. Powstanie,
 Neher H. V., 140

- Neptun, 14, 15, 49, 277, 306
 obrót, 288
 odkrycie, 16, 17
 powstanie, 277, 280
 satelita, 280
 Neptun (atom), 128
 Neutrino, 141, 143
 Neutron, 131, 132, 138, 141
 Newton I., (kosmogonia), 239,
 245, 246, 267, 268
 (mechanika), 84, 85
 (optyka), 34, 35
 (prawo grawitacji), 42 i nast.,
 87
 Nieciągłość, w fizyce, 150 i nast.
 materii, 110
 Nieprzeźroczystość materii gwia-
 zdowej, 225
 Nieregularne zmienne, 56, 57
 Niestalość równowagi, dynamicz-
 na, 93, 96
 gravitacyjna, 238 i nast., 251
 Niewidzialne promieniowania,
 145, 188
 Nowa Orła, 187, 202
 Nowe gwiazdy, 61, 74, 187, 320
 Nukleon, 141
- o₂ Erydanu, 200, 209, 212, 255
 O-typu widmowego gwiazdy, 186,
 202
 o Wieloryba, 57, 204, 211, 254, 264
 Obracające się bryły, ciekłe, 257
 i nast.
 gazowe, 247 i nast.
 Obracające się mgławice, 80, 81,
 248
 układy gwiazd, 68 i nast. 249
 Obrotowy ruch, ciał niebieskich,
 256
 Galaktyki, 68 i nast., 249
 gwiazd, 38, 255
 mgławic, 80, 81, 248
 Occhialini, 141
- Odległości, gromad kulistych, 63,
 65
 gwiazd, 27, 31 i nast., 58
 mgławic, 74 i nast.
 Odwrotnych kwadratów prawo
 (w elektryczności), 155
 (w grawitacji), 44, 47
 (w optyce), 19, 28
 Olbrzymy, budowa wewnętrzna,
 204, 222, 230, 233
 Olbrzymy i karły (określenie), 206
 Olów «promieniotwórczy», 172
 Oort J. H., 68, 70
 Orbita, Księżyca, 31, 44, 287
 Ziemi, 31, 32, 45
 Orbity, gwiazd, 70
 gwiazd podwójnych, 47, 48, 52,
 260, 263
 planet, 15, 45, 47, 174, 267, 276,
 281, 287
 Oresme, 2
 Orion, gwiazdozbiór, 27, 40
 Osady, 170, 171
 Otwarte gromady gwiazd, 41, 253
 kształt ich, 253
 Otwór teleskopu, 22
- Paneth F., 175
 Panna, mgławica N. G. C. 4594,
 80, 248, oraz tabl. XXI
 Paralaksa spektroskopowa, 62
 Paralaktyczne pomiary odległo-
 ści gwiazd, 28, 59, 60
 Paralaktyczny ruch (określenie),
 28
 Parowanie, 111
 Pauliego zasada, 157
 Payne, miss, 186
 Pearce'a gwiazda, 49, 209
 Perrin J., 120
 Perseidy, 287
 Pettit, 290
 Phosphoros, 15
 Piazzì G., 15

- Pickering W. H., 148
 Pierścienie (warstwy) elektronowe w atomach, 159, 218, 219
 Pierścieniowa mgławica w Lutni, 205 oraz tabl. VI (N. G. C. 6720)
 Pierwotny chaos, p. Chaos pierwotny
 Planck M., 150, 152, 157, 182
 Plancka stała, 152, 153
 Planet ruchy, 45, 47, 276, 281
 Planetarne mgławice, 24, 205, 211
 Planetarne orbity, 4, 15, 45, 47, 267, 276, 281, 287
 Planetezymale, 274
 Planetoidy, 15, 267, 277, 283, 287
 Ceres, 15
 Eros, 31
 odległości, 267
 pochodzenie, 283, 287
 Planety, atmosfery, 291 i nast.
 powstanie (teoria Laplace'a) 270
 (teoria przyływowa), 273, 274, 277, 282
 rozmieszczenie, 14, 267, 277
 ruchy i orbity, 4, 15, 45, 47, 267, 276, 281, 287
 we Wszechświecie, 49, 282, 283
 Plaskett J. S., 70
 Plasketta gwiazda, 49, 55, 200, 202, 203
 Plato, 267, 268
 Plejady, 25, 27, 40, 253
 Pluton, 17, 267, 276, 303, 307
 powstanie, 276, 280
 Pluton (atom), 128
 Podwójne gwiazdy (układy), 40, 42, 52, 53
 masy, 48, 55
 orbity, 47, 48, 52, 260, 263
 powstanie, 254 i nast.
 spektroskopowe, 51, 52
 zaćmieniowe, 53, 56, 57
 Poincaré H., 69, 70, 214 i nast.
- Poincaré'go twierdzenie, 214, i nast., 219
 Polaryzacja światła, 294
 Poranna gwiazda, 15
 Porównawcze widma, 38, 51
 Powierzchniowa temperatura gwiazd, 181, 187, 202, 203
 planet, 290, 294, 298, 300, 306 i nast.
 Słońca, 183
 Powstanie, gwiazd, 250
 mgławic, 245 i nast.
 planet, 268 i nast., 275 i nast., 282
 satelitów, 278 i nast.
 układów podwójnych, 254 i nast.
 układu słonecznego, 266 i nast., 274 i nast.
 Pozagalaktyczne mgławice, 23, 73 i nast., 245
 budowa, 26, 73 i nast.
 ewolucja, 247 i nast.
 gęstości, 249
 gromady, 77 oraz tabl. XIX i XXII
 liczba, 76
 masy, 80 i nast.
 obróć, 81, 247 i nast., 252
 odległości, 74 i nast.
 powstanie, 245 i nast.
 prędkości, 78, 79
 rozmiary, 26, 75, 81
 ruchy, 78, 79, 82
 spiralne, 26
 widma, 77, 78 oraz tabl. XX
 Pozytron, 140 i nast.
 Prawo cefeid, 58, 59, 74
 Prawo masy i jasności (Eddington), 226
 Prędkości gwiazd, 33, 37, 41, 70
 Procjon, 48, 196, 209, 210, 212, 253 i nast., 264
 Proctor R. A., 273

- Promieniotwórczość, 132 i nast., 165, 178, 179
Promieniotwórczy zegar, 172
Promieniowanie, 143 i nast., 182
 ciśnienie, 146, 221
 ciśnienie wewnątrz gwiazd, 221, 223
 długość fali, 144, 145, 160 i nast.
 gwiazd, 182, 188, 189, 202, 203, 264
 kosmiczne 138 i nast.
 masa, 146, 221
 przenikliwe, 139, 153
 rozkład na różne długości fali, 150, 182, 183
 Słońca, 55, 175 i nast., 202
 skutki mechaniczne, 160 i nast.
 w przestrzeni zamkniętej, 149, 157
 widzialne i niewidzialne, 145, 161, 188, 189
Proton, 131, 140, 141
Proxima Centauri, 32, 34, 41, 105, 253
Przemiany pierwiastków, 133, 135 i nast. 179
Przenikliwe promieniowania, 139, 148, 153
Przenoszenie energii w gwiazdach, 224
Przestrzeń, rozmiary 89, 95, 96
 różne rodzaje, 98 i nast.
Przesunięcia linii widmowych (de Sitter), 91
 (Doppler), 37, 77 i nast.
 (Einstein), 87, 192.
Przyływowa teoria powstania układu słonecznego, 273 i nast.
Przyływów tarcie, 261 i nast., 288, 289
Przyływy, powstawanie, 261, 262
 w gwiazdach podwójnych, 53, 261
Ptolemeusz, 2 i nast., 27, 28
Pustka przestrzeni kosmicznej, 107, 235
Pytagoras, 2, 3, 5
Radialne prędkości, 37, 52
Radiofonia, 34
Ramzes II, 171
Rayleigh lord, 111
Redman H. O., 208
Regener, 138
Roche E., 285
Roche'a granica, 285 i nast.
Roentgena promienie, 139, 145, 162, 223
Rok świetlny, 21
Royds T., 133
Rozmiary,
 układu galaktycznego, 64 i nast.
 układu słonecznego, 31, 32, 266
 Wszechświata, 89, 94, 95
 Ziemi, 29
Rozszczepienie mas ciekłych wirujących, 258
Rozszerzanie się Wszechświata, 91 i nast., 243
Russell H. N., 174, 184 i nast., 206
Russella schemat, 208, 209, 213, 222
Rutherford E., 124 i nast., 133, 166, 173
S Dorado, 201, 202, 205
Satelity, odkrycie, 17
 powstanie (Laplace), 270
 (teoria przyływowa), 278 i nast.
Saturn, 14, 15, 17, 303 i nast.
 atmosfera, 303 i nast.
 gęstość, 304, 305
 masa, 46
 pierścienie, 69, 284, 286
 powstanie, 277, 280

- Saturn,
 ruch obrotowy, 288
 satelity, 17, 276 i nast.
 temperatura, 306
- Schiaparelli, 295
- Schönberg, 233
- Searses F. H., 62, 212, 213, 221
- Secchi, 36
- Sedgwick W. F., 273
- Shapley H., 64, 70, 77, 284
- 70 Wężownika, 49
- Siła świetlna (jasność rzeczywista) gwiazd, p. Jasność rzeczywista
- Sinclair Smith, 82
- Skrócenie perspektywiczne orbit, 53, 55
- Słoneczne widmo, 34, 35, 152, 183
- Słoneczny układ, budowa (prawo Bodego), 267
 (w teorii Kopernika), 3 i nast., 28
 (w teorii Ptolemeusza), 2 i nast., 28
- Słoneczny układ, atmosfery, 291 i nast.
 orbity, 15, 45, 47, 268, 276, 281, 287
 pochodzenie, 266 i nast., 274 i nast.
- Słońce, jako ciało doskonale czarne, 183
 obróć, 38, 39
 odległość od Ziemi, 31
 położenie w układzie galaktycznym, 20, 22, 65, 71
 promieniowanie, 55, 175 i nast., 202
 przyszłość, 308, 319, 320
 siła świetlna, 55
 temperatura powierzchniowa, 183
 temperatura wewnętrzna, 216, 219
- Słońce,
 utrata masy, 178, 179, 229
 wewnętrzna budowa, 216 i nast.
 wiek, 175 i nast., 229 i nast.
- Soddy F., 133
- Spadające gwiazdy, natura, 284
 pochodzenie, 285
 roje, 287
- Spektroskop, 34
- Spektroskopia, 34 i nast.
- Spektroskopowa metoda, badania ruchu obrotowego, 38
 wyznaczania prędkości radialnych, 37
- Spektroskopowe, gwiazdy podwójne, 51
 paralaksy, 62
- Spencer Jones, 31
- Spiralne mgławice, 26
- St. John, 297
- Strömberg, 71
- Struve O., 54
- Struve W., 28
- Strzelec, chmura gwiazdowa, 65
 oraz tabl. IV
- Supernowe, 62, 201, 202
- Syriusz, 28, 50, 190, 195, 202, 209, 212
 układ, 195, 253, 254, 264
- Syriusz B, 48, 87, 192, 195, 209, 212, 223, 233
- 61 Łabędzia, 29, 49, 196, 200, 209
- Średnice gwiazd, 191, 210 i nast.
- Światło, długość fali, 145
 natura i skład, 35, 145
 prędkość, 21, 33
- Tammann, 297
- Taylora kometa, 286
- Teller, 167
- Temperatur skala, 120
- Termiczne promieniowanie, 163

- Termodynamika, 310 i nast.
dwie zasady, 310 i nast.
- Termo-jądrowe reakcje, 166, 230
i nast.
- Tęcza, 34, 144
- Thomson J. J., 124
- Trójkąt, mgławica *M* 33, 75, 81
oraz tabl. XVIII
- Trümplera gwiazdy, 50, 87,
200
- Tytan (księżyc Saturna), 17
- Układ... (p. pod odpowiednim
przymiotnikiem)
- Unicestwienie materii, 141, 142,
148, 178, 179, 309, 315
- Uran, 14 i nast., 49, 306
obrót, 288
odkrycie, 16
powstanie, 277, 280
satelity, 17, 280
temperatura, 306
- Uranu atom, 128
rozpad, 146, 172, 174, 178
- Użyteczność energii, 310 i nast.
- V Okrętu, 209
- van Maanen A., 24, 205, 211
- van Maanena gwiazda, 198,
205, 206, 209, 212, 223
- Warstwy elektronowe w ato-
mach, 159, 218, 219
- Wega (α Lutni), 28
- Wenus, 4, 14, 15, 29, 31, 32, 296
i nast.
atmosfera, 296 i nast.
brak satelitów, 17, 277, 280
fazy, 4
obrót, 288
powstanie, 277, 280
temperatura, 298
życie, 298, 299
- Węgiel, spalanie, 176
- Widma, gwiazd, 35, 51, 123, 182
i nast., 186, 217 oraz tabl. XV
i XVI (p. również Przesunię-
cia)
- Widmo, 34, 123, 144, 145
słoneczne, 34, 35, 152, 183
- Widmowa analiza, 34 i nast.
- Widmowe typy, 186 oraz tabl. XV
związek z masą gwiazdy, 213
związek z temperaturą po-
wierzchniową, 187
- Widzialne światło, 145, 161, 163,
188, 189
- Wieczorna gwiazda, 15
- Wiek gwiazd, 233, 234
- Słońca, 175 i nast., 229 i nast.
- Wszechświata, 96, 174, 228
i nast., 319 i nast.
- Ziemi, 10, 12, 170 i nast.
- Wielka Niedźwiedzica,
gromada gwiazdowa, 40, 253
gwiazdozbiór, 27, 40
- Wielkie mgławice, p. Pozagalak-
tyczne mgławice
- Wielkość gwiazdowa absolutna,
208
- Wildt E., 298, 299, 304
- Wilson C. T. R., 135, 136
- Wise A. B., 148
- Wizualne gwiazdy podwójne,
orbity, 47, 48
pochodzenie, 254 i nast.
- Wodoru atom, 128, 147, 155 i nast.
orbity elektronowe, 125, 155
- Wodór, 127
w gwiazdach, 228
- Wolf 359, 32, 194, 201, 202, 210
- Wolfa-Rayeta gwiazdy, 202
- Worek węgla, 26
- Wright Thomas, 268
- Wright W. H., 300, 301

Wszechświat, budowa, 83 i nast.,
105

koniec, 313, 316

początek, 239, 243, 269, 270

pozorne rozszerzanie się, 91
i nast., 243

rozmiary, 89, 94, 95

wiek, 96, 319 i nast.

Wyse i Mayall, 27

Wyspowa wszechświaty, 26, 73

Względności teoria, 84 i nast.,
192

X promienie, p. Roentgena
promienie

ζ Woźnicy, 54

Zachowanie, energii, 115, 117,
118, 310

momentu pędu (ilości ruchu),
247

Zaćmieniowe zmienne, 53, 56, 57

Zanstra II., 187

Zasolenie oceanów, 170

Zero bezwzględne temperatur,
120

Ziemia,

atmosfera, 236, 296, 297, 307

jako planeta, 4, 14, 307, 308

masa, 45

orbita, 31, 32, 45

powstanie, 10, 277, 280

przyszłość, 319 i nast.

rozmiary, 29

układ Z.-Księżyc, 31, 287, 288

wiek, 10, 12, 170 i nast.

Zmienne gwiazdy, 55 i nast., 232

w gromadach, 56, 58, 230

Zodiakalne światło, 276

Życie, gwiazd, p. Gwiazdy

na Marsie, 302, 308

na Merkurym, 295

na Wenerze, 298, 299, 308

na Ziemi, 11, 12, 297, 307, 319
i nast.

w układzie słonecznym, 308

we Wszechświecie, 316 i nast.

BIBLIOTEKA

Wyższe Szkoły Politechniczne - Wych.



27779 1/2