

gblunobchuf  
MF 16 814

M A T I C A H R V A T S K A  
P R I R O D O S L O V N A K N J I Ž N I C A  
U R E D U J E H R V A T S K O P R I R O D O S L O V N O D R U Š T V O

*Naslov originala:*

THE UNIVERSE AROUND US

By  
SIR JAMES JEANS

TISAK "TIPOGRAFIJE" GRAFIČKO - NAKLADNOG ZAVODA U ZAGREBU

SIR JAMES JEANS

SVEMIR ZVIJEZDE  
ATOMI

PREVEO PREMA IV. IZDANJU:  
L. RANDIĆ

БИБЛИОТЕКА  
Јована Д. Симовљевића  
БР. 142

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
НБ. Бр. 30.633  
БИБЛИОТЕКА

ZAGREB 1947

M A T I C A H R V A T S K A



## PREDGOVOR

*Ova je knjiga jednostavno napisan kratki prikaz metoda i rezultata modernog astronomskog istraživanja, opažaćkog i teoretskog. Posebno je obraćena pažnja problemima kozmogonije i razvoja, zatim općem ustrojstvu svemira. Bio mi je ideal, možda nikad potpuno dostiživ, da napišem knjigu sasvim razumljivu čitaocu, kojemu nedostaje naročitog naučnog znanja.*

*Dijelovi knjige obuhvaćaju isto područje kao i razna predavanja, koja sam nedavno održao na sveučilištu i drugdje, pa uz to i predavanja koja sam prošle jeseni čitao na radiju. Pokazalo se potrebnim da se sve napiše ponovo, pa je vrlo malo rečenica ostalo u svom prvotnom obliku, ali oni, koji su tražili da objavim svoja predavanja održana na sveučilištu, i na radiju, sve bitno u njima naći će u ovoj knjizi.*

*Dorking,  
1. svibnja 1929.*

J. H. JEANS



## PREDGOVOR ČETVRTOM IZDANJU

*U vremenu nakon trećeg izdanja ove knjige astronomija je nastavila svoje trijumfalno napredovanje. Najznačajnije je možda otkriće, da fizika atomskih jezgara ne samo da dostatno tumači zračenje Sunca i zvijezda, nego može razjasniti i mnoge, do sada zagonetne, osobine zvijezda; najveći i najmanji sastojak prirode — zvijezda i atomska jezgra — sastali su se i osvijetlili jedan drugoga, i omogućili da to oboje razumijevamo. To i drugi izvanredni napretci zahtijevali su da se mnogo izmijeni i doda ovoj knjizi. Veliki dio nje napisan je sasvim nanovo, dok je većina ostalog bitno popravljena.*

Dorking,  
Rujna 1943.

J. H. JEANS

## UVOD

### STUDIJ ASTRONOMIJE

Uvečer 7. siječnja 1610., dana značajnog za ljudski rod, sjedio je Galileo Galilei, profesor matematike na sveučilištu u Padovi, pred dalekozorom što ga je sam napravio.

Već je više od tri stoljeća odkad je Roger Bacon, izumitelj naočara, objasnio kako se može načiniti dalekozor, »koji bi nam po volji približio zvijezde«. On je pokazao kako bi se mogla neka leća tako izbrusiti, da ona skupi sve zrake svjetlosti što na nju padnu iz dalekog predmeta; pa, prelomivši ih, ujedini u žarištu i onda dovede kroz zjeleću na mrežnicu. Takav instrument povećao bi snagu ljudskog oka, baš kao što slušalica povećava snagu ljudskog uha skupljajući valove zvuka, koji padnu na veliki otvor, savije ih i dovede kroz slušnu cijev na bubnjić.

No istom 1608. konstruirao je flamanski optičar Lippershey prvi dalekozor. Čim je Galileo čuo o tom instrumentu, potrudio se da otkrije principe njegove konstrukcije, i ubrzo je napravio dalekozor koji je bio mnogo bolji nego original. Njegov instrument izazvao je u Italiji veliko uzbuđenje. O vrijednosti tog otkrića bile su raširene nevjerojatne priče, te su Galilea pozvali u Mletke, da ga pokaže duždu i senatu. Mletački građani mogli su tada vidjeti kako se najstariji senatori penju na najviše crkvene tornjeve, da bi gledali kroz dalekozor brodove, koji su bili tako daleko na pučini da su se mogli vidjeti samo s pomoću novog instrumenta. Dalekozor je hvatao otprilike sto puta više svjetlosti od prostog oka i, po Galilejevu tvrđenju, pokazivao je



pedeset kilometara daleki predmet kao da je udaljen samo pet kilometara.

Možda je gotovo nepotrebno reći da je to sasvim neznatno, usporedi li se s dosegom modernih instrumenata. Dalekozor na Mount Wilsonu u Kaliforniji, kojega je otvor 2,50 metra, pa je najveći što danas postoji, hvata 2500 puta toliko svjetlosti, koliko sitni Galilejev instrument, i zato 250.000 puta više svjetlosti od prostog oka. Teleskop sa dva puta većim otvorom, koji se sada postavlja u Kaliforniji, propuštati će četiri puta više svjetlosti od instrumenta s promjerom od 2,50 metra ili poprilično milijun puta više nego prosto oko.

Taj novi instrument toliko je zaokupio Galileja, da je gotovo potisnuo iz njegova duha problem o kojem je jednom mnogo razmišljao. Pred više od 2000 godina učili su Pitagora i Filolaus da Zemlja ne miruje u prostoru, nego se jedanput u 24 sata okrene oko svoje osi i tako izazivlje izmjenu dana i noći. Aristarh sa Samosa, možda najveći grčki matematičar, tvrdio je da Zemlja ne samo da se okreće oko svoje osi, nego da izvrši i godišnji obilazak oko Sunca, i to bi bio uzrok promjeni godišnjih doba.

Tada ta naučavanja nisu prihvaćena. Aristotel se očitovao protiv njih, i tvrdio je da je Zemlja čvrsto središte u svjetskom prostoru. Kasnije je Ptolomej pomoću zamršenog sustava cikala i epicikala objasnio staze planeta na nebu; po njegovu tumačenju planeti kruže oko nepomične Zemlje. Crkva je tom naučavanju dala svoju sankciju i djelotvorno mu pomogla. Doista je teško shvatiti kako bi ona mogla drukčije postupiti, jer pretpostavka, da bi se velika drama pada i otkupljenja ljudi, na kojoj je učestovao sam Sin Božji, mogla odigrati na pozornici neznatnijoj od središta svemira, izgledaše gotovo bogohulna.

Ali i u samoj crkvi nije to naučavanje bilo općenito prihvaćeno. Oresme, biskup u Lisieuxu, i kardinal Nikola Kuzanski bili su protiv njega. Potonji je 1440. godine napisao:

»Već dugo sam mislio da Zemlja ne miruje, nego se kreće kao i druge zvijezde. Meni se čini da se Zemlja svakog dana i noći okrene jednom oko svoje osi.«

Kasnije su zastupnici tih nazora navukli na se otvoreno neprijateljstvo crkve, pa je godine 1600. Giordano Bruno bio spaljen na lomači. Jedna od njegovih krivnja bila je pristajanje uz nazor o množini svjetova. On je pisao:

»Stvaranje jednog ograničenog svijeta izgleda mi nedolično božjoj dobroti i moći, kad je Bog mogao pokraj njega stvoriti još ne samo jedan već i neizmjereno mnogo drugih. Zato sam objasnio da ima neizmjereno mnogo svijetova sličnih našoj Zemlji. Kao i Pitagora, smatram Zemlju kao zvijezdu, a njoj su slični Mjesec, planeti i druge zvijezde, kojih ima bezbroj i sva su ta nebeska tijela svijetovi.«

Najopasnije je napao ortodoksno naučavanje poljski astronom Nikola Kopernik (1473—1543). U svom velikom djelu *De revolutionibus orbium coelestium* pokazao je Kopernika da je Ptolomejeva zamršena zgrada cikala i epicikala bila nepotrebna, jer se staze planeta na nebu mogu vrlo jednostavno objasniti pretpostavkom, da se Zemlja i planeti okreću oko Sunca kao oko čvrstog središta. U 66 godina, koje su protekle od izlaska te knjige, žestoko se raspravljalo o tim teorijama, ali one još nisu bile ni dokazane, ni opovrgnute. I premda su Galileja vrlo privlačile, smatrao je pametnijim zadržati svoje nazore za sebe.

Galilej je već otkrio da je njegov novi dalekozor — sredstvo, da se ispituju astronomske teorije. Čim ga je upravio na Kumovsku Slamu rasplinula se množina legendâ i bajkâ o njezinoj naravi i građi. Kumovska Slama se pokazala kao jato slabih zvijezda, koje su kao zlatni prah posute po crnoj pozadini neba. Dalji pogled broz dalekozor otkrio je pravu prirodu Mjeseca. Bilo je na njemu brda, koja su bacala sjenu, i pokazalo se da je on svijet sličan našem, kako je to tvrdio Giordano Bruno. Što dakle, ako se s dalekozorom bude moglo na neki način odlučiti između zastarjelog naučavanja, da je Zemlja središte svemira, i revolucionarne nauke, da je Zemlja samo jedno među brojnim nebeskim tijelima, koja sva kruže oko Sunca kao mušice oko plamena svijeće?



I tada Galilej uhvati Jupitra u vidno polje svoga dalekozora i spazi kako četiri mala nebeska tijela kruže oko velike mase planeta kao mušice oko plamena svijeće. Što on vidi, točna je kopija Sunčeva sistema, kako ga je Kopernik sebi dočarao, i tako zorno dokazuje da takvi sistemi u najmanju ruku nisu strani građevnom planu svemira. Već 30. siječnja 1610. piše on Belisariu Vinta-i da se ta mala tijela okreću oko daleko veće mase Jupitra »upravo kao što se Venera i Merkur, a možda i drugi planeti, okreću oko Sunca«.

Sve još postojeće sumnje, koje je Galilej mogao imati o značenju svog otkrića, nestaju 9 mjeseci kasnije, kad je on motrio Venerine mijene. On je gledao kako njezina svijetleća površina prolazi isti ciklus oblika kao i Mjesec: od srpa kroz polukrug do punoga kruga i opet natrag. Naravno, to jasno pokazuje da planet ne svijetli vlastitim svijetlom, jer bi tada morao uvijek izgledati kao puni svijetli krug. Ali i ovako su preostale još dvije mogućnosti. Kad ona ne bi svijetlila vlastitim svijetlom, a kretala bi se po Ptolomejevoj epicikli, tada nikad ne bi moglo biti rasvijetljeno više od polovine njezine površine, kao što je to istaknuo već i sam Ptolomej. Ako se pak s druge strane giblje po krugu oko Sunca, kako zahtijeva Kopernikov nazor, dok Zemlja također kruži oko Sunca, samo u većem krugu, tada bi osvijetljena ploha Venere morala pokazivati potpun redoslijed mijena, kao i Mjesec, i potpuno potamniti kad prolazi između Zemlje i Sunca. Isto to trebalo bi da vrijedi i za Merkur. Kako ni Merkur ni Venera ne pokazivahu takve mijene, bijaše baš to iznošeno kao prigovor Kopernikovoj teoriji.

Galilejev je dalekozor tada pokazao da Venera prolazi sve mijene, baš kako je Kopernik unaprijed rekao, tako da mi po Galilejevim vlastitim riječima »imamo najodrešitiji i po opažanjima naših čutila očividni pravorijek za dva vrlo važna problema, pri raspravljanju kojih su do danas najveći duhovi dolazili do različitih zaključaka. Jedan je da planeti ne svijetle vlastitim svijetlom. Drugi da smo apsolutno prisiljeni kazati da se kako Venera i Merkur, tako i svi ostali planeti okreću oko Sunca, istina, u koju su već vjerovali Pitagorejci.

Kopernik, i Kepler, ali nije nikad očigledno dokazana, kao što je sada za Veneru i Merkur.«

Ova su otkrića Galilejeva jasno pokazala da su Aristotel, Ptolomej, i većina onih koji su o tim stvarima razmišljali posljednjih 2000 godina, bili potpuno i beznažno u zabludi. Pri ocjenjivanju svog stajališta u svemiru bio je čovjek do tada vođen uglavnom vlastitim željama i svojom taštinom. Jer se dugo hranio neispunjenim nadama, prezirao je priproste zalogaje koje mu je pružalo strpljivo znanstveno mišljenje. Neumoljive činjenice skinule su ga sa stajališta u središtu svemira, koje je sam sebi prisvojio. Od tada se morao zadovoljiti s nižim položajem, naime da bude stanovnik zrnca prašine i, prema tome, ispraviti svoje nazore o značenju ljudskog života.

To se prilagođivanje nije zbilo odmah. Ljudska taština, ojačana autoritetom crkve, otežala je put svima koji su se usudili svraćati pozornost na beznačajni položaj Zemlje u svemiru. Galileja su prisilili da se odrekne svog uvjerenja. Sve do u 18. stoljeće učilo se na sveučilištu u Parizu da je gibanje Zemlje oko Sunca zgodna, ali *kriva hipoteza*, dok su novija američka sveučilišta, Harvard i Yale, naučavali usporedo Ptolomejev i Kopernikov sistem astronomije kao da su oba jednako održiva. No ljudi nisu mogli održati svoje glave zauvijek u pijesku. Kad je konačno revolucija mišljenja, započeta Galilejevim opažanjima 7. siječnja 1610., općenito primljena sa svim njezinim posljedicama, pokazala se kao jedan od najvećih prevrata u povijesti ljudskog roda. Prevrat se nije ograničio na područja apstraktnog mišljenja. Otada se i samo postojanje čovjeka pojavilo u novom svijetlu, a ljudski ciljevi i nastojanja morali su se prosuđivati s drugog stajališta.

Ovdje je ta često ispričana pripovijest ponovljena još jednom u nadi, da bi mogla objasniti jedan dio interresa koji se i danas poklanja astronomiji. Praktične značnosti dokazuju svoju vrijednost time, što povećavaju prijatnosti i veselja života ili olakšavaju bolove i nevolje, ali se može zapitati kakve koristi pruža astronomija? Zašto astronom provodi mučne noći i još mučnije dane u tome, da proučava građu, gibanja i pro-



mjene nebeskih tijela, koja su tako daleko da ne mogu imati nikakav shvatljivi utjecaj na ljudski život?

Djelomično barem mora se na to odgovoriti da mnogi počinju polako shvaćati kako današnja astronomija, kao nekoć astronomija Galileja, mora nešto reći o zamamljivom pitanju odnosa ljudskog života prema svemiru, u kome se nalazi, i o početku, značenju i sudbini ljudskog roda. Beda izvještava, pred 12 stoljeća, kako se u pjesničkoj poredbi može ljudski život usporediti s letom ptice kroz toplu dvoranu u kojoj ljudi sjede u svečanom raspoloženju gosteći se, dok napolju bjesne zimske oluje.

»Ptica je koji trenutak sigurna od oluje, ali ona leti iz zime opet odmah van u zimu. Tako je i ljudski život kratko vrijeme vidljiv, ali o onomu, što slijedi ili što je prethodilo, ne znamo ništa. Ako nam neki novi nazor nešto sigurno kaže, tad izgleda vrijednim da se slijedi.«

Ove riječi, prvotno izrečene u obranu kršćanske religije, kažu možda u čemu je danas glavni interes za astronomiju. Čovjek, »koji poznaje samo svijetiljku života između tame i tame«, hoće da vidi dalje u prošlost i budućnost nego što mu dopušta njegov kratki život. On želi vidjeti svemir kakav je bio dok još nije ni postojao, i kakav će biti kad zadnji čovjek nestane opet u tami iz koje je došao. Ova želja ne odgovara samo čistoj intelektualnoj znatiželji, zahtjevu, da vidi preko najbližeg gorskog bila, ili zahtjevu, da se uspne na vrhunac s dalekim izgledom u blagoslovljenu zemlju, kamo gledalac neće sam nikad dospjeti. Ona ima dublje korijenje i njoj leži u osnovi osobni interes. Prije nego što upozna sebe, mora čovjek upoznati najprije svemir od čije je stvari sazdano njegovo tijelo i iz koga dolaze sva zapažanja njegovih osjetila. Čovjek hoće da istraži svemir u prostoru i vremenu, jer je on sam dio svemira, a svemir sačinjava dio njega.

Možemo mirno priznati da se znanost za sada još ne može nadati da bi mogla izreći konačnu riječ o pitanjima ljudske opstojnosti i ljudske sudbine, ali to nije nikakvo opravdanje, da se ne upozna najbolje što nam ona pruža. Znanost može uopće vrlo rijetko izreći odlučno »da« ili »ne« na kakvo pitanje. Ako možemo postaviti kakvo pitanje u tako određenom obliku, da se može na nj odgovoriti samo jednim od ta dva odgovora, tada smo obično kadri i sami odgovoriti. Napredak se znanosti sastoji više u tome, da se sve više približavamo istini; svaki je napredak popravljavanje jedne prijašnje pogreške, ali je taj popravak samo prvi u bezbrojnom nizu koji će ga slijediti. Na pitanje: »Gdje stoji čovjek u svemiru?« prvo je pokušala odgovoriti, svakako u novije doba, Ptolomejeva astronomija. Njezin odgovor glasi: »U središtu.« Galilejev dalekozor pružio je prvo i neuporedivo bolje približenje istini: »Stan čovjeka u prostoru je malo nebesko tijelo koje se vrti oko velikog središnjeg Sunca.« Astronomija 19. stoljeća je gurnula njihalo još dalje u tom smjeru izjavivši: »Na nebu ima na milijune zvijezda, od kojih svaka slična našem Suncu i bez dvojbe je svaka, kao i naše Sunce, okružena jatom planeta na kojima se može održavati život sa svjetlom i toplinom primljenim od njihova Sunca.« Astronomija 20. stoljeća smatra pak da je 19. stoljeće predaleko zanjihalo njihalo. Nama se čini da je život rjeđi nego što su mislili naši očevi, ili bi bili mislili, da su pustili otvoren put svome intelektu.

Objasniti ćemo ono približavanje istini koje pruža astronomija 20. stoljeća. Bez sumnje, nije ni ono sama konačna istina, ali je svakako korak bliže njoj i, ako se ne varamo, ono je istini mnogo bliže nego učenje astronomije 19. stoljeća. Ono nije zato istinitije, jer astronom 20. stoljeća prisvaja sebi pravo, da zna bolje pogađati nego njegov predhodnik u 19., nego stoga jer on ima neusporedivo više činjenica na raspolaganju. Pogađanje je izašlo iz mode u znanosti, ono bijaše samo nadomjestak za znanje, a moderna znanost izbjegavajući pogađanju ograničava se, osim u rijetkim slučajevima, na utvrđene činjenice i na zaključke, koji, koliko je to moguće spoznati, nedvojbeno od njih potječu.

Bilo bi, naravno, posve besmisleno tvrditi da je sav interes za astronomiju samo zbog spomenutih pitanja. Astronomija pobuđuje interes još barem na tri načina, koji se mogu označiti kao praktični, znanstveni i estetski interes.



U početku se astronomija proučavala uglavnom zbog koristi. Ona je pružala vremenske mjere i osposobljavala ljudski rod, da stekne čvrsti oslonac u neprestanoj izmjeni godišnjih doba. Ona ga je poučila kako će naći put kroz besputnu pustinju i, kasnije, kroz besputni ocean. Prerušena u astrologiju, hranila ga je lažnom nadom, da će mu moći proricati budućnost. U tome nije bilo ništa nerazboritog, jer je čak i danas astronom zaposlen većim dijelom tim, da unaprijed kaže buduća gibanja nebeskih tijela, premda ne i ljudska djelovanja — znatan dio ove knjige sastoji se u pokušaju da se unaprijed kaže budućnost. Astrolozi su griješili samo u mišljenju, da zemaljske države, kraljevi i obični ljudi zauzimaju tako važno mjesto u svemirskom planu, jer su njihove sudbine usko povezane s gibanjem nebeskih tijela. Čim je čovjek počeo čak i malo uvidati svoju vlastitu neznatnost, umrla je astrologija prirodnom i neizbježivom smrću bar među svijesnim ljudima.

Korisna strana astronomije spala je sada na vrlo skromnu mjeru. Pojedine zvjezdarnice daju dođuše radio signalima točno vrijeme i pomažu voditi brodove po oceanu, ali glavni se interes za astronomiju toliko promjenio, da najudaljenije maglice neusporedivo jače privlače našu pažnju nego takozvane »vremenske zvijezde«, a obični astronom zanemaruje naše najbliže susjede u prostoru, planete, i obraća pažnju zvijezdama, koje su tako daleko da njihovo svijetlo putuje stotine, tisuće, pa čak i milijune godina prije nego stigne do nas.

U novije vrijeme stekla je astronomija nov znanstveni interes za se time što je učvrstila svoj položaj u okviru sveukupne znanosti kao neodjeljivi dio. Različite znanosti ne mogu se već obrađivati posve odijeljeno među sobom. Znanstvena otkrića napreduju u neprekidnoj liniji počevši od elektrona, kojih je promjer tek dijelić jedne bilijuntine centimetra, pa do maglica, kojih se promjeri mjere u stotinama tisuća bilijuna kilometara. Povećanje našeg astronomskog znanja može probuditi naše znanje u fizici i kemiji i obratno. Zvijezde se već dugo vremena ne smatraju za puke svijetle točke. Svaka od njih promatra se kao eksperiment,

koji se zbiva pod izvanrednim okolnostima, kao neki tiganj visoke peći kojim radi sama priroda sa temperaturama i pritiscima, kakove mi ne možemo nikad postići u našim laboratorijima, i daje nam da opažamo učinke. Pri tome možemo naići na svojstva materije, koja su zemaljskom fizičaru izmicala iz dohvata saznanja zbog neznatnog područja fizikalnih stanja, što mu stoje na raspolaganju. U zvjezdanim maglicama, naprimjer, ima materije najmanje milijun puta manje gustoće od bilo koje materijalne supstancije na Zemlji, a na izvjesnim zvijezdama opet gotovo milijun puta veće gustoće. Kako možemo očekivati, da razumijemo potpuno prirodu materije iz laboratorijskih eksperimenata, kod kojih raspoložemo samo s jednom bilijuntinom cijele u prirodi poznate skale gustoće?

U najnovije vrijeme postala je astronomija osobito važna za filozofiju zbog objašnjenja, koja daje o pojmovima prostora i vremena. Ona pruža najodlučniji dokaz za osnovnu točku teorije relativnosti — da prostor i vrijeme sačinjavaju nedjeljivo jedinstvo. Kako je to uvijek moguće kod službenih učenjaka, bijahu svakako tek rezultati astronoma za vrijeme pomrčine Sunca godine 1919, koji su prvi svratili opću pozornost na teoriju relativnosti i tako doveli do našeg današnjeg razumijevanja odnosa između prostora i vremena. Čak i najnovije saznanje o mogućnosti širenja samog prostora, može, možda sadržavati novu i još dalekosežniju poruku o značenju naših osnovnih pojmova.

Međutim na svakog onog, koji osjeća znanstvenu ili filozofsku privlačnost astronomije, otpada možda tucе ljubitelja privučenih njezinim estetskim čarom. Čak i mnogi od onih koji, tjerani intelektualnom radoznalošću, traže znanje radi njega samog, zanimaju se uglavnom astronomijom, jer ta znanost najviše od svih zadovoljava njihove poetičke i estetske zahtjeve. Drugi žele vježbati svoje sposobnosti i svoju maštu u stvarima, koje su daleko od svakidašnjice, i taj zahtjev zadovoljavaju promatranjem jasnih ogromnih daljina okolnog svemira. Mnogima daje astronomija nešto od onog dalekovidnog pogleda bez koga ljudi propadaju.

Prije nego počnemo opisivati rezultate modernog



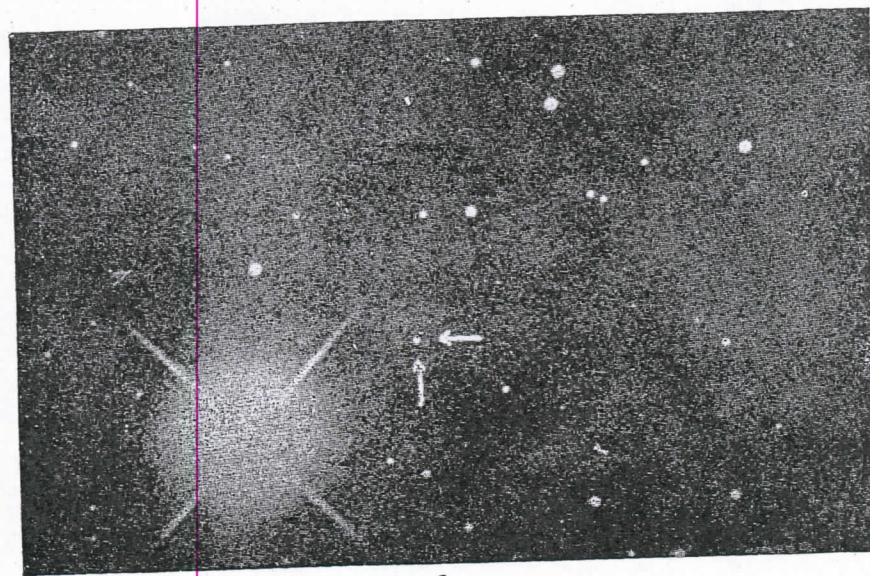
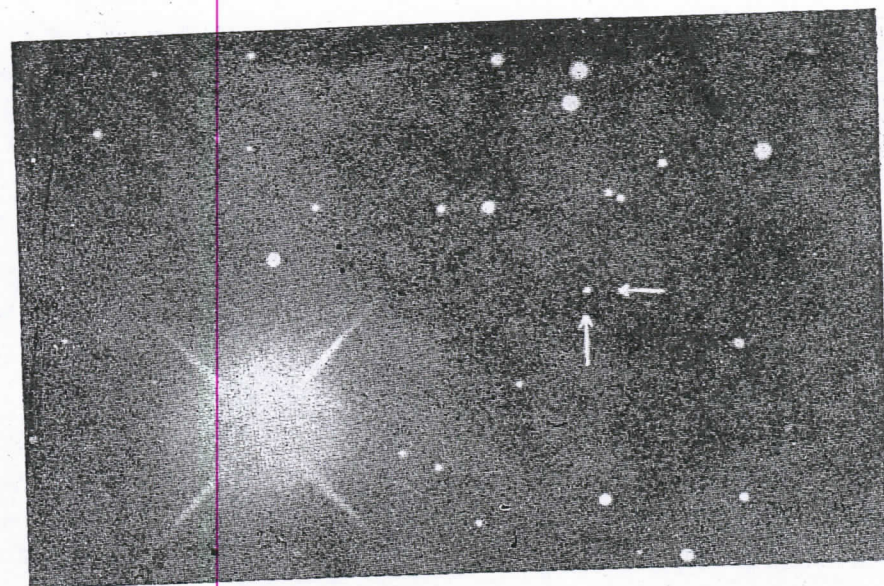
istraživanja neba, pokušat ćemo upoznati iz prave perspektive stanovište, sa koga astronomija vrši svoja opažanja.

U III. i VI. poglavlju vidjet ćemo kako je Zemlju rodilo Sunce prije kojih tri milijarde godina. Oblik, u kom je nastala, mogli bi teško prepoznati kao današnju Zemlju s njezinim morima i rijekama, njezinom bogatom vegetacijom i njezinim obilatim životom. Naša domovina u prostoru počela je svoj bitak kao užarena plinovita kugla na kojoj se nije mogao ukorijeniti ni održati nikakav život.

Postepeno se hladi ta plinovita lopta, postaje najprije tekuća i onda plastična. Konačno očvrstne njezina vanjska kora, a stijene i planine odaju trajno svjedočanstvo o nepravilnosti njezine prijašnje plastične forme. Pare se zgušnjavaju u tekućine i nastaju rijeke i mora, dok takozvani »permanentni« plinovi — kisik, dušik, helij i neon — stvaraju atmosferu. Postepeno je Zemlja došla u stanje koje je omogućilo postanak života i na koncu pojavljuje se život; kako, odakle, i zašto, to još točno ne znamo.

Nije lako procijeniti vrijeme proteklo od postanka života na Zemlji, ali ono može biti tek manji dio sveukupnih 3 milijarde godina, koliko postoji sama Zemlja. Vjerojatno bijaše već život na Zemlji prije kojih 300 milijuna godina, a možda čak i prije 1000 milijuna. Izgleda da je prvi život nastao u vodi, ali postepeno postaju od riba gmizavci; od gmizavaca sisavci, od sisavaca proizlazi konačno čovjek. Po prikupljenom materijalu zaključilo bi se da je to nastupilo prije 300.000 do jednog milijuna godina. Života ima dakle na Zemlji tek dio čitavog vremena odkada ona postoji, ljudi opstoje tek sitni dio toga dijela. Drugim riječima, astronomsko računanje vremena neusporedivo je dulje od ljudskog — ljudske generacije, pa čak i cijelo vrijeme otkad čovjek postoji, samo su sekundni udarci na satu astronomu.

Većina od 10.000, ili više, ljudskih generacija, koje nas vežu s našim precima majmunu sličnim, morali su živjeti životom koji se nije mnogo razlikovao od onoga njihovih životinjskih predaka. Lov, ribolov i ratovanje



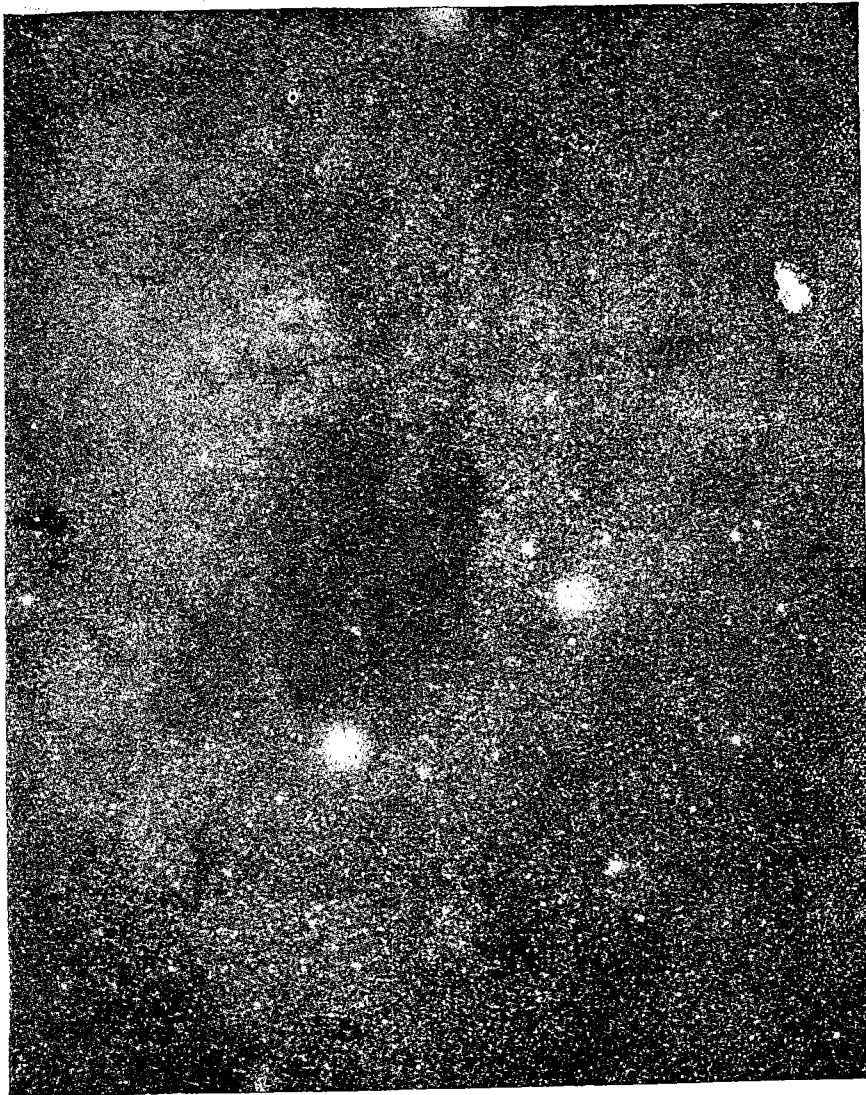
Otkriće Plutona

Zvezdarnica Lowell

Ove su dvije fotografije snimljene u Lowellovoj zvezdarnici u noći 2. i 5. ožujka 1930. Objekt, označen strijelicom, pomaknuo se znatno u tom intervalu, i to potvrđuje njegov planetski karakter. Sjajni objekt u lijevom donjem kraju je zvijezda  $\delta$  Blizanaca (vidi opasku na str. 175).



Tabla II



Franklin-Adamsova karta

Kumovska slama u blizini Južnog Križa

ispunjavali su njihov život i ostavljali im malo vremena ili prilike za duhovno udubljanje. Konačno se čovjek počeo buditi iz svog dugog intelektualnog sna i osjetio je pri laganom svitanja civilizacije potrebu za drugim zaposlenjem pored samog hranjenja i odijevanja svog tijela. On je u ljupkosti ljudskih oblika ili u preljevanju svijetla na moru, što se smiješi mirijadama smješaka, počeo otkrivati beskrajne ljepote, koje nastoji trajno održati u brižljivo isklesanom mramoru ili u biranim riječima. Počinje eksperimentirati s kovinama i biljkama, s djelovanjem vatre i vode. Stao je opažati gibanja nebeskih tijela i pokušava ih razumjeti, jer onima, koji su mogli čitati pismo na nebu, noćno je uzdizanje i zapadanje zvijezda i planeta pružalo dokaz, da izvan granica Zemlje leži nepoznati, u mnogo većoj mjeri, izgrađeni svijet.

Pravi trenutak početka umjetnosti i znanosti ne možemo točno ustanoviti, ali usporede li se sa starošću ljudskog roda, onda su one tek od jučer, dok je njihova starost, uspoređi li se s čitavom starošću Zemlje, tek jedan treptaj oka.

Znanstvena astronomija, različito od prostog gledanja zvijezda, može pokazati starost od najviše 3000 godina. Toliko vremena nije čak proteklo ni otkad su Aristarh i drugi izjavili, da se Zemlja kreće oko nepokretnog Sunca. Ipak, za naš sadanji cilj, naznačena brojka nije toliko vrijeme, otkad su ljudi iznijeli nagađanja o izgradnji svemira, koliko vrijeme, otkad su počeli odgonetati pravu izgradnju s pomoću sigurnih činjenica. Stvarni vremenski razmak je onaj, što je protekao od večeri godine 1610., kad je Galilej upravio prvi put svoj dalekozor na Jupitera — tek tri kratka stoljeća.

Pravo značenje tih procjena, izraženih u okruglim brojevima, počinjemo shvaćati, kad ih poredamo u tablicu. Tada dobijemo kao

starost Zemlje . . . . .	oko 3 000 000 000 godina
starost života na Zemlji . . . . .	300 000 000 „
starost ljudi na Zemlji . . . . .	300 000 „
starost astronomske znanosti . . . . .	3 000 „
starost teleskopske astronomije „	300 „

Kad su razne brojke predstavljene u tom obliku, uviđamo kako je astronomija mlada pojava. Njezina starost je tek stoti dio starosti ljudi, a samo stotisućiti dio vremena otkad postoji život na Zemlji. Za vrijeme 99 999 dijelova od 100 000 svojega postojanja nije život upravio svoj pogled izvan Zemlje. Ali, dok se prošlost astronomije mora mjeriti ljudskim mjerilom vremena, a iznosi oko stotinu generacija, dotle sve govori za to, da će njezina budućnost biti mjerena astronomskim mjerilom. Za sada ima razloga smatrati, da je ta budućnost ograničena astronomskim uzrocima. Kako Zemlja postoji već 3 milijarde godina, tako ima razloga uzeti a priori, da će postojati bar još budućih 3 milijarde godina, a skupa s njom ljudi i astronomija. Naći ćemo čak razloge, koji nam dopuštaju smatrati da će ona još mnogo duže postojati. To znači da je astronomija tek sasvim na početku svog postojanja. Stoga obavijest, koju nam ona daje, ne može biti definitivna — mi ne izlazimo uvjerenje zrelog čovjeka, nego prve utiske djeteta, koje se upravo rodilo pa otvara oči. Ali usprkos tome, oni su bolje od izlišnih sanja kojima se predaje, prije nego je naučilo gledati oko sebe i u svijet.

Sada želimo čuti što nam astronomija može reći o svemiru u kome se nalazimo. Naša se istraživanja neće ograničiti samo na tu znanost. Mi ćemo pitati za savjet i druge znanosti kao: fiziku, kemiju i geologiju i još srodnije znanosti kao astrofiziku i kozmogoniju, da nam pomognu gdjekad pri izlaganju poruka dobivenih putem astronomskih opažanja. Mi smo sudionici znanja koje se sastoji samo od odlomaka. Moglo bi se, ako se želi uspoređivati, smatrati to kao zagonetne slike za sastavljanje. Kad bismo imali sve komade, tada bi oni, u to smo sigurni, sačinjavali jednu jedinu potpunu, povezanu sliku, ali nama još nedostaju mnogi komadi. Ne možemo se nadati, da će nam nepotpuni broj komada, koje smo već našli, otkriti cijelu sliku, ali mi možemo nađene barem skupljati, metodički ih slagati, komade, koji očito skupa spadaju, povezivati i možda se čak usuditi da zamišljamo kako će izgledati gotova slika, kad budu svi komadi nađeni i konačno složeni na ispravni način.

## PRVO POGLAVLJE

### ISTRAŽIVANJE NEBA

Vidjeli smo kako je čovjek, nakon što već najmanje 300 000 godina obitava na Zemlji, za posljednjih 300 godina — zadnje tisućine svog života na Zemlji — dobio jedan optički instrument kojim može istraživati vanjski svijet. U ovom poglavlju pokušat ćemo opisati utiske, do kojih je došao nanovo otvorenim očima. Opisivat ćemo po jednom grubom kronološkom redu. Taj se red slaže s razvojem jačine teleskopa, odnosno sa sve daljim prodiranjem u prostor, tako da se naš poređaj može nazvati skalom udaljivanja od Sunca. Nećemo pokušati dati jedan neprekidni izvještaj, nego ćemo označiti samo nekoliko kamena međaša, da pokažemo u grubom obrisu redoslijed, kojim je čovjek napredovao u svom premjeru svemira.

### SUNČEV SISTEM

Najbolje da počnemo sa Sunčevim sistemom kojega je ustrojstvo otkrivao Galilei i njegovi nasljednici.

Planetska obitelj Sunca raspada se sama od sebe u određene skupine. U blizini Sunca nalaze se četiri mala planeta: Merkur, Venera, Zemlja i Mars. U mnogo većoj daljini slijede četiri velika planeta: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun. Dalje od svijeta njih leži netom otkriveni planet Pluto, skrajnji, do sada poznati, član našeg Sunčeva sistema.

Merkur je od svih najbliži Suncu, a za njim dolazi Venera. Staze tih dvaju planeta leže između staza Zemlje i Sunca. Gledajući sa Zemlje, ti planeti opisuju



razmjerno male krugove oko Sunca i moraju se prema tome na nebu pojavljivati u blizini Sunca. Oni se mogu zato vidjeti ili samo rano u jutro, kada izlaze baš prije Sunca, ili uvečer, kada zalaze za Suncem. Kako stari narodi nisu mogli sasvim shvatiti, da bi se isti planet mogao pojaviti i kao jutarnja i kao večernja zvijezda, dali su im različita imena, već prema tome, da li se nalaze na istoku, ili zapadu. Kao jutarnju zvijezdu Veneru su Grci nazvali Fosforos, a Rimljani Lucifer, kao večernjicu zvali su je jedni i drugi Hesperus.

Slijedeći iza tih planeta, kad produžimo od Sunca u prostor, dolazi Zemlja i zatim Mars, koji zaključuje skupinu malih planeta. Mars, Venera i Merkur — svi su manji od Zemlje, premda Venera tek posve neznatno.

Između staze Marsa, krajnjeg od malih planeta, i staze Jupitera, najbližeg od velikih planeta, leži velika praznina. Ona ipak nije prazna, već je ispunjena stazama tisuća malih planeta nazvanih asteroidima. Nijedan svojom veličinom ne naliči Zemlji. Ceres, koji je najveći, ima promjer manji od 800 kilometara, a samo su četiri poznata kojima je promjer veći od 160 kilometara. Planeti Merkur, Venera i Mars bili su već u najdavnijoj prošlosti poznati, ali asteroidi su ušli u astronomiju tek u 19. stoljeću. Ceres, prvi i najveći otkrio je Piazzi dne 1. siječnja 1801.

Iza asteroida dolaze četiri velika planeta: Jupiter, Saturn, Uran i Neptun, koji su svi mnogo veći od Zemlje. Jupiter, najveći, ima promjer 144.000 kilometara ili više nego jedanaest puta od promjera Zemlje. 1400 nebeskih tijela Zemljina obujma moglo bi se složiti u Jupiter, a da se on ipak ne ispuni potpuno. Saturn, slijedeći po redu, zaostaje samo za Jupiterom u veličini, jer ima promjer oko 112.000 kilometara. Ta dva su kudikamo najveći od svih planeta.

Uran i Neptun imadu oba četverostruki promjer i prema tome šezdeset i četiri puta veći obujam nego Zemlja. Veličina Plutona dosada još nije točno poznata; prema najnovijim istraživanjima sadrži on isto toliko tvari koliko i Zemlja, ali je moguće, da je veličinom manji.

Jupiter i Saturn sjaje se na nebu toliko, da su bili poznati svakako u najdavnije vrijeme, ali su Uran i Neptun razmjerno nova otkrića. Sir William Herschel je posve slučajno otkrio Uran godine 1781., kad je motrio kroz svoj dalekozor, nadajući se da će naći nešto zanimljivo na nebu. Neptun je, drugačije, otkriven godine 1846. na osnovu zamršenih matematičkih izračunavanja, što su tada mnogi smatrali kao najveći trijumf ljudskog duha, svakako poslije Newtona. Bio je to trijumf mladosti. Mora se također odati počast Englezu John Couch Adams-u, tada mladiću od 27 godina, a kasnije profesoru astronomije u Cambridgeu i mladom 8 godina starijem francuskom astronomu Urbain J. J. Leverrier-u. Obojica su smatrali da izvjesne nepravilnosti u opažanim gibanjima Urana nastaju od privlačne sile jednog još daljeg planeta, i oba su se dali na posao, da izračunaju stazu u kojoj bi se morao gibati pretpostavljeni dalji planet, da se razjasne te nepravilnosti.

Adams je bio prvi gotov sa svojim računima i naznačio je opažaćima u Cambridgeu, gdje se novi planet mora na nebu nalaziti. Nato je Neptun bio doista dva puta opažen, ali ne prepoznat kao traženi planet. Međutim prije nego su u Cambridgeu mogli neosporno utvrditi da je to novi planet, završio je Leverrier svoje istraživanje i saopćio svoj rezultat Galleu, observatoru u Berlinu, koji je bio odmah kadar identificirati planet, jer su u Berlinu imali tada bolje zvjezdane karte toga dijela neba nego u Cambridgeu.

Malo pomalo bilo je jasno da je privlačna sila Neptuna nedovoljna, da objasni sva kolebanja Urana, pa i u gibanju Neptuna pojavile su se slične nepravilnosti. To je nagovijestilo da postoji još jedan planet, koji je mnogo dalje nego Neptun. Upravo onako, kako su to prije uradili Adams i Leverrier, izračunao je dr. Percivall Lowell, na zvjezdarnici Flagstaff u Arizoni, približnu stazu, kojom bi se morao gibati naslućivani novi planet, ali je bilo potrebno mnogo godina brižljivog istraživanja prije nego što su motritelji zvjezdarnice u Flagstaffu u ožujku 1930. otkrili planet, koji su kasnije nazvali Pluton (tabla I.). Novi se je planet gibao gotovo po istoj stazi, koju je Lowell izračunao 15 godina prije.

S druge strane po Lowellovu je računanju trebalo da nepoznati planet bude šest puta teži od Zemlje, dok je Pluton težak otprilike kao i Zemlja. Zbog toga i drugih nekih razloga naginju neki astronomi mišljenju, da je to, što se Lowellova predviđanja slažu sa stvarnom stazom Plutona, bilo prilično slučajno.

Iza Galilejeva otkrića Jupitrovih satelita godine 1610., zaredala su kasnije otkrića, da drugi sateliti kruže oko ostalih planeta, izuzevši krajnje članove Sunčeva sistema, naime male planete Merkur i Veneru, koji se kreću unutar Zemljine staze, i Plutona, koji je najviše udaljen od Sunca. Godine 1655. otkrio je Huyghens najveći Saturnov satelit, Titana, a već 1684. otkrio je Cassini još četiri. Tada je po izminuću cijelog stoljeća Sir William Herschel otkrio dva satelita Urana godine 1787. i dalja dva satelita Saturna u 1790. Mi ćemo cijeli sistem planeta i satelita, a također manjih tijela Sunčeva sastava — komete, meteore i krijesnice — razmotriti u jednom potonjem poglavlju, kada budemo govorili o njihovu postanku.

## GALAKTIČKI SISTEM

Naš slijedeći kamen međaš u istraživanju je premjer zvijezda, koji su nam dali oba Herschela: Sir William Herschel, otac (1738—1822) i Sir John Herschel, sin (1792—1871). Što je Galilei učinio za Sunčev sistem, htjela su oba Herschela učiniti za veliku porodicu zvijezda, kojoj pripada i naše Sunce, za takozvani »galaktički« sistem.

U jasnim noćima bez mjesečine vidi se Kumovska Slama, kako se nadvija kao slabo svjetlacavi svjetlosni luk od horizonta do horizonta. Taj luk je samo jedan dio potpunog kruga — kruga Kumovske Slame ili galaktičkog kruga — koji se proteže oko Zemlje i dijeli nebo u dva jednaka dijela, pa na taj način obrazuje neku vrstu nebeskog »ekvatora«. Taj ekvator običavaju astronomi upotrebljavati, kad mjere na nebu dužinu i širinu. Galilejev dalekozor je pokazao da se Kumovska Slama sastoji od mnoštva slabih zvijezda, od kojih je svaka tako slaba, da se ne može vidjeti bez pomoći dalekozora (vidi

table II., III. i IV.). A upravo pravilno tumačenje tog velikog pojasa slabo svijetlećih zvijezda bilo je odlučno da se može razumjeti izgradnja svemira.

Kad bi zvijezde bile jednoliko rasute u neograničeni prostor, morali bismo, kud god pogledamo, vidjeti bar jednu zvijezdu, tako da bi nam nebo izgledalo u nepodnošljivo jarkom sjaju. To se ipak ne bi dogodilo, ako bi svijetlo nakon prolaza izvjesne udaljenosti bilo pomučeno ili ugušeno, ali i tada bi nebo u svim pravcima jednako izgledalo, jer se ne može razumjeti zašto bi jedan dio neba bio bogatije ukrašen zvijezdama od drugoga. Postojanje Kumovske Slame dokazuje da se sistem zvijezda ne proteže jednoliko u neizmjenost. On mora imati izvjesnu strukturu i Sir William Herschel je potduzeo da otkrije tu strukturu. Rad, koji je on izvršio za sjevernu polukuglu, proširio je zatim na južnu polovinu neba njegov sin Sir John Herschel.

Mi ćemo najlakše razumjeti metodu, koju su primjenili Herscheli, zamislimo li da su sve zvijezde na nebu posve slični objekti. Svaka zvijezda bi tada emitirala (izarivala) jednaku množinu svjetlosti, tako da bi, samo kao djelovanje udaljenosti, bliže zvijezde izgledale sjajnije, a udaljenije slabije. Poznato je kako opada sjaj sa daljinom, naime »obrnuto kvadratu udaljenosti«, t. j. sjaj opada isto tako brzo kao što raste kvadrat daljine. Zvijezda, koja je dva puta dalje od jednako sjajne zvijezde, izgleda četiri puta slabijeg sjaja i t. d. Ako dakle sve zvijezde šalju istu količinu svjetlosti, mogli bismo relativnu udaljenost dviju zvijezda ocijeniti po njihovu relativnom sjaju. Kad bi uzeli žice, kojih bi dužine bile proporcionalne udaljenostima različitih zvijezda, i usmjerili ih u pravcu dotičnih zvijezda, mogli bismo napraviti model, koji bi pokazivao poredaj zvijezda na nebu. Mi bismo u stvari poznavali cijelu strukturu zvjezdanog sustava osim mjerila. Da predstavimo slabo svijetleće zvijezde Kumovske Slame, bile bi nam potrebne vrlo duge žice. U modelu bi one sve ukazivale na različite dijelove Kumovske Slame, i dobilo bi se nešto nalik na splošteni točak.

Problem, kojim se je bavio Sir William Herschel, bio je zamršeniji, jer je on znao, da su sve zvijezde



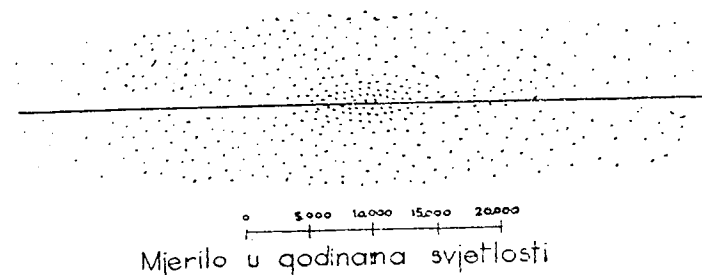
različitog sjaja i različite daljine, a obje te okolnosti zajedno izazivlju razlike u prividnom sjaju. Jedna je od glavnih poteškoća što se djelovanja obaju faktora moraju razlučiti jedno od drugoga prije nego se može bilo što zaključiti.

Herschel je uvidio da se broj zvijezda, vidljivih u njegovu dalekozoru, veoma mijenja u različitim smjerovima. Bio je najveći, dakako, kad je dalekozor bio upravljen na Kumovsku Slamu i opadao je stalno i brzo, kako se je dalekozor od nje odmicao. Općenito su dva vidna polja dalekozora jednako daleko od Kumovske Slame, sadržavali jednaki broj zvijezda. Upotrebimo li stručne izraze astronomije, možemo kazati da bogatstvo zvjezdanog polja ovisi uglavnom o galaktičkoj širini, kao što klima na Zemlji ovisi uglavnom o geografskoj širini, a vrlo malo o geografskoj dužini.

Polja u različitim galaktičkim širinama — t. j. u različitim kutnim daljinama od Kumovske Slame — razlikuju se i vrstom i brojem zvijezda. Najsjajnije zvijezde su otprilike jednako česte u svim poljima. Opažene razlike potječu uglavnom od slabih zvijezda, i to naročito od onih najslabijih, kojih se broj silno povećava, kad se približava Kumovskoj Slami.

Sir William Herschel je to ispravno tumačio time, što se zvjezdani sistem, koji okružava Sunce, unutar udaljenosti pristupačnih njegovu dalekozoru, sve više razrjeđuje, i to sve brže, što je veća udaljenost od Kumovske Slame. On je smatrao da je opći oblik galaktičkog sistema kao kotač ili biskvit ili džepni sat, pri čemu su zvijezde u blizini središta najgušće poredane, a u vanjskim predjelima rjeđe. Ravnina položena kroz Kumovsku Slamu predstavlja dakako središnju ravninu sistema. Činjenica, da Kumovska Slama dijeli nebo u dva gotovo jednaka dijela, dovela je Herschela na misao, da Sunce mora biti vrlo blizu središnjoj ravnini sistema, a to je potvrđeno modernim istraživanjima. Po činjenici, što dijelovi neba, koji su jednako udaljeni od Kumovske Slame, izgledaju otprilike jednako sjajni, zaključio je Herschel, da je Sunce ne samo u središnjoj ravnini sistema, nego da stoji vrlo blizu i njegovu stvarnom središtu.

Taj nazor je do nedavno prevladavao, ali je, kako se sada zna, neodrživ (vidi str. 66, 71).



Slika 1. Struktura galaktičkog sistema po Herschel i Kapteynu

Slika 1. pokazuje presjek kroz opću strukturu, koju je Sir William Herschel pripisao galaktičkom sistemu smjestivši Sunce u njegovo središte.

Nije teško uvidjeti da takva struktura odgovara općem izgledu neba. Zvijezde, koje najjače sjaju, obično su najbliže. One su tako blizu, da se u toj udaljenosti ne razabire nikakvo razrjeđivanje zvijezda. Zbog toga se vrlo svijetle zvijezde nalaze u gotovo podjednakom broju u svim smjerovima. Zvijezde, koje se pričinjaju vrlo slabe, većinom su vrlo udaljene, tako su daleko, da se jasno očituje kako je najveća dubina sistema u smjerovima, koji leže ili u galaktičkoj ravnini ili blizu nje. U tim pravcima, i samo u njima, nalazimo vrlo slabih zvijezda vanredno veliki broj; sloj dalekih zvijezda za slojem, ređajući se gotovo beskrajno jedan za drugim, izazivlju prividno nakupljanje slabih zvijezda koje nazivamo Kumovska Slama.

Detaljni poredaj prikazuje crtež 1, kako ga je kasnije pripisivao sistemu Kapteyn (1922). U mjerilu, navedeno ispod njega, znači godina svjetlosti — kao uvijek u astronomiji — daljinu koju prođe svjetlost u jednoj godini. Budući da je brzina svjetlosti oko 300.000 kilometara u sekundi iznosi godina svjetlosti oko 9 i pol bilijuna kilometara, t. j. 9 i pol milijuna milijuna kilometara.

Put kojim je Kapteyn postigao detalje svoje izložene šeme, vanredno je zamršen; no njegov glavni princip je

lako razumljiv. S dalekozorom otvora od 7,5 centimetara — t. j. s takvim koji sakuplja svu svjetlost, koja pada na krug sa promjerom od 7,5 centimetara — mogu vidjeti izvjestan broj zvijezda — recimo 100 — unutar te male površine neba. Zamijenim li dalekozor s većim, kojemu je otvor 15 centimetara, primat će moje oko četiri puta više svjetlosti nego ranije, tako da ću sada biti kadar vidjeti zvijezde dvaput udaljenije — ukratko, dalekozor će moći da ispita dvaputa dalje nego njegov prethodnik s pola manjim otvorom.

Tako će osam puta veći obujam prostora biti pristupačan mojem opažanju, i razumljivo je da mogu očekivati da ću vidjeti osam puta više zvijezda nego prije. Ako ih ne bude toliko, onda mogu zaključiti da je novo područje prostora rjeđe naseljeno zvijezdama nego prijašnje, a iz količine manjka moći ću stvoriti približnu ideju o iznosu razrijeđenosti zvijezda.

Stvarno brojenje zvijezda uvjerilo je Herschela, Kapteyna i nebrojene druge istraživače da se zvijezde počinju razrjeđivati u svim pravcima odmah čim se izađe iz blizine Sunca, tako da bi Sunce moralo biti točka u kojoj je gustoća naseljenosti zvijezda najveća. To je razlog zašto je Kapteyn, kao i Herschel, smjestio Sunce u središte razmještaja, kako je to prikazano u crtežu 1. Iznos, u kojem stvarni brojevi zvijezda otpu- paju od onih predviđenih jednostavnim zakonom, upravo izloženim, daje materijal za detaljnu konstrukciju slike 1.

Ovaj nazor o strukturi galaktičkog sistema bijaše do nedavno općenito priznat, ali moderna istraživanja (s. 63.) pokazala se međutim, uvjerljivo, da ga treba izmijeniti u dvjema stvarima — dimenzije sistema su bitno veće od onih, koje daje mjerilo prikazano na slici 1, a Sunce nije u središtu sistema, pa čak niti bilo gdje u blizini. No izuzevši te dvije izmjene, nacrt Herschelov i Kapteynov predstavlja barem prvo približavanje istini.

Konačni prihvati Kopernikova nazora o izgradnji Sunčeva sistema bijaše najvećim dijelom odlučeni Galilejevom otkrićem sličnog sistema Jupitera, jer je taj ležao tako u prostoru, da je motrilac na Zemlji mogao cijeli

sustav obuhvatiti jednim pogledom iz ptičje perspektive. Sunčev sistem ne možemo nikad ugledati kao cjelinu iz ptičje perspektive, jer mi gledamo samo iznutra, tako te se postojanje takvih sistema moglo optički potvrditi samo otkrićem drugih sličnih sistema, koje možemo vidjeti izvana.

Sir William Herschel je bio uvjeren da je našao sličnu vizualnu potvrdu svog nazora o strukturi galaktičkog sistema. On je mislio da je otkrio sisteme iste vrste, koji se mogu vidjeti iz ptičje perspektive, jer su oni sasvim izvan galaktičkog sistema. Sagrađeni su slično kao i galaktički sistem prema njegovu uvjerenju. Vjerovao je da su to zvjezdani oblaci i nazivao ih je »svemirski otoci«. Uvidio je da je nemoguće razlikovati pojedine zvijezde u njima, ali je vjerovao da će se sa jačom snagom dalekozora to moći učiniti, baš kao što je i Galilei bio kadar da vidi zvijezde u Kumovskoj Slami. To je bilo ispravno; pojedine zvijezde se danas mogu vidjeti (vidi tablu V.).

Ti su objekti samo jedna vrsta od mnogih vrsta astronomskih objekata, kojima se je pripisivalo ime maglice, zbog njihova neodređenog maglenog izgleda (nebula = maglica). Oni su općenito poznati kao »vangalaktičke maglice«, jer su izvan galaktičkog sistema i potpuno su odjeljeni od njega, no nama će često biti zgodnije upotrebiti kraći izraz »velike maglice«, koji potpuno opravdava njihova ogromna veličina. Prije nego ih potanko opišemo, bit će dobro ukratko prikazati različite vrste objekata, koje astronomija razumijeva pod općim imenom maglice.

## MAGLICE

Dalekozor pokazuje planet kao ploču primjetljive veličine, a okular, što šezdeset puta povećava, pokazuje Jupitera velikog kao Mjesec. Ipak okular, koji povećava šezdeset ili bilo koliko puta više, ne može povećati jednu zvijezdu na veličinu Jupitera. Osim jednog izuzetka, koji će biti odmah spomenut, nikakvim povećanjem ne možemo vidjeti jednu zvijezdu drukčije nego samo kao svijetlu točku. Zvijezde su naravno mnogo veće od Ju-



pitra, ali i nesavrnjivo udaljenije, i baš ta udaljenost prevladava.

Usprkos tome pokazuje dalekozor stanoviti broj objekata, koji izgledaju veći nego svijetle točke. Oni su obično slabog sjaja i maglenastog izgleda, pa im se stoga dalo ime »maglice«. Točno istraživanje dovelo je do toga, da se podijele u tri različita razreda.

#### *Planetarne maglice*

Prvi se razred obično naziva »planetarne maglice«. Jedino planetarno na njima sastoji se u tome što se u dalekozoru vide nalik na planete kao ploče izvjesne veličine, a ne kao točke. Poznato je samo nekoliko stotina takvih objekata. Četiri tipična primjera vide se na tabli VI. Oni su se pokazali kao razmjerno male i blize tvorvine, barem usporede li se s ostalim maglicama, koje ćemo kasnije opisati. Van Maanen cijeni, da su 21, koje je on pobliže istraživao, od nas daleko prosječno 4500 godine svjetlosti; prema tome su još unutar galaktičkog sistema, a prosječno su 10 puta jačeg sjaja od Sunca.

Njihovu ćemo fizikalnu strukturu kasnije opisati (vidi str. 189), a za sada bit će dovoljno napomenuti da su one izvanredno vruće zvijezde, koje imaju ogromno raspostranjenu atmosferu, što svijetli. Prema tome, one su iznimke koje opovrgavaju naše netom izrečeno općenito tvrđenje, da nijedna zvijezda ne izgleda drukčije u dalekozoru nego kao svijetla točka.

#### *Galaktičke maglice*

Drugi se razred obično naziva »galaktičke maglice«. Primjere možemo vidjeti na tablama VII., VIII. i IX. One leže također unutar galaktičkog sistema, a imaju potpuno nepravilni oblik. Općenito uzevši, izgledaju kao veliki užareni oblaci plina, koji se prostiru od zvijezde do zvijezde, a doista i jesu nešto tome nalik. Čak i površan pogled pokazuje da svaka nepravilna maglica obuhvaća, kao u nekoj mreži, različite zvijezde. Potanje ispitivanje dalekozorom odaje da se maglice gotovo neograničeno rasprostiru, tako gotovo cijelo zviježđe može biti omtano jednom jedinom maglicom.

O fizikalnoj prirodi tih maglica ne postoje nikakve sumnje. Prostor među zvijezdama nije posve prazan od materije, nego je ispunjen rijetkim oblakom plina, koji je silno razrijeđen. Ovdje i ondje može taj oblak biti gušći no obično, ovdje ili ondje može on svijetliti i, po izjarivanju zvijezda koje leže u njemu, biti usijan do žara. Mi znamo da je to pravi uzrok svijetla tih maglica, jer ono nije drugo nego odraz svijetla njihovih zvijezda. Tako je na primjer poznata skupina Vlašića zavijena u jednu veliku slabo svijetleću maglicu, čije zračenje šalje »vjernu sliku svijetle zvijezde Merope i drugih sjajnih zvijezda Vlašića«.

Na drugim mjestima mogu maglice biti posve neprozirne za svijetlo i visiti kao tamni zastor preko neba. Razlike u gustoći, neprozirnosti i svjetlini izazivlju sve skupa one fantastične oblike i različite stupnjeve svijetla i sjene, koje opažamo na galaktičkim maglicama.

Ta ista neprozirnost proizvodi također tamna mjesta, koja zapažamo u općenitom poređaju zvijezda. Na tabli II. (str. 17) vidimo upadljiv primjer na tom dijelu Kumovske Slame. Tamna mrlja, koja na prvi pogled izgleda kao rupa u zvjezdanom sustavu, naziva se vrlo zgodno »vreća ugljena«. Te crne mrlje na nebu ne mogu biti nikakve stvarne rupe, jer se ne može zamisliti da bi tako mnogi prazni tuneli prolazili kroz zvijezde, upereni svi baš prema Zemlji, pa ih moramo zato smatrati kao neki veo tamne materije, koji potamnjuje i gasi svijetlo zvijezda, koje su iza njega. Ta je tamna materija od velike važnosti za modernu astronomiju, kako ćemo uskoro vidjeti.

#### *Vagalaktičke maglice*

Treći razred maglica sasvim je druge vrste. One imaju većinom određeni i pravilni oblik i pokazuju različite druge osobine, po kojima ih je lako prepoznati. Mnoge od njih imaju spiralnu strukturu, pa se zovu »spiralne maglice«. Najupadljivija od svih spiralnih maglica, a ujedno najbliža, jest velika maglica M 31 u Andromedi, koja se vidi na tabli X., a može se vidjeti i prostim okom, premda je na granici vida. Marius, koji

ju je motrio 1612. dalekozorom, rekao je da ona izgleda »kao svijeća gledana kroz rožnatu ploču«. Tabla XI. prikazuje drugi primjer, vjerojatno vrlo sličnog ustrojstva, ali samo gledano iz sasvim drugog kuta, tako da se pokazuje gotovo posve sa strane, dok tabla XII. pokazuje treću maglicu, uglavnom iste vrsti, ali gledanu sa pravca okomitog na njenu središnju ravninu.

Sve maglice te vrste nalaze se izvan galaktičkog sistema, tako da ih izraz »vangalaktičke maglice« pravilno opisuje. Njihova veličina je ogromna. Svaka od fotografija pokazanih na tablama X do XII morala bi se povećati na veličinu cijele Europe, da bi se na njima moglo vidjeti neko nebesko tijelo veliko kao Zemlja, a i tada bi bilo vidljivo tek u jakom mikroskopu. Njihov općeniti oblik jednak je onomu, što ga je Herschel pripisivao galaktičkom sistemu, i koji ga je prvotno naveo, da ih smatra kao »svjetske otoke« slične galaktičkom sistemu. Kasnije ćemo vidjeti koliko je to predmnijevanje potvrđeno novijim istraživanjima; vangalaktičke maglice, ili barem neke od njih, sistemi su zvijezda nalik našem galaktičkom sistemu. Zato nam izgled neke vangalaktičke maglice može pomoći, da sebi predočimo kako bi izgledao naš sistem, kad bi ga mogli vidjeti sa strane. Maglica na slici X. vjerojatno je jako slična oblikom, veličinom i ustrojem našem sistemu, a isto tako i maglica na slici XI., koja se vidi potpuno sa strane. Primjećujemo da je zvjezdani disk vrlo splošten, a to je zajednička pojava u gotovo svim vangalaktičkim maglicama. Wyse i Mayall su izmjerili šest maglica, koje vidimo sa strane, i našli su da njihova dužina nije nikad manja, nego 8,9 puta veća od debljine, dok je prosječni razmjer 12,3. Zato kad izuzmemo ono ispupčenje materije u središtu, moramo zamišljati galaksiju kao vrlo splošteni disk zvijezda.

### UDALJENOST ZVIJEZDA

Godina 1837. naš je slijedeći međaš. Te godine je prvi put izmjerena udaljenost jedne zvijezde.

Ptolemej je, u 2. stoljeću poslije Krista, zaključio da bi se položaj Zemlje morao neprestano mijenjati pre-

ma zvijezdama naokolo, ako bi se ona gibala u prostoru. Kad bi se Zemlja gibala oko Sunca, morali bi se njezini stanovnici naći u položaju djeteta u ljuljaški. Baš kao što i dijete, koje se ljulja, vidi kako se bliska stabla, osobe i kuće ritmički njišu prema dalekoj pozadini brda i oblaka, morali bi i stanovnici Zemlje vidjeti kako bliže zvijezde mijenjaju neprestano svoj položaj prema pozadini udaljenijih zvijezda. Ipak iz noći u noć ostaju zvijezda ista, ili je barem Ptolemej tako vjerovao. Iste zvijezde kruže vječno u istom relativnom položaju oko pola, a upadljive skupine zvijezda, kao sedam zvijezda Velikog Medvjeda, Vlačići ili zvijezde Oriona, ne pokazuju ni najmanji znak neke promjene. Ukoliko se možemo pouzdati u gole ljudske oči, mogle bi zvijezde biti svijetleće obojene točke na razapetom platnu, koje se okreće oko Zemlje kao oko nepomičnog stožera.

Nasuprot tome tražila je Kopernikova teorija, da bliže zvijezde pokazuju gibanje prema pozadini daljih zvijezda u istoj mjeri kako Zemlja dovršava svoje godišnje putovanje oko Sunca. Prolazila je ipak godina za godinom, pa čak i stoljeće za stoljećem, a da se nije moglo otkriti takvo gibanje. Staro ptolomejsko tvrđenje, da je Zemlja čvrsto središte svemira, bilo bi gotovo dobilo svoj prijašnji ugled, kad ne bi bilo različitih znakova, da su čak i najbliže zvijezde vrlo udaljene, tako udaljene, da nas ne treba čuditi njihova prividna nepomičnost. Dijete u ljuljaški ne može očekivati da dobije optički dokaz za svoje gibanje, ako je najbliži predmet, koji vidi, 30 kilometara daleko.

Najočiglednija potvrda, da su zvijezde jako udaljene, jest njihov slabi sjaj; ako su zvijezde tijela slična Suncu, tada nam razlika u prividnom sjaju između zvijezda i Sunca daje neku mjeru za razliku u daljinama zvijezda i Sunca. Od Sunca primimo na primjer 11.500 milijuna puta više svijetla nego od Sirusa, najsajnije zvijezde na nebu. Budući da sjaj nekog svijetlog objekta pada sa kvadratom njegove daljine, slijedilo bi, u slučaju da su Sunce i Sirius posve jednaka tijela, da je Sirius 107.000 puta dalji od Sunca — jer je 11.500 milijuna kvadrat od 107.000. U stvari je Sirius znatno sjajnije od Sunca, tako da je njegova udaljenost čak i veća nego

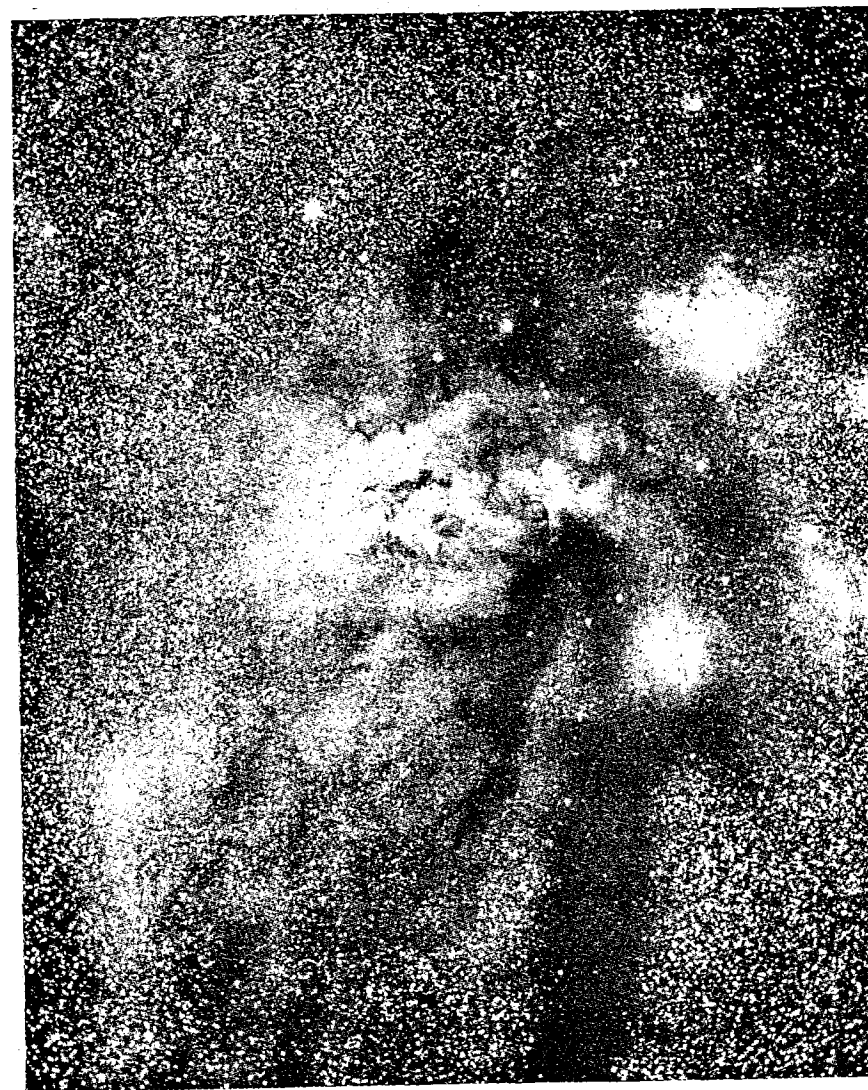


smo izračunali. No već nam je naš grubi račun pokazao da čak i zvijezde, koje tako jako sijaju, moraju biti doista vrlo daleko, pa se ne treba čuditi, što su astronomi vrlo dugo bez uspjeha pokušavali otkriti prividno gibanje zvijezda — »paralaktičko kretanje«, kako se tehnički zove — a potječe od Zemljina kretanja po njezinoj stazi oko Sunca.

Konačno je Struve otkrio godine 1837. paralaktično gibanje Vege. Na osnovu njega izveo je, da je udaljenost Vege oko 26 godina svjetlosti (str. 25), no njegova opažanja nisu bila u velikom međusobnom skladu, već su odstupanja upućivala, da bi ustanovljena daljina mogla biti pogrešna oko polovinu veličine; danas znamo da je to tek polovina prave udaljenosti. Slijedeće godine opažao je Bessel paralaktičko kretanje zvijezde 61 Cygni. Kod njega su se opažanja dobro slagala, pa se Besselova udaljenost od 10,5 godina svjetlosti dobro slaže s udaljenošću od 11,1 godina svjetlosti, koja se dobije kad se mjeri modernim instrumentima. Iste je godine Henderson izmjerio daljinu vrlo bliske zvijezde  $\alpha$  Centauri kao  $3\frac{1}{4}$  godine svjetlosti, dok je prava procjena, kako danas znamo, 4,31 godina svjetlosti. Premda te različite procjene nisu savršeno točne kad ih sudimo prema sadašnjem mjerilu, ipak nam daju impresivnu sliku o ogromnoj skali u kojoj je svemir izgrađen.

Stanimo za časak, da razmislimo o nizu postupaka pomoću kojih su izmjerene te ogromne daljine. Prvi se korak sastoji u tome, da se na površini Zemlje izabere osnovica duga nekoliko kilometara, pa se točno izmjeri u metrima. Polazeći od te osnovice, izmjeri se duga uska pruga Zemljine površine točno u smjeru sjever—jug. Potom se odredi razlika u geografskoj širini na oba kraja s pomoću astronomskih metoda, na primjer, određivanjem razlike u visini Polarnice na oba kraja pruge. Budući da je već poznata dužina pruge u kilometrima, dobiju se odatle neposredne dimenzije Zemlje.

Ovu su metodu upotrijebili već najstariji grčki geometri. S pomoću nje procijenio je Eratosten iz Aleksandrije (oko 276—195. pr. Krista) opseg Zemlje na 250 000 stadija, što je vrlo blizu istini, ako se uzme vjerojatna dužina jednog stadija. Po vrijednostima, primlje-

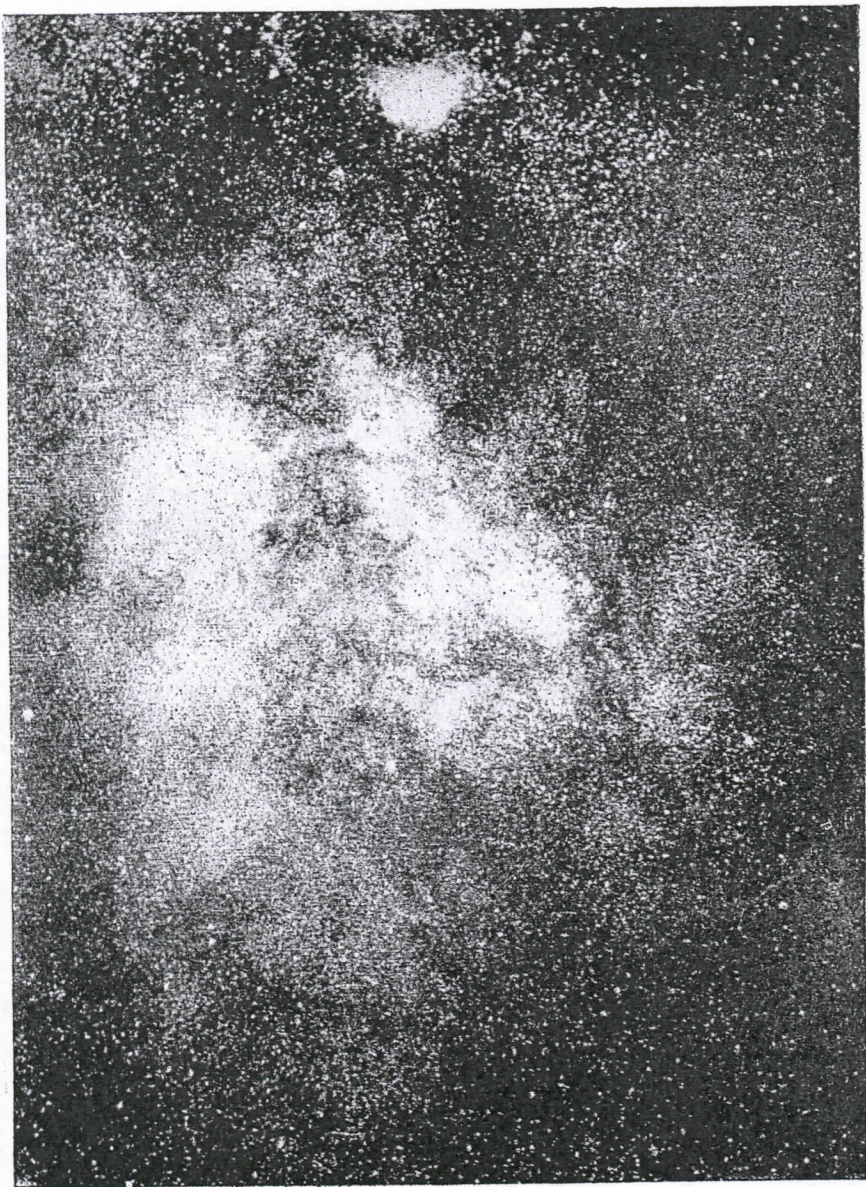


E. E. Barnard

Kumovska slama u području  $\rho$  Ophiucha



Tabla IV



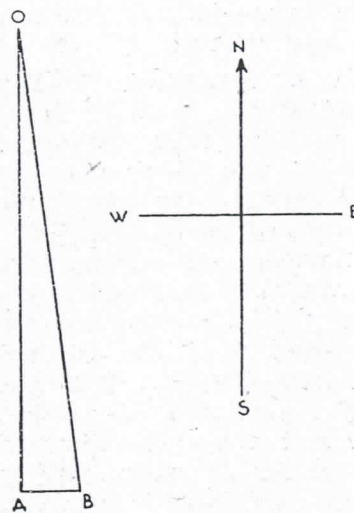
*E. E. Barnard*

Najbogatiji predio Kumovske Slame — Zvezdani oblak u Strijelcu.

nim od Internacionalnog geodetskog društva, iznosi polumjer Zemlje na ekvatoru 6378,388 kilometara, a na polu 6356,912 kilometara.

Određivši veličinu Zemlje slijedeći korak je određivanje daljine najbližeg astronomskeg objekta izvan Zemlje. Daljinu najbližeg, Mjeseca, bilo je razmjerno lako odrediti.

Metoda je ista koju upotrebljava geodet da izmjeri udaljenost nepristupačnog objekta na Zemlji. Pretposta-



Slika 2.

vivši da stoji u točki A, vidi objekt O točno na sjeveru od sebe. Pomaknuvši se u točku B, kilometar daleko od A prema istoku, uvidi da se objekt nalazi sada  $5^\circ$  zapadno od njegova sjevera. On sada zna oblik trokuta AOB — njegovi su kutevi  $90^\circ$ ,  $5^\circ$  i  $85^\circ$ . On zna također dužinu jedne stranice, naime  $AB = 1$  kilometar. Jednostavni crtež, ili račun, pokazuje da su dužine drugih stranica  $AO = 11,43$  kilometara i  $BO = 11,47$  kilometara, a to je ono što želi znati. Dužina AB zove se osnovna linija



ili bazis, pa se lako vidi da poteškoće rastu, ako je ona premalena usporedi li se s daljinama koje se mjere; već male pogreške u mjerenju kuteva i pravaca izazivlju u izračunatim daljinama ozbiljne pogreške.

Ako je nedostiživi objekt O Mjesec, onda astronom uzima kao bazis AB daljinu između dvije zvjezdarnice razdaleko više tisuća kilometara. Opažanja u isto vrijeme na dvije zvjezdarnice daju kuteve trokuta AOB, pa se lako izračuna daljina Mjeseca. Budući da Mjesec ne obilazi Zemlju u savršenom krugu, utvrdilo se da ta daljina varira u granicama od 357 000 do 406 000 kilometara, a prosječna mu je daljina 384 400 kilometara ili oko 60 Zemljinih polumjera.

Bilo bi vrlo teško odrediti udaljenost Sunca neposredno ovom metodom, djelomice zato, što je udaljenost više od 20 000 puta veća od polumjera Zemlje i zato više od 10 000 puta od najveće moguće osnovice (bazisa); no još se više teškoća u tehničkom pogledu javlja zbog sjaja Sunca. Poznate su, međutim, relativne daljine Sunca i planeta prilično točno, tako da, ako se zna bilo koja od njih, sve ostale slijede iz nje. Zato su se pokušale izmjeriti daljine najbližih planeta Venere i Merkura i u posljednje vrijeme različitih asteroida (s. 20), koji dolaze još bliže Zemlji. Asteroid Eros, koji je otkriven 1898., pokazao se naročito pogodan u tu svrhu; ne samo zato, što dolazi koji put 23 milijuna kilometara blizu Zemlje, nego je u isti čas maleno tijelo, samo oko 26 kilometara u promjeru, tako da, gleda li se iz prostranstva astronomskog prostora, predstavlja idealnu »točku«, kojoj se mjeri položaj. Godine 1931., kad se je približio na manje od 26 milijuna kilometara, izvršena su mjerenja na mnogim zvjezdarnicama, pa je na osnovu njih Spencer Jones našao, da daljina Sunca mora biti 149 milijuna 600.000 kilometara; točan broj što ga je dobio iznosi 149 683 000, s točnošću od jedne deset tisućine.

Slijedeći i najveći problem od svega jest određivanje daljine zvijezda. Svaka osnovica na površini Zemlje je tako sitna prema daljinama, koje treba izmjeriti, da je posve neupotrebljiva. Ništa manje nego cijeli promjer Zemljine staze oko Sunca — oko 300 000 000 kilo-

metara — treba upotrijebiti kao osnovicu, pa se čak i to pokazalo gotovo neznatno.

Prvi korak od prametra k izmjerenoj osnovici na Zemljinoj površini doveo je do tisućostrukog povećanja dužine. Slijedeći korak od osnovice do promjera Zemlje opet je tisućostruko povećavanje. Tako isto i slijedeći korak od promjera Zemlje do promjera Zemljine staze. Međutim za posljednji korak od Zemljine staze do udaljenosti zvijezda potrebno je bilo milijunsko povećavanje.

Novija mjerenja pokazuju da su najbliže zvijezde skoro milijun puta dalje od najbližih planeta. Kad je Venera najbliža Zemlji, iznosi njezina udaljenost 41 milijun kilometara, dok je najbliža zvijezda, Proxima Centauri, daleko 40 bilijuna kilometara. Ta zvijezda slaba sjaja pratilac je poznate svijetle zvijezde  $\alpha$  Centauri na južnoj polukugli. U slijedećoj tablici dane su udaljenosti planeta, kad su nam najbliži, i daljine najbližih zvijezda.

Planeti		Zvijezde		
Ime	Udaljenost (km)	Ime	Udaljenost (km)	Udaljenost god. svjetl.
Venera	41 000 000	Proxima Centauri $\alpha$ Centauri	40 bilijuna	4,27 4,31
Mars	56 000 000	München 15040	57 „	6,04
Merkur	75 000 000	Wolf 359	75 „	8,14

Budući da je gotovo nemoguće zorno predočiti tako ogromne udaljenosti, činjenica, što su zvijezde milijun puta dalje od planeta, daje nam samo blijedu sliku o ogromnom ponoru, koji dijeli Sunčev sistem od njegovih najbližih susjeda. Možda će nam prividna nepomičnost zvijezda dati življi utisak.

Zemlja obilazi godišnje oko Sunca brzinom od nekih 29,8 kilometara u sekundi; giblje se dakle 1200 puta brže od brzoga vlaka. Sunce se giblje otprilike jednakom brzinom među zvijezdama, a grubo ocjenjujući, giblju se bliži planeti i većina zvijezda sličnim brzinama. Prilično

smo blizu istini, kad sebi predočimo da se sva nebeska tijela kreću posve jednakom brzinom. Udaljenosti nebeskih tijela odaju se samo brzinama, kojima se prividno kreću na nebu, — što je sporije njihovo kretanje, to je veća njihova udaljenost i obrnuto. Astronomi se u stvari i služe tom metodom da otkriju najbliže zvijezde. Planeti se tako žure preko neba, da je posve lako ustanoviti njihovo gibanje iz noći u noć, pa čak iz sata u sat. Zvijezde se giblju tako polagano, da se ne može otkriti nikakvo kretanje osim dalekozorom, ni u toku jedne generacije, pa ni u toku jednog stoljeća. Čak i upadljiva zvijezda na nebu, koja se sastoji samo od bližih zvijezda, nisu promijenila svoj izgled kroz čitavo povijesno razdoblje. Opreka između planeta, koji mijenjaju svoj položaj svakog sata, i zvijezda, koje ni u stoljeću ne pokazuju primjetljive promjene, daje nam življu sliku o tom, koliko su zvijezde dalje od planeta.

Mnogo je teže predočiti sebi stvarne udaljenosti zvijezda. Činjenica, da je čak i najbliža zvijezda 40 bilijuna kilometara daleko, daje našem duhu jedva neku određenu sliku, ali s jednim drugim podatkom možemo se bolje poslužiti, naime s podatkom, da udaljenost iznosi 4,27 godina svjetlosti — t. j. udaljenost, koju svjetlost, prolazeći svake sekunde put od 300 000 kilometara, prođe u 4,27 godina.

Svjetlost juri istom brzinom kao i radio signali, jer su oni po svojoj prirodi električni valovi. Ta je brzina, govoreći približno, oko milijun puta veća od zvuka. Ogromna razlika u brzini zvuka i električnih valova pokazuje se najtočnije pri običnim radio-emisijama. Govori li govornik u Londonu, potrebno je njegovu glasu kao zvučnom valu više vremena da prođe udaljenost jedan metar od njegovih ustiju do mikrofona nego li električnom valu za put od 800 kilometara do Sjeverne Škotske. Radio slušač u Australiji čuje prije muziku nekog radio koncerta nego li prisutni slušač, koji sjedi otraga u koncertnoj dvorani; potonji je čuje jedino preko zvučnih valova pedesetinu sekunde kasnije nego što je odsvirana. Nasuprot tome, potrebno je tim istim električnim valovima 4,27 godina, da stignu do najbliže zvijezde, tako da bi stanovnici Proxime Centauri čuli koncert sa Zemlje

tek iza 4¼ godine. U toku našeg istraživanja promatrat ćemo još druge mnogo udaljenije zvijezde do kojih još ne bi stigla glazba sa Zemlje, pa ma otišla sa Zemlje prije dolaska Južnih Slavena, prije gradnje piramida, pa čak i prije pojave čovjeka na Zemlji; a možda čak i prije pojave života uopće na Zemlji.

## SPEKTRALNA ANALIZA

Slijedeći međaš predočuje nam primjena spektralne analize u astronomiji.

Svako se svjetlo sastoji od smjese različitih boja, i baš kao što je Newton rastavio sunčano svjetlo svojom slavnom prizmom u sve dugine boje, tako rastavlja spektroskop različne sastavne dijelove svjetla neke zvijezde ili bilo kojeg drugog izvora svjetla. Taj instrument raširi rastavljenu svjetlost u svjetlu vrpcu neprekidno nanižanih boja, koja se naziva »spektar«. Boje su u njemu iste i istim redom poredane kao i u dugi. One se nižu od ljubičaste preko zelene i narančaste do crvene. Razlog je taj, što i sama duga predstavlja spektar. Najjednostavniji spektroskop na svijetu sastoji se upravo od kuglice vode, kao što je kap rose ili kiše. Raznolikost takvih kuglica — komadić orošene tratine ili pljusak — daju već bolji spektroskop, koji isto tako rastavlja svjetlo kao i spektroskop našeg laboratorija.

Naravno, postoji i fizikalni razlog za taj nepromjenljivi slijed boja. Kasnije ćemo vidjeti (s. 134) da se mnoge važne osobine svjetla mogu objasniti pretpostavkom da se svjetlo sastoji od niza valova — nalik naborima koje na jezercu nabire lahor — i da različite boje potječu od valova različite dužine, pri čem odgovara crveno svjetlo najdužim, a ljubičasto najkraćim valovima. Boje u spektru redaju se po njihovoj valnoj dužini od najduljih (crvena) do najkraćih (ljubičasta).

Fraunhofer je 1814. ponovio Newtonovu analizu sunčanog svjetla i otkrio da je po sunčevu spektru iscrtan niz tamnih linija, tako da su izvjesni uski dijelovi boja slabiji ili ih nema. Te se linije još i danas nazivlju Fraunhoferovim linijama. Kasnije ćemo upoznati fizikalne uzroke, koji ih izazivlju (s. 140).



Nakon toga je pronađeno, da su po spektrima svih zvijezda iscrtane slične linije. Na tabli XV. vide se kao primjer nekolicina dobro poznatih zvijezda. Točan položaj tih linija pruža astronomu obilje obavijesti. U povoljnim slučajevima mogu ga izvijestiti o temperaturi (s. 171), gustoći (s. 204) i kemijskom sastavu zvjezdane atmosfere (s. 38), zatim o udaljenosti zvijezde od nas (s. 63) i o brzini kojom ta udaljenost raste ili opada (s. 40), a konačno neki put i o težini zvijezde i o brzini njezine rotacije oko vlastite osi (str. 41).

#### *Kemijski sastav zvijezda*

Ako se spektroskopski rastavi svijetlo neke jednostavne kemijske tvari, kao što je natrij ili kalij, vidi se, da to nije neprekidna vrpca svijetla, nego više uzorak, u kome se izmjenjuju svijetla i tamna mjesta. Taj je uzorak, odnosno niz linija, karakterističan za dotičnu tvar, tako da se po njemu može odrediti priroda tvari, koja svijetli. Pripovijeda se, kako su spektroskopičari, Kirchhoff i Bunsen, promatrali svijetlo jednog dalekog požara u Mannheimu svojim instrumentom i po prisutnosti karakterističnih linija elementa stroncija zaključili, da se i stroncij nalazi u materijalu koji je gorio. Odatle je bilo lako poći korak dalje: znademo li ustanoviti prirodu materijala, koji gori u nekom dalekom požaru, zašto ne bismo mogli saznati i prirodu tvari Sunca i zvijezda? Pokazalo se mogućim slijedeće: tamne linije, opažene u spektrima zvijezda, mogu se većinom prepoznati kao linije koje sačinjavaju karakterističan spektar različitih elemenata. U spektrima na tabli XV. mogu se prepoznati karakteristične linije kemijskih elemenata helija, vodika, kalcija i željeza. Do godine 1862. motrio je već Sir William Huggins spektre kojih 40 zvijezda i vidio u njima linije mnogih poznatih kemijskih elemenata. Nekoliko godina kasnije ispitao je talijanski astronom Secchi 4000 zvjezdanih spektara i podijelio ih u različite razrede, koje je označio sa I, II, III i IV.

Danas se može prilično točno odrediti kemijski sastav atmosfere neke zvijezde po njezinu spektru. Naravno, izgradnja unutrašnjih slojeva nepristupačna je opažanju. Osim nekoliko važnih izuzetaka može se složiti

cijeli spektar od linija poznatih zemaljskih tvari. Možemo dakle zaključiti da su zvijezde, ili bar njihovi izvanjski slojevi, izgrađeni od istih kemijskih elemenata kao i Zemlja.

Kasnije ćemo (str. 168) potanko raspravljati o kemijskom sastavu zvijezda, kad budemo razmatrali različite tipove zvijezda otkrivene opažanjima.

#### *Spektroskopske brzine*

Kad se zna daljina neke zvijezde, onda po njezinu gibanju na nebeskom svodu može joj se odrediti brzina u pravcu, koji zatvara pravi kut s pravcem od našeg oka prema njoj — t. j. brzina okomito na doglednicu, — ali ne i brzina duž doglednice. Ne možemo vidjeti gibanja nekog tijela, ako se kreće baš prema nama, te zvijezda, koja se kreće smjerom doglednice brzinom od milijun kilometara, izgledala bi nam nepomično. Poteškoće, da procijeni brzine duž doglednice, prisiljavaju astronoma da se posluži spektroskopom na slijedeći način.

Kad se spektroskopom rastavi svijetlo neke zvijezde, često se puta opaža da je karakteristični poredak linija ili vrpca u cijelosti pomaknut u jednom ili drugom pravcu. Kad je pomak prema crvenom kraju spektra, stiže svijetlo do nas u stanju crvenijem nego što je normalno; kako crveno svijetlo ima najdulje valove, znači da je svaki svjetlonosni val duži — razvučen više — nego obično.

Budući da sva svjetlost putuje istom brzinom kroz prostor, znači to, da do nas stigne valova manje nego u normalnom slučaju. To može biti zbog toga, jer se mi udaljujemo od zvijezde ili ona od nas, ili zbog oba uzroka u isti mah. Na svaki način znamo da se udaljenost između nas i zvijezde povećava, kad se linije njezina spektra pomaknu prema crvenom kraju. Isto tako znamo da nam se zvijezda približava, kad se linije pomaknu prema ljubičastom kraju. Pomak spektra, što nastaje zbog gibanja tijela, koje odašilje spektar, naziva se obično »Dopplerov efekt«.

Primjere za to pokazuje tabla XVI. Najgornja fotografija na njoj predstavlja izrezak iz ljubičastog pod-

ručja triju spektara. Srednji potječe od zvijezde  $\mu$  Orionis, dočim su druga dva (među sobom istovjetna) iznad njega i ispod njega »spektre za uspoređivanje«, koji pokazuju normalni položaj spektralnih linija zemaljskih tvari. Po pretpostavljenoj identičnosti tih linija s linijama u spektru zvijezde zaključujemo da zvijezda sadrži te tvari. Tada spektar za uspoređivanje mora pokazivati normalni položaj izvjesnih spektralnih linija neke zvijezde tog tipa, t. j. položaj, koji bi imale, kad se zvijezda ne bi nama ni približavala ni od nas udaljavala. Pomnija usporedba pokazuje da je zvjezdani spektar pomaknut malo na desno, t. j. prema crvenom kraju spektra, odatle slijedi da se ta zvijezda mora od nas udaljavati.

Donja fotografija prikazuje spektar iste zvijezde, ali u jednom drugom trenutku. Opet primjećujemo pomak prema crvenom, ali je sada veći nego prije. U trenutku snimanja tog drugog spektrograma morala se dakle zvijezda brže udaljavati nego prije.

Može li se točno izmjeriti iznos pomaka linija u spektru nekog objekta, tada se, nevjerojatno jednostavnim računom, može izračunati brzina kojom se kreće k nama ili od nas. Kad je na pr. svaka linija ili svaka vrpca u nekom spektru stotinku procenta duža od njezine obične dužine vala, tada je brzina, kojom se zvijezda od nas udaljuje, stotinka procenta brzine svijetla ili 30 kilometara u sekundi — a slično vrijedi i za sve druge pomake.

#### *Spektroskopska rotacija*

Slijedeći kretanje sunčanih pjega preko Sunčeve površine uvidjelo se da se Sunčeva atmosfera u okolini njegova ekvatora okrene jednom oko osi za 24 $\frac{1}{4}$  dana. Svaka se dakle točka na Sunčevu ekvatoru okreće brzinom kojih 1800 metara u sekundi oko Sunčeva središta. To znači, da se točke na zapadnom rubu Sunčeva ekvatora udaljuju od nas brzinom od 1800 metara u sekundi, dok nam se točke na istočnom rubu približuju istom brzinom. Da Sunce miruje, pokazivalo bi njegovo svijetlo normalni spektar zvijezde njegova tipa, ali zbog njegove

rotacije emitira polovica površine svijetlo, čije su spektralne linije pomaknute prema crvenom, dok su one s druge polovice pomaknute prema ljubičastom. Zbog toga je svaka linija normalnog spektra razvučena u primjetljivo široku vrpca. I ako ne bismo imali drugog načina — onog što smo ga upravo spomenuli — za proučavanje Sunčeve rotacije, mogli bismo izučavanjem opaženih proširenja tih linija izračunati brzinu točaka na Sunčevu ekvatoru, a time i brzinu vrtnje Sunca.

U novije vrijeme primjenjena je ta metoda za određivanje rotacije drugih zvijezda, pa se već sada mogu navesti brzine ekvatorijalnog kretanja velikog niza zvijezda. Kasnije ćemo vidjeti kako je moguće izračunati i veličinu zvijezda; a kad se to zna, onda je lako naći periodu rotacije zvijezda.

#### *EPOHA FOTOGRAFIJE*

Treba li da izaberemo još jedan dalji međaš u razvitku astronomije, mogli bismo izabrati primjenu fotografije u astronomiji posljednjih godina 19. stoljeća. To je otvorilo branu otkrićima mnogo jače nego bilo koja druga činjenica nakon što je izumljen dalekozor. Do tada je dalekozor, skupivši i skrenuvši svjetlosne valove s neba, bacao usredotočenu zraku kroz zjenicu ljudskog oka na mrežnicu, a u buduću treba da kao primalac služi mnogo osjetljivija fotografska ploča. Oko može sačuvati utisak samo za djelić sekunde, fotografska ploča skuplja sve utiske, koje prima kroz satove, pa dapače katkad i kroz dane, te ih čuva praktično za uvijek. Oko može mjeriti razmake među nebeskim tijelima samo pomoću zamršene mašinerije nitnih križeva, vijaka i nonija; fotografska ploča automatski registrira razmake. Oko, opsjednuto predrasudama, nestrpljivošću ili nadom, može počinuti svaku zamišljivu pogrešku, pa je počinja; fotografska kamera ne može lagati.

I tako proizlazi da mi, čim pokušamo ustanoviti značajna otkrića u astronomiji 20. stoljeća, uvidamo da se ona u izvjesnoj mjeri sastoje samo od tih značajnih otkrića. Spore, naporene, metode osvajanja u 19. stoljeću umakle su kao pred nekom zlatnom groznicom; kad se



brzo odlučuje, zagrebe površina, poberu veći grumeni zlata, napušta se zatim to mjesto i brzo traži drugo, još izdašnije, a sve to ide takvom brzinom, da je svaki pokušaj, da se opiše to stanje, zastario prije nego li je tiskan. Mi možemo samo pokušati da dademo opći utisak novog područja i u najtješnijoj vezi s njim moramo govoriti o starom području, kako nam se prikazuje danas u svijetlu novih saznanja.

### SKUPINE ZVIJEZDA I DVOJNE ZVIJEZDE

Već pogled na nebo ili, još bolje, na fotografiju nekog dijela neba, budi pomisao, da su zvijezde, uglavnom, nasumce porazbacane po nebu, izuzevši zgušnjavanje slabih zvijezda u blizini Kumovske Slame. Svaki mali dio neba ne izgleda nimalo drukčije već kao da su sjajne i slabe zvijezde, onako bez reda, istresene iz neke nebeske soljenke.

Ipak to nije sasvim točno. Ovdje, ondje nađu se skupine upadljivih zvijezda, za koje bi se teško moglo reći da su posve slučajno došle zajedno. Pojas Orion, Vlašići, Bereničina Kosa, pa i Veliki Medvjed, ne izgledaju kao slučajnosti, a to u stvari i nisu. Na postojanju tih prirodnih skupina zvijezda osniva se i opravdava podjela zvijezda u zviježđa. Kasnije ćemo objasniti kako se proučavaju fizikalne osobine zvijezda, a sada je dovoljno primijetiti da fizikalno ispitivanje potvrđuje mišljenje, da su te skupine, kako je netom spomenuto, uglavnom, prave obitelji zvijezda, a ne samo slučajno skupljeni skup zvijezda. Zvijezde takve skupine, kao Vlašići, ne pokazuju samo iste fizikalne osobine, nego se također kreću na isti način kroz prostor, i obrazuju na svom putu po nebu vječno društvo. Budući da zvijezde takve skupine imaju iste fizikalne osobine, pa i putuju zajedno po nebu, mogli bismo ih zgodno označiti kao zvjezdane obitelji. Astronom ih ipak radije zove »zvjezdano jato«.

Ove obitelji mogu biti različite veličine, a najmanja, ali najčešća vrst sastoji se samo od dva člana. Nešto rjeđa vrst sastoji se od tri člana obitelji. Takav trojni sistem obrazuju naša tri najbliža susjeda u prostoru:

Proxima Centauri i obje zvijezde  $\alpha$  Centauri (s. 34). Zatim slijede sistemi od četiri, pet, šest članova, i tako se dalje neograničeno nastavlja.

Najprije ćemo upoznati obitelji, koje se sastoje samo od dva člana — »dvojne zvijezde«, kako se obično nazivaju. Čak i kad bi zvijezde bile porazbacane nasumce iz soljenke na nebo, zahtijevali bi zakoni slučajja da izvjestan broj parova zvijezda mora biti jako blizu. I doista, ako se pomno pogleda fotografija bilo kojeg zvjezdanog polja, opaža se da ima vrlo velik broj takvih bliskih parova zvijezda. Njihov je broj ipak toliki da se ne može objasniti samo zakonima slučajja. Neki parovi mogu slučajno biti tako blizu jedan drugomu, ali za ostale potrebni su fizikalni uzroci da se objasne. Tajnu možemo odgonetnuti, ako područje fotografiramo u razmaku od nekoliko godina i usporedimo različite snimke među sobom. Tada će se pronaći da se neke zvijezde, koje su prvotno izgledale kao bliski parovi, neprestano odmiču jedna od druge. To su zvijezde, koje su za naše oko blizu jedna drugoj, ali to nisu stvarno u prostoru; samo gledajući sa Zemlje stajala je jedna zvijezda gotovo u istom pravcu s drugom. Drugi se parovi ne rastavljaju u toku vremena. Objekti komponente mijenjaju svoje položaje među sobom, ali se nikad potpuno ne rastaju. U najjednostavnijem slučaju opisuje jedna zvijezda gotovo kružnu stazu oko druge, upravo kao što i Zemlja oko Sunca i Mjesec oko Zemlje, i upravo zbog istog razloga: sila teže drži ih skupa.

Takvi parovi zvijezda poznati su kao »dvojni sistemi«. Oni nisu nikakve iznimke na nebu. Kuiper smatra da su 68% zvijezda težih od Sunca dvojni sistemi.

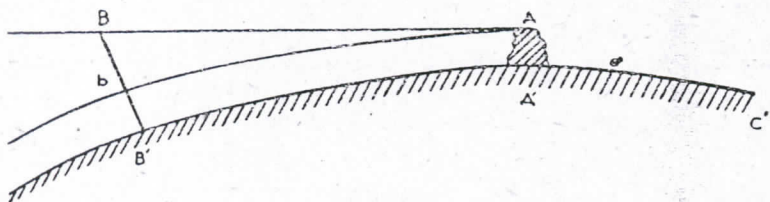
### Zakon sile teže

Kad se iz ruke pusti lopta, ona padne na tlo. Mi kažemo da je uzrok njezinu padu privlačna sila Zemlje. Isto tako u zrak bačena lopta ne leti stalno u istom pravcu, u kom je bačena, jer bi tada ostavila zauvijek Zemlju i pojurila u prostor. Od te sudbine očuvana je privlačnom silom Zemlje, koja je privlači na niže, pa padne natrag na Zemlju. Što je brže bacimo, ona to

dalje padne na Zemlju. Slična lopta, ispaljena iz topa, odletila bi mnogo kilometara i tek tada bi pala na Zemlju.

Zakon, koji određuje sve te pojave, vrlo je jednostavan. Privlačna sila Zemlje privuče naime sva tijela k tlu 4,90 metra u sekundi. To vrijedi za sva tijela, koja slobodno padaju, pa gibala se ona kako mu drago. Svako tijelo, koje nije na neki način zadržano, svake je sekunde 4,90 metra niže nego što bi bilo da za vrijeme te sekunde sila teža nije djelovala.

Da zorno sebi predočimo, šta to znači, zamislimo da velika kružnica  $B'A'C'$  na slici 3 predočuje površinu Zemlje, i da je iz vrha jedne uzvisine  $AA'$  ispaljen hitac u horizontalnom smjeru. Kad metak ne bi bio silom teže privučen prema tlu, letio bi beskonačno duž linije  $AB$  u prostor. Ako je  $AB$  udaljenost, koju bi prošao metak pod tim uvjetima za vrijeme jedne sekunde, tada se on u stvari nakon jedne sekunde leta ne nalazi kod  $B$ , nego u jednoj točki, koja je Zemlji bliža 4,90 metra, jer ga je sila teže privukla k tlu za vrijeme leta 4,90 metra. Iznosi li na primjer daljina  $B'B'$  na slici 3 upravo 4,90 metara, tada bi metak poslije leta točno jednu sekundu dodirnuo zemlju u  $B'$ .



Slika 3.

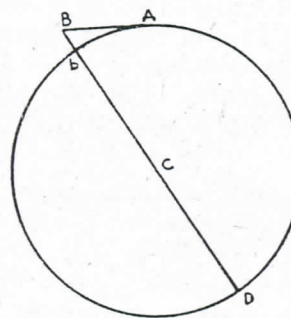
U drugom primjeru uzet ćemo da padom od 4,90 metra ispod  $B$  metak još ne dosegne Zemlju, nego samo točku  $b$ , koja je upravo toliko iznad Zemljine površine kao i točka  $A$ , odakle je let otpočeo. Kad sila teže ne bi djelovala, tako da bi metak letio duž linije  $AB$ , tada bi njegova visina nad Zemljom neprestano rasla. U stvarnosti, u slučaju koji sada razmatramo, privlači sila

teže metak na niže, tako da neutralizira onaj suvišak na visini, koji bi inače nastupio, pa visina metka niti se povećava niti smanjuje. On ne leti u prostor, ali i ne pada na Zemlju, nego stalno opisuje krug oko Zemlje.

Jednostavni geometrijski račun pokazuje, ako udaljenost  $Bb$  iznosi 4,90 metra, da je prevaljeni put za jednu sekundu  $AB = 7,9$  kilometara.<sup>1)</sup> Ispalimo li prema tome metak u horizontalnom smjeru brzinom 7,9 km u sekundi, kružio bi neprestano oko Zemlje, jer bi privlačna sila Zemlje neutralizirala prirodnu težnju metka, da leti duž ravne linije  $AB$ .

Godine 1665. počeo je Newton slutiti da bi ta ista privlačna sila mogla biti uzrok, što Mjesec kruži oko Zemlje, namjesto da u tangenti odleti u prostor. Srednja daljina Mjeseca od središta Zemlje iznosi oko 384.400 kilometara ili 60,27 Zemljinih radija. Budući da Mjesec opiše svakog mjeseca krug te veličine (t. j. svakih 27 dana 4 sata 43 minute 11,5 sekundi), možemo izračunati,

<sup>1</sup>  $C$  neba bude središte Zemlje a  $bCD$  promjer kroz  $b$ .



Slika 4.

Tada je  $BA^2 = Bb \times BD$ ,  $Bb$  je 4,90 metra, a  $BD$  je za 4 metra duže od promjera Zemlje = 12.756 km. Odavde lako izračunamo, da je  $BA = 7,9$  km. Taj račun ne uzima u obzir visinu  $AA'$ , jer ona ne igra nikakve uloge u usporedbi sa promjerom Zemlje.



da se on na toj stazi giblje brzinom od prosječno 3600 kilometara na sat. Svake sekunde prijeđe Mjesec jedan kilometar, i kad bi jurio dalje u pravcu, udaljio bi se još 0,0013 metra od Zemlje. Da održi stoga točno kružnu putanju oko Zemlje, mora pasti 0,0013 metra u sekundi. To je mnogo manje nego kad padne neko tijelo na Zemljinoj površini, ali je Newton slutio, da sila teže slabi što se većma udaljuje od Zemlje. Doista pada tijelo na Zemljinoj površini 3632 puta brže od Mjeseca na njegovoj stazi. No 3632 je upravo kvadrat od 60,27 (ili  $3632 = 60,27 \times 60,27$ ), na temelju čega je Newton uvidio da bi Mjesec imao pravu brzinu padanja, kad bi sila teže slabila obrnuto kvadratu udaljenosti, — t. j. kad bi ona isto tako brzo slabila, kao što raste kvadrat udaljenosti. Kako ćemo kasnije vidjeti, potvrđuju ispravnost toga zakona astronomska opažanja u nebrojenim slučajevima. To je navelo Newtona, da objavi svoj slavni zakon sile teže, prema kojemu slabi privlačna sila nekog tijela, na pr. Zemlje, obrnuto sa kvadratom udaljenosti od tijela.

Privlačenje, koje Zemlja vrši na svaki objekt na svojoj površini, razmjerno je iznosu tvari, koje to tijelo sadrži, ili, kako kažemo, »masi« toga objekta. Tako je, na primjer, privlačenje dviju tona tvari dvaput veće od privlačenja jedne tone. No privlačenje zavisi i o masi Zemlje, pa kad bi se ona odjednom smanjila na polovinu, smanjilo bi se i Zemljino privlačenje svakog tijela također na polovinu.

Niz istraživača izmjerilo je privlačnu snagu, koju ima nekoliko tona olova u laboratoriju, a kad se to zna, može se lako izračunati, koliko tona mora imati Zemlja, da bi privlačila tijela izvan sebe onom moći koja je opažena. Pronašlo se da je masa Zemlje samo malo manja od 600 trilijuna tona<sup>1</sup> ili, kako ćemo mi pisati  $6 \times 10^{21}$  tona.<sup>2</sup>)

<sup>1</sup> Ovdje, kao i u cijeloj knjizi, upotrebljavamo francusku ili metarsku tonu, koja sadrži milijun grama.

<sup>2</sup> Način pisanja  $6 \times 10^{21}$  stoji namjesto broja 6 i 21 ništice iza njega. Takvo skraćeno pisanje je potrebno zbog kratkoće pri navođenju astronomskih brojeva. Jedan milijun se piše  $10^6$  jedan bilijun  $10^{12}$  i t. d.

Upravo kao što privlačna sila Zemlje prisiljava Mjesec, da kruži oko nje, tako potiče privlačna sila Sunca Zemlju i sve druge planete da opisuju krugove oko Sunca. Kada se zna udaljenost planeta od Sunca i njegova brzina na stazi, može se izračunati dužina, za koju taj planet padne u sekundi prema Suncu. Po tomu se odredi privlačna sila Sunca, a po njoj opet možemo izračunati, da je masa Sunca 332 000-struka masa Zemlje ili da iznosi gotovo točno  $2 \times 10^{27}$  tona. Koji god planet uzmemo pri računu, dobijemo uvijek istu masu Sunca. To nam ne daje samo povjerenje u naš rezultat, nego je ujedno potvrda zakona gravitacije; kad bi taj zakon bio netočan ili neispravan, ne bi različiti planeti davali baš istu vrijednost za masu Sunca. Teorija relativnosti pokazuje da taj zakon nije apsolutno točan, ali je ta netočnost tako neznatna, da se može zanemariti, izuzev kod najbližeg planeta Merkura, ali i kod njega je iznos tako izvanredno malen, da se na njega pri sadašnjem razmatranju ne trebamo osvrutati.

Upravo kao što možemo vagati Sunce i Zemlju izračunavanjem gibanja nekog tijela pod utjecajem njihove sile teže — matematičar bi rekao, nekog tijela »u njihovu gravitacionom polju« —, tako možemo vagati i svako drugo tijelo, koje svojom privlačnom silom vezuje za sebe neko drugo manje tijelo. Gibanje Jupiterovih satelita omogućuju nam izračunati da je masa Jupitra oko  $1,92 \times 10^{24}$  tona, 317 puta više od Zemlje, ali još uvijek tek 1/1047 mase Sunca. Na sličan način nalazi se za masu Saturna  $5,71 \times 10^{23}$  tona; ili oko 94,0 puta više od Zemlje.

#### Vaganje zvijezda

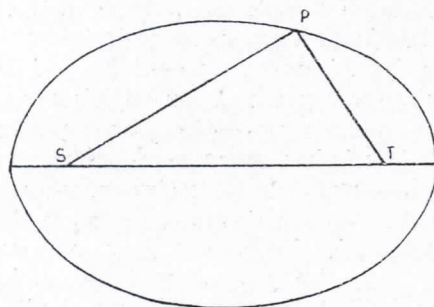
Sada dolazimo do znatne primjene principa, koji smo netom razjasnili — kad motrimo dvije zvijezde na nebu, koje kruže jedna oko druge, možemo ih izvagati pomoću analize njihovih staza. Obično nije problem tako

Slično se pišu i vrlo mali brojevi. Izraz  $10^{-21}$  stoji namjesto  $\frac{1}{10^{21}}$  i tako dalje. Tako stoji  $6 \times 10^{-6}$  za  $\frac{6}{1000000}$  ili 0,000006.



jednostavan, kao onaj o kojemu smo upravo govorili. Da to pravilno shvatimo, moramo se još jednom poslužiti matematičkim djelom Newtona.

Vidjeli smo da metak, ispaljen u horizontalnom smjeru sa brzinom od 7,9 kilometara, opisuje bezbrojne



Slika 5. Ovalna krivulja je elipsa, točke S, T su njena »žarišta«.

krugove oko Zemlje. Sta bi se desilo, kad bismo ga ispalili u drugom smjeru i s drugom brzinom?

Odgovorio je na to Newton. On je pokazao da će malo tijelo pod djelovanjem privlačne sile većega posve odletjeti, ako njegova brzina prekorači izvjesnu kritičnu granicu; u tom slučaju njegova je staza takozvana hiperbola. Ali, ako njegova brzina ostane ispod te kritične granice, bit će njegova staza uvijek elipsa — jedna vrst razvučenog kruga ili ovalna krivulja (slika 5)<sup>1</sup>. Još davno prije nego što je to Newton dokazao, našao je

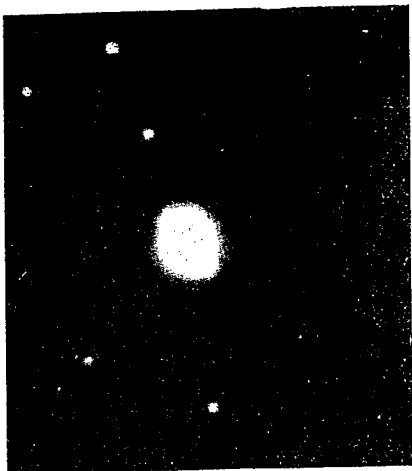
<sup>1</sup> Najjednostavnija je definicija elipse, da je ona krivulja što je opisuje točka P, koja se tako giblje, da zbroj njezinih udaljenosti PS, PT od dvije čvrste točke ST ostane uvijek isti. Praktički se elipsa daje lako nacrtati, ako se neprekinuta nit SPTS ovije oko dvije igle zabodene u dasku za crtanje. Tada se napne nit jednom olovkom u P i crta se elipsa povlačeći olovkom naokolo neprestano napinjući nit. Ako igle S i T stoje jedna blizu druge onda je olovkom izvučena krivulja gotovo kružnica. Odnos dužine ST prema duljini preostale niti SP + PT zove »ekscentricitet« elipse. On je



Zvezdarnica Mt. Wilson

Povećanje dijela (lijevi gornji ugao) Velike maglice M31 u Andromedi, koja se potpuno vidi na tabli X.





N. G. C. 2022.



N. G. C. 6720.



N. G. C. 1501.



N. G. C. 7662.

Zvezdarnica Mt. Wilson

Planetarne maglice.

Kepler, da stvarne staze planeta oko Sunca nisu točne kružnice, nego elipse, premda elipse koje se većinom vrlo malo razlikuju od kružnice. Matematičar ih naziva »elipse malog ekscentriciteta«. Time je Newtonov gravitacioni zakon dobio još jednu potvrdu, jer se može dokazati, da staze planeta ne bi mogle biti eliptične, kad bi sila teže drukčije slabila nego po Newtonovu zakonu, t. j. obrnuto kvadratu udaljenosti, tako da Keplerovo otkriće pruža još jedan dokaz istinitosti Newtonova zakona.

Kad astronom proučava kretanja dvojnih zvijezda na nebu, obično pronalazi, da se komponente ne giblju jedna oko druge u krugu nego u elipsama\*). Još se jednom potvrđuje Newtonov zakon, i smijemo pretpostaviti, da su sile, koje drže skupa dvojne zvijezde, iste privlačne sile koje sprečavaju Mjesec, da odleti od Zemlje, i planete da odlete od Sunca. Proučavanjem ovih elipsa postaje moguće odvagnuti zvijezde. Kad bi masa jedne komponente bila znatno teža od druge, prva bi mirovala, dok bi lakša opisivala elipsu oko nje, tako da bi njezino gibanje sličilo u zbilji gibanju planeta oko Sunca. Takvi slučajevi nisu opaženi kod stvarnih dvojnih zvijezda, jer obje komponente obično nisu jako različite u težini, a to ponovo zamršuje problem. Ne treba da ovdje ulazimo u matematičke pojedinosti. Dovoljna je napomena, da nijedna od tih dviju zvijezda ne miruje. Objе komponente opisuju elipse različite veličine, pa se po tim elipsama, može odrediti težina obje komponente.

uvijek manji od jedinice, jer su dvije stranice trokuta zajedno veće od treće. U graničnom slučaju, kada je ekscentricitet jednak nuli, postaje elipsa kružnicom. Kad se ekscentricitet gotovo jednak jedinici, onda je elipsa vrlo duguljasta. Svi se dakle oblici elipse dobiju, ako se mijenja ekscentricitet od 0 do 1; oni predstavljaju sve različite oblike staze, koju bi manje tijelo moglo opisati oko teže privlačne mase. Točke S i T zovu se žarišta, a veliko tijelo, koje privlači, stoji uvijek u jednom od oba žarišta elipse.

\* Ono što on opaža, u stvari je »projekcija« staze na nebo, ali jedan poznati geometrijski stavak kaže, da je projekcija elipse uvijek elipsa.

Na taj način odvagane su zvijezde, i slijedeća tablica pokazuje rezultat kod četiri dvojna sistema, koja su najbliža Suncu, pri čemu je masa Sunca uzeta za jedinicu:

### Mase zvijezda

Sustavi dvojnih zvijezda blizu Sunca

Zvijezda	Udaljenost od Sunca u god. svjetl.	Masa komponentata (Masa Sunca = 1)	Svjetlosna jačina (vidi str. 46)
{ $\alpha$ Centauri A	4,31	1,10	1,14
{ " B		0,89	0,32
{ Sirius 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

Mase se ovih zvijezda, kako vidimo, ne razlikuju mnogo od mase Sunca, premda je sigurno da u čitavom prostoru postoje raznolikosti veće nego što ih pokazuju četiri para zvijezda naše tablice koji su slučajno u blizini Sunca. Ali ipak ni u cijelom prostoru nema zvijezde, kojoj znamo dovoljno pouzdano masu, a koja bi težila manje od zvijezde Krüger 60 B. To ne znači da ne bi moglo biti bezbroj zvijezda s još manjom masom, jer su zvijezde male mase slabog sjaja, pa je vjerojatno da su zvijezde najmanje mase preslabe, da bi ih mogli vidjeti. Upravo kao što je Uran pokazivao nepravilnosti u svom kretanju, koje su bile pripisane gravitacionom poremećaju drugog nekog do tada nevidenog planeta (Neptuna, s. 21), tako i dvojni sistem 61 Cygni pokazuje nepravilnosti u svom gibanju, a one su, izgleda, prozročene gravitacionim privlačenjem drugog tijela, nama potpuno nevidljivog, s masom od jedne šezdesetine Sunčane mase (str. 180), dok dvojna 70 Ophiuchi pokazuje slične nepravilnosti, koje upućuju na poremećajni utjecaj tamnog tijela s masom tek jedne stotine Sunca.

Zasada je nemoguće kazati, da li se takvi tamni objekti mogu smatrati za zvijezde ili za planete — ako bi se smatrale zvijezdama, bile bi one svakako zvijezde s najmanjim poznatim masama. Na drugom kraju ljestvice ima mnogo zvijezda, mnogo veće mase nego što nam ih naša tablica pokazuje. Od zvijezda, kojih je masa donekle pouzdano utvrđena, najteža je zvijezda H. D. 1337 (Pearce-ova zvijezda), kojoj su komponente 36,3 odnosno 33,8 puta teže od Sunca. Zvijezda  $\beta$  Lyrae je još teža; mase njenih komponentata nisu pojedinačno dovoljno točno poznate, ali njihov ukupni iznos ne može biti manji od 95 Sunaca — one su možda sa masama od 60 odnosno 45 Sunaca. Plaskett-ova zvijezda B. D. 6<sup>o</sup> 1309 sigurno je još teža, jer njezine komponente teže najmanje 75 odnosno 63 puta više od Sunca, a vjerojatno još i više, ali se točna masa još ne zna (str. 56).

Taj način određivanja zvjezdanih masa može se primijeniti samo na dvojne ili višestruke zvijezde; pomoću njega se ne može odrediti masa pojedine osamljene zvijezde. Teorija relativnosti pruža nam mogućnosti da izračunamo masu zvijezda (s. 85) ne ograničujući se na dvojne zvijezde, ali na nesreću može se primijeniti samo u vrlo ograničenom broju slučajeva. Ona je sada spomenuta, jer se može upotrijebiti na vrstu zvijezda izvanredno sjajnih, poznatih kao Trümplerove zvijezde, koje, izgleda, imaju stotorku masu Sunca. Tu je, koliko je do sada poznato, gornja granica zvjezdane mase.

Mogli smo očekivati, da će se naći zvijezda svih mogućih masa; nema nikakva razloga zašto ne bi moglo biti zvijezda sa milijunskom ili milijuntinskom masom Sunca. Uglavljena činjenica, da mase leže unutar prilično uskih granica, pokazuje da je zvijezda određena vrst astronomskih proizvoda, a ne potpuno slučajna gomila svijetleće tvari.

U srednjem su pojedine komponente dvojnih zvijezda u gornjoj vrlo kratkoj tablici 0,96 puta teže od Sunca, pa izgleda da naše Sunce teži nešto više od prosječne težine, podrobija će ispitivanja (str. 184, dolje) pokazati da je Sunce bitno teže od većine zvijezda.



### Jačina sjaja

Zadnji stupac tablice na strani 50. pokazuje sjaj zvijezda, što znači njihovu jačinu kao izvora svjetlosti uzevši kao jedinicu Sunce. Veličina 24 kod Siriusa znači, naprimjer, da Sirius, promatran kao svjetionik u prostoru, ima 24 puta jači sjaj nego naše Sunce. Jačine sjaja zvijezda pokazuju daleko veću raznolikost nego njihove mase. Pokazalo se da su najteže zvijezde ujedno i najsvjetlije, što smo možda i predviđali.

Što nismo mogli predvidjeti, jest činjenica da, općenito govoreći, najteže zvijezde emitiraju najviše svjetlosti na jedinicu mase; za većinu zvijezda nije sjaj ni najmanje proporcionalan masi, nego više kubu mase — zvijezda, koja je dva puta masivnija od Sunca, bit će vjerojatno osam puta sjajnija od njega, i tako dalje.

Ovdje nailazimo na centralnu činjenicu fizikalne astronomije, koja je do nedavno izgledala kao neodgo-netljiva zagonetka, no sada se je rješenje našlo, pa ćemo kasnije doći do potpunog i uvjerljivog razjašnjenja (s. 209).

### Spektroskopske dvojne zvijezde

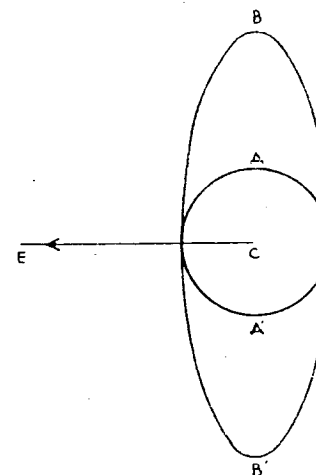
Budući da se komponente dvojnog sistema obično giblju različitim brzinama, sastoji se normalni spektar od dva različita spektra, koji se prekrivaju. Oba su različita, jer pokazuju pomake ovisne o brzinama komponentata.

Donja polovina table XVI. pokazuje jedan primjer, koji prikazuje spektar dvojne zvijezde  $\zeta$  Ursae Majoris (Velikog Medvjeda) u dva različita trenutka. Dobro je pogledati najprije istovjetni, a pokazuju normalni položaj spektralnih linija izvjesne zemaljske tvari, koja je uzeta u svrhu uspoređivanja. Spektar zvijezde je u sredini te u njemu vidimo svaku liniju spektra »za usporedbu« zamijenjenu dvjema odijeljenim linijama — po jedna za svaku komponentu dvojnog sistema; njihovi pomaci daju nam naravno brzine komponenata (str. 39). U gornjem dijelu ne mogu se više linije odijeliti, što znači

da je taj spektar fotografiran kad su obje zvijezde imale istu brzinu prema nama ili od nas.

Zna li astronom gibanje u stazama obiju zvijezda nekog dvojnog sistema, onda može izračunati kojim se brzinama kreću komponente u smjeru doglednice i na taj način unaprijed kazati, kolike bi pomake morali pokazivati njihovi spektri, kad bi se spektroskopom rastavilo svjetlo sistema. Spektroskop bi, naravno, potvrdio njegovo predviđanje.

Poučnije je da predočimo sebi obratni postupak. Uzmimo, da je astronom pri razlaganju svjetla neke zvijezde dobio složeni spektar, kakav je u donjoj polovini table XVI., kod koga se dva različita spektra pomiču ritmički naprijed i natrag oko normalnog položaja. Činjenica, što su dva spektra, kaže mu, da se radi o dvojnog sistema. Ako se ritmičko pomicanje ponavlja svaka dva tjedna, zna, da je sistemu potrebno dva tjedna da prođe svojom stazom. Proučava li zvijezdu neposrednim opažanjem, uviđa da je ona dvojni sistem, u kojem se komponente obrnu svaka dva tjedna jedna oko druge.



Slika 6. Mala staza  $AA'$  i velika staza  $BB'$  daju iste brzine duž doglednice  $CE$ .

On ispituje neki drugi spektar i primjeti, da se on pomiče svaka dva dana. Kad promatra neposredno tu zvijezdu, vidi samo jednu jedinu svijetlu točku. Usprkos tome moraju naravno biti dvije zvijezde; ali sama činjenica, da se one okreću jedna oko druge u kratkom vremenu od dva dana, dokazuje, da one moraju biti vrlo blizu jedna drugoj, pa se on ne iznenađuje, što mu dalekozor ne rastavlja sliku zvijezde u dvije različite svijetle točke. Sistemi ove vrste, koje spektroskop otkriva kao dvojne zvijezde, ali ih dalekozor pokazuje kao jednu jedinu svijetlu točku, nazivaju se »spektroskopske dvojne zvijezde«. Takvih je sistema poznato preko tisuću.

Kad astronom pokuša konstruirati stazu takvog sistema samo iz spektroskopskih opažanja, nailazi na poteškoće. Njegova opažanja odaju samo brzine duž doglednice, a te ovise kako o stvarnoj brzini zvijezde u njezinoj stazi, tako i o orijentaciji njezine staze u prostoru. Iste brzine mogu proizlaziti isto tako od velike putanje u ravnini, koja leži gotovo okomito na doglednici, kao i od vrlo skraćene malene staze. Zato je nemoguće izračunati stazu ili težine zvijezda samo po spektroskopskim opažanjima.

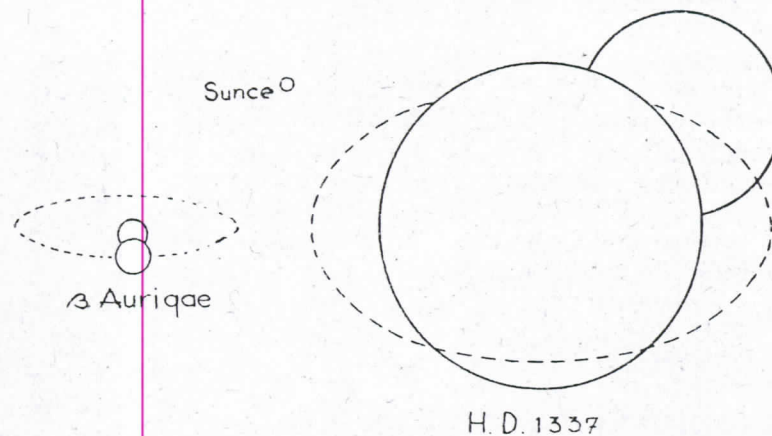
#### Fotometrijske dvojne zvijezde

Od gornjeg tvrđenja ima i izuzetaka. Uzmimo, da svijetlo neke zvijezde u pravilnim intervalima slabi i onda opet dostiže svoj prvotni sjaj. To slabljenje sjaja objašnjava se naravno time, što jedna komponenta sistema pomračuje drugu, a to se može samo tada dogoditi, kad staza izgleda tako skraćena, da njezina ravnina prolazi baš kroz Zemlju ili barem vrlo blizu nje. U takvom slučaju moguće je rekonstruirati cijelu stazu i izračunati tada težine obiju komponenata. Pa ne samo to, već nam vrijeme, koliko traje pomračenje, odaje čak i veličinu obiju komponenata, tako da se može nacrtati potpuna slika sistema. Na slici 7. vide se dimenzije i staze dviju tipičnih pomrčinskih ili fotometrijskih dvojnih zvijezda; one su nacrtane u istom mjerilu, koje je predstavljeno malim kružićem, što prikazuje Sunce.

No zvijezde mogu biti tako blizu da se kad se staze izračunaju na taj način, komponente prekrivaju. Oče-

vidno fizikalno tumačenje toga jest, da oba tijela obuhvaća zajednička atmosfera. Tada nemamo posla s dvije zvijezde, koje se slobodno kreću jedna oko druge u praznom prostoru, nego s dva tijela, koja sebi probijaju put kroz sredstvo koje se odupire. A otpor toga sredstva daje rezultate koji se mogu opažati dinamički i spektroskopski.

Zvijezda  $\beta$  Lyrae pokazuje efekte te vrste, a niz proučavanja Kopala, O. Struvea, Kuipera i drugih pokazivala su, da je ta zvijezda upravo sada opisane vrste. Njezin period od 12,916 dana postaje postepeno dulji, u razmjeru od 9,38 sekundi na godinu, kao da nešto smeta slobodnom kretanju njezinih komponenata, dok spektar



Slika 7. Komponente i staze pomrčinskih dvojnih zvijezda (isprekidana crta prikazuje stazu manje komponente oko veće).

pokazuje krajnju zamršenost, koja se po Struveovu mišljenju može rastumačiti strujanjem gasova, od kojih neki struje s jedne zvijezde na drugu, dok ostali odlaze u prostor.

Druga zanimljiva vrsta pomrčinih dvojnih zvijezda predstavljena je zvijezdom  $\zeta$  Aurigae, kod koje je jedna komponenta zbijena sjajna zvijezda, dok je druga izvanredno prostranija i okružena ogromnom atmosfere-



rom rijetkog plina. Kad mala sjajna zvijezda prolazi iza svog mnogo većeg druga, ona ne pomrači odjednom, nego sjaji još dulje od jednog dana, premda joj sjaj stalno opada zbog difuzne atmosfere veće zvijezde. Kako njezin sjaj postepeno opada, mijenja se i njezin spektar, koji ne daje samo podatke o kemijskom sastavu atmosfere veće zvijezde, nego također i način, kako su raspoređene kemijske tvari u toj atmosferi. Ovdje možemo doista proučavati unutrašnjost zvijezde gledajući kroz nju ili, točnije, gledajući što se dešava, kad priroda posvijetli kroz nju.

Ako kod neke spektroskopske dvojne zvijezde nema pomračenja, onda ne znamo, koje bismo skraćivanje uzeli u račun, ali možemo steći jednu opću sliku o masi komponenata, ako uzmemo prosječni stupanj skraćivanja. Kad uzimamo redom različite stupnjeve skraćivanja, doznati ćemo da račun daje najmanje mase, kad se uzme da ravnina staze prolazi kroz Zemlju, — t. j. kad se staze računaju kao da bi to bio sistem, koji se pomračuje. Premda ne možemo otkriti prave mase komponenata sistem dvojnih zvijezda, koje se ne pomračuju, možemo ipak povući granice, iznad kojih one moraju biti, ako se naime izračunaju mase tako, kao da je to sistem koji se pomračuje. Na taj način znamo da obje komponente Plaskettove zvijezde (v. str. 51) moraju imati više od 75 odnosno 63-struke mase Sunca.

### PROMJENLJIVE ZVIJEZDE

Većina zvijezda sja posve jednolikim sjajem, te možemo reći da neka zvijezda ima tu i tu svjetlosnu jačinu. Sunce na primjer sja svjetlom od  $3,32 \times 10^{27}$  svijeća.

Postoji ipak jedva vrsta neobičnih zvijezda, koje sijaju čas jačim, čas slabijim sjajem. U nekih, kao u upravo opisanih dvojnih zvijezda, koje pomračuju, promjene su sjaja posve pravilne i ponavljaju se takvom točnošću, da se mogu uzeti za mjerila vremena. U drugih su kolebanja, premda ne posve a ono gotovo pravilna, dok ima i drugih, kojima kolebanja za sada izgledaju potpuno nepravilna, makar će se u toku vre-

mena i promjene kod ovih moći svesti na zakone i određene uzroke. Za naše sadašnje razmatranje nemaju različite vrste nepravilno promjenljivih zvijezda nikakva velikog značenja.

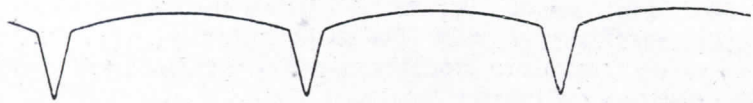
### *Cefeide i promjenljive u skupovima.*

Zaista su zanimljive zvijezde izvjesne vrsti pravilno promjenljivih zvijezda, koje se po njihovu prototipu zvijezdi  $\delta$  Cephei obično zovu »cefeide«. Fizikalna priroda i mehanizam kolebanja sjaja nije još potpuno razumljiv; kasnije ćemo razmatrati taj problem (str. 213).

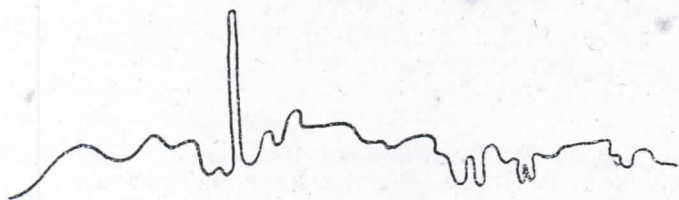
Bio im mehanizam kakav mu drago, opažanja pokazuju, da te zvijezde imaju izvjesnu određenu osobinu koja se pokazala kao vrlo korisna. Zato je možemo zahvalno prihvatiti, a da sebi ne razbijamo glavu zašto i kako. Potpuno pravilno kolebanje svijetla sistema dvojnih zvijezda, koje pomračuju, činio bi ih zgodnim za mjerenje vremena, čak ako mi i ne bismo razumjeli mehanizam, koji uzrokuje to kolebanje. Isto tako imaju i kolebanja promjenljivih cefeida posebnu osobinu. Mi ih možemo upotrebljavati kao mjerila, kojima mjerimo udaljenije dijelove svemira. Da budemo kratki, ta se osobina sastoji u tome, da možemo odrediti pravi sjaj tih zvijezda po opaženim kolebanjima svjetlosti i otuda njihovu daljinu.

Kolebanja sjaja su tako očita, da se zvijezde mogu lako prepoznati i otkriti. Sjaj brzo raste, a onda slijedi polagano slabljenje, pa opet isto brzo rasplamsavanje i polagano slabljenje kao i prije. To naliči kao da netko u potpuno pravilnim razmacima baca u vatru pune naranke drva.

Druga skupina promjenljivih zvijezda, 'općenito poznata kao »dugoperiodične promjenljive«, pokazuje donekle slična kolebanja sjaja, ali je lako razlikovati među objema skupinama zbog vrlo različite periode kolebanja sjaja. Kod dugoperiodičnih promjenljivih perioda kolebanja traje većinom oko godinu dana, dok se kolebanja sjaja cefeida zbivaju mnogo brže. Potpuni ciklus traje malo kada duže od jednog mjeseca, najčešće samo nekoliko dana ili sati. Cefeide u kuglastim



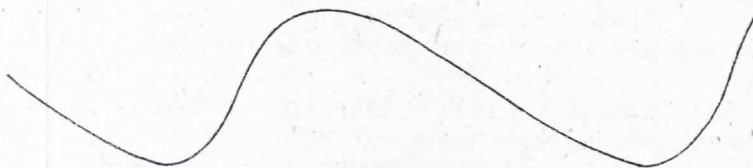
Krivulja sjaja pomrčinskih dvojnih zvijezda ( $\beta$  Aurigae)



Krivulja sjaja nepravilno promjenljivih (RS Ophiucha)



Krivulja sjaja promjenljivih cefeida (v Lacertae)



Krivulja sjaja dugoperiodičnih promjenljivih (o Ceti)

Slika 8. Krivulje sjaja tipičnih promjenljivih zvijezda različitih vrsta.

skupovima, nazvane obično i »promjenljive skupova«, imaju često periode od samo 6 do 10 sati. Ali neke su još i brže; jedna u skupu  $\omega$  Centauri ima periodu manju od  $1\frac{1}{2}$  sata.

Slika 8. (str. 58) pokazuje nam tipične krivulje sjaja promjenljivih zvijezda različitih vrsta. U svakom je crtežu prikazan tok promjene sjaja pomoću krivulje, koja se kreće s lijeva na desno. Što je viša krivulja u nekom trenutku iznad horizontalnog pravca, to je sjaj-nija zvijezda u tom trenutku.

#### DALJINE ZVIJEZDA

Skoro na granici galaktičkog sistema leži zvjezdani skup, poznat kao Mali Magellanov Oblak (tabla XIII.), u kome se nalaze promjenljive cefeide u velikoj množini. Godine 1912, našla je Miss Leavitt sa Harvardske zvjezdarnice, da sjaj svjetlijih cefeida u tom oblaku koleba polaganije nego sjaj slabijih. Bio uzrok jačanja ili slabljenja zvjezdanog sjaja koji mu drago, on svakako djeluje brže u slabijih nego u sjajnijih svijetla. Prividni sjaj izvjesnog broja cefeida u raznim daljinama od Zemlje ovisi, naravno, samo djelomično o njihovu pravom sjaju, odnosno jačini svijeća, a zvijezde u Magellanovu Oblaku su sve gotovo jednako udaljene od Zemlje. Zato bi razlike u prividnom sjaju zvijezda u tom oblaku morale predočavati stvarne razlike u pravom sjaju, i Miss Leavitt-ino otkriće može se izreći na taj način, da periode kolebanja sjaja cefeida ovise o njihovoj jačini sjaja izraženog u svijećama. Premda je to potpuno dokazano samo za cefeide u Magellanovu Oblaku, utvrđeno je to u velikoj mjeri za sve cefeide. Ako dvije cefeide A, B u različitim dijelovima neba kolebaju u sjaju istom brzinom, mora njihova prava svjetlosna jačina biti jednaka. Radi toga se mora razlika u njihovu prividnom sjaju svesti na razliku u njihovim daljinama od nas. Ako je A sto puta sjajnija od B, tada mora biti B deset puta dalja od A. Isto tako može biti treća cefeida C deset puta dalja od B. Znamo onda da je C sto puta dalja od A. I ako se ispostavi, da je D deset puta dalja od C, znamo da je D tisuću puta dalja od A. Na taj način možemo nastaviti



sa postavljanjem i sve daljim produblivanjem našeg mjerila. Do granice dolazimo tek onda, kada dostignemo one udaljenosti, pri kojima čak i cefeide, koje su izvanredno sjajne zvijezde, postaju nevidljive.

Do sada smo promatrali samo relativne daljine cefeida. Apsolutne daljine mnogih bližih cefeida bile su određene pomoću već objašnjene paralaktičke metode, — to znači mjerenjem njihovih prividnih gibanja na nebu, koja potječu od kretanja Zemlje oko Sunca. Uzme li se jedna od tih zvijezda kao naša prvotna zvijezda A, možemo, idući redom od jedne cefeide do druge, izračunati apsolutne daljine svih promjenljivih cefeida na nebu.

Na taj način može nam opaženi odnos između perioda kolebanja i jačine sjaja zvijezda cefeida — obično zvan »zakon perioda i sjaja« — pružiti mjerilo, na kojem možemo neposredno čitati apsolutni sjaj ili jačinu u svijećama neke cefeide po opaženom periodu njezina kolebanja sjaja. Cefeide možemo smatrati postavljenim svjetionicima u dalekim dijelovima svemira. Mi ih možemo, baš kao što i mornar svjetionike, prepoznati po osobinama i pravilnom kolebanju njihova svijetla. Mi možemo čitati njihovu jačinu u svijećama iz perioda njihovih opaženih kolebanja sjaja, isto tako lako kao što pomorac čita jačinu svijeća nekog svjetionika iz pomorske karte. Prividni sjaj cefeide govori nam o njezinoj daljini od nas.

Cefeide na primjer, kojih se sjaj mijenja u periodu od 40 sati, približno su 200 puta svijetlije od Sunca i imaju, prema tome, jakost od  $6,46 \times 10^{29}$  svijeća. Period od deset dana ukazuje na sjaj, koji je 1600 puta veći od Sunca, ili jakost  $5,17 \times 10^{30}$  svijeća itd. Ako opazimo, da neka zvijezda u jednom dalekom astronomskom objektu mijenja sjaj na način cefeida s periodom od 10 dana, znamo, da njezina prava jačina sjaja mora iznositi  $5,17 \times 10^{30}$  svijeća. Njen prividni sjaj neka bude jednak zvijezdi od, recimo, šestnaeste veličine, što znači, ako se ne obaziremo na tehničke pojedinosti, da mi od nje primamo isto toliko svijetla kao i od jedne jedine svijeće na daljini od 9100 kilometara. Razlika između jedne svijeće i  $5,17 \times 10^{30}$  svijeća odgovara razlici između 9100

kilometara i udaljenosti dotičnog objekta; iz toga izračunamo, budući da sjaj opada s kvadratom udaljenosti, da daljina objekta mora biti oko 220 000 godina svijetla. No takav je račun potrebno donekle ispraviti zbog efekta zamračivanja tamne tvari u prostoru.

Teško bi bilo procijeniti značenje toga otkrića za modernu astronomsku znanost. Ono znači, da je pronađena metoda, kojom se može izmjeriti, ako ne cijeli svemir, a ono bar onaj njegov dio, u kome su vidljive cefeide. U stvari je ta posljednja ograda nevažna jer su cefeide vrlo gusto rasute po prostoru. Metoda je naravno najvrednija za istraživanje najdaljih dijelova svemira. Tu ona postizava najveće trijumfe, gdje ostale metode nikako ne uspijevaju. Paralaktička metoda postaje neupotrebljiva, ako pokušamo mjeriti daljine preko stotinu godina svjetlosti. Prividni put, što ga opiše na nebu zvijezda u toj udaljenosti zbog gibanja Zemlje oko Sunca, velik je kao glava pribadače daleke 3 kilometra. Sa svim dotjeravanjima teško je čak i modernim instrumentima otkriti tako sitno gibanje, a praktički je gotovo nemoguće, da se točno izmjeri.

Druge su vrste tegobe mjerenja s pomoću metode »zakona perioda i sjaja«. Čak i najbliže cefeide su tako daleko od nas, da se njihove apsolutne daljine mogu vrlo teško mjeriti točnije s pomoću paralaktičke ili bilo koje druge metode. Zakon »perioda i sjaja« omogućava nam mjerenje relativnih daljina cefeida — naravno i objekata, u kojima se one nalaze — vrlo točno, ali se apsolutne daljine ne mogu odrediti isto tako točno. Ipak se ne može smatrati, da bi najnovija određivanja bila pogrešnija više od 10 postotaka.

Zbog te netočnosti mora se smatrati, da su sve velike daljine, navedene u ovoj knjizi i općenito u astronomskoj literaturi, neispravne kojih 10 postotaka, i to jedino zbog toga razloga.

Ali usprkos tome ostaje točno, da »zakon perioda i sjaja« mjeri daljine objekata dalekih i do milijun godina svjetlosti manje procentualno (postotno) pogrešno, nego što možemo očekivati kada se paralaktički mjere daljine zvijezda, koje su daleko tek stotinu godina svjetlosti.

## UDUBLJIVANJE U PROSTOR

Ovim nije još ni izdaleka iscrpen popis modernih metoda za mjerenje prostora. Svaki normalni astronomski objekt, koji se lako raspoznaje i koji, nezavisno o svom položaju, znači isto obilje svjetla, pruža jednostavno sredstvo za mjerenje astronomskih daljina. Zna li se naime pravi sjaj takvog objekta, može se procijeniti daljina svakog primjerka te vrsti po njegovu prividnom sjaju.

Cefeide s određenim periodima predočuju najtipičniji primjer takvih objekata, ali raspolažemo s još tri druga, premda oni nisu tako općenito upotrebljivi kao cefeide. Najprije dolazi jedna druga vrst promjenljivih zvijezda, već spomenute »dugoperiodične promjenljive«, koje su uglavnom slične cefeidama, samo se njihovo svjetlo mnogo polaganije mijenja. Te zvijezde imaju mnogo jači pravi sjaj, jači čak i od cefeida, jer su mnoge od njih 10 000 puta sjajnije od Sunca. — One su zato vidljive i u ogromnim daljinama i mogu nam biti sredstvo za premjeravanje svemirskih dubina, u kojima su već i cefeide nevidljive.

Tada dolaze »nova e« ili nove zvijezde. Od zgrade do zgrade bukne neka obična zvijezda na nebu izvanrednim sjajem, pa joj se potisućostruči njezin prvobitni sjaj. Još nismo dokučili uzrok tog iznenadnog rasplamsavanja i ne znamo kakvo posve uvjerljivo objašnjenje za to. Ispitivanje razmjerno blizih »nova« dovelo je međutim do zapanjujućeg i do sada neobjašnjenog rezultata. Sve nove zvijezde dostižu otprilike isti maksimalni sjaj — oko 25 000 puta veći od Sunca. Iznimku predstavlja posve određena vrst nova, poznatih kao »supernova e«, a ističu se između običnih nova neobičnim sjajem; za kratko vrijeme sjaju one sjajem od stotine milijuna sunaca (s. 185). Isključujući ove, možemo reći, da nam obične nova e, kad su u najvećem sjaju, pružaju mjeru za baždarenje u gornjem smislu, a budući da se pojavljuju u raznim dijelovima neba, naročito u vangelaktičkim maglicama, pružaju nam jedno grubo sredstvo za mjerenje daljine zvijezda i maglica.

Plave zvijezde (s. 174) pružaju nam također jednu metodu. One su izvanredno sjajne, a one istog spektralnog tipa imaju uvijek gotovo istu svjetlosnu jačinu. Njih možemo dakle također upotrijebiti kao standard objekte, a to omogućuje da se odredi daljina plave zvijezde, i naravno, onih astronomskih objekata u kojima se nalazi.

Još postoje dva načina za određivanje zvjezdanih daljina. W. S. Adams, i drugi pronašli su da nas izvjesne određene osobitosti u spektrima izvjesnih zvjezdanih vrsta izvješćuju o gustoći atmosfera dotične zvijezde. Gustoća ovisi o fizikalnoj strukturi zvijezde, a dotična o njezinu apsolutnom sjaju. Tada je na osnovu tog saznanja lako procijeniti daljinu zvijezde po njezinu prividnom sjaju. Ova se metoda češće naziva metodom »spektroskopskih paralaksa« — nesretan i kriv izraz, jer paralaksa je kut, a gornja metoda nema ništa zajedničko s kutevima.

Na kraju i nježni oblak maglenaste tvari, koja je rasprostranjena u prostoru među zvijezdama (s. 29), utječe na svjetlo, koje njim prolazi, pa nam spektar zvijezde otkriva količinu maglenaste tvari, kroz koju je svjetlo prošlo, tako da opet dobivamo jedno grubo sredstvo za procjenu daljina unutar galaktičkog sistema.

### *Kuglasti skupovi zvijezda.*

Zakon o sjaju cefeida upotrijebio je prvi Hertzsprung za procjenu daljine Maloga Magellanova Oblaka, kojega je proučavanje prvotno pobudilo otkriće zakona. Shapley ga je onda upotrijebio za određivanje daljina prilično tajanstvenih skupina zvijezda, koje su poznate pod imenom »kuglasti zvjezdani skupovi«. Tipičan primjer vidimo na tabli XIV. Takvih skupova poznajemo oko stotinu, i svi izgledaju gotovo jednako, samo što su različite veličine, zbog svoje udaljenosti. Ta se različita veličina može svesti uglavnom na razlike u daljinama, tako da su kuglasti zvjezdani skupovi vjerojatno podjednaki objekti, a tabla XIV. može nam predočiti bilo koga od njih.

U svima takvim skupovima su cefeide bogato zastupljene, pa je stoga moguće mjeriti njihovu daljinu od

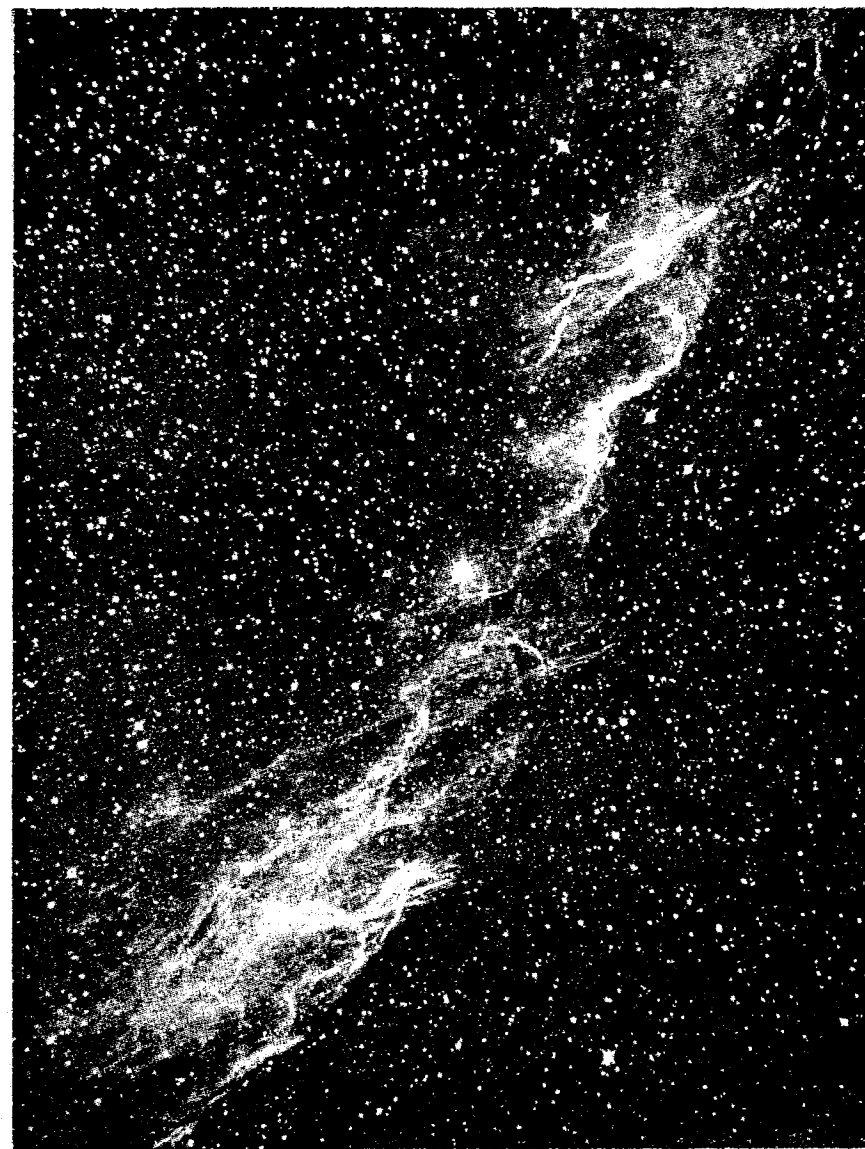


Zemlje — premda ne apsolutno točno, a to barem do onog stupnja točnosti, kako je objašnjeno na str. 61. Najbliži zvjezdani skup  $\omega$  Centauri daleko je 22000 godina svjetlosti, dok je slijedeći po redu samo 3% dalje. Najdalji poznati skup N. G. C. 7006 daleko je 186000 godina svjetlosti. Kod takvih bi daljina paralaktička metoda za mjerenje daljina beznadno zatajila. Paralaktička staza zvijezde daleke 186000 godina svjetlosti, velika je kao glavica pribadače, koja bi se nalazila na drugoj strani Atlantika; nikakav dalekozor na Zemlji ne bi mogao ni otkriti takvu stazu, a kamoli izmjeriti je.

Pusti broj 186 000 godina svjetlosti može nam dati tek blijedu predodžbu o daljini toga dalekog zvjezdanog skupa. Možda ćemo ga bolje shvatiti, ako pomislimo da je svijetlo, po kojemu vidimo taj zvjezdani skup, počelo svoj daleki put k nama u doba, dok je još pračovjek boravio na Zemlji. Kroz djetinjstvo, mladost i starost bezbrojnih ljudskih pokoljenja, kroz duga predpovijesna vremena, kroz polagano svitanje civilizacije i kroz cijeli razmak povijesnog vremena, sjaja i pada dinastija i država, jurilo je svijetlo po 300 000 kilometara u sekundi i stiglo do nas tek sada. A ipak nas ta ogromna daljina ne dovodi do kraja svemira. Vidjet ćemo sada, da nas ona, kako se po svemu čini, dovodi jedva do granice galaktičkog sistema.

Shapley je snimio cjelokupni sistem kuglastih zvjezdanih skupova i našao, da zauzima duguljasto područje na obje strane ravnine Kumovske Slame, te mu je najveći promjer u toj ravnini, a oba poprečna promjera su znatno kraća. Općeniti poređaj vidi se na slici 9. Stranica knjige predočuje ravninu Kumovske Slame, crne mrljice označuju točke na ravnini, koje su najbliže pojedinim skupovima, tado da crtež prikazuje sistem kuglastih zvjezdanih skupova, kako bi ga vidio motrilac vani u prostoru, koji bi gledao na ravninu galaktičkog sistema sasvim »odozgo«. Svi kuglasti zvjezdani skupovi, izuzevši N. G. C. 7006, leže u jednom krugu polumjera 115 000 godina svjetlosti, kome je središte oko 50 000 godina svjetlosti daleko od Sunca.

Kao što pokazuje crtež, raspored je gotovo simetričan prema promjeru kruga; našlo se da je to pravac uperen



*Zvjezdarnica Mt. Wilson*

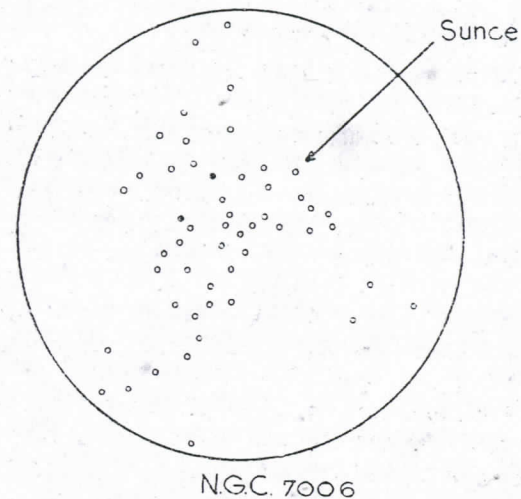
Maglica u Labudu.



Zvezdarnica Mt. Wilson

Trifid maglica (M 20) u Strijelcu.

prema galaktičkoj dužini  $325^{\circ}$ . Sunce leži na rubu predjela, unutar kojega se nalaze skupovi, pa to objašnjava, zašto nam se čini, gledajući sa Zemlje, da skupovi leže gotovo potpuno na jednoj polovini neba. Stvarno se



Slika 9. Poređaj kuglastih zvezdanih skupova.

većina njih nalazi unutar predjela od  $130^{\circ}$  galaktičke dužine ( $235^{\circ}$  do  $5^{\circ}$ ), dok samo dva leže unutar  $152^{\circ}$  galaktičke dužine između  $41^{\circ}$  i  $193^{\circ}$ .

*Raspored galaktičkog sistema.*

Sada znamo, da su predjeli prostora, koje zapremaju ti kuglasti skupovi, koekstenzivni (suvisli) sa samom galaksijom. Znatan broj činjenica pokazuje da se središte galaksije nalazi u gustom zvezdanom oblaku u zviježđu Strijelca (vidi tablu IV) — najbogatijem predjelu Kumovske Slame, kako se je moglo i očekivati. Na Harvardovoj zvezdarnici izmjerili su udaljenost tog zvezdanog oblaka i našli, da iznosi 47 000 godina svjetlosti, a po tome bi bila gotovo u sredini sistema kuglastih hrpa, kako je to pokazano na sl. 9. To i još druge



činjenice, koje će biti spomenute kasnije, pokazuju da je Sunce oko 40 000 godina svjetlosti daleko od centra galaktičkog sistema. Kako su dakle Herschel i Kapteyn mogli toliko pogriješiti i pretpostavljati da se ono nalazi u središtu?

#### *Tamna materija u prostoru.*

Vidjeli smo na tabli II. i IX. kako su neki dijelovi neba tako prekriveni tamnom materijom, da je nemoguće vidjeti kroz nju one zvijezde iza nje. Takvi su predjeli svakako izuzetni, ali se sada zna da nema nijednog dijela neba, koji bi bio posve slobodan od te pomračujuće materije, što oslabljuje, kad ne može posve ugastnuti svijetlo zvijezda iza nje. Živimo u gustoj magli, koja spriječava da udaljene objekte vidimo u potpunom sjaju i uzrokuje da vrlo daleke objekte uopće ne vidimo, ukoliko nisu izvanredno sjajni. Kad šetamo po okolini za vrijeme maglenog dana, naš je vidik ograničen do iste daljine na sve strane i, kad ne bismo inače znali, to bi nas zavelo, da pomislimo kako smo mi u središtu svih stvari. Zbog toga su Herschel i Kapteyn pogriješili pretpostavljajući, da smo u središtu galaksije.

Nebeska magla je najgušća u ravnini galaksije i blizu nje, kako se je možda moglo i pretpostaviti. Ovdje se svijetlo smanji na polovinu intenziteta, dok prođe kroz maglu u dužini kojih 3000 godina — t. j. nakon prolaska kroz maglu u debljini od 3000 godina svjetlosti. Zato nam put kroz 40 000 godina svjetlosti, koliko nam treba do središnjeg predjela galaksije, smanji svijetlo na ciglo jednu desetisućinu onoga što bi inače bilo, a to znači gašenje svih osim najsjajnijih svijetala. Budući da je većina objekata u galaksiji dalja od 40 000 godina svjetlosti, slijedi da se većina galaktičkih objekata ne može uopće vidjeti. Zbog istog razloga ne može se vidjeti ni jedna vangalaktička maglica u galaktičkoj ravnini ili blizu nje, a ni jedan kuglasti skup u predjelu, koji seže oko 4000 godina svjetlosti na obje strane te ravnine — ne zato, što ih tamo nema, nego jednostavno zato, jer općenito pomračivanje svjetlosti spriječava da ih vidimo ako su tamo.

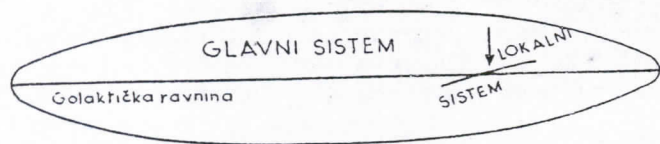
Spoznaja, da taj magleni zastor prekriva cijeli galaktički sistem, dovodi do toga, da se smanje daljine, koje su prije pripisivane slabim objektima. Obično se smatra da su slabi objekti neznatnog sjaja samo zato, jer su daleko; kad je poznat sjaj jednog dalekog objekta, onda slabost njegova sjaja obavještava o njegovoj daljini. Sada znamo da neznatnost sjaja raste zbog kombinacije dvaju uzroka, pa općenito nije moguće odijeliti točno jedan od drugoga. Sigurno je ipak da su daleki objekti, uzeti kao cjelina, znatno bliži nego što smo mislili prije nekoliko godina.

#### *LOKALNI SISTEM ZVIJEZDA*

Kroz izvjesno vrijeme vjerovalo se da je drugi neki faktor odgovoran za pogrešku u pretpostavci, da je Sunce u središtu galaksije. Razni su astronomi mislili da su našli dokaze o postojanju lokalne koncentracije zvijezda — nekoliko milijuna na broju, od kojih bi mnoge bile naročito sjajne — koja bi okružavala Sunce. Opisivali su je kao »lokalni sistem« ili »lokalni skup«. Zamišljalo se da ima jednako splošteni oblik kao i glavna galaksija, ali da ne leži točno u galaktičkoj ravnini, već je za  $12^{\circ}$  nagnuta prema njoj. Izgleda da se nije sumnjalo, da bi Sunce bilo vrlo blizu središnjoj ravnini galaktičkog sistema; Seares je našao da ono može biti jedva 25 godina svjetlosti daleko od nje, ali je bilo nemoguće kazati, da li sjeverno ili južno. No bilo je posve sigurno da Sunce leži na sjeveru u pretpostavljenom lokalnom sistemu, možda oko 150 godina svjetlosti na sjever od središnje ravnine, prema jednoj procjeni. Slika 10. pokazuje presjek sistema, kako se pretpostavljalo da postoji. Smatralo se da je zamjena tog lokalnog skupa s glavnim galaktičkim sistemom krivac ranijim pogrešnim nazorima o ustrojstvu galaksije.

Sada se čak sumnja i u samo postojanje lokalnog skupa; netom spomenuta kozmička magla odgovorna je, djelomice ili potpuno, za uvjerenje, da takvo jato postoji. Gaseći udaljenije, ali ne i bliže, zvijezde galaksije, mogla se dobiti impresija, da smo u središtu predjela gdje su zvijezde izvanredno sjajne i izvanredno brojne. Bok i

drugi, proučavajući ponovo problem, u svjetlu sadanjenog znanja o kozmičkoj magli, još uvijek vjeruju, da postoji lokalni sistem, pa Bok cijeni da mu je promjer kojih 5000 godina svjetlosti. Na drugoj strani Oort, uzimajući drugu pretpostavku za kozmičku maglu, smatra da je gustoća zvijezda blizu Sunca ne izvanredno velika, nego izvanredno malena — nismo u lokalnoj koncentraciji zvijezda nego u lokalnoj praznini. Naravno to je oč-



Slika 10. Diagramski prikaz presjeka kroz galaktički sistem. Sunce se nalazi na vrhu strelice

vidno, jer ako pridamo premalo pomračujuće moći kozmičkoj magli, izgledat će da ipak postoji lokalna koncentracija zvijezda i obratno, tako da je to možda znak da Bok pridaje manju vrijednost gustoći magle nego većina astronoma.

U svakom slučaju postao je vrlo nesiguran neposredni dokaz za lokalni skup zvijezda. Djelomice zbog toga, a djelomice zbog drugog razloga, koji će biti spomenut odmah sada (s. 70), izgleda najvjerojatnije, da će se morati odbaciti ideja lokalnog sistema.

### ROTACIJA GALAKSIJE

Već smo usporedili oblik galaktičkog sistema s kotačem. On ne bi mogao održati taj oblik, kad bi zvijezde, koje ga obrazuju, mirovale u prostoru. Privlačna bi naime sila unutarnjih zvijezda uzrokovala pad vanjskih — rub kotača — prema nutarnjosti i sustav bi završio kao zbrkani skup zvijezda, negdje u blizini središta kotača. Godine 1913. pokazao je Henri Poincaré, profesor matematike na Sorbonni, da bi se galaktički sustav mogao oteti sudbini, kad bi se nalazio u vrtnji. Upravo kao što gibanje Zemlje sprečava njezin pad na Sunce —

ili, ako se poslužimo boljom analogijom, kao što vrtnja Saturnova prstena sprečava djelice, od kojih je sastavljen, da se ne sruše na Saturn — tako bi, smatrao je Poincaré, moglo rotaciono kretanje zvijezda, koje sačinjavaju rub kotača, očuvati cijeli kotač, da se ne surva u središte kotača. Grubi račun ukazuje na to, da bi se kotač svakih 500 milijuna godina morao jednom potpuno okrenuti.

Naravno da nije lako otkriti tako polagano gibanje. Isprva se je vjerovalo da se gibanje vrši na slijedeći način. Mi znamo, da je potrebna znatna sila, da se promijeni nagib osi zvrka ili giroskopa u prostoru, ako se on nalazi u brzom rotaciji. Na tom principu temelji se giroskopski kompas, koji se upotrebljava za upravljanje brodova. Giroskop, vrsta velikog čeličnog zvrka koji je na oba kraja učvršćen u pokretnom okviru, pusti se da se brzo vrta. Postavio se brod u kojem god smjeru, posljedica je vrtnje giroskopa, da okvir pokazuje uvijek u istom pravcu i s pomoću tog stalnog pravca upravlja se brod u svojem kursu. Sunčani sustav ima također mnoga svojstva velikog zvrka, jer okretanja planeta odgovaraju vrtnji zvrka. Budući da taj »zvrk« ne dobiva izvana nikakav udarac, mora njegova os pokazivati uvijek isti pravac, i pruža nam na taj način neku vrst »giroskopskog kompasa« s pomoću kojega se možemo snaći u prostoru.

Godine 1913. vjerovao je Charlier da je otkrio kretanje tog »giroskopskog kompasa« prema dalekoj pozadini zvijezda Kumovske Slame, koji bi izvršio jedan potpuni obrt u 370 milijuna godina; vrijeme koje su kasnija mjerenja povećala na 530 milijuna godina. Eddington je tada mislio da se možda prije vrta pozadina nego giroskopski kompas, jer Kumovska Slama doista rotira na način, kako je Poincaré mislio, i baš istom onom brzinom koju je Poincaré izračunao.

Novija istraživanja Oorta, Plasketta, Lindblada i drugih pokazala su, nesumnjivo, da se takva rotacija zbilja događa, premda ne u tako jednostavnom načinu »kotača«, kako smo upravo razmotrili. U Sunčanom sistemu giblju se unutarnji planeti brže od vanjskih: njima drugo i ne



preostaje, budući da mora kretanje planeta držati ravnotežu privlačnoj sili Sunca. Zbog istog razloga moraju unutarnji dijelovi galaksije brže rotirati od vanjskih, da bi rotaciono kretanje galaksije održavalo ravnotežu privlačnoj sili njezinih unutarnjih zvijezda. Tako bi moralo Sunce pretjecati one zvijezde, koje leže na galaktičkom kotaču izvan njegove staze, dočim bi ono samo bilo pretjecano od onih, koje leže unutar njegove staze. Brizljivo ispitivanje opaženih kretanja zvijezda otkrilo je baš takvo gibanje.

Na prvi pogled izgleda da se zvijezde kreću nasumce — svim mogućim brzinama i u svim mogućim smjerovima. No mjesto da gledamo na pojedinačnu zvijezdu, promotrimo ih u skupinama; skrenimo našu pažnju na skupinu zvijezda, koje su u prostoru jedna blizu druge, i odredimo kretanje svake skupine kao cjeline, određujući prosječno kretanje svih njezinih članova. Naći ćemo da se sve skupine kreću oko središta, koje leži upravo u onom smjeru koji je Shapley označio kao pravac prema središtu galaksije na osnovu svog proučavanja kuglastih skupova.

Iznos se toga kretanja može mjeriti prilično točno pa mjerenje otkriva da se galaksija nalazi u rotaciji na upravo opisani način, unutrašnji dijelovi rotiraju mnogo brže. Prosječna brzina, kojom se zvijezde kreću oko središta galaksije, raste 1 km u sekundi na svakih 200 godina svjetlosti kad se primičemo bliže središtu.

Po tom jednom podatku lako se može zaključiti da je Suncu potrebno oko 250 milijuna godina, da završi svoj put oko središta galaksije. Kako je Zemlja stara oko 3 milijarde godina, vjerojatno je Sunce obišlo oko galaksije desetak puta otkako je Zemlja postala.

Ta rotacija ruši vjeru u postojanje lokalnog sistema zvijezda, spomenuto na strani 68. Različiti bi naime dijelovi takvog lokalnog sistema bili prisiljeni da se kreću različitim brzinama oko središta galaksije, već prema njihovoj različitoj daljini od središta, tako da bi već za nekoliko rotacija zvijezde skupa bile razasute duž cijele galaksije; ukratko takav skup ne bi mogao biti trajne strukture.

Da saznamo dalje pojedinosti o rotaciji galaksije, moramo uvesti još neki podatak — na primjer brzinu kojom se kreće Sunce na svom putu. Da je izmjerimo, potrebna nam je čvrsta osnovica kao oslonac. Možemo, na primjer, uzeti udaljenije kuglaste skupove, budući da se oni, čak ako se i okreću oko središta sistema, ne kreću ni izdaleka onom brzinom kao Sunce, zbog svoje velike daljine. Spektroskopsko izučavanje brzina (str. 40), kojima se Sunce približuje ili udaljuje pokazuje da se skupina zvijezda u blizini Sunca kreće oko središta galaksije brzinom kojih 270 km u sekundi. Jednostavni račun pokazuje da cijela dužina staze mora biti oko 230 000 godina svjetlosti, tako da polumjer staze — daljina Sunca od središta galaksije — mora biti oko 36 000 godina svjetlosti.

Ne može se smatrati da je sasvim točna ta brojka, koja je u najboljem slučaju tek donja granica. Budući da i udaljeniji kuglasti skupovi imaju neko kretanje oko Sunca, mora se brzina tog kretanja dodati izračunatoj brzini od 270 km u sekundi. Doista, kad je Stromberg kušao odrediti brzinu kretanja Sunca pomoću vangalaktičkih maglica, umjesto najdaljih kuglastih skupova, dobio je vrijednosti koje sežu od 360 do 500 km u sekundi.

Svaki porast u određenoj brzini kretanja Sunca mora svakako povećati dužinu Sunčeve staze i na taj način daljinu Sunca od središta galaksije. Imajući to na umu, može se smatrati da je izračunata daljina od 36 000 godina svjetlosti u priličnom skladu s već spomenutim rezultatima od 50 000 odnosno 47 000 godina svjetlosti.

Poznavajući veličinu Sunčeve staze, možemo izračunati kojom gravitacionom silom moraju na Sunce djelovati ostale zvijezde, da ga zadrže u gibanju po toj stazi. Drugim riječima, možemo odvagnuti svu materiju, unutar Sunčeve staze, upotrebljavajući onu istu metodu, kojom se koristimo, da odvagnemo Jupitera, kad znamo gibanje njegovih satelita.

Izgleda, da ukupna masa materije unutar Sunčeve staze mora biti otprilike jednaka masi od 150 milijardi sunaca. Druge procjene broja zvijezda galaksije uglavnom su niže od toga broja. Dvije procjene Lindblada,

na primjer, daju ukupne težinu galaksije od 110 odnosno 180 milijardâ sunaca. Dio te mase može potjecati dakako od prašine ili plina, koji se nalaze između zvijezda. Ipak može ukupni broj zvijezda u galaktičkom sistemu biti blizu 300 milijardâ, jer prosječna zvijezda teži znatno manje od Sunca (str. 183). Ova procjena naravno uključuje sve zvijezde, tamne i svijetleće.

Opet se nalazimo pred teškoćom, da sebi zorno predočimo takve velike brojeve. Za jasne noći, bez mjesecine, možemo vidjeti prostim okom oko 3000 zvijezda. Zamislimo li, da se svaka od tih 3000 zvijezda proširi u puno nebo s novih 3000 zvijezda, vidjeli bismo tada 9 milijuna zvijezda, t. j. broj zvijezda vidljivih u dalekozoru kojemu je otvor 12 centimetara. Vjerojatno da ne možemo zahtijevati od naše mašte, da još jednom izvede isti majstorluk, ali ako bismo i to izveli, i ako bismo mogli zamisliti da se svaka od tih 9 milijuna zvijezda razvije u cijelo nebo puno zvijezda, vidjeli bismo još uvijek tek 27 milijardâ zvijezda — broj koji je još uvijek daleko manji od bilo koje pouzdane procjene ukupnog broja zvijezda u galaktičkom sistemu. Ili se opet možemo podsjetiti, da je broj zvijezda vidljiv na fotografijama s pomoću dalekozora od 2,50 metra otvora, naime 1,5 milijarde, jednak broju svih muževa, žena i djece na svijetu. Svaki stanovnik Zemlje — svaki muž, svaka žena i svako dijete, koje živi na nekom od pet kontinenata ili plovi na nekom od sedam mora — mogao bi izabrati sebi vlastitu zvijezdu, i onda ponoviti svoj postupak deset, a vjerojatno sto puta, a da ne bi morao napustiti galaktički sistem.

Mogli bismo zatim nastaviti dalja istraživanja izvan galaktičkog sistema i nalaziti neprestano sve više i više zvijezda. Galaktički sistem sa svojim stotinama milijarda zvijezda također ne sadrži sve zvijezde, koje se nalaze u prostoru, kao što ni jedna zgrada ne sadrži sve stanovnike Velike Britanije. Ima još na milijune drugih zgrada i na milijune drugih obitelji zvijezda; druge zgrade su vangalaktičke maglice, slabašni magličasti objekti, koje smo već opisali (str. 29.), a koje je Herschel prilično pronicljivo prozvaao »svemirski otoci«.

## VANGALIČKE MAGLICE

### *Bliže maglice.*

Sa najsnažnijim modernim dalekozorom mogu se vrlo detaljno proučavati bliže maglice; tako se našlo, da se sastoje, bar djelomično, od ogromnih oblaka zvijezda. Jaki mikroskop pokazuje, da se oblak cigaretnog dima, usprkos svome cjelovitom izgledu, sastoji od oblaka sitnih, ali posve odijeljenih, djelića; na isti način snažni dalekozor rastavlja svijetlo iz vanjskih područja tih maglica u odijeljene svijetle točke. Maglica se rasčihava u oblak svijetlećih djelića, baš kao i Kumovska Slama prije 300 godina u Galilejevu malom dalekozoru. Tabla V pokazuje jedan primjer, ona predočuje povećanje malog područja u gornjem lijevom uglu Velike Maglice u Andromedi (M 31), pokazane na tabli X.; te se može jasno razabrati rastvaranje u pojedinačne svijetle točkice. Znamo da su bar neke od tih svijetlih točkica zvijezde; Hubble je prepoznao mnoge od njih kao cefeide, budući da njihovo svijetlo pokazuje nesumnjivo karakteristično kolebanje sjaja nama već dobro poznatih bliskih cefeida. Ostali svijetleći dijelci sličnoga su sjaja i taj sjaj leži iznad svjetlosnog intervala cefeide, i ispod njega, a to opravdava pretpostavku, da su to obične zvijezde.

Hubble je osim toga opazio u ovoj maglici rasplamsavanje ništa manje nego 85 zvijezda, koje su pokazivale posve iste osobine rasplamsavanja novih zvijezda u galaktičkom sistemu. Našao je također zvijezde, koje su odavale sve poznate osobine dugoperiodičnih promjenljivih i objekte potpuno slične kuglastim skupovima galaktičkog sistema. Dakle jedva već može biti sumnje, da su maglice u njihovim vanjskim predjelima oblaci zvijezda, koji u mnogome sliče našem galaktičkom sistemu.

Središnji se dio maglica vidi na tabli XVII., ali mu je struktura još nejasna. Nije se još otkrila ni jedna pojedinačna zvijezda, premda prigodice zasijaju neke nove zvijezde, a izvjestan je mali broj zvijezda otkriven u odgovarajućim predjelima drugih maglica. Moglo bi



biti, da zvijezde postoje, ali su sakrivene u magli pomračujuće tvari, ili bi opet moglo biti, da se središnji predjeli dotične i sličnih maglica sastoje od oblaka plinova, koji se još nisu zgusnuli u zvijezde (str. 230), a zvijezde, koje se prigodice vide, bile bi lutilice iz predjela većma zgusnutog u zvijezde.\*

Vidjeli smo kako je Shapley, opažajući periode promjenljivih cefeida, mogao odrediti udaljenost kuglastih skupova, u kojima su se one nalazile, iskoristivši zakon »perioda i sjaja« (str. 63). Hubble je procijenio daljine bližih maglica na isti način, premda njegove prvotne procjene, kao i one Shapleya, treba da se donekle isprave — djelomice zbog pomračujuće tvari, koja leži u galaktičkoj ravnini našeg sistema i blizu nje, a djelomice zbog naknadnih popravaka zakona »perioda i sjaja«.

Izgleda da je najbliža maglica Velika Maglica u Andromedi, koju smo upravo opisali, a daleko je oko 680 000 godina svjetlosti. Kako je to gotovo četiri puta dalje od najdaljeg kuglastog skupa, izgleda da su »vagalaktičke« maglice posve odjeljene od galaktičkog sistema; naziv se je opravdao.

Shapley je našao, da iza najbližeg kuglastog skupa,  $\omega$  Centauri, slijedi drugi, 47 Tucani, samo 3% dalje. Slično vrijedi i za maglice; iza Velike Maglice u Andromedi, prikazane na tabli X, slijedi odmah maglica M 33 u Trokutu, prikazana na tabli XVIII, koja je tek za par postotaka dalja.

Dvojne i trojne maglice su na nebu isto tako česte, kao i dvojne i trojne zvijezde. Često ima velika glavna maglica jednog ili dva manja satelita (pratioca) kraj sebe, premda je koji put uz glavnu, maglica jednaka veličinom i važnošću. Na tabli XXIII. vidi se primjer para maglica jednake veličine i moći, dok nam naša galaksija pruža dobar primjer kombinacije prvog tipa; ona se može smatrati kao glavna maglica trojnog sistema, a dvije maglice sateliti su Veliki i Magellanov Oblak prikazani na tabli XIII.

\*) U najnovije vrijeme uspio je Baade sa Mt. Wilsona rastaviti i središnji dio maglica u zvijezde (op. prev.)

Oni se mogu vidjeti prostim okom na nebu južne polutke kao dva skoro okrugla oblaka. Pokazuju mnogo karakteristika pravih galaksija, ali je njihova daljina od naše galaksije — od središta do središta — tek nekih 90 000 godina svjetlosti. U izvjesnom smislu one su nama najbliže galaksije ako se ne smatra da zbog njihove male veličine ne bi bile nezavisne galaksije — njihovi su naime promjeri tek oko 12 000 odnosno 6 000 godina svjetlosti.

Velika Maglica u Andromedi je također u zajednici sa dvije satelitske maglice M 32 i N. G. C. 205, koje se vide na tabli X. Njihova daljina od središta glavne maglice je nepoznata i mogla bi biti oko 5000 odnosno 7500 godina svjetlosti, dok su njihovi promjeri tek oko 800 do 1600 godina svjetlosti.

#### *Udaljenije maglice.*

Vidjeli smo, kako smo upotrebljavali sve duža i duža mjerila za premjeravanje prostora. Prametar, bazis na površini Zemlje, polumjer staze Zemlje, daljina najbliže zvijezde, daljina cefeide — svaka od tih mjera pokazala se zgodnom do neke izvjesne daljine i morala je uzmaknuti pred slijedećom veće duljine. Na koncu su zatajile i cefeide. Najslabije vidljive maglice leže daleko preko daljine, za koju se još možemo nadati da ćemo na njoj otkriti te zvijezde.

Hubble je izmislio jedno dalje mjerilo, koje je još upotrebljivo, kad već cefeide zataje. Ako se maglica uopće vidi, može se mjeriti njezin prividni sjaj, a isto tako i površina koju na nebu zaprema. Hubble je našao da je za sve maglice određenog oblika prividni sjaj približno proporcionalan njihovoj površini, tako da su maglice sličnog oblika jednakog sjaja na jedinici površine. To pokazuje, da su maglice sličnog oblika također slične strukture i razlika u njihovu prividnom sjaju i veličini samo je posljedica njihovih različitih daljina. Ovdje imamo opet niz normalnih objekata iste ili približno iste svjetlosne jačine, pa možemo, kao i na strani 61., izmjeriti daljinu svake pojedine od njih po prividnom sjaju ili, čak jednostavnije, po njihovim prividnim dimenzijama, ako su one dovoljno velike da se mogu mjeriti.



Tabla XIX. pokazuje, naprimjer, skupinu maglica u Pegazu i zasebnu maglicu N. G. C. 7331 (u sredini slike), koja izgleda znatno veća. No mi znamo, da ona mora imati u zbilji približno istu veličinu kao i maglice istog oblika u skupini. Budući da ona izgleda deset puta veća, mora biti i deset puta bliže.

Tom se metodom mogu izračunati daljine čak i najslabijih maglica i istraživati njihov raspored u svemiru.

U velikom divovskom dalekozoru od 250 centimetara otvora na Mount Wilsonu vide se oko 2 milijuna takvih vangalaktičkih maglica. Njihova se raspodjela u prostoru može proučavati metodom, kojom se već Herschel koristio (str. 26) u proučavanju raspodjele zvijezda u galaktičkom sistemu. Podvostručivši otvor našeg dalekozora možemo opažati dva puta dublje u prostor, tako da bi mogli vidjeti osam puta više maglica, ako su one jednoliko raspodjeljene u prostoru. Stvarno se to potvrdilo pri upotrebi i najvećih dalekozora, kojima do sada raspolazemo. Tako maglice ne pokazuju razređivanje ni na velikim daljinama; pokazalo se da je većina rasprostrta u prostoru po prilici jednako daleko jedna od druge, prosječno oko 1,500.000 godina svjetlosti, premda je ta jednolikost ovdje ondje narušena oblacima i skupovima maglica u kojima je prosječni razmak znatno manji. Kao primjer vidimo na tabli XXII. malu i zbijenu hrpu u zviježđu Pegaza. Nebo je znatno bogatije maglicama u zviježđima Djevice i Bereničine Kose. Tu je Shapley pronašao da na daljini od nekih deset milijuna godina svjetlosti od Sunca ima jedan oblak od kojih 300 maglica skupljenih na prostoru ne većem nego pet do deset puta od našeg galaktičkog sistema. Isti predio neba sadrži i tri druga, još dalja oblaka. Izraženo je već mišljenje, da bi naš galaktički sistem, Andromedina maglica i druge blize maglice mogle predstavljati sličan oblak.

Još je bolji način za određivanje daljina maglica nedavno pronađen. Vidjeli smo (str. 40) kako se zbog kretanja zvijezde njezin spektar pomakne sa svog normalnog položaja — prema crvenom kraju spektra, ako se zvijezda od nas udaljuje, prema ljubičastom, ako nam se zvijezda približuje. Spektri maglica pokazuju pomake koji su, prema svemu, slične prirode, premda obično ve-

ćeg iznosa. Još je uvijek predmet diskusije, da li su ti pomaci zbog stvarnog gibanja maglica ili zbog potpuno drugih uzroka.

Primjeri obaju tipova spektra pokazani su na tabli XX. U svakom slučaju srednji spektar je od maglice, a spektar ispod i onaj iznad (koji su stalno jednaki), jesu »spektri za uspoređivanje« (strana 40.), u ovom slučaju spektar helija. Kako se ti spektri ne mogu lako razumjeti, dodan je pri dnu slike ključ za razumijevanje. Taj pokazuje samo linije H i K kalcija, dok su izostavljene sve ostale linije i pojedinosti, koje bi samo zbunjivale. Vidi se kako su pomaci izvanredno veliki.

Na svaki način ti pomaci u spektru ne daju točno kretanje maglica u prostoru, nego samo relativno gibanje prema našoj Zemlji, koja se i sama kreće. Mi smo već vidjeli da Zemlja kruži oko središta galaktičkog sistema radi rotacije galaksije, i to brzinom možda 270 kilometara u sekundi. Ona se dakle približuje onim maglicama, koje leže pred njom u smjeru kretanja, a udaljuje od svih iza nje istom brzinom. To vlastito gibanje moramo uzeti u obzir, kad ispitujemo prostorno gibanje maglica.

Našlo se da su spektri bližih maglica u podjednakom broju pomaknuti prema crvenom i prema ljubičastom kraju. Pravilno je rasuđivanje, da nam se neke od tih bližih maglica približavaju, a neke udaljuju od nas.

Kako prelazimo od bližih na sve dalje maglice, tako počinju prevladavati pomaci prema crvenom kraju, dok konačno nisu svi pomaci prema crvenom. Izgleda, na osnovu toga, da se sve dalje maglice udaljuju od nas.

Podrobnije proučavanje pokazuje, da se pomaci u spektrima maglica sastoje, uglavnom, od dvije vrste pomaka koji se prepliću:

1. slučajni pomaci, koji mogu biti u oba pravca.
2. sistematski pomaci, koji su redovno usmjereni prema crvenom.

Slučajni pomaci ukazuju bez sumnje na slučajna kretanja, polovina nam se maglica približava, dok se polovina udaljuje od nas. No kod duljine od nekoliko milijuna godina svjetlosti, ti slučajni pomaci postaju neznatni kad se usporede sa sistematskim pomacima prema crve-



nom, tako da se ti posljednji mogu proučavati sami za sebe, a da nisu zapleteni sa slučajnim pomacima.

Humason i Hubble su otkrili značajni zakon, da je iznos sistematskog pomaka proporcionalan (razmjeran) daljini maglice od nas. Zakon je tako točan, da pruža najpouzdaniju metodu, što je imamo za određivanje udaljenosti najdaljih maglica. Ne zna se da li je sistematski pomak stvarno prouzrokovan udaljavanjem maglice, ali to ni najmanje ne utječe na upotrebljivost njegovu kao sredstva za određivanje daljine maglica; bio uzrok pomaku koji mu drago, daljine izvedene s pomoću njega izgledaju potpuno pouzdane.

Ako su pomaci doista prouzročeni kretanjem, brzine su tih gibanja ogromne. Dvije najveće do sada izmjerene brzine pripadaju dvama skupovima: u Bootesu i u Velikom Medvjedu, i te odgovarajuće brzine su 40000 i 42000 kilometara u sekundi. To je otprilike jedna sedmina brzine svjetlosti; čestica, krećući se tom brzinom, prošla bi jednom oko ekvatora Zemlje u jednoj sekundi. Daljine skupova — koje su određene po neosporivim spektралnim pomacima, a ne po njihovim hipotetskim brzinama kretanja — jesu 230 odnosno 240 milijuna godina svjetlosti.

Čak ni to nisu najveće daljine, koje je ljudsko oko — ili bolje reći, teleskopsko oko — ikad ugledalo u dubinama prostora, već je to najveća daljina, s koje je svjetlost došla u dovoljnoj jačini, da se mogla spektroskopski analizirati. Mogu se razaznati još slabije maglice, koje bi, sudeći prema njihovom slabom sjaju, mogle biti na daljinama od 500 milijuna do milijardu godina svjetlosti od nas. 230 000 godina svjetlosti, koliko iznosi promjer galaktičkog sistema (str. 64.), izgleda vrtoglavo veliko u početku, ali sada govorimo o daljinama hiljadu puta većim. Za vrijeme 99,9% svog dugog putovanja, ili još više, putuje svjetlost, s pomoću koje vidimo najslabiju od vidljivih maglica, prema Zemlji, na kojoj ljudi još ne stanuju. Upravo kad treba da stigne, nastaje na Zemlji čovjek i pravi dalekozore, da je uhvati. Tako bar izgleda, kad se pogleda na astronomsku skalau. Ipak ta posljednja stotinka postotka njezina puta, ili još manje, odgovara životima tisuća generacija ljudi, a kroz

to vrijeme i kroz hiljadu puta dulji razmak vremena svjetlost je putovala neprestano naprijed brzinom 300 000 kilometara u sekundi.

### *Mase maglica.*

Možemo pokušati da odredimo ukupni broj zvijezda u tim maglicama brojeći vidljive zvijezde u prosječnim malim predjelima, no možemo se poslužiti još točnijim metodama. Kao što smo pretpostavili, da vanjske zvijezde u galaktičkom sistemu opisuju staze uslijed gravitacione privlačnosti galaksije kao cjeline, tako moramo pretpostaviti, da vanjske zvijezde u maglici opisuju staze pod djelovanjem gravitacione privlačnosti maglice kao cjeline; sile, koje ih drže da ne odlete iz maglice, slične su onoj sili, koja prisiljava Zemlju da se kreće oko Sunca. Možemo dakle odvagnuti maglice na isti onaj način, kao što smo odvagnuti Sunce (str. 47.) ili galaktički sistem (str. 71.).

Hubble je prvotno procijenio da masa Velike Maglice M 31 u Andromedi, koja se vidi na tabli X. mora biti oko 3,5 milijarde puta veća od Sunca, dok bi maglica N. G. C. 4594 u Djevici, koja se vidi na tabli XXI., morala imati oko 35 milijardi puta veću masu od Sunca, no sada znamo, da se te procjene odnose samo na dijelove maglica. Brižljiva su proučavanja predjela neba, koja okružuju maglice, pokazala sasvim uvjerljivo, da se maglice protežu mnogo dalje nego što se to vidi čak i na dugo izloženim fotografijama, kao što su one prikazane na tablama X., XI. i XII. Te table prikazuju samo područja u kojima su zvijezde dovoljno brojne, da izazovu fotografsku ploču na način koji se može vidjeti našim prostim okom. No ako se ploče istraže s pomoću instrumenata, nađe se, da je potrebno da se one povećaju tri ili četiri puta koliko su njihove sadanje dimenzije, kako bi pokazale cijelu strukturu maglica. Kao dokaz za to mogu se ponekad otkriti kuglasti skupovi u tim vanjskim predjelima, baš kao i u vanjskim predjelima naše galaksije. Sve to objašnjava da sve do nedavnog vremena nisu astronomi proučavali maglice, nego tek njihove svjetle srednje dijelove. Maglice, za koje se smatralo dugo



vremena da su mnogo manje od naše galaksije, pokazale su se da su bar u veličini usporedive. Vidjet ćemo odmah da su one usporedive i u masi.

Kretanja različitih dijelova maglica mogu se izučavati spektroskopski, na način izložen na strani 39. Našlo se za mnoge maglice, da sadrže gusto središnje područje, koje se vrti, nalik točku kola ili drugom čvrstom tijelu, a brzina kretanja neke točke je jednostavno proporcionalna (srazmjerna) daljini točke od središta, dok izvan toga leži manje gusto područje, u kojem brzina kretanja opada kako se udaljujemo od središta — kao što se to događa s planetima Sunčeva sistema ili s onim dijelovima naše galaksije, koji su blizu Suncu. Blizu rubova tih vanjskih područja našlo se da su brzine i periodi rotacije usporedivi s onom našeg Sunca u galaksiji. Babcock je našao period rotacije od 92 milijuna godina u vanjskim okrajcima Andromedine maglice M 31, dok su Mayall i Allen našli u maglici M 33 u Trokutu period rotacije od 200 milijuna godina i brzinu kretanja od 120 km u sekundi. To se može usporediti s brzinom od 270 km u sekundi i periodom rotacije od 250 milijuna godina, koliko se je našlo za Sunce u galaktičkom sistemu.

Budući da su te veličine toliko slične, ne čudi nas, što se je pronašlo, da su i procjenjene mase tih maglica vrlo slične našem sistemu. Tri različita ispitivanja dala su za masu maglice M 31 u Andromedi 95 milijardâ, 102 milijarde i 200 milijardâ Sunaca. Na drugoj strani masa maglice M 33 u Trokutu procjenjena je samo na 17 milijardâ Sunaca.

Mase maglica mogu se ispitati na drugi način. Kad se spektroskopski mjerila brzina kretanja članova skupa, takvog, kakvi se vide na tablama XXI. i XXII., našlo se, da se svi članovi skupa ne kreću točno jednakom brzinom. Skup kao cjelina može se kretati brzinom, recimo, od 15 000 kilometara u sekundi, no pribrajajući toj općoj brzini udaljavanja pojedine se maglice kreću unutar skupa, više ili manje slučajno, brzinom od nekoliko stotina kilometara u sekundi.

Kad ne bi bilo gravitacione privlačnosti maglica jedne prema drugoj, ta bi slučajna kretanja uzrokovala



Zvezdarnica Mt. Wilson

»Konjska glava« u Velikoj maglici u Orionu.



Tabla X



Zvezdarnica Yerkes

Velika Maglica M 31 u Andromedi, sa svoja dva suputnika — M 32 ravno iznad središta glavne maglice, i N. G. C. 205 u donjem lijevom uglu. Povećanje gornjeg lijevog ugla M 31 vidi se na tabli V, a povećanje središnjeg dijela na tabli XVII.

brzo raspadanje skupa; svaki bi član skupa naprosto nastavio sadanju stazu i uskoro bi ostavio za sobom druge članove brzinom od nekoliko stotina kilometara u sekundi. Ta je težnja za raspadanjem prirodno poništena gravitacionom silom, koju vrši skup kao cjelina na svakog svog člana. Znajući brzinu kretanja pojedine maglice, možemo izračunati gravitacionu privlačnost, koja može povezivati skup zajedno, tako da on ostaje kao trajna tvorevina; znajući to, možemo izračunati masu cijelog skupa i odavde procijeniti prosječnu masu maglica, koje ga sastavljaju. Sinclair Smith je na taj način proučio skup od 32 maglice u Djevici i našao, da prosječna masa njegovih članova mora biti veličina reda 200 milijardâ Sunaca. Druga su istraživanja našla usporedive vrijednosti za mase maglica drugih skupova.

Osim tih skupova ima mnogo parova maglica, kod kojih izgleda da se oba člana okreću jedan oko drugoga, kao i dvije komponente dvojne zvijezde. Dobar primjer je pokazan na tabli XXIII. Maglice takvog para mogu se odvajati na gotovo isti način kao i zvijezde u dvojnem sistemu, pa se našlo, da je prosječna masa maglice istog, već spomenutog, reda veličine.

Sve to pokazuje da su vangalaktičke maglice bitno slične našoj galaksiji u veličini, masi i unutarnjem kretanju. Najbliže maglice su možda nešto manje veličinom i po masi od naše galaksije, ali vrlo je malo njih dovoljno blizu za precizno određivanje i posve je moguće, a da ne odemo u najveće daljine prostora, da bi mogli naići na maglice veće od naše galaksije.

#### USTROJSTVO SVEMIRA

Do sada nas je svaki porast jačine naših instrumenata vodio sve dublje i dublje u prostor, a prostor se, kako izgleda, širio neprestano sve više i više. Tu se možemo upitati da li će se to rastezanje nastavljati uvijek: jesu li uopće postavljene granice povećanju prostora?

Vjerujem da bi još prije jedne generacije, većina učenjaka niječno odgovorila na to pitanje. Oni bi rekli da prostor može biti ograničen samo nečim, što nije pro-

stor. Mi ili, još bolje, naša mašta, mogli bismo biti spriječeni u neprekidnom nastavljanju našeg puta kroz prostor samo ako bismo naišli na nešto što ne bi bilo prostor. Ma koliko sad izgledalo teško zamisliti prostor bez kraja, još je mnogo teže zamisliti neku granicu sastavljenu od nečega što ne bi bilo prostor, a koja bi sprečavala našoj mašti da prodre preko nje u dalji prostor.

To zaključivanje nije neoborivo. Površina Zemlje, naprimjer, ima ograničenu rasprostranjenost, ali nam nikakva ograda ne priječi da neprestano dalje putujemo, koliko god nas je volja. Putnik, koji ne bi znao da je Zemlja kuglastog oblika, očekivao bi, naravno, da će ga putovanje odvesti sve dalje od kuće uvijek na nova područja, koja čekaju na istraživača. Ipak će se on, kako znamo, vratiti na mjesto s koga je pošao. Zato što je zakrivljena površina je Zemlje, premda bezgranična, konačna u svojoj veličini.

### TEORIJA RELATIVNOSTI

Einsteinova prvotna relativistička teorija gravitacije osnivala se na pretpostavci, da je i prostor, premda bezgraničan, ipak konačne veličine. Cijeli obujam prostora u svemiru ograničenog je iznosa, baš kao i površina Zemlje, a zbog istog razloga: oba se zakrivljuju natrag u sebe i zatvaraju krug. Analogija je samo dotle ispravna i korisna, dok uspoređujemo sveukupni prostor s površinom Zemlje, a ne s njezinim obujmom. Obujam Zemlje ima također ograničeni iznos, ali zbog sasvim drugih razloga. Krt, koji bi u ravnoj liniji prokopao cijelu Zemlju, naišao bi s vremenom na nešto što nije Zemlja, — došao bi van na zrak. Ali na površini Zemlje možemo ići sve dalje i dalje, a da ne naiđemo ni na šta, što ne bi bilo površina Zemlje. Prostor ima iste osobine koje ima površina Zemlje, a ne koje ima obujam Zemlje.

U ovoj knjizi natuknut ćemo samo ukratko kojim je putem teorija relativnosti izvela taj zaključak.

Sasvim je općenita pojava, što pokrenuto tijelo nastoji ostati u svom kretanju, dok ne naiđe na zapreku.

Time se opisuje ona osobina materije, koju dovodimo u vezu s riječju »tromost«. Newton je, na slijedeći način formulira u svom prvom zakonu gibanja:

»Svako tijelo ostaje u svom stanju mirovanja ili jednolikog gibanja u pravcu, dok nije prisiljeno da ga promijeni zbog sila koje na nj djeluju«.

U svom drugom zakonu on to proširuje za slučaj, da postoje sile :

»Promjena gibanja je stalno proporcionalna djelujućoj sili i zbiva se u pravcu u kom ta sila djeluje«.

Kad stvari, kao lopte za igru ili planeti, opisuju staze, koje nisu ravne, Newton zaključuje, da na njih mora djelovati neka sila. U oba ta slučaja to je sila teže, o kojoj smo već govorili na str. 43. Upravo navedeni drugi Newtonov zakon pruža nam sredstvo, da mjerimo tu silu. On kaže da je ona proporcionalna ubrzanju kojim tijelo mijenja svoju brzinu. Više od dva stoljeća vjerovalo se da taj zakon daje neprotivurječni i točni opis prirodnih događaja. Konačno, kad se 19. stoljeće primicalo kraju, pokazala su izvjesna opažanja, počevši od slavnog Michelson-Morleyeva pokusa, da je cijela šema bila bez značaja i puna protivurječja.

Newton je mjerio silu pomoću promjene, koju je ona izazvala u brzini nekog tijela u kretanju. Prije nego što možemo ustanoviti promjenu brzine, moramo biti u stanju mjeriti samu brzinu, a zato nam je potrebna nekakva pozadina, prema kojoj ćemo mjeriti. Nauka 19. stoljeća predočavala je sebi da je takva pozadina dana pomoću »etera«, koji bi ispunjavao sav prostor. Taj eter, koji bi sve prokrio, pružao je zajedno s pretpostavkom o neprekidnom, uvijek jednolikom toku vremena, sve što je potrebno za mjerenje brzine, a time također i za promjenu brzine, dakle i za sile. Tok vremena protječe u sekundi, što se mjeri satom. Na kraju te sekunde moglo bi naše tijelo odmaknuti, na primjer deset metara prema eteru, što se izmjeri nekim mjerilom, i mi bi tada mogli reći da njegova brzina iznosi deset metara u sekundi.

No spomenuti su eksperimenti pokazali, da su sve te predodžbe bile varljive. Ni za etersku pozadinu, koja je trebala da pruži čvrsti oslonac u prostoru, ni za jedno-



liki tok vremena, potreban za postavljanje jedne norme za brzinu, nije se mogao naći neki dokaz ili potvrda. Pokazalo se potrebnim, da se napusti stara šema, koja je do tada prividno pružala točan opis prirode, i da se zamijeni novom, kakvu zahtijevaju eksperimenti. U toj novoj šemi pojavljuju se prirodni događaji, kao slika naslikana na posve novi prostor od četiri dimenzije, kao pozadinu. Taj se pokazao kao čisto matematički i prema tome vjerojatno kao čisto fiktivan prostor. U njemu su prostor i vrijeme našeg svagdanjeg života nerazriješivo spojeni u novi prostor od četiri dimenzije, u kome se oni pojavljuju kao manje ili više ravnopravni sudionici. Ima bezbroj načina, na koje se mogu prostor i vrijeme povezati, ali ima i jedan osobito jednostavan, po kojem ulaze oni kao potpuno ravnopravni sudionici.

Da budemo posve točni, postoje četiri ravnopravna sudionika. Prva tri su tri dimenzije običnog prostora — dužina, širina, i visina — ili, ako hoćemo, sjever-jug, istok-zapad, i gore-dolje. Četvrti je obično vrijeme, mjereno na odgovarajući način, kao što smo mjerili naš prostor (godina vremena odgovara godini svjetlosti daljine u prostoru, i tako dalje), a zatim pomnoženo s kvadratnim korijenom iz  $-1$ . To množenje s kvadratnim korijenom iz  $-1$  je, naravno, osnovna stvar u cijeloj pripovijesti. Kvadratni korijen, naime, iz  $-1$  nema realne egzistencije, već je ono što matematičar zove »imaginarni« broj. Nijedan realni broj ne može se pomnožiti sam sa sobom i dati umnožak  $-1$ . A ipak postoji tek onda doista ravnopravni savez između prostora i vremena, ako se vrijeme mjeri u imaginarnoj jedinici od  $\sqrt{-1}$  godina. Ovo pokazuje da je ravnopravnost čisto formalna — ona je samo jedna zgodna fikcija matematičara. Kad bi naime bila ona nešto više, tada ne bi naše intuitivno uvjerenje, da je vrijeme nešto bitno različito od prostora, imalo nikakvog osnova u iskustvu i davno ga već ne bi bilo.

Opća teorija relativnosti objašnjava odjednom pojave planetarnih kretanja, kod kojih je Newtonov zakon zatajio u objašnjenju — posebice što se tiče vrtnje Merkurove eliptične staze u prostoru. Ona također nagovještuje druge pojave: prividni pomak zvijezda u blizini Sunca za vrijeme pomrčine Sunca, koji se javlja zato,

jer se svetlosna zraka, zakrivljuje pri prolazu kroz gravitaciono polje Sunca, i izvjesni pomak zvjezdanog spektra prema crvenom kraju. Iznos toga pomaka ovisi o jačini gravitacionog polja, kroz koje prolazi svjetlo zvijezde na svom putu od zvijezde do nas, a veći je za zvijezde vrlo malene ili vrlo masivne, odnosno, koje su i jedno i drugo. Ta je pojava bila potpuno neočekivana, kad je izrečeno nagovještanje, ali su je kasnija opažanja potpuno potvrdila. Ona se pokazala kao jedno od najobičnijih oruđa astronomije. Ta se pojava upotrebila za mjerenje promjera Siriusa B, praticca Siriusa, male, slabe zvijezde, zatim za izračunavanje mase izvanredno masivnih i izvanredno sjajnih zvijezda, koje su poznate kao Trümpferove zvijezde (str. 51), kao i za istraživanje prirode zvijezda u središtima »planetarnih maglica« (str. 195).

S druge strane, primjena teorije relativnosti na svemir kao cjelinu nije u istoj mjeri osnovana, pa zato ima različitih nazora o strukturi svemira, koji su još i danas predmet diskusije. Neke od njih moramo sada redom razmotriti.

#### *Einsteinova kozmologija.*

Prema originalnoj Einsteinovoj teoriji ograničene su dimenzije prostora množinom materije, koju on sadrži, odnosno srednjom gustoćom materije u prostoru. Mi nemamo sredstva da ocijenimo, koliko može postojati materije izvan onog područja prostora koje leži na dohvat naših dalekozora, ali unutar tog područja čini se da je materija prilično jednoliko razdijeljena u obliku vangelaktičkih maglica.

Vidjeli smo već, kako se može ocijeniti težina tih ogromnih tvorevina (strana 80.), a isto tako znamo srednje daljine između njih (strana 76.). Ograničimo li se na okrugli broj, možemo, možda, pretpostaviti da prosječna maglica ima masu od 100 milijardâ sunaca i da se nalazi prosječno milijun godina svjetlosti daleko od svojih susjeda. To nam daje prosječnu gustoću materije u prostoru od kojih  $2,4 \times 10^{-28}$  grama u kubičnom centimetru, gustoću pri kojoj se nalazi oko 200 atoma vodika

ili samo jedan atom žive u kubnom metru prostora. Upotrebimo li Hubbleovu točniju procjenu od 1 500 000 godina svjetlosti za prosječnu daljinu maglica u našem dijelu prostora, ta se gustoća mora smanjiti na  $0,7 \times 10^{-28}$ , ali moramo dodati nešto zbog nastojanja maglica da se skupe u skupove. U cijelosti možemo možda uzeti  $10^{-28}$  kao okrugli broj za procjenu prosječne gustoće materije u prostoru. Kad bi cijeli prostor bio ispunjen materijom te gustoće, Einsteinova bi originalna kozmologija ustalila konačni polumjer prostora na 3 300 milijuna godina svjetlosti. To je otprilike dvanaest puta dalje od najdalje poznate daljine maglica, premda vjerojatno samo dva ili tri puta dalje od daljine najdalje vidljive maglice.

Usprkos tome ne vodi nas opća teorija relativnosti jednim jedinstvenim putem do te kozmologije. Sasvim je moguće da je prva (teorija) ispravna a druga (kozmiologija) kriva. Teorija relativnosti određuje posve točno osobine svakog malog dijela svemira, pušta međutim slobodnim različite druge načine, na koji se mogu ti mali komadići složiti u jednu cjelinu. Einsteinov poseban nazor o svemiru nema pravo na isti ugled, koji u cijelosti uživa opća teorija relativnosti. I doista se za nekoliko godina izgubilo povjerenje u nj, te je izgledalo da će biti zamijenjen jednom drugom kozmologijom, koju je de Sitter iz Leidena objavio 1917. godine i prilično detaljno razradio.

#### *De Sitterova kozmologija.*

Pokušat ćemo da razumijemo bitne razlike između dviju kozmologija.

Einsteinova kozmologija smatra da je veličina svemira određena iznosom materije koju on sadrži. Ako je pri stvaranju bilo zaključeno stvoriti svemir s određenom masom materije, koja se treba vladati prema određenim prirodnim zakonima, tada se prostor svojom veličinom morao odmah prilagoditi tom iznosu materije. Ako su pak bili određeni prirodni zakoni i veličina svemira, tada je bila neizbježiva nužnost stvoriti izvjesnu ograničenu masu materije. De Sitterov svemir nije tako

jednostavan ili, ako nam to zgodnije zvuči, on dopušta više slobode što se tiče izbora pri stvaranju. Nakon ustanovljenja prirodnih zakona moguće je još stvoriti svemir samovoljne veličine i ispuniti ga unutar izvjesnih granica svakom količinom materije. Promatrajući sa strogo znanstvenog stajališta, Einsteinov svemir ima jedan element samovoljnosti manje negoli de Sitterov i utoliko ima prvenstvo po jednostavnosti.

S druge strane nije ta jednostavnost postignuta bez ustupaka. Kamen temeljac čitavoj teoriji relativnosti jest jednakost prostora i vremena u smislu kako je već razjašnjeno. Einsteinova kozmologija postiže svoju jednostavnost samo s pomoću pretpostavke, da spomenuta jednakost iščezava, ako promatramo svemir kao cjelinu. Ona pretpostavlja da su prostor i vrijeme nerazlučivi u već pokazanom čisto formalnom smislu za biće kojemu je iskustvo ograničeno samo na mali dio svemira; za biće, koje može dosizati kroz cjelokupnost prostora i vremena, postaju oni sasvim različiti. Nije posve jasno koliko važnosti treba pridati ovom prigovoru, ako je on uopće prigovor. Stvarni prostor i stvarno vrijeme su nesumnjivo različiti. Čak ako i poričemo njihovu realnost, oni još uvijek ostaju razlučivi kao oblici nazora. Zar može tada biti prigovor jednoj kozmologiji, što ona na koncu konca priznaje, promatrajući svemir u velikom mjerilu, prostor i vrijeme kao različite osebnosti? Mi smo to već nekako znali prije nego što smo i počeli svemir promatrati u velikom mjerilu.

Bio odgovor na to posljednje pitanje ovakav ili onakav, de Sitterova kozmologija izbjegava svakom mogućem prigovoru time što pridržava jednakost prostora i vremena ne samo u pojedinim dijelovima svemira, nego i kroz cijeli svemir. Razumije se, dakako, da mi govorimo o jednakosti još uvijek u već objašnjenom čisto formalnom smislu, pri čemu godina svjetlosti daljine vrijedi u kozmologiji isto toliko, koliko kvadratni korijen iz  $-1$  godine vremena. Čak ni de Sitterova kozmologija ne tvrdi da je godina svjetlosti (9,46 milijuna kilometara) isto što i 12 mjeseci.

Premda je Einsteinova opća teorija relativnosti potvrđena u širem opsegu opažanjima, ne označuje njezin



kozmoški dio nikakvih osobitih oznaka, koje bi se mogle podvrći neposrednoj potvrdi opažanja. De Sitterova kozmologija s druge strane, predviđa da spektri svih udaljenih objekata moraju pokazivati pomak prema crvenom, i to u mjeri koja ovisi o daljini objekta. Ravno-pravnost prostora i vremena ima kao posljedicu, da su titraji svjetlosnih valova nekog osobitog izvora svjetlosti u udaljenijem dijelu svemira polaganiji nego u bliskom. Tok vremena tamo, gdje se upravo nalazimo, teče brže nego igdje drugdje. To zvuči isprva besmisleno, ali pri približem ispitivanju iščezava paradoks. De Sitter ne zahtijeva od nas da se vratimo jednom geocentričkom svemiru, jer on pokazuje, da bi stanovnik jedne daleke zvijezde također ustanovio da zemaljskim atomima vrijeme sporije teče nego njegovim vlastitim. Paradoksa potpuno nestaje s pojmom relativnosti svih mjera vremena i prostora.

Ovaj pomak prema crvenom, kao posljedica daljine, svojstvena je de Sitterovoj kozmologiji. On pridolazi k pomaku, koji — a tu se slažu sve kozmologije — mora pokazivati spektar tijela, koje se kreće, zbog njegova gibanja, pri čemu se javlja pomak prema crvenom samo onda, ako se tijelo udaljuje od Zemlje (strana 39.). Prema de Sitterovoj kozmologiji, nisu oba pomaka posve nezavisna, jer je bitna značajka te kozmologije, da bliza tijela pokazuju težnju, da se udalje jedno od drugoga. Baš kao što zrnca pilotine, koja se bace u rijeku, teže da se odijele kad plove brzicom, tako se raspršuju objekti u de Sitterovu svemiru pri plovljenju niz rijeku vremena.

#### *Rastezanje svemira.*

Isprva se mislilo da su kozmologije de Sittera i Einsteina među sobom nespojive, jer je očito da svemir ne može biti u isti čas i de Sitterov i Einsteinov svemir.

No matematička ispitivanja Friedmanna u Rusiji (1922) i Lemaitrea u Belgiji (1929) razmrsila su problem na drugi način. Kratko rečeno, oni su pokazali da kozmologije Einsteina i de Sittera nisu toliko protivurječne jedna drugoj, koliko se među sobom nadopunjuju. Oni

su naime dokazali da nijedan svemir ne bi mogao trajno ostati u stanju kako ga je zamislio Einstein. Svemir u tom stanju je nestabilna zgrada, čim počne postojati, započeo bi se rastezati i ne bi prestao s rastezanjem, dok ne bi postao de Sitterov svemir. Čak i tada bi se dalje širio, ali samo u normalnom proširenju de Sitterova svemira, na način koji smo već razmotrili.

U svijetlu tog rezultata dobiva problem kozmologije novi oblik. Ne postavlja se više pitanje, da li je stvarni svemir Einsteinov ili de Sitterov, nego koliki je već razmak prevalio na putu koji počinje s Einsteinovim, a završava de Sitterovim svemirom.

Razumljivo je, da se za odgovor moramo obratiti opažanjima. Osnovna crta Einsteinova svijeta je njegova statička priroda. On miruje, tako da objekti u njemu ne pokazuju nikakvo gibanje drugačije od onoga što je prouzrokovano međusobnim djelovanjem s drugim tijelima. S druge strane, najbolje ćemo predočiti glavnu osobinu de Sitterova svijeta, ako sebi predočimo da se prostor rasteže, tako da se svaki par nebeskih tijela neprestano udaljuje jedan od drugoga. Oni mogu imati svoje vlastito gibanje, ali tome pridolazi još jedno općenito gibanje, koje udaljuje svako tijelo od svih njegovih susjeda, a potječe od rastezanja prostora. Oni su kao pljeva što pliva na vodi i pokazuje kako teku strujnice. To gibanje je takvo, da se svako tijelo od svakog drugog navedenog tijela, na pr. naše Zemlje, udaljuje, i to brzinom koja je točno proporcionalna njezinoj daljini od tog tijela.

Takvo kretanje nije svojstveno samo de Sitterovu svemiru, nego i svim međusvjetovima između Einsteina i de Sitterova svemira. Ako je naš stvarni svijet karika tog lanca teoretski mogućih svijetova, tada bismo se mogli nadati da ćemo opažanjima otkriti takva kretanja od nas. Pri tome je prirodno ispitati to najprije kod najdaljih objekata, van galaktičkih maglica, jer su ta gibanja, ako uopće postoje, najveća kod njih.

Vrst kretanja, što ga zahtijeva teorija, upravo je ono, što smo vidjeli, da ga vrše vangalaktičke maglice. Kad se kretanje Sunca oko središta galaksije uzelo u

račun kako treba, našlo se da se sve poznate maglice, osim nekih neznatnih iznimaka, udaljuju od središta galaktičkog sistema, i to brzinama, koje su gotovo točno proporcionalne njihovoj daljini od nas, kako to zahtijeva teorija svemira koji se rasteže. Brzina je udaljava- vanja otprilike 168 kilometara u sekundi za svaki mili- jun godina svjetlosti odstojanja.

Opažanje dakle potpuno potkrepljuje opću teoriju rastezanja svemira, a time također opću teoriju relativ- nosti, na kojoj se temelji ta razrađena teorija. Nalazimo jedno opće rastezanje, koje pokazuje da je svijet na- pustio stacionarnu Einsteinovu konfiguraciju prije izvjesnog vremena, ako se je ikad u njoj nalazio.

Opažanja nam ipak ne mogu odati koliko je naš svijet već napredovao na svom putu. Sir Arthur Edding- ton pokušao je ponovo jednim izvanredno duhovitim, premda donekle hipotetičnim teoretskim ispitivanjem dobiti određeni odgovor na to pitanje. Najlakše ćemo to razumjeti jednostavnom analogijom. Kad trgovac metne omotak šećera na vagu na pero, on vjerojatno misli da važe šećer, ali u stvari određuje privlačnost teže između Zemlje i šećera — privlačenje, u kom podjednako učestvuje i Zemlja i šećer. Kad bi on sa svojom vagom na pero i sa svojom vrećom šećera putovao po Sunčevu sistemu, našao bi različitu težinu šećera na različitim planetima. Na Jupiteru težio bi samo dvije trećine od onoga, koliko teži na Zemlji, a na Merkuru tek jednu četvrtinu i t. d. Mi ne bismo mogli reći da trgovac doista važe šećer. Želimo li ostati pri jednostranoj tvrdnji, bilo bi ispravnije reći da on važe planete. Istina je u stvari da u svako takvo mjerenje ulaze neprestano težine obaju tijela, i to na simetričan način. Znamo li težinu jednog onda možemo izvesti težinu drugoga, ali ako ne znamo težinu nijednoga, tada je samo pitanje našeg stanovišta, da li ćemo reći da važemo jedno ili drugo tijelo.

Izmišljeni su izvjesni dobro poznati fizikalni po- kusi, da se odredi težina najmanjih djelića svemira, od kojih je izgrađena sva materija, naime elektrona (strana 117). Baš kao što je pri mjerenju s vagom na pero ula- zila masa, i Zemlje i šećera, tako su Mach, Einstein i

drugi naslućivali, da pri mjerenjima te vrsti igraju ulogu mase djelića kao i masa cijelog svemira. Ako je tako, onda se radi o njegovu izboru, hoće li eksperimen- tator reći da mjeri jedno ili drugo, i bit će moguće po- moću tih pokusa ocijeniti masu cijelog svemira — jednako kao što smo mogli ocijeniti masu cijele Zemlje po privlačenju kojim ona privlači kilogram šećera. Na taj način procijenio je Eddington masu svijeta na  $1,08 \times 10^{22}$  Sunčanih masa.

Mi smo sebi predočili da je svijet, rastežući se, počeo svoj bitak kao Einsteinov svemir u ravnoteži, pri čemu je cijeli prostor bio, što je moguće gušće, ispunjen materijom. Račun pokazuje da bi Einsteinov svijet, koji sadrži masu od  $1,08 \times 10^{22}$  Sunaca, imao polumjer od 1068 milijuna godina svjetlosti. Ako se dakle može vje- rovati Eddingtonovoj teoriji, morao je naš svemir otpo- četi s tim polumjerom i otada se stalno rastezati.

Opća mehanika pokazuje da brzina predmeta, koji padaju, ovisi o visini s koje su pali. Slično bi ovisila i brzina maglica o odnosu u kom se je svemir rastegnulo, ili, točnije, o polumjeru s kojim je otpočeo svoje raste- zanje. Ako je, dakle, svemir imao prvotni polumjer od 1068 milijuna godina svjetlosti, mogla bi se izračunati brzina udaljava- nja maglica u ovisnosti o njihovoj uda- ljenosti od nas. Eddington je tako izračunao brzine, koje su veličinom po prilici istoga reda kao i one stvarno opažene.

On, prema tome, pretpostavlja da je svijet počeo kao Einsteinov svemir s polumjerom od 1068 milijuna godina svjetlosti i da je sadržavao množinu materije od  $1,08 \times 10^{22}$  Sunčanih masa. Kad bi ta materija bila je- dnoliko razdijeljena po prvotnom svemiru, otpadalo bi oko  $2 \times 10^{-27}$  grama na kubični centimetar, što je oko 10 ili 20 puta više nego što smo ocijenili da je sadašnja srednja gustoća. Ona je dakle morala opasti na desetinu ili dvadesetinu, otkada je svemir počeo svoju ekspan- ziju. To znači isto kao kad se kaže da su se linearne dimenzije svemira više nego podvostručile, tako da bi sada svemir imao polumjer od kojih 2 milijarde godina svjetlosti.



Vjerujem da nema mnogo astronoma koji su potpuno prihvatili teoriju na kojoj se temelje Eddingtonove procjene, a mnogi su oblikovali posve druga mišljenja o veličini sadašnjega svemira.

Prema svakoj ovoj procjeni, koja uopće izgleda opravdana, dio prostora, koji dokučujemo našim dalekozorima, samo je jedan sitni dijelić čitavog prostora — otprilike jedna tisućina. Ima dakle dovoljno prostora koji očekuje istraživanje. To možda ne iznenađuje. Ljudski rod, koji tek 300 od 300 000 godina, koliko boravi na Zemlji, poznaje dalekozor, jedva bi mogao i očekivati da shvati cijeli prostor u tako kratko vrijeme. Naši astronomski otkrivači putuju od otoka do otoka u maloj otočnoj skupini, koja okružuje njihov zavičaj u prostoru, ali oni su još uvijek veoma daleko od toga, da oplove cijelu Zemaljsku kuglu. Isto tako, kao što su prvi geografi pokušali procijeniti veličinu Zemlje davno prije nego su mislili na to, da je oplove, trude se sada astronomi da stvore predodžbu, naravno smjelu, o veličini cijelog svemira na osnovu osobina ovog dijela, koji već poznaju. A mi možemo lijepo sebi predočiti da će već slijedeća generacija dovršiti put oko prostora i moći sebi isto tako dobro i isto tako lako predočiti konačni, ali neograničeni prostor, kao što sebi predočavamo konačnu, ali neograničenu površinu Zemlje.

#### *Starost svemira.*

Posve neovisno o bilo kojoj teoriji svakako opažanja pokazuju prividnu ekspanziju s brzinom od 168 kilometara u sekundi za svaki milijun godina svjetlosti daljine. U drugome obliku možemo te navode izreći, kad kažemo da se čini, da svemir svakih 20 milijuna godina poveća svoje dimenzije za jedan postotak. Sve ovdje iznesene teorije zahtijevaju da ta brzina rastezanja ostane približno nepromjenjena, barem nakon toga što se rastezanje dovoljno razmahalo. Uzmemo li u obzir i »kamate od kamata« pri rastezanju, svemir mora tada svakih 1434 milijuna godina podvostručiti svoje dimenzije, a svakih 4300 milijuna godina posmorostručiti. Ako smo, na primjer, bili u pravu procjenjujući, da je

sav porast bio malo veći od dvostrukog povećanja, tada se glavni dio ekspanzije morao zbiti u posljednje dvije milijarde godina.

Nema sumnje, da tome broju treba dodati i ono vrijeme, koje je bilo potrebno, da u početku rastezanje dođe u zamah, ali je vanredno teško procijeniti koliko treba dodati. Mi priznajemo da je originalni Einsteinov svemir bio nepostojan, nalik štapu koji stoji na svom vršku. Bilo kakav slabi udarac ili nepravilnost uzrokuju početak pada, a isto tako moramo sebi predočiti da je bilo kakav neznatni događaj ili poremećaj potaknuo rastezanje svijeta. Mi ne možemo izračunati, koliko traje, dok štap počne padati, ako ne znamo sve pojedinosti poremećaja koji je prouzrokovao pad.

Isto tako ne možemo izračunati koliko je dugo trajalo, dok se rastezanje svemira nije dovoljno razmahalo, prije nego dobijemo odgovarajuće obavijesti o svemiru. Može se ipak izračunati vrijeme za različite hipotetične poremećaje. Lemaîtreova istraživanja su pokazala da je to vrijeme bilo jedva duže od daljih 30 milijarda godina.

#### *Druge mogućnosti.*

Slaganje među naprednim teorijama, koje pokazuju da se svemir rasteže, i opažanjima, koja to nagovještavaju, tako je neočekivano i uvjerljivo u svojoj potpunosti, da je teško obuzdati naše oduševljenje. Ipak moramo biti oprezni, da ne tumačimo zamisli teorija u previše doslovnom ili previše konkretnom smislu.

Znanost obično zamišlja da se zbivanje svijeta događa potpuno u realnom kontinuumu, koji postoji nezavisno o nama, a koga zovemo »prostor«; u tom realnom prostoru kreće se niz realnih objekata, koje opisujemo kao zvijezde, maglice, atomi i t. d. Sve to može znanost neke epohe opravdano istaknuti i tada dokazati šemu ili model, koji će obrazložiti takve efekte, poznate epohi, koja je u pitanju. Ako se mogu naći dvije šeme A i B, da obje jednako dobro obrazlažu efekte koji su u pitanju, biti će nemoguće odlučiti među njima i nijednoj nećemo moći da pridamo veću valjanost nego drugoj,



ukoliko ili dokle se ne iznese neki novi problem, koji će se pokazati neprikladan za jednu od šema, na pr. A. Tada se A može odbaciti, ali još uvijek ne možemo reći da B mora biti prava, jer se svaki čas može pojaviti C i pokazati istu sposobnost objašnjavanja fenomena kao i B. Kad bi naprimjer Einstein bio živio u doba Newtona i iznio svoju relativističku šemu zakrivljenog prostora, ne bi bilo nikakvog sredstva, da se odluči između dvije šeme — Newtonove šeme gravitacione sile, koja djeluje u zakrivljenom prostoru, i Einsteinove šeme bez sile ali sa zakrivljenim prostorom —, dok bi obje objašnjavale sve gravitacione fenomene poznate u to doba.

Tako nas ne začuđuje, da također postoje i druge teorije ekspanzije, ili prividne ekspanzije svemira, uz onu već spomenutu; nacrtane su druge slike, neke vrlo različitog karaktera. Bilo bi gotovo nemoguće, da se sve opišu, čak i u najkraćim crtama, tako da ćemo spomenuti samo dvije.

#### *Različite vrste prostora.*

Vidjeli smo, kako je Einstein shvatio astronomske staze kao najkraći put kroz prostor. Te staze su najjače u blizini teških tijela, tako da zakrivljenost prostora očito mora biti najveća u susjedstvu velikih masa, kako to traži također Einsteinova teorija. Možemo dakle reći da te mase same izazivlju zakrivljenost prostora.

Einstein je prilično brzo našao da bi svijet bio nepostojañ, kad ne bi prostor pokazivao drugih zakrivljenosti, sve dok ne bi bili ispunjeni dalji veoma zamršeni uvjeti. Da prebrodi tu teškoću, pretpostavio je da prostor ima još jednu njemu svojstvenu zakrivljenost. Ona bi morala postojati, čak i kad ne bi bilo nikakva teškog tijela, i bila bi posvuda u prostoru iste veličine. Njezina veličina, jednaka u svim točkama i u svim smjerovima u bilo kojoj točki, bila bi dakle konstanta, koja bi se odnosila na svijet kao cjelinu, i bila bi izražena pomoću jedne »kozmičke konstante«. Usporedimo li opet prostor s površinom Zemlje, tada nam ta »kozmička konstanta« daje mjeru za onu veličinu, koja bi odgovarala zemaljskom polumjeru, dok teške

mase izazivlju u svemiru samo manje lokalne krivine, slične brdima i dolinama, krtičnjacima i mišjim rupama na Zemlji.

Einstein je prvotno uveo tu »kozmičku konstantu« samo zato, jer nije imao druge mogućnosti, da dobije statički svemir. Bilo je to u vrijeme, kad se još nije bilo primijetilo opće udaljavanje maglica. Sada znamo da se svemir ne nalazi u ravnoteži, pa već ne postoji stari Einsteinov razlog za uvođenje »kozmičke konstante«. Zbog toga su on i de Sitter ponovno ispitali, da li i dalje postoji potreba da se zadrži ta »kozmička konstanta« i sa njom povezana opća zakrivljenost. To nije slučaj. Opažena se gibanja maglica slažu, kakó oni vjeruju, s bilo kojom vrijednošću »kozmičke konstante«, samo ako ona leži među izvjesnim granicama, koje uključuju i vrijednost nulu, koja bi predočavala prostor bez unutrašnje zakrivljenosti.

Zatim je de Sitter istražio što izlazi, ako se toj konstanti pripišu različite vrijednosti (uključivši i nulu). On je našao da su na osnovu tako proširenog temelja moguća još dva tipa svemira, pokraj već prije opisanog svemira koji se rasteže. Moguć je tip, koji počinje svoj život u rastegnutom stanju, smanjuje se do nekog minimuma i, prošavši kroz minimum, opet se beskrajno rasteže. Dalji mogući tip je »pulsirajući svijet«, u kojem se u pravilnom redu izmjenjuju rastezanje i stezanje.

No moguće su još druge vrste svemira u kojima uopće nema zakrivljenosti osim čisto lokalne zakrivljenosti, koja ovisi o blizini gravitacionih masa, isto kao i svemira, u kojima je zakrivljenost različite i suprotne vrsti od one originalnog Einsteinova svemira\*). U obje te zadnje vrste svemira prostor je beskonačan u prostiranju.

Ukoliko nas izvješćuju sadanja opažanja, fenomenima velike skale astronomije mogu se predstaviti

\* U prostoru bez zakrivljenosti obujam prostora unutar daljine  $r$  od neke čvrste točke raste kao  $r^3$ ; u prostoru zakrivljenom na Einsteinov način, on raste sporije od  $r^3$ ; u prostoru zakrivljenom na suprotan način od Einsteinova svemira on raste brže od  $r^3$ .



jednako dobro u bilo kojoj od tih različitih vrsti svemira. Zato još nemamo nikakvog opravdanja da kažemo, da je svemir konačan ili beskonačan u prostiranju, i moguće je, da će astronomska zbivanja, bez obzira kako ih točno opažamo, biti uvijek moguće predočiti u objema vrstama prostora.

Vidjeli smo da je u Einstein-Lemaîtreovu svemiru prošlo vrijeme ograničeno na 30 milijardâ godina ili sličnom nekom konačnom periodu. No takve granice nema za druge vrste svemira, koje smo spomenuli, tako da se ne može reći, da li je vrijeme imalo početka ili ne.

#### *Milneova teorija*

Profesor E. A. Milne predložio je 1932 godine teoriju, koja se, po mom gledanju razlikovala od onih, o kojima je raspravljano prije, samo u formuliranju. Kad se na bojištu rasprave granata, lete pojedini njezini komadi različitim brzinama, tako da se u nekom kasnijem trenutku nalaze u različitoj daljini od mjesta rasprsnuća. Najdalji su dakako, oni koji su dobili najveću brzinu pa će općenito daljina biti točno proporcionalna brzini — što daje upravo zakon brzina maglica. Milne je dakle pokušao objasniti odmicanje maglica na sličan način, ukoliko zamišlja, da se cijelo gibanje zbiva u prostoru, koji nije ništa drugo do obični prostor našeg svakidašnjeg iskustva.

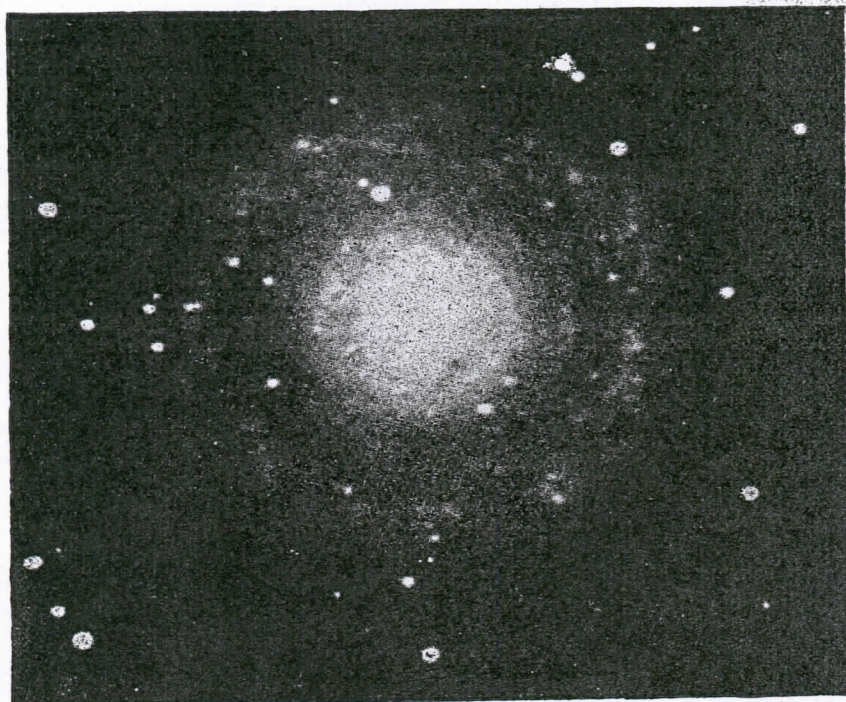
Njegovo originalno ispitivanje osnivalo se na hipotezi, koju je sam opisao kao »kozmoški princip«. U prostor gledamo s naše galaksije i vidimo da se druge galaksije udaljuju od nas u svim pravcima, a njihove brzine udaljavanja podvrgavaju se jednostavnom zakonu, koji je upravo objašnjen. No u prirodi same stvari nema jasnog razloga, zašto to treba biti tako, te ako odemo na neku drugu galaksiju, ne treba da očekujemo da će kretanje galaksija, gledano s te galaksije, potvrditi taj jednostavni zakon. Ako se potvrdi, mogli bismo zaključiti da smo u posebnom položaju u svemiru — kakva bismo to bili osobitost, da sve galaksije bježe od nas?



*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Maglica N. G. C. 891 u Andromedi gledana s ruba.

Tabla XII



*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Maglica N. G. C. 7217

Kozmološki princip uvjerava da nismo u nikakvom posebnom položaju; slika, koju bi opažać sa naše galaksije nacrtao o pojavama astronomije u velikom, bila bi primjenljiva za svaku drugu galaksiju — što vidimo sa naše galaksije (izuzevši pojedinosti), to se mora vidjeti također i sa druge.

Koristeći se tim hipotetičnim principom Milne je uspio stvoriti sliku svemira, koja u prvi mah izgleda bitno različita od slike Einsteinove i Lemaîtreove, koje smo upravo razložili. Nema međutim nikakva razloga, zašto ne bismo smjeli nacrtati istu sliku na više različitih načina, isto tako kao što se jedna karta može izraditi u različitim projekcijama. Mi smo već usporedili Einsteinovu predodžbu o prostoru sa zakrivljenom površinom Zemlje. Ona se može preslikati samo na kuglastu plohu, na pr. na obični globus koji se upotrebljava u školi na satu geografije. Može se ona predočiti također i na ravnoj plohi, kao u Mercatorovoj ili stereografskoj projekciji, kako se upotrebljava u atlasima. Kratko rečeno, Kermack i Mc Crea su pokazali, da se Milneov opis rastezanja svemira odnosi prema Einstein-Lemaîtreovu, kao karta Mercatorove projekcije prema globusu. Zbog toga nas Milneova teorija ne dovodi ni do čega novog u istraživanju. Fizičke pojave njegove teorije, nužno su istovetne s onim u ranijoj Einstein-Lemaîtreovoj teoriji. Imamo samo dvije jednako vrijedne slike istog događaja, a nemamo nikakve mogućnosti odlučiti se za jednu s pomoću opažanja.

Milne nikako ne kaže da njegova teorija daje određene odgovore na pitanja, na koja teorija relativnosti može tek neizvjesno odgovoriti, kao na primjer:

1. Da li se svemir rasteže ili ne?
2. Da li je konačan ili beskonačan u prostornom opsegu?
3. Da li je broj čestica u njemu konačan ili beskonačan?
4. Da li je prostor, koji mu odgovara, zakrivljen ili ravan?
5. Da li je njegova prošla historija u vremenu konačna ili beskonačna?
6. Da li je svemir homogen (jednolik) ili ne?



On objašnjava, da odgovori na ta pitanja ovise o načinu izbora, kako ćemo mjeriti vrijeme. Vrijeme se naime može mjeriti na više načina, te izbor jednog posebnog načina predstavlja presudnu odluku s naše strane. Milne prihvaća, da se izabere takav način, da opažači u različitim dijelovima svemira mogu ustanoviti istu mjeru vremena. Možemo se, naprimjer, složiti, da mjerimo vrijeme na Newtonov način, uzimajući kao jedinicu period rotacije Zemlje oko osi, ili njezinu revoluciju oko Sunca. Kad se vrijeme mjeri na taj način, zakoni dinamike poprimaju obični Newtonov oblik. U drugim dijelovima svemira bit će također moguće naći takve redovne astronomske pojave, i te će nam opet omogućiti jedinicu za upotrebu, pri kojoj će zakoni dinamike poprimiti običajni Newtonov oblik. Ako se složimo, da vrijeme mjerimo na taj način, Milne je našao, da se svemir onda ne rasteže, a njegova prošla historija u vremenu je beskonačnog trajanja, dok je njegov prostor i zakrivljen i prostire se u beskonačnost.\*)

No naša se slika svemira može nacrtati i na drugom platnu, da se uzme za jedinicu vremena period atomske staze, a ne astronomske. Godine 1947. to je određeni dio naše ranije astronomske jedinice, ali prema Milneu, taj dio neće uvijek biti jednak; odnos tih dviju jedinica vremena neprekidno se mijenja s tokom vremena. On se promijenio, na primjer, dok je svjetlost, pomoću koje vidimo udaljenu maglicu, doputovala od nje do nas. Zbog toga su njihovi spektri svi pomaknuti prema crvenom; atomski periodi su bili polaganiji u Newtonovoj skali mjerenja vremena, kad je svjetlost otpočela put, nego što su to sada.

Kad se nacrtala slika prema tom drugom uzorku, nalazimo, da se svemir rasteže jednoliko, da ima određenu historiju u prošlom vremenu i da mu je prostor konačan. Prema kojem god uzorku nacrtamo sliku, broj čestica u svemiru je beskonačan, ali je količina, koja igra ulogu »totalne mase«, konačna.

\* To je treći od prostora spomenutih u bilješci ispod sloga na strani 96.

Milneov način predstavljanja svemira već smo usporedili sa kartom u atlasu, suprotstavljajući je Einstein-Lemaîtreovoj predstavi, koja je uspoređena s globusom. Odnos dviju Milneovih slika prema nekoj drugoj može se možda usporediti kao odnos Merkatorove projekcije prema projekciji jednakih površina u nekom atlasu. Tako dugo, dok se ograničimo na pojedini mali dio Zemljine površine, daju dva načina projekcije isti rezultat, izuzevši slučaj, da su karte, koje se dobivaju, različitog mjerila. No prelazeći na druge dijelove Zemljine površine, naći ćemo da se te razlike u mjerilu mijenjaju od mjesta do mjesta i, kako se približujemo polu, mjerilo Merkatorove projekcije postaje izvanredno veliko u usporedbi s drugim kartama. Zbog toga se Merkatorove karte rijetko izrađuju iznad 75° ili 80° širine. Izrada njihova do 90° zahtijevala bi komad papira beskonačne veličine te bismo onda imali dvije mape; jedna bi nam govorila da je površina Zemlje konačna, a druga bi nam govorila da je beskonačna — nešto jako slično dvjema Milneovim slikama svemira.

Možemo se osjetiti ponukanim, da kažemo da je površina Zemlje konačno velika, tako da jedna od tih karata mora biti ispravna, a druga kriva. No ako to kažemo, to može biti samo zato, jer smo se ograničili na izvjestan određeni način mjerenja, na pr. s pomoću metarske letve. To je vanredno prikladno za mjerenja daljina na Zemlji, ali nije zgodno za astronomske daljine, jer ne možemo prenesti metarsku letvu na nebo. Kad nam ne bi bilo zgodno prenašati metarsku letvu po Zemlji, brzo bismo se složili, da uzmemo 1 sekundu longitude kao našu jedinicu dužine na svakom mjestu, budući da je to jedinica koja se lako može odrediti astronomskim mjerenjima. U takvim jedinicama našli bismo da je daljina od ekvatora do pola bukvalno beskonačna.

O Milneovu djelu i teorijama još uvijek se raspravlja i oni se kritiziraju, naročito što se tiče pretpostavaka, koje su uvedene uz kozmološki princip. Mc Vittie je nedavno dao listu od devet dodanih pretpostavaka za koje vjeruje da su uvedene neposredno ili posredno, a koje Milne, i njegovi suradnici, kako on kaže, smatraju



aksiomima i, prema tome, za njih nije potrebno opravdanje.

Glavna vrijednost Milneova ispitivanja leži možda u sasvim drugom pravcu, nego što je on to prvotno mislio. On je samo pokazao, na koliko se različitih načina može promatrati pojava udaljavanja maglica, i upućuje nas, da se zamislimo, kako ima malo opravdanja da se neko tumačenje označi kao »pravo« objašnjenje. Isto tako vidimo kako je nemoguće pripisati Einsteinovu zakrivljenom prostoru bilo kakvu »fizikalnu realnost«, pa značio taj izraz što mu drago.

#### *Model svemira.*

Teško nam je već predočiti zorno daljinu od  $4\frac{1}{4}$  godine svjetlosti što nas dijeli od najbliže zvijezde; zato je bolje, da i ne pokušavamo predočiti te najveće daljine od stotine milijuna godina svjetlosti, koje nas vode do najdaljih vidljivih maglica. Možemo ipak pokušati da vidimo sve te daljine u ispravnom međusobnom odnosu s pomoću modela prikladnog mjerila. Trud, da sebi predočimo nezamišljivo velike daljine, uštedit ćemo na taj način, što ćemo uzeti vrlo malo mjerilo.

Zemlja, koja juri 1000 puta brže od ekspresnog vlaka, prođe svake godine put od 965 milijuna kilometara oko Sunca. Predočiti ćemo taj put glavom pribadače s promjerom od 0,15 centimetara. To nam daje mjerilo našeg modela. Sunce je postalo sitna prašnica od 0,008 cm promjera, dok je Zemlja još sitnije zrnice prašine, pa se ne bi mogla vidjeti čak ni u najjačem mikroskopu. Pri tom mjerilu mora se najbliža zvijezda na nebu, Proxima Centauri, postaviti na daljinu od 205 metara, a da bi sadržavao samo 100 zvijezda, koje su najbliže našem Suncu u prostoru, morao bi model biti 1,5 km visok, 1,5 km širok i 1,5 dug.

Izgradit ćemo dalje model. Predstaviti ćemo sebi zvijezde bez razlike kao zrnca prašine, jer se njihov obujam mijenja isto tako kao i obujam zrnaca prašine. U blizini Sunca moramo postaviti zrnca prašine u prosječnoj

daljini od kojih pola kilometra. U drugim su područjima prostora uglavnom više razmaknute. Nastavljamo izgrađivanje modela na stotine kilometara u svakom pravcu, a što smo dalje od galaktičke ravnine Mliječnog Puta, to su rjeđa zrnca prašine. Bližimo se granici galaksije. Kad smo izgradili 10.000 km, dolazimo do najdaljih kuglastih skupova, ali se još uvijek nalazimo unutar galaktičkog sistema. Ako je dugo jednogodišnje putovanje naše Zemlje oko Sunca predstavljeno glavom pribadače, ima cijeli galaktički sistem opseg, koji je znatno veći od azijskog kontinenta. Bit će dobro, da malo zastanemo i pokušamo sebi zorno predočiti relativan opseg pribadačine glave i jednog kontinenta prije nego što nastavimo daljnjim izgrađivanjem našeg modela.

Pošto smo svršili galaktički sustav, moramo putovati oko 30 000 km, prije nego što možemo dalje izgrađivati naš model, svakako, ako želimo zadržati isto mjerilo. U toj daljini postavimo nablizu zvjezdanu obitelj, koja je vjerojatno nešto manja i zbijenija od naše galaktičke obitelji, ali ipak slična njoj po veličini i broju zvijezda. Tako gradimo naš model dalje — svakih 30 000 km jedna obitelj s milijardama zvijezda, dok ne skupimo dva milijuna takvih obitelji. Model se tada prostire otprilike pet milijuna kilometara u svakom pravcu. Upravo toliko možemo zagledati u prostor našim današnjim dalekozorima. Preko toga mora se naš model još dalje prostirati u svim smjerovima, ali ne neizmerno daleko. Putovanje od možda nekoliko stotina milijuna kilometara u modelu dovelo bi nas opet k našem ishodištu.

U tom modelu je Sunce sitno zrnice prašine s promjerom manjim od tisućnine milimetra, dok su druge zvijezde također zrnca prašine, neka veća, neka manja. Ukupni broj zrnaca prašine u našem modelu usporediv je s onim u cijelom Londonu ili New Yorku; u stvari jednak je broju djelića u 20 kubičnih kilometara zraka, ako ih na 10 kubičnih centimetara otpada oko milijun. Predočimo Sunce kao nešto manje od jednog jedinog zrnca prašine u jednom velikom gradu, Zemlju kao manju od milijuntine takvog zrnca pa dobivamo možda



najživlju predodžbu, koju može stvoriti naša mašta o odnosu naše postojbine u prostoru prema ostalom svemiru.

Mogli smo i na drugi način konstruirati naš model, da smo uzeli sva zrnca prašine Londona i razbacali ih u ispravnim daljinama, da predočimo različite zvijezde našeg modela u prostoru. U Londonu dolazi na svaki sasvim mali djelić centimetra jedno zrnce. Da izradimo naš model u ispravnom mjerilu, mora se taj razmak proširiti na pola kilometra, čak i kad izgrađujemo onaj dio, koji predstavlja prepunjeni dio prostora u blizini Sunca. Izgrađujemo li naš model na taj način, dobivamo zornu sliku o praznini prostora. Ostavi li se na potpuno praznom Waterloo kolodvoru samo šest zrnaca prašine, još uvijek je on puniji prašine nego što je prostor zvijezdama. To vrijedi čak i za razmjerno prepunjeno područje unutar galaktičkog sistema; ogromne prazne daljine između jednog zvjezdanog sistema, i njemu najbližeg, nisu pri tome uopće uzete u obzir. U cijelom modelu jedno je zrnce udaljeno od svoga najbližeg susjeda prosječno kojih 130 km. Svemir se u stvari ne sastoji od zvijezda, nego od osamljene praznine — ne-shvatljivo ogromnih pustoši prostora, u kojima je pojava jedne zvijezde rijedak i neobičan događaj.

Predočimo sebi jednom da se nalazimo bilo gdje u blizini Sunca i da gledamo, kako zvijezde prolaze brzinama tisuću puta većim od brzog vlaka. Kad bi svemir bio doista pun zvijezda, bio bi naš položaj tako malo zavidan, kao da sjedimo u sredini Regent Streeta, u želji da promatramo promet — naš bi život bio, makar uzbudljiv, vrlo kratak. Međutim, kako pokazuje točan račun, zvjezdani promet je tako rijedak, da bismo morali čekati oko trilijun godina, dok bi na nas maletjela neka zvijezda. Drugim riječima kazano, račun pokazuje da neka zvijezda mora putovati kroz prostor trilijun godina prije nego se sudari s drugom zvijezdom. Zvijezde se kreću nasumce kroz prostor, a igrača tog zvjezdanog slijepog miša ima tako malo, te su njihovi razmaci tako veliki, da se slučaj susreta s drugom zvijezdom ne treba ni da uzima u račun. To ne samo da ne

dopušta neposredne sudare, nego čak ni bliska susretanja; sa stanjem, kako je danas, mogla bi se jedna zvijezda kretati kroz prostor stotinu bilijuna godina prije nego naiđe u blizinu od deset promjera drugoj zvijezdi. Vidjet ćemo kasnije da to shvaćanje ima najdublje značenje za naše razlaganje o svemiru.

## DRUGO POGLAVLJE

### ISTRAŽIVANJE ATOMA

Naš istraživački put kroz svemir vodio nas je, do sada, od ljudi k stvarima, koje su veće od ljudi. Istražili smo daljine prostora, koje smanjuju ljude i njihovu postojbinu u prostoru do potpune beznačajnosti. A ipak smo istražili tek polovinu potpune skale svemira; jedna gotovo jednaka skala u smjeru neizmjereno malenog čeka još na nas. Procijenili smo tek polovinu neizmjernog bogatstva svijeta oko nas, dok ne protegnemo naš pregled na najmanje jedinice materije. Taj pregled je bio glavni zadatak moderne fizike i predstavlja sada njezin najsajjniji uspjeh.

Moglo bi se možda zapitati, zašto se knjiga o modernoj astronomiji mora zanimati s tim drugim krajem svemira. Odgovoriti je da su zvijezde nešto više od ogromnih tromih masa, one su mašine u pogonu koje proizvode i odašilju zračenje, po kojem ih mi vidimo. Razumjet ćemo najbolje njihov mehanizam, ako proučimo način, kako se na Zemlji proizvodi i odašilje zračenje, a to nas dovodi ravno do jezgre moderne atomske fizike. U ovoj knjizi ne ćemo dakako pokušati da pregledamo to novo znanstveno polje u njegovu cijelom opsegu, nego ćemo se zanimati s onim dijelom, koji je važan za tumačenje astronomskih rezultata.

#### *Atomske teorije.*

Već u 5. stoljeću prije Krista grčku je filozofiju uvelike zanimalo, da li je pratvar svemira u biti kontinuirana ili diskontinuirana. Stojimo na morskoj obali i vidimo oko nas daleke pješčane žalove, koji nam isprva

izgledaju cjelovite strukture, ali potanje ispitivanje pokazuje da su sastavljeni od odvojenih čvrstih dijelova ili zrnaca. Pred nama se talasa ocean, koji također isprva izgleda kontinuirane strukture, i mi uvidamo da ga ne možemo razlučiti u zrnca ili djeliće, pa pokušali to na bilo koji način. Možemo ga podijeliti u kapljice, ali svaku kapljicu možemo opet podijeliti u još manje kapljice, i čini se da nema razloga, zašto ne bi mogli stalno nastaviti taj proces dijeljenja. Pitanje, koje je potaklo grčku filozofiju, bilo je u stvari, da li je voda oceana ili pijesak morske obale istinitija slika krajnjeg ustrojstva svemirske tvari.

»Atomska« škola Demokrita, Leukipa i Lukrecija vjerovala je da je materija u biti diskontinuirana. Ovi su filozofi učili da se svaka tvar, kad se samo dovoljno puta podijeli, konačno sastoji od čvrstih djelića koji više nisu dalje djelivi. Njima je pijesak pružao o konačnom ustroju materije bolju sliku nego voda, jer su mislili, da bi voda pri dovoljnom dijeljenju pokazala zrnatu strukturu pijeska. A to intuitivno naslućivanje uvelike je potvrdila moderna znanost.

Pitanje je riješeno, čim se nađe da tanki sloj materije pokazuje svojstva, koja se bitno razlikuju od onih nešto debljeg sloja. Sloj žutog pijeska, koji je jednoliko rasut po crvenom tlu, dat će cijelom tlu žuti izgled, samo ako ima dovoljno pijeska, da se stvori sloj debljine barem jednog zrnca. Ako je, naprotiv, samo polovina te množine pijeska, neizbježno probija crvenilo tla. Nemoguće je rasprostrti pijesak u sloju debelom samo kao pola zrna. Ta je iznenadna promjena u svojstvima sloja pijeska dakako posljedica njegove zrnate strukture.

Slične promjene nastupaju kod tankih slojeva tekućina. Žlica juhe prekrit će dno tanjura, ali jedna jedina kap napraviti će samo nečistu mrlju. U nekim je slučajevima moguće točno izmjeriti debljinu sloja, pri kome se počinju mijenjati svojstva tekućina. Godine 1890. našao je Lord Rayleigh da su se osobine tankih slojeva maslinova ulja na vodi potpuno promijenile, čim bi se smanjila njihova debljina ispod jedne milijuntine milimetra. Očevidno tumačenje, koje se uvijek iznova potvrđuje, jest, da se maslinovo ulje sastoji od odijeljenih



djelića — nalik »zrncima« u hrpi pijeska — kojih svaki ima promjer po prilici desetmilijuntina milimetra.

Svaka se materija sastoji od takvih »zrnaca«. Ona se zovu molekule. Nama poznate osobine materije potječu od slojeva, koji su debeli kao mnogo molekula. Osobine slojeva, koji su tanji od pojedine molekule, poznate su samo fizičaru u laboratoriju.

## MOLEKULE

Kako možemo rastaviti komad materije u njegova krajnja zrnca ili molekule? Učenjak može lako reći da ćemo, ako vodu dosta dugo dijelimo, naići na zrnca, koja ne ćemo moći više dijeliti; ali običan čovjek bi htio vidjeti kako se to izvodi.

Na sreću je postupak izvanredno jednostavan. Uzme se čaša vode i ugrije se, da se voda počinje isparavati. Šta to znači? To znači da je voda rastavljena u svoje skrajnje sastavne dijelove ili molekule. Kad bi se čaša vode mogla postaviti na dovoljno osjetljivu vagu, vidjeli bismo, da se proces isparavanja ne zbiva neprekidno, sloj za slojem, nego na mahove, molekula za molekulom. Vidjeli bismo da se težina vode mijenja na mahove, pri čemu svaki skok pretstavlja težinu pojedine molekule. Čaša može sadržavati svaki cijeli broj molekula, ali ne i njihove razlomke; ako ima dijelova molekula, oni ne igraju nikakve uloge pri isparavanju čaše vode.

### *Plinovito stanje.*

Molekule, koje se odriješuju od površine, obrazuju plin — paru, vodenu paru. Plin se sastoji od velikog broja molekula, koje lete naokolo posve nezavisno jedna o drugoj, izuzev rijetke slučajeve, kad se dve sudare i tako jedna drugoj prijeći da se giba. Iznos, koliko molekule smetaju jedna drugoj, mora očit ovisiti o njihovoj veličini; što su veće to će se češće sudarati i to više će jedna drugoj prijeći u njenom kretanju. Doista, iznos tih poremećaja pruža najbolje sredstvo za ocjenjivanje veličine molekula. Pokazalo se da su one izvanredno male; imaju većinom promjer od jedne četirimilijuntine

milimetra, prema općem pravilu, jednostavnije molekule imaju obično manje promjere, kako se i moglo očekivati. Molekula vode ima promjer od  $4,6 \times 10^{-8}$  cm, dok promjer jednostavne molekule vodika iznosi  $2,7 \times 10^{-8}$  cm. Cinjenica, da brojne raznovrsne metode istraživanja daju isto promjer za te molekule, pruža nam čvrsti dokaz za realnost njihove egzistencije.

Budući da su molekule tako izvanredno malene, moraju biti i izvanredno brojne. Jedna litra vode sadrži  $3,36 \times 10^{25}$  molekula, od kojih svaka teži  $2,89 \times 10^{-23}$  grama. Kad bi se te molekule poredale jedna uz drugu, sačinjavale bi lanac koji bi 200 milijuna puta opasivao Zemlju. Kad bi one bile rasute preko cijelog kopna na Zemlji, došlo bi na svakih šest kvadratnih centimetara 100 milijuna molekula. Predočimo li sebi molekule kao fino sjeme, tada bi sve sjeme, koje bi bilo potrebno da se zasije čitava Zemlja, tako da na svakih šest kvadratnih centimetara dođe 100 milijuna molekula, moglo stati u posudu od pola litre.

Te se molekule giblju vrlo velikim brzinama. U običnom zraku sobe, iznosi prosječna brzina neke molekule oko 450 metara u sekundi. To je brzina puščanog taneta, a nadmašuje običnu brzinu zvuka. Budući da smo navikli na tu zadnju brzinu u svagdanjem životu, lako nam je stvoriti predodžbu o brzini molekula u nekom plinu. Nije puki slučaj, što se može usporediti brzina molekula s brzinom zvuka. Zvuk je gibanje, koje prenosi jedna molekula na drugu prilikom sudara, nalik na trkače štafeta koji predaju poruku, ili grčke bakljonoše koji predaju dalje svoje baklje. Između srazova prenosi se poruka istom brzinom kojom se giblju molekule. Kad bi se sve one kretale točno istom brzinom i u točno istom pravcu, zvuk bi se širio, naravno, istom brzinom kao i molekule. Mnoge među njima, međutim, giblju se u kosom smjeru, tako da brzina kojom se širi zvuk, iznosi tek 333 metra u sekundi, premda je prosječna brzina pojedinih molekula u običnom zraku oko 450 metara u sekundi.

Pri visokim temperaturama mogu molekule imati čak još i veće brzine. U parnom kotlu dosižu molekule pare brzinu od 900 metara u sekundi.



Visoki pritisak, što ga izvodi neki gas, potječe od te brzine molekularnog gibanja. Svaka površina u doticaju s nekim plinom izvrgnuta je tuči molekula, od kojih se svaka kreće brzinom pušcanog taneta. Pri svakom uzdahu, što ga učinimo, prodiru rojevi od trilijuna molekula u naše tijelo, od kojih se svaka giblje brzinom od 450 metara u sekundi, i samo njihovo neprestano udaranje o stijene naših pluća čuva naš grudni koš, da se ne zdrobi pod udarcima molekula vanjskog zraka. Da navedemo drugi primjer. Svake sekunde oko  $14 \times 10^{28}$  molekula bombardiraju klip u cilindru lokomotive. Ovo trajno udaranje nebrojenih malih taneta potiskuje klip u cilindru i pokreće vlak.

Možda najbolja predodžba, koju možemo stvoriti, jest ona o tuči sačme ili tanadi, koja lete bez razlike u svim pravcima i često se među sobom križaju i sudaraju. U običnom zraku sudari se jedna molekula s drugom oko 3 milijarde puta svake sekunde i prevaljuje između dva snaza prosječnu daljinu od kojih 0,000015 centimetara. Kad komprimiramo neki plin do veće gustoće, skupi se više molekula u danom prostoru, tako da su sudari češći, a razmaci među srazovima kraći. Smanjimo li, nasuprot, pritisak zraka i na taj način razrijedimo njegovu gustoću, bit će sudari manje česti, a razmaci između pojedinih sudara — takozvana »slobodna duljina puta« molekula — povećati će se. U najvećem do sada postignutom vakuumu u laboratoriju može molekula letjeti 100 metara daleko, a da se ne sudari s nekom drugom, makar u kubičnom centimetru ima još uvijek 40000 milijuna molekula.

U astronomskim okolnostima postoje još veći vakuumi. U prostoru među zvijezdama mogu molekule plina letjeti milijune kilometara, a da se ne sudare s drugima; tako malo molekula otpada na dani prostorni volumen. Moglo bi se misliti da će se molekule zbog sudaranja ubrzo umiriti. Kod puščane tanadi bi to nedvojbeno nastupilo, ali ne kod molekulske tanadi nekog plina, i to zbog razloga koje ćemo sada razjasniti.

### Energija.

Množina praha, potrebnog za ispaljivanje taneta, daje mjeru za pridijeljenu mu »energiju kretanja«. Da se izbacila dva puta teže tane, potrebno je dva puta više praha, jer je energija kretanja taneta ili nekog drugog tijela u pokretu razmjerna težini tijela. Međutim, da se isto tane ispali dvostrukom brzinom, nije dostatan samo dvostruki naboj. Potrebno je četiri puta toliko praha, jer je enegrija kretanja nekog tijela u pokretu razmjerna kvadratu njegove brzine. Iskusnom šoferu nije to ništa novo. Kad kočnice zaustave kola na šest metara pri vožnji od 30 kilometara na sat, neće moći da zaustave na 12 metara pri brzini od 60 kilometara na sat, nego mu je potrebno 24 metra. Dvostruka brzina zahtijeva četverostruku dužinu, da se zaustave kola, jer dvostruka brzina predstavlja četverostruku energiju kretanja. Uopće je energija nekog tijela u gibanju razmjerna i težini tijela, i kvadratu njegove brzine.<sup>1)</sup>

Jedan od velikih pothvata fizike u 19. stoljeću bilo je postavljanje općeg principa »održanja energije«. Energija tijela u gibanju, ne gubi se kada ono stane. Kad se tane zaustavi udarivši u ploču, potroši se dio njegove energije kretanja na zagrijavanje ploče, a drugi za ugrijavanje ili čak rastaljenje taneta. U toplini ima upravo toliko energije kao i u prvotnom kretanju taneta.

Na osnovu istog principa ne može se energija ni stvoriti; sva postojeća energija mora postojati od uvijek. Barut sadrži, na primjer, veliku količinu nagomilane kemijske energije. Moramo paziti da ta nagomilana ener-

<sup>1)</sup> To se matematički izražava formulom  $\frac{1}{2} mv^2$  za energiju kretanja nekog tijela težine  $m$  i brzine  $v$ . Mjeri li se  $m$  u gramima a  $v$  u centimetrima u sekundi, onda se kaže, da energije kretanja iznosi  $\frac{1}{2} mv^2$  »erga«. Tako je jedan »erg« energija kretanja nekog tijela od dva grama težine (tako da je  $\frac{1}{2} m=1$ ) sa brzinom jednog centimetra u sekundi. Energija brzog vlaka od 300 tona težine ( $3 \times 10^8$  grama) sa brzinom od 96,5 kilometara na sat (2682 centimetra u sekundi) iznosi  $1079 \times 10^{14}$  erga. Topovsko tane, ili granata teška jednu tonu ispaljena brzinom od 463 metra u sekundi, ima upravo istu energiju.



gija ne prodre iznenada i ne napravi štete, ne raznese, na primjer, posudu u kojoj se nalazi, zakovitla stvari u zrak i t. d. Puška nije ništa drugo do sredstvo, da se oslobodi energija sadržana u određenom naboju, i pretvori se, što je više moguće, u energiju kretanja taneta. Kad ispalimo kuglu u neku ploču, izvjesna množina energije (koja ovisi o upotrebljenom naboju) pretvori se od kemijske energije, sadržane u barutu, najprije u energiju kretanja, koja je dana kugli (a u manjem stupnju trzajem puški) onda naposljetku u toplinsku energiju, koju od česti sadrži ispaljena kugla, od česti ploča.

Među običnijim nazivima energije mogu se spomenuti: električna energija, na primjer energija nabijenog akumulatora ili olujnog oblaka: mehanička energija, kako dolazi do izražaja u zategnutom peru džepnog sata ili u podignutom utegu ure njihalice; kemijska energija, kako se pokazuje nagomilana u barutu, u ugljenu, drvu i ulju; energija kretanja na primjer u gibanju kugle; i konačno, toplinska energija, koja se javlja, kad se sprečava gibanje puščanog zrna i umanjuje energija kretanja taneta.

#### *Toplina.*

Taj zadnji primjer ne izražava samo jednu izdvojenu činjenicu; opći je zakon, da se toplina može povećavati samo uz izdatak nekog drugog oblika energije. Ako, na primjer, želimo ugrijati sobu, onda zapalimo vatru i oslobađamo kemijsku energiju nagomilanu u ugljenu ili drvu, ili ukopčamo električnu peć i na taj način prenosimo električnom strujom nešto energije, koja se oslobađa sagorijevanjem ugljena u nekoj dalekoj centrali. Ali što je na kraju krajeva toplina?

Toplina je, pa bilo to toplina plina, tekućine ili čvrstog tijela, samo energija kretanja pojedinih molekula. Kad ugrijemo zrak sobe, tada samo potjeramo njegove molekule, da se brže kreću, pa je ukupna toplina neke tvari ukupna energija svih molekula, od kojih se ona sastoji. Kad utiskujemo zrak u kotač bicikla, tjeramo klip šmrka (pumpe) nasuprot udarima bezbrojnih milijuna molekula zraka unutar šmrka. Klip potiskuje

molekule s njihova puta i povećava time njihovu brzinu gibanja. A povećanje topline je jednostavno to povećanje energije kretanja molekula. Možemo to potvrditi tako, ako unesemo termometar ili, još mnogo jednostavnije, ako metnemo ruku na šmrk, te ona osjeća kako je vruć.

#### *Sudari molekula.*

Vratimo se sada problemu, spomenutom na strani 108 i ispitajmo šta se dešava, kad se u plinu sudare dvije molekule.

Na bojištu bi olovne kugle, koje se sudare, vjerojatno najveći dio svoje energije kretanja pretvorile u toplinsku energiju; postale bi toplije ili bi se možda i rastalile. Ali kako mogu molekule pretvoriti svoju energiju kretanja u toplinsku energiju? U njih nisu toplina i energija kretanja dva različita oblika energije; oni su jedno isto; njihova toplina je njihova energija kretanja. Ukupna energija mora biti održana, i ne može se prikriti u novom obliku. Najgore, što se može desiti pri sudaru dviju molekula, jeste to što one izmijene izvjesnu količinu svojih energija kretanja. Ako su njihove energije kretanja prije sraza bile 7 odnosno 5, onda su njihove energije poslije sraza možda 6 i 6 ili 8 i 4, ili 9 i 3 ili bilo koja druga kombinacija brojeva kojih je zbroj 12.

Isto vrijedi pri svakom srazu; energija se ne može ni izgubiti ni promijeniti i zato lete kugle na molekularnom bojištu vječito dalje, pogađajući, na sreću, samo sebe i ne škodeći sebi, kad se pogode. Njihova energija kretanja pada i raste, raste i pada, već prema tome, da li su postigle sretni ili nesretni pogodak, ali najgore, čega se imaju bojati, samo su kolebanja njihove energije, a nikada potpuni gubitak. Njihovo gibanje traje vječito, a ukupna energija njihova kretanja ostaje ušćuvana.

#### *Ravnomjerna podjela energije.*

Predočimo sebi, da ispalimo u tu divlju zbrkanu tuču tanadi jedno mnogo teže tane, jedno topovsko tane, s brzinom, koja je jednaka prosječnoj brzini tanadi.

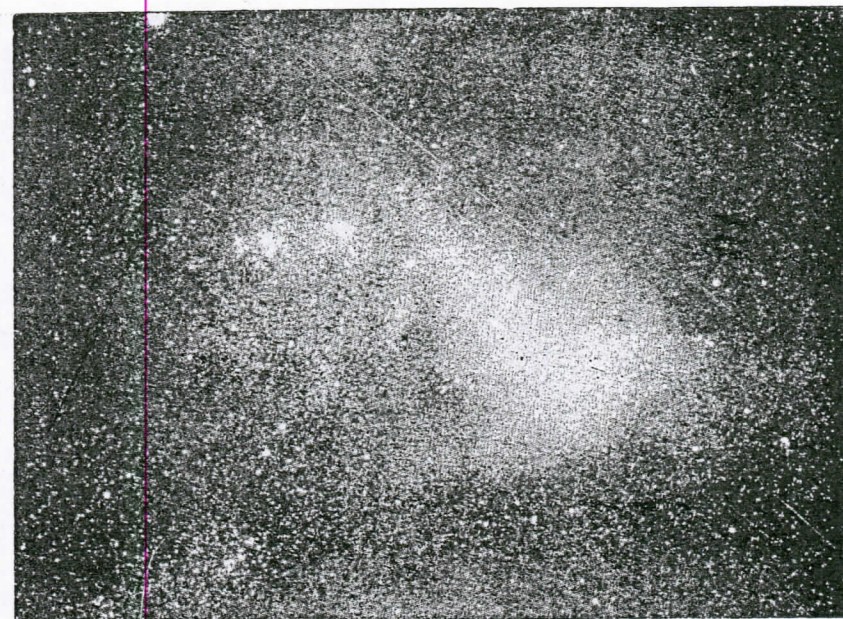


Energije, različitih metaka razmjernje su i njihovoj težini, i kvadratu brzine, pa će zato u ovom našem slučaju, u kojem su sve brzine približno jednake, veliko tane samo zbog svoje težine imati više energije od ostalih metaka. Teži li ono kao tisuću metaka, tada ima tisuću puta više energije od jednog metka.

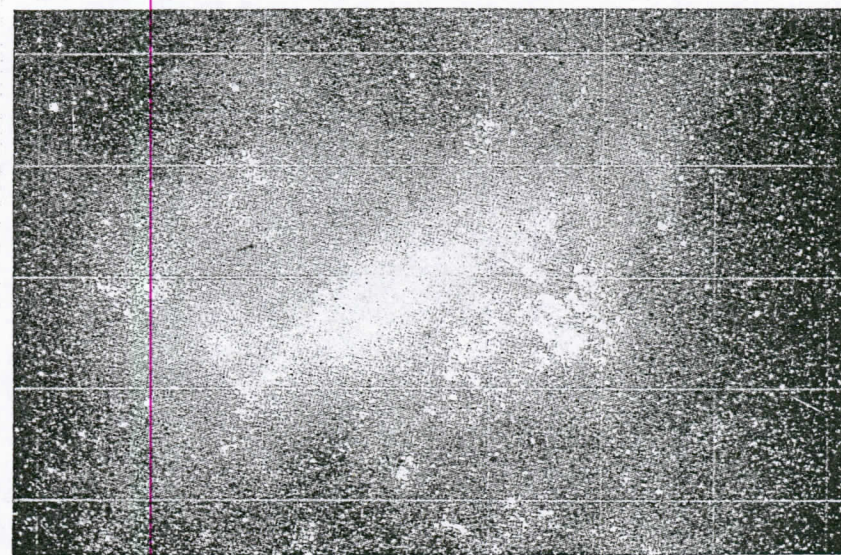
Ipak ne može teško tane dugo prosljediti svoj put kroz svoje sitnije pratiocice s tom tisućostrukom energijom. Ono dobiva odmah tuču tanadi sprijeda. Vrlo malo metaka pogađa ga straga, jer oni lete približno istom brzinom i jedva bi ga mogli prešći. Ako i pogode, to ga samo lagano udare, jer se jedva nešto brže giblju od velikog taneta. Međutim treba da se tuča tanadi sprijeda uzme ozbiljno, svako tane, koje ga udari, usporava mu brzinu i smanjuje mu tako energiju. Budući da ukupna energija kretanja ostaje pri svakom srazu jednaka, slijedi odatle da veliki metak stalno gubi energiju, dok mali moraju dobivati energiju na njegov račun.

Kako će dugo trajati ta izmjena energije? Hoće li, na primjer, trajati sve dotle, dok god veliki metak ne izgubi svu svoju energiju i potpuno se ne umiri? To je matematički problem i dopušta savršeno točno matematičko rješenje, koje je Maxwell dao već 1859. Velikom tanetu neće biti oteta njegova cijela energija. Budući da se njegova brzina stalno smanjuje, mijenjaju se odnosi na sve moguće načine. Uzmemo li tu promjenu u obzir, nalazimo da se energija velikog taneta smanjuje, ali ne dok izgubi cijelu svoju energiju, nego samo dotle, dok i ono nema toliko energije kao i svaka prosječna kugla. Kad je postignuto to stanje, mogu udarci taneta i povećati i smanjiti energiju velikog metka, tako da ona poprima konačno prosječnu energiju malih taneta.

Maxwell, i drugi poslije njega, pokazali su nadalje da, koliko god vrsta molekula bilo izmiješano u jednom plinu i kako god se među sobom razlikovale njihove težine, neprestani sudari tih molekula moraju konačno dovesti do stanja, u kojem molekule i velike i male i lake i teške, imaju sve jednaku prosječnu energiju. To je zakon o »jednakomjernoj podjeli energije«. Zrak se, na primjer, sastoji od smjese molekula različitih vrsta i različitih težina — do vrlo lakih molekula helija, od



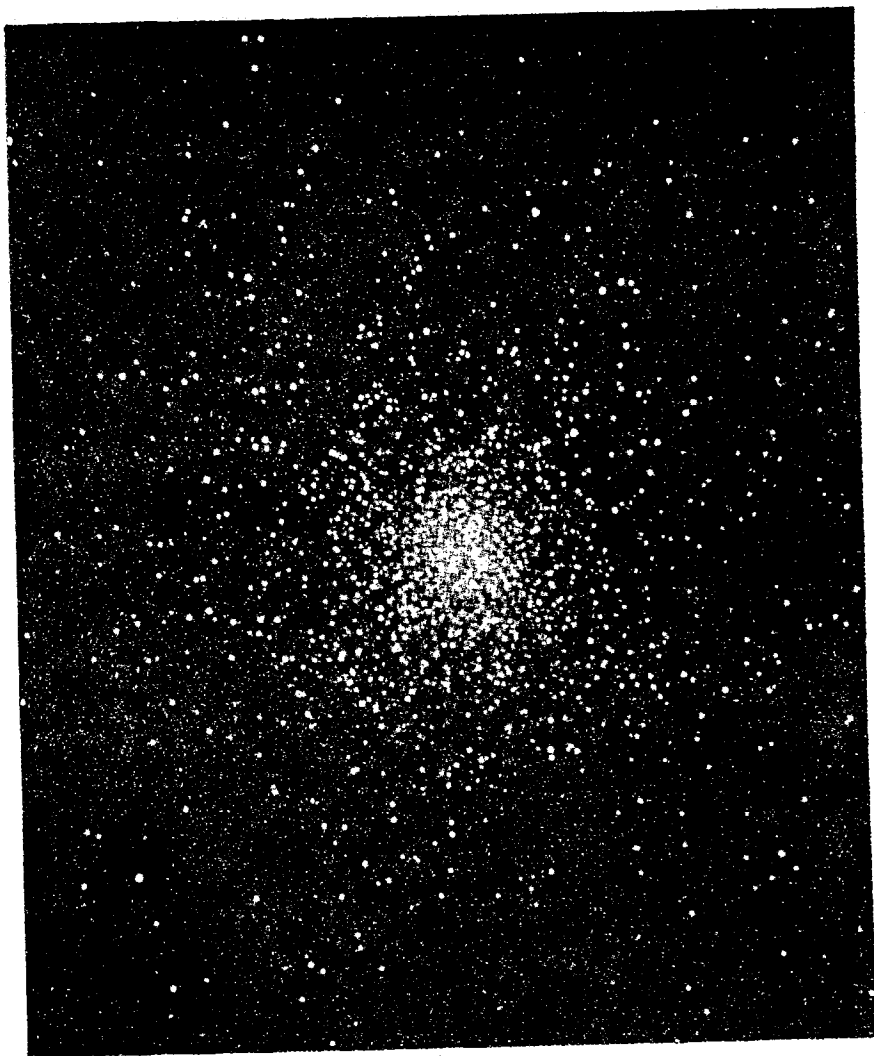
*Zvezdarnica Harvard (Arequipa)*  
Mali Magellanov Oblak



*Franklin-Adamsova karta*  
Veliki Magellanov Oblak.



Tabla XIV



*Dominijski astrofizički opservatorij  
Kanada*

Kuglasti skup M 13 u Herkulu.

mnogo težih molekula dušika koji su sedam puta teži od molekula helija, i od još težih molekula kisika, koji su osam puta teži od molekula helija. U svom drugom obliku, kaže nam zakon, u svakom je trenutku prosječna energija svih molekula helija, usprkos njihove male težine, upravo jednaka prosječnoj energiji molekula dušika, a svaka od tih ima opet jednaku prosječnu energiju molekula kisika. Lakše vrsti molekula izravnavaju svoju manju težinu većom brzinom kretanja. Za svaku drugu plinsku mješavinu vrijedi dakako isto.

Ispravnost poučka potvrđena je mnogobrojnim različitim opažanjima. Godine 1846. mjerio je Graham relativne brzine, kojim se kreću molekule različitih vrsta plinova, opažajući kojom brzinom struje kroz otvor u bezzračni prostor. Pri tom se pokazalo da su prosječne energije različitih vrsta molekula među sobom jednake. Prije su još Leslie i drugi upotrebili tu metodu za određivanje relativnih težina različitih molekula, a da nisu posve razumjeli teorije, na kojoj se osnivala. Tako se može smatrati dobro utvrđenim prirodnim zakonom, da ni jedna molekula ne može trajno zadržati više energije od drugih. U odnosu prema energiji kretanja molekula predstavlja plin potpuno organiziranu komunističku državu, u kojoj zakon kojemu se ne može izbjeći, sili molekule da jednoliko i pošteno dijele među sobom svoju energiju.

Prosječna energija kretanja molekula u nekom plinu razmjerna je temperaturi plina —dä, temperatura je na taj način definirana. Ona se ipak ne smije mjeriti po običnoj Celzijevoj skali, nego po »apsolutnoj skali«, koja ima nulu kod  $-273^{\circ}$  C. Ta »apsolutna« nula, ta temperatura tijela, koje ne može više izgubiti nikakve topline, jest najniža moguća temperatura. U laboratoriju se možemo toj temperaturi približiti do na nekoliko djelića jednog stupnja i ustanoviti da zrak, vodik pa i helij, koji se najteže pretvara u tekućinu, prelaze čak u čvrsto stanje. Termometar, koji bismo postavili u međuzvezdani prostor, daleko od svake zvijezde, pokazivao bi vjerojatno temperaturu samo četiri stupnja iznad apsolutne ničice, dok bi izvan granica galaktičkog sistema sigurno pokazao još nižu temperaturu.

S izvjesnim malim izmjenama, isti zakon vrijedi i za tekuća i čvrsta tijela.

Kod tekućina i plinova može se stvarno izvesti sličan pokus, koji smo izveli u mislima, kad smo ispalili topovski metak u tuču molekularnih kugala. Možemo uzeti par zrnaca vrlo sitnog praha, samljevenu gambu (vrstu smole) ili sjeme likopodija, i pustiti ih da igraju ulogu supermolekulâ među običnim molekulama nekog plina ili tekućine. Snažni mikroskop pokazuje da se te supermolekule nikad posve ne umiruju, nego zadržavaju izvjesnu živahnost kretanja, jer ih neprestano udaraju manje i posve nevidljive stvarne molekule. To izgleda kao da ih je spopao kroničan ples sv. Vida, kojega se žestina nikako ne smanjuje. Ta se gibanja zovu »Brownova gibanja« po botaničaru Robertu Brownu, koji ih je prvi put opazao u biljnom soku. Brown je u početku vjerovao, da pojava pokazuje kako u česticama, opsjednutim tim plesom sv. Vida, ima života, ali je morao napustiti tu teoriju, kad je našao, da čestice voska pokazuju isto gibanje. U nizu zapanjujuće delikatnih pokusa Perrin je ne samo opazao, nego i mjerio Brownovo gibanje malih čvrstih čestica, dok su ih udarale molekule zraka i drugih plinova, pa je otuda izveo vrlo točno težine molekula tih plinova.

Molekule čvrstog tijela nemaju mnogo energije i zato se ne kreću vrlo brzo — da one se giblju tako polako, da vrlo rijetko izmijene među sobom mjesto, zato što ih susjedne molekule čvrsto drže, pa ih njihova mala energija kretanja ne može osloboditi. Kad grijemo tijelo, dobivaju molekule više energije i zato se počinju brže gibati. Nakon nekog vremena kreću se toliko brzo, da mogu ismijavati napore svojih susjeda, da ih zadrže. Svaka molekula ima dovoljno energije kretanja, da ide vlastitim putem, i tako imamo mnoštvo molekula, koje se kao nezavisne jedinice slobodno kreću, među sobom sudaraju i nesmetano prolete jedna kraj druge: materija je došla u tekuće stanje. Da nam slika bude zornija; led se otopio i postao voda, ledeni okovi su popustili i molekule teku slobodno jedna pored druge. Svaka još nešto utječe na svoje susjede, ali taj utjecaj nije više dosta jak, da isključi svako gibanje. Ako se tekućina dalje grije

i tako dalje povećava energija kretanja molekula, počinju se one oslobađati i zadnjih sveza te odlijeću kao plin ili para slobodno u prostor. Ako dovodimo i dalje toplinu, uskoro će cijela tvar postati plinovita. Ako se dalje grije, molekule će samo brže letjeti, a njihova će se energija kretanja još povećati.

## ATOMI

U plinovitom stanju zadržava svaka pojedina molekula sva kemijska svojstva čvrste ili tekuće tvari od koje je postala. Molekule pare, na primjer, vlaže sol ili šećer i spajaju se sa tvarima, koje privlače vodu, kao što je negašeno vapno ili kalijski klorid, baš kao što ih vlaži i sama voda.

Da li je moguće razbiti molekule? Lukrecije i njegovi prethodnici odgovorili bi dakako: »Ne«. Jednostavni pokus, koji oni ipak ne bi mogli izvesti, pokazat će odmah, da oni nemaju pravo.

Kada se obje žice običnog voda električnog zvonca spuste u čašu vode, opaža se da se na krajevima žica skupljaju mjehurići plina, a kemijsko ispitivanje pokazuje, da obje množine plina pokazuju posvema različite osobine. Oni dakle oba ne mogu biti vodena para, i, doista, ni jedan, ni drugi mjehurić nisu vodena para, nego se jedan otkriva kao vodik, a drugi kao kisik. Vodika ima dva puta toliko, koliko kisika, po čemu zaključujemo da električna struja razbija svaku molekulu u dva dijela vodika i jedan dio kisika. Te manje jedinice, u koje se raspala molekula nazivaju se »atomi«. Svaka molekula vode sastoji se od dva atoma vodika (H) i jednog atoma kisika (O). To se izražava u njezinoj kemijskoj formuli  $H_2O$ .

Tvar, koja se sastoji samo od atoma jedne vrsti, označena je kao element, dok je ona, koja sadrži više od jedne vrsti atoma, označena kao spoj. Tako su, na primjer, kisik i vodik elementi, dok je voda, koja je njihova kemijska smjesa, spoj.

Sve bezbrojne tvari, koje nalazimo na Zemlji — cipele, brodove, pečatni vosak, ugljen, kraljeve, tesare, morževe, sve što god možemo zamisliti — sve se to može



na ovaj ili onaj način rastaviti na njihove atomske sastavne dijelove. Moglo bi se pomisliti da mora postojati nevjerojatno velik broj različitih vrsta atoma, koji omogućuju bogatu raznolikost tvari, što je nalazimo na Zemlji. U stvarnosti je broj upravo malen. Isti atomi dolaze uvijek iznova, i velika raznolikost tvari ne potječe od velike raznolikosti atoma, koji je sastavljaju, nego samo od velike raznolikosti, kojom se može kombinirati nekoliko atomskih vrsta — baš kao što se i kod višebojnog tiska mogu tri boje tako kombinirati, da daju gotovo sve boje, koje susrećemo u prirodi, a da i ne govorimo o drugim čarobnim sjenčanjima, kakva ne nalazimo nigdje, ni na kopnu ni na moru.

Analiza svih poznatih zemaljskih tvari otkrila je do sada tek 92 različite vrste atoma. Čak i od tih poznatih 92, većina ih je izvanredno rijetka, jer su obične tvari najčešće sastavljene kombinacijom 14 različitih atoma, naime: vodika (H), ugljika (C), dušika (N), kisika (O), natrija (Na), magnezija (Mg), aluminijska (Al), silicija (Si), fosfora (P), sumpora (S), klora (Cl), kalija (K), kalcija (Ca) i željeza (Fe).

Na taj način cijela je Zemlja, sa svojom beskrajnom raznolikošću tvari, zgrada sagrađena od normalnih opeka — atoma. Od tih opeka dolazi samo par vrsta, kojih 14. češće u građi, a ostale se javljaju samo rijetko.

Vidjeli smo već (str. 38.) kako spektar svijetla zvijezde otkriva kemijski sastav njezine atmosfere. Osim nekoliko posve beznačajnih iznimaka, može se ustanoviti kod svake linije spektra zvijezde, da potječe od vrste atoma, koja je već poznata na Zemlji, te izgleda, da je čitav svemir izgrađen od istih 92 vrste atoma, koje poznajemo na Zemlji, premda se moramo sjetiti, da nemamo neposredne očevidnosti o vrstama atoma, koji postoje u unutrašnjosti zvijezda.

Vidjet ćemo kasnije (str. 169 i 170) da se različite vrste atoma pojavljuju u gotovo istim relativnim razmjerima na zvijezdama, kao i na Zemlji. Tako od 14 elemenata, kojih je u izobilju na Zemlji, 12 ih je obilno na zvijezdama. To nas nimalo ne začuđuje, kad pomislimo da je Zemlja vjerojatno nastala kao zgušnjavanje plinova u atmosferi jedne zvijezde — naime Sunca (str. 253). Vo-

dika i helija nema toliko na Zemlji kao u atmosferama zvijezda, ali postoji i razlog tome. Kad je Zemlja bila još bezoblična lopta vrelih plinova, njezina gravitaciona sila nije bila dovoljna, da zadrži brze atome tih tvari (str. 219), te su se oni ubrzo raspršili i zauvijek izgubili sa Zemlje. Tako je ostalo na Zemlji vrlo malo helija, dok se vodika našlo samo u spojevima s drugim atomima ostalih tvari.

#### *Ustrojstvo atoma.*

Sve do nedavno smatrani su atomi kao čvrste i trajne opeke od kojih je izgrađen svemir. Sve promjene u svemiru trebale su slijediti od preuređivanja trajnih nerazorivih atoma. Kao u dječjoj igri, izgrađuju se od istih dijelova redom različite gradnje. Povijest fizike 20. stoljeća u prvom je redu povijest razaranja te predodžbe.

Pri kraju prošlog stoljeća počeli su najprije razarati atom Crookes, Lenard; a prije svih Sir J. J. Thomson. Odjednom se opazilo, da se od atoma, koji su već duže od 2000 godina smatrani za nerazorive opeke svemira, mogu vrlo lako odlomiti komadići. Odlučan je napredak postignut godine 1897., kad je Thomson pokazao da su ti odlomci uvijek jednaki, bez obzira od koje vrste atoma potječu; da imaju jednake težine i nose jednaki naboj negativnog elektriciteta. Zbog te posljednje osobine nazvani su »elektroni«. Atom ne može ipak biti izgrađen samo od elektrona; budući da je svaki elektron nabijen negativnim elektricitetom, morala bi ta tvorevina, sastavljena samo od elektrona, imati također negativni naboj. Dva se negativna naboja odbijaju kao i dva pozitivna, dok se jedan pozitivan i jedan negativan privlače. Na osnovu toga lako je odrediti da li je neko tijelo, ili bilo koja tvorevina, nabijena pozitivnim ili negativnim elektricitetom ili je uopće bez naboja. Opažanje pokazuje da potpuni atom uopće nije nabijen, zato se negdje u atomu mora nalaziti baš dovoljno pozitivan naboj, da neutralizira ukupni negativni naboj svih elektrona.

Godine 1911. otkrili su pokusi Lorda Rutherforda i drugih, bar u najglavnijim potezima, ustrojstvo atoma.

Kako ćemo uskoro vidjeti (v. dalje na str. 125), pruža nam sama priroda beskrajnu zalihu malih čestica nabijenih pozitivnim električitetom, koje se giblju vrlo velikim brzinama u obliku  $\alpha$ -čestica, što izlijeću iz radioaktivnih tvari. Rutherfordova metoda sastoji se, kratko rečeno, u tome da se s tim česticama gađaju atomi i promatraju posljedice toga gađanja. Dobio se zapanjujući rezultat, da velika većina tih taneta prolazi kroz atom, kao da uopće ništa ne postoji. Bilo je kao da se puca u utvaru.

Ipak atom nije bio posve utvara. Mali dio metaka — možda jedan od 10 000 — bili su skrenuti u svom letu, kao da su naišli na nešto veoma stvarno. Matematički je račun pokazao da su te zapreke mogle biti samo oni pozitivni naboji atoma što su nedostajali.

Podrobno proučavanje puta tih metaka pokazalo je da cijeli pozitivni naboj atoma mora biti koncentriran na vrlo malom prostoru, koji ima otprilike opseg jedne bilijuntine centimetra. Na taj način dospio je Rutherford do svoje teorije o izgradnji atoma, koja je općenito vezana za njegovo ime. On je pretpostavio da se kemijske osobine i prava priroda atoma nalaze u teškoj, ali izvanredno maloj, pozitivno nabijenoj središnjoj »jezgri«, oko koje kruži izvjestan broj negativno nabijenih elektrona. Pretpostavka, da se elektroni u atomu kreću, bila je, dakako, nužna, jer bi ih, inače, privlačenje pozitivnog i negativnog električiteta povuklo odmah u središte — baš kao što bi i Zemlja, zbog privlačne snage Sunca, na nj pala, kad ne bi kružila po svojoj stazi oko njega. Ukratko, Rutherford je smatrao da je atom izgrađen kao Sunčev sistem, pri čemu bi teška središnja jezgra igrala ulogu Sunca, a elektroni uloge planeta.

Nauka stvara razne slike ili modele, kojima ćemo rastumačiti i objasniti neke od opaženih osobina materije; kada taj zataji, moramo ga dopuniti drugim modelom ili slikom, koji će opet zatajiti kod drugih osobina materije, i tako dalje.

Rutherfordova slika atoma nije objašnjavala sve opažene osobine materije, ali je objašnjavala velik broj njih i u njima se uključuju one osobine, koje su važne za našu sadanju diskusiju. Zbog toga razloga i dalje ćemo

129  
opisivati atom na način Rutherfordove slike i prema tomu kako su je proširili Bohr i drugi.

Prema toj slici, pretpostavlja se da se elektroni kreću oko jezgre upravo onim brzinama, koje su potrebne, da ne bi bili privučeni u jezgre. Pokazalo se da su te brzine strahovite; prosječni elektron okrene se oko svoje jezgre nekoliko hiljada bilijuna puta svake sekunde brzinom od nekoliko stotina kilometara u sekundi. Tako neznatnost njihovih staza ne sprečava elektronima, da se kreću većim brzinama po svojim stazama nego planeti, pa čak većim i od samih zvijezda.

Time, što elektroni omeđuju izvjestan prostor oko središnje jezgre i tako sprečavaju drugim atomima, da mu ne dođu preblizu, oni određuju veličinu atomu. Od elektrona stvoreni prostorni volumen znatno je veći nego ukupni volumen elektrona; oni se odnose, po prilici, kao bojište prema tanadi. Atom s polumjerom od kojih  $2 \times 10^{-8}$  cm ima oko 100 000 puta veći polumjer, dakle tisuću bilijuna puta veći volumen nego pojedini elektron koji ima polumjer tek  $2 \times 10^{-13}$  cm. Premda jezgra općenito teži 3000 ili 4000 puta više od svih elektrona u atomu zajedno, ona se može po svojoj veličini usporediti najviše s pojedinim elektronom, a može biti čak i manja od njega.

Govorili smo već o ogromnoj praznini astronomskog prostora. Izabere li se bilo koja točka u prostoru, može se čovjek kladiti s najvećim pouzdanjem da ima pravo, da na njoj nije nikakva zvijezda. Čak se i Sunčev sistem sastoji u mnogo većoj mjeri od praznog prostora. Izabere li se bilo koja točka unutar Sunčeva sistema, posve je nevjerovatno da se tamo nalazi neki planet ili čak komet, meteorit ili neko još manje tijelo. Sada vidimo da se ta praznina proteže također i na fizikalni prostor. Čak i unutar atoma možemo izabrati bilo koju točku i kladiti se, s bilijun prema jedan, da je ta točka prazna. Šest zrnaca prašine na Waterloo-kolodvoru dalo nam je predodžbu o tome, do koje je mjere ispunjen prostor zvijezda. Na isti će način nekoliko osa — šest za atom ugljika —, koje lete naokolo po tom kolodvoru, predstavljati mjeru, do koje je atom ispunjen elektronima — sve ostalo je praznina. Kad razmatramo cijelu zgradu sve-



mira od divovskim maglica i ogromnih prostora među maglicama i zvijezdama, pa do male tvorevine atoma, vidimo samo prazni prostor. Mi živimo u pačinastom svemiru; uzorka, plana i crteža ima u izobilju, ali je malo čvrste tvari.

#### *Atomni brojevi.*

Različiti elementi dobili su imena — vodik, helij, argon i t. d. — koja su obično u vezi s nekom osobinom elementa ili okolnostima njihova otkrića. Tako je vodik nazvan tim imenom, jer je glavni činilac vode; helij, jer je najprije otkriven na Suncu; argon ( $\alpha$  —  $\epsilon\rho\rho\nu\nu$ ), jer je tromi plin, koji se ne spaja s drugim elementima, te se njegova jedina aktivnost u svemiru sastoji u samom njegovu postojanju.

Bilo bi daleko jednostavnije, premda manje živopisno, kad bi mogli prihvatiti, da označimo različite elemente brojevima 1, 2, 3, 4, ... Ta kemijske osobine elemenata i struktura atoma, od kojih su sastavljeni, usko su povezani s cijelim brojevima 1, 2, 3, 4, ... To su brojevi elektrona, koji kruže po svojim stazama u različitim atomima, a poznati su kao »atomni brojevi« (ili redni brojevi, op. prev.) elemenata. Našli su se atomi svih atomnih brojeva od 1 do 92, pa ima 92 »elementa«, kojih atomni brojevi teku neprekidno od 1 do 92.

Atom s atomnim brojem 1 je dakako najjednostavniji od svih. To je atom vodika, u kojem jedan jedini elektron kruži oko jezgre, kojoj je pozitivni električni naboj točno jednakog iznosa, premda suprotnog predznaka, kao i naboj negativnog elektrona. Pokusom je utvrđeno da jezgra ima oko 1847 puta veću masu od elektrona, te možemo smatrati da se gotovo cijela masa atoma nalazi u jezgri. A to vrijedi, kako ćemo uskoro vidjeti, za svaku vrst atoma.

Kao slijedeći dolazi atom helija s atomnim brojem 2, u kojem se kreću dva elektrona oko jezgre, koja ima četverostruku težinu vodikove jezgre, a sadrži tek dvostruki električni naboj. Zatim slijedi atom litija s atomskim brojem 3, u komu se tri elektrona okreću oko jezgre koja ima sedmorstruku težinu i trostruki naboj

vodikova atoma. Tako ide redom dalje, dok ne dođemo do urana, najtežeg od svih zemaljskih atoma, a oko njegove jezgre obilaze 92 elektrona, dok je ona 238 puta teža od jezgre vodikova atoma.

Kemijske osobine nekog atoma određene su njegovim atomnim brojem. Vidjet ćemo da veći broj raznih atoma mogu imati isti atomni broj, no ipak svi oni imaju iste kemijske osobine. Tako ima 11 vrsta atoma s atomnim brojem 50 no svi imaju kemijske osobine običnog cinka.

#### *Atomne težine.*

Iz naše slike plina, kao skupa molekula koje nasumce lete naokolo, moglo bi se izvesti da broj molekula u bilo kom zadanom volumenu plina, uopće ne ovisi o kemijskom sastavu plina. Ne možemo pravo ni zamisliti kako je to značajan zakon, dok ne uzmemo konkretan primjer. Uzmimo dvije jednako velike boce i postavimo ih jednu do druge, da bi bile iste temperature; ostavimo mali otvor u zapušaču svake od njih, tako da bi njihova unutrašnjost bila pod jednakim pritiskom; ispunimo sada jednu najlakšim plinom što ga znamo — vodikom — a drugu tako teškim plinom kao što je kisik. Zakon nam kazuje da će obje boce sadržati točno isti broj molekula, bez obzira što su molekuli tako raznoliki u svojim osobinama.

Odvagnemo li obje boce, naći ćemo da će kisik u prvoj boci biti točno 16 puta teži od vodika u drugoj boci. Odatle zaključujemo da svaka molekula kisika mora biti 16 puta teža nego molekula vodika. Na taj način se mogu otkriti relativne težine molekula različitih tvari.

Već je dugo vremena poznato da su te težine u jednostavnim odnosima jedna s drugom; one se obično mogu doista izraziti kao točan, ili gotovo točan, mnogokratnik određene jedinice težine. Ta je jedinica približno težina vodikova atoma, ali je mnogo zgodnije da se definira kao jedna šesnaestina težine atoma kisika, budući da ta definicija daje težine različitih atoma još bliže cjelobrojnim mnogokratnicima jedinice.

Težina bilo koje vrsti molekula, izmjerena u takvim jedinicama, zove se »molekularna težina« molekule, koja

je u pitanju. Težina bilo koje vrsti atoma, izmjerena u toj jedinici, zove se »atomna težina« atoma o kome se radi. Općenito imaju atomi većeg atomskog broja i veću atomnu težinu: oboje raste zajedno. Izuzevši vodik i najteže atome, atomna težina je obično dva puta veća od atomnog broja. Imamo na primjer:

Element	Atomni broj	Atomna težina
Vodik	1	1
Helij	2	4
Ugljik	6	12
Dušik	7	14
Kisik	8	16
Cink	50	118,7
Živa	80	200,6

#### Izotopi.

Obično se smatra da se izvjesna količina jednog jedinog elementa, na primjer žive ili klora, sastoji samo od jednakih atoma, koji svaki ima ne samo jednaki atomni broj, već i jednaku atomnu težinu. Znamo da atomi istog kemijskog elementa mogu postojati u raznolikim oblicima, poznatim kao »izotopi«, koji se razlikuju po tome što imaju različitu atomnu težinu.

Kad se je spoznalo postojanje izotopa, našlo se da su atomne težine još bliže cijelim brojevima. Atomna težina klora, na primjer, označuje se obično kao 35,5; a to treba značiti, da se klor sastoji od množine atoma kojih svaki ima 35,5 puta veću masu nego atom vodika. Aston je našao da se klor sastoji od mješavine atoma atomne težine 35 i 37 (ili još točnije 34,983 i 36,980), pri čemu su prvi otprilike tri puta češći od drugih. Stvarno su atomne težine tih dvaju izotopa 34,980 i 36,978. Na isti način našlo se, da se količina žive, koja ima srednju atomnu težinu 200,6, sastoji od smjese 9 atomnih vrsta s atomnim težinama 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203 i 204. Cink s atomnom težinom 118,7 je smjesa od ništa manje nego 11 izotopa s atomnim težinama 112, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122 i 124.

Čak i najjednostavnije tvari su se sada pokazale da su mješavine izotopa. Vodik je mješavina triju atomnih

težina 1, 2, 3 — ili točnije 1,0081; 2,0142 i 3,016. Helij je opet mješavina triju težina 3, 4 i 5 — ili točnije: 3,0172; 4,0034 i 5,01.

#### Protoni i neutroni.

Atomni broj nekog atoma mora biti cijeli broj, budući da se vanjska struktura atoma sastoji samo od cijelog broja sličnih jedinica — elektrona. Činjenice, netom spomenute o atomnim težinama, često su vodile do pomisli, da se unutarnja struktura atoma — jezgre nosioca težine — mora također sastojati od cijelog broja sličnih jedinica. Kad bi bilo tako, jedinica, o kojoj se radi, mogla bi biti samo jedna, naime, jezgra atoma vodika koju zovemo proton. Atomne težine svih atoma bile bi tada cijeli brojevi, budući da su dijelovi atoma, koji su nosioci mase, sastavljeni od cijelog broja protona.

No, takvo je shvaćanje dovelo do teškoća. Vodikov je atom, kao i ostali atomi, električki nenabijen — sveukupni naboj njegovih sastavnih dijelova jednak je nuli. Budući da se sastoji samo od dva sastojka: elektrona i protona, vidimo da proton mora biti nosilac pozitivnog električnog naboja, jednakog u iznosu s negativnim nabojem elektrona.

To posve dobro objašnjava normalni atom vodika, ali ne i normalni atom helija. Taj ima atomni broj 2, ali atomnu težinu 4, tako da bi se, prema našem shvaćanju, njegova jezgra morala sastojati od 4 protona, a budući da tu ima samo dva elektrona, koji kruže oko nje, morao bi postojati neizjednačeni električni naboj jednak naboju od dva elektrona.

Element	Atomni broj (broj elektrona)	Atomna težina (broj neutrona)	Broj protona	Broj neutrona
Vodik	1	1, 2, 3	1	0, 1, 2
Helij	2	3, 4, 5	2	1, 2, 3
Ugljik	6	12, 13	6	6, 7
Dušik	7	14, 15	7	7, 8
Kisik	8	16, 17, 18	8	8, 9, 10
Cink	50	112 do 122; 124	50	62 do 72; 74
Živa	80	196 do 204	80	116 do 124



Sada predočavamo jezgru svakog atoma, izuzevši jednostavni atom vodika, kao da sadrži čestice dviju vrsta — opisani već proton i drugu vrst čestica, poznatu kao neutron (str. 128). Neutron ima istu težinu kao i proton, samo ne nosi električni naboj, ni pozitivni, ni negativni. Jezgra svakog atoma sadrži upravo toliko protona, da se neutralizira negativni naboj elektrona izvana, dok neutroni naknađuju ostatak njegove mase. Tako atomni broj atoma označuje broj protona i elektrona. Kad bi atomna težina bila upravo dvostruki atomni broj, on bi također bio i broj neutrona. Izotopi se naravno dobiju, ako se mijenja broj neutrona, dok se broj protona ne mijenja.

To je prikazano na gornjoj tablici (str. 123), koja prikazuje sastav svih malo prije spomenutih elemenata i izotopa.

### RADIOAKTIVNOST

Dok je još fizikalna znanost bila zabavljena time, da rastavi atom u njegove pojedine sastavne dijelove, otkrila je, u isto vrijeme, da ni same jezgre nisu ni trajne ni nerazorive. Godine 1896. našao je Becquerel da različite tvari, koje sadrže urana, imaju spomena vrijednu osobinu, kako se tada činilo, da utječu na fotografske ploče, koje se nalaze u blizini. To opažanje dovelo je do otkrića novog svojstva materije, naime radioaktivnosti. Svi rezultati, postignuti slijedećih godina pri proučavanju radioaktivnosti, skupljeni su u hipotezu »spontanog raspada«, koju su 1903. postavili Rutherford i Soddy. Prema toj hipotezi u njezinu sadašnjem obliku radioaktivnost pokazuje mogućnost da se atomska jezgra radioaktivne tvari raspadne. Ti su atomi tako malo trajni i nerazorivi, da se čak i njihove jezge mrve u toku vremena, te se prvotna jezgra uranova atoma pretvori nakon izvjesnog vremena u jezgru atoma olova.

Taj proces pretvaranja ne zbiva se odjednom, nego postepeno i u određenim stepenima. Za vrijeme njegova zbivanja izlučuju se tri vrsti produkata, koji su označeni kao  $\alpha$ -zrake,  $\beta$ -zrake i  $\gamma$ -zrake.

One su prvotno označene kao zrake, jer imaju sposobnost da prodiru kroz slojeve zraka, metala i drugih

tvari izvjesne debljine. Njihova prava priroda bila je tek kasnije otkrivena. Poznato je da magnetske sile, kao na primjer one što vladaju među polovima magneta, otklanjaju elektricitetom nabijene čestice u pokretu s ravnog puta. Čestica se otklanja na jednu ili na drugu stranu, već prema tome, da li je nabijena pozitivnim ili negativnim elektricitetom. Ako se različite zrake iz radioaktivnih tvari uprave u prostor među polovima snažnog magneta, nalazi se da se  $\alpha$ -zrake sastoje od čestica nabijenih pozitivnim, a  $\beta$ -zrake od čestica nabijenih negativnim elektricitetom. Međutim i najjače magnetske sile, koje su se mogle primijeniti, nisu kod  $\gamma$ -zraka izazvale nikakvih odklona, po čemu se zaključilo da  $\gamma$ -zrake nisu uopće materijalne čestice ili, ako jesu, da nemaju nikakav električni naboj. Prva od tih dviju alternativa pokazala se kasnije kao ispravna.

#### $\alpha$ -čestice

Pozitivno nabijene čestice, koje sastoje se od  $\alpha$ -zraka, obično se zovu  $\alpha$ -čestice. Godine 1909. Rutherford i Royds kroz tanku staklenu pločicu, debelu manje od jedne stotine milimetra, puštali su  $\alpha$ -čestice u komoricu, iz koje nisu mogle izaći — neka vrsta mišolovke za  $\alpha$ -čestice. Taj pokus je nastavljen dugo vremena, ali konačni rezultat nije bilo nakupljanje  $\alpha$ -čestica, nego nakupljanje plina helija, najjednostavnijeg plina poslije vodika. Na taj je način utvrđeno da su pozitivno nabijene  $\alpha$ -čestice naprosto jezgre helijevih atoma; pozitivno nabijene  $\alpha$ -čestice privukle su negativno nabijene elektrone od stijena komore i rezultat je bilo nakupljanje potpunih helijevih atoma.

Te se  $\alpha$ -čestice kreću ogromnim brzinama, koje ovise o prirodi radioaktivnih tvari što ih odašilju. Najbrže od svijetu, one koje odašilje torij C, postižu brzinu od 20 500 km u sekundi, a čak i najpolaganije, one od Urana I, imaju brzinu od 14 000 km u sekundi, 30 000 puta više nego što iznosi obična brzina molekula u zraku. Čestice, koje se giblju takvim brzinama, razmiču na svom putu sve druge molekule. To objašnjava veliku prodornu moć  $\alpha$ -čestica.

## $\beta$ -čestice

Ispitivanjem njihova kretanja pod utjecajem magnetskih sila našlo se da se  $\beta$ -zrake sastoje od negativno nabijenih elektrona, posve sličnih onima koji kruže u svim atomima. Budući da  $\alpha$ -čestica ima jedan pozitivan naboj, jednak količinom naboju dvaju elektrona, ostaje atom, koji je izbacio jednu  $\alpha$ -česticu, s jednim minusom na pozitivnim nabojima ili, što izlazi na isto, s negativnim nabojem, koji odgovara naboju od dva elektrona. Iz toga naravno slijedi, i to gotovo neizostavno, da se izbacivanje  $\alpha$ -čestice izmjenjuje s izbacivanjem negativno nabijenih elektrona, u odnosu od jedne  $\alpha$ -čestice prema dva elektrona, tako da opet ostane ravnoteža između negativnog i pozitivnog elektriciteta u atomu.  $\beta$ -čestice imaju još veću brzinu od  $\alpha$ -čestica, mnoge dostižu gotovo brzinu svjetlosti (300 000 km u sekundi).

Opisali smo jezgru atoma kao da sadrži samo protone i neutrone, pa nastaje pitanje o porijeklu elektrona. Najjednostavnije je rješenje da se neutron smatra kao sastavljena čestica, koja sadrži proton i elektron. U radioaktivnom raspadanju može se neutron raspasti u dva sastojka, elektron je izbačen napolje, ali proton ostaje.

Jedan od najljepših eksperimenata, što ih fizika zna, iznašao je profesor C. T. Wilsona, omogućuje nam proučavanje gibanja  $\alpha$ - i  $\beta$ -čestica, kad prolaze kroz neki plin pa se na svom putu sudaraju s molekulama. Komora, kroz koju se puštaju čestice, ispunjena je vodenom parom, u takvom stanju, da svaki prolaz elektricitetom nabijene čestice ostavlja trag magle, koji se može fotografirati.

Same  $\alpha$ - ili  $\beta$ -čestice ne možemo vidjeti, već vidimo kondenzaciju, koju one izazivlju, isto onako kao što možemo vidjeti kondenzacije aviona koji leti tako visoko na nebu te njega samoga ne vidimo.

Tabla XXV. pokazuje fotografiju, na kojoj se pojavljuju tragovi  $\alpha$ - i  $\beta$ -čestica na istoj ploči. Četiri jake linije tragovi su  $\alpha$ -čestica; savinute i mnogo tanje linije tragovi su  $\beta$ -čestica. Budući da su  $\alpha$ -čestice 7400 puta teže od  $\beta$ -čestica, one izazivlju, dakako, veće poremećaje u plinu i ostavljaju šire i izrazitije tragove. One

se kreću razmjerno ravnim putem, dok laganije  $\beta$ -čestice skreću zbog mnogih molekula koje susreću na svom putu. Čvorasti izgled, što se opaža pri jednom tragu  $\alpha$ -čestice, zanimljiv je, jer predstavlja kratke puteve elektrona, što ih  $\alpha$ -čestica izbija iz atomâ pri prolazu kroz njih.

## $\gamma$ -zrake.

Kako smo već spomenuli  $\gamma$ -zrake nisu uopće čestice tvari, nego su samo zračenje posebne vrsti, koje ćemo kasnije (strana 135.) razmotriti.

Razbijanje nekog radioaktivnog atoma može se daleko usporediti s pucanjem iz puške;  $\alpha$ -čestica je ispaljeni metak;  $\beta$ -čestice su dim, a  $\gamma$ -zrake bljesak. Atom olova, koji preostane na koncu, jest ispaljena puška, a prvotni radioaktivni atom, uran ili koji drugi, bijaše nabijena puška. Naročita je osobitost radioaktivnih pušaka, da one same od sebe opaljuju i po svojim vlastitim zakonima. Svi pokušaji, povući oroz, bili su do sada uzaludni; može se samo čekati i pronaći da s vremenom puška sama od sebe opali, premda može potrajati i milijardu godina, dok se to ne zbude.

## ATOMSKE JEZGRE

Osim beznačajnih izuzetaka javlja se radioaktivna osobina samo u najzamršenijim i najtežim atomima, ona je zapravo ograničena na atome s atomnim brojem iznad 83. Međutim, premda lakši atomi nisu izvrnuti spontanom raspadu kao teški radioaktivni atomi, njihove su jezgre ipak složene prirode i mogu se razbiti umjetnim sredstvima. Godine 1920. upotrebljavao je Rutherford radioaktivne atome i našao da su direktni pogoci razbili njihove jezgre.

U najranijim pokusima bile su  $\alpha$ -čestice izbačene na atome dušika, neki su od projektila prošli kroz metu razbijajući spojenu strukturu na kisikovu jezgru (izotop atomske težine 17) i na jezgru vodika (ili proton). Na taj način uspjela je tu čovjeku transmutacija (pretvaranje) elemenata; ostvario se san alkemista.

Ova jednostavna transmutacija otkrila je značajnu razliku između spontanog razbijanja teških radioaktivnih



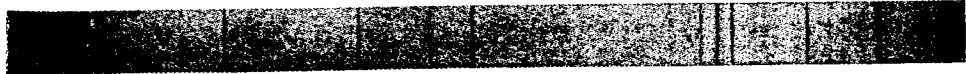
atoma i umjetnog razlaganja lakih atoma; u prvom slučaju, bez obzira na  $\beta$ -čestice, i  $\gamma$ -zrake koje su uvijek prisutne, izbačene su samo  $\alpha$ -čestice, dok u ovom posljednjem slučaju nisu izbačene  $\alpha$ -čestice, nego protoni.

Ti uzbudljivi događaji u atomskom podsvijetu mogu se fotografirati pomoću već objašnjene metode magle profesora C. T. R. Wilsona. Tabla XXVI. pokazuje dva sudara  $\alpha$ -čestice s dušikovim atomom, a snimio ju je P. M. S. Blackett Ravne crte su obični tragovi  $\alpha$ -čestica, koji sličie onima pokazanima već na tabli XXV. Međutim se na svakoj fotografiji trag jedne  $\alpha$ -čestice odjednom grana, tako da potpuna slika ima oblik slova Y.

Jedva se može posumnjati, da na slici 1. nastaje grananje, jer se  $\alpha$ -čestica sudarila s atomom dušika. Stapka od Y trag je  $\alpha$ -čestice prije sraza, a gornje dvije grane tragovi su  $\alpha$ -čestice i dušikova atoma poslije sraza, pri čemu posljednji sada juri silnom brzinom i odmiče sve na stranu. Pošto je snimio u isti čas dvije slike u različitim smjerovima, kako se to vidi na tabli, mogao je Blackett rekonstruirati cijeli sudar, pa je našao da se kutevi poklapaju s onima koje bi zahtijevala dinamička teorija pri takvom tumačenju fotografije.

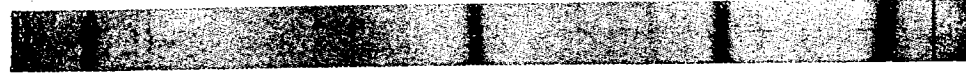
Na 2. slici fotografiran je događaj druge prirode, budući da se kutevi ne poklapaju posve s onima, koje zahtijeva dinamička teorija, kad bi gornje grane Y bili tragovi  $\alpha$ -čestice i atoma dušika, kao na slici 1. Stapka Y obični je trag  $\alpha$ -čestice, ali je dugi slabi ogranak trag manje čestice, naime za četvrtinu lakše čestice ispaljene iz jezgre, dok je kraći i jasniji ogranak trag dušikova atoma, koji je uhvatio  $\alpha$ -česticu i kreće se dalje zajedno s njom. Zauzelo bi mnogo mjesta, kad bi se htjelo da se iscrpno opiše lijepa metoda, s pomoću koje je Blackett obrazložio ovo tumačenje svojih fotografija, ali se može jedva i posumnjati u to, da je njemu na 2. slici doista uspjelo fotografirati razbijanje jezgre jednog atoma dušika.

Postojanje neutrona utvrđeno je vrlo sličnim postupkom. Godine 1931. bombardirali su Bothe i Becker, njemački fizičari, lagane elemente, berilij i bor, s  $\alpha$ -česticama i dobili novi, ali vrlo prodorni oblik zračenja, za koji je Chadwick kasnije pokazao da se mora sastojati od



Bo

$\epsilon$  Orionis



Ao

Sirius



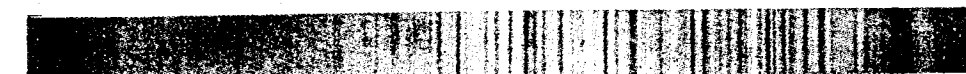
Fo

$\delta$  Blizanaca



Go

Kapela



Ko

Arktur



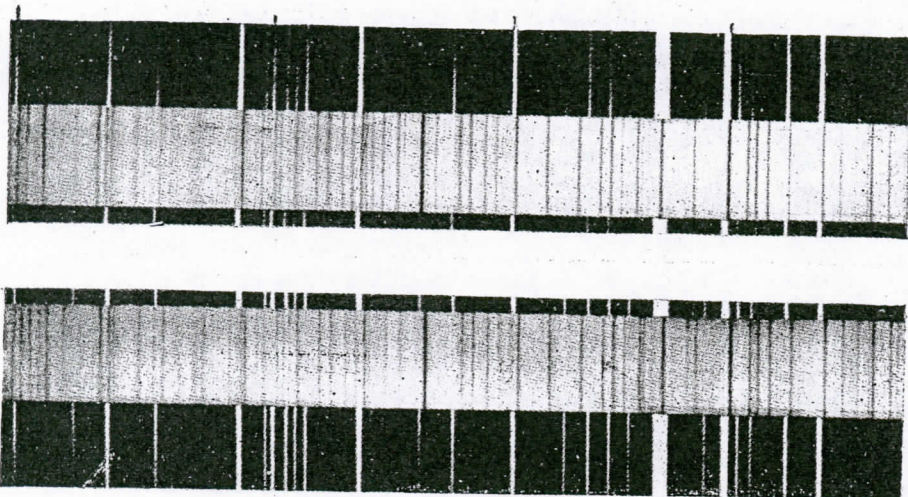
Mo

Betelgeux

Zvezdani spektri

Tabla XVI  
4400

4500

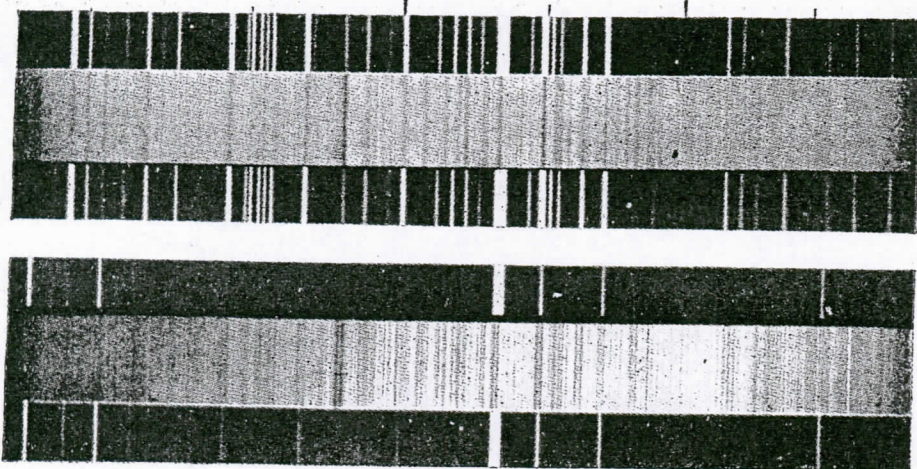


Spektar  $\mu$  Oriona pokazuje promjenljivu brzinu.

4400

4500

4600



Zvjezdarnica Yerkes

Spektar  $\zeta$  Velikog Medvjeda pokazuje dvostruke linije.

DOPPLEROV EFEKT U ZVJEZDANIM SPEKTRIMA.

materijalnih čestica, koje imaju istu masu kao i protoni, ali su električki n e n a b i j e n e. To je bilo donekle novo u svijetu, za koji se pretpostavljalo da se sastoji samo od nabijenih čestica.

### KOZMIČKO ZRAČENJE

Neko je vrijeme izgledalo da je naročita sreća, što je priroda u  $\alpha$ -česticama sama pružila projekte s dovoljno probojnom moći, da se razbije jezgra atoma i otkriju njezine tajne opažanju fizičara. Kasnije se našlo da nam priroda pruža projekte još veće probojne moći u »kozmičkom zračenju«, koje neprestano bombardira površinu Zemlje. Isto to zračenje našlo se po cijeloj atmosferi, i njegov intenzitet raste, što se više uzdizemo uvis, pa je jasno da mora dolaziti izvana. Ono ne može dolaziti od Sunca ili zvijezda; kad bi to bilo, primala bi Zemlja zračenje pretežno od Sunca, pa bi ono moralo biti mnogo snažnije danju nego noću. Ustanovljeno je da nije tako, pa se općenito smatra, da se zračenje stvara u dalekim maglicama ili kozmičkim masama različnim od zvijezda — otuda ime »kozmičko zračenje«.

Količina tog zračenja je vrlo velika. Čak i na morskoj površini, gdje je naslabije, ono razbija svake sekunde 0,6 atoma u kubičnom centimetru zraka. To bi moralo razbiti milijune atoma u svakom našem tijelu — a mi ne znamo kakva može biti fiziološka posljedica toga. Regener je izračunao da je ukupna energija kozmičkog zračenja, što ju primamo na Zemlji, gotovo jednaka ukupnoj energiji zračenja, svjetlosti i topline zajedno, što je primamo od svih zvijezda. Ipak nam naš položaj unutrašnjosti galaktičkog sistema osigurava veću količinu svjetlosti i topline zvijezda nego što ga pretežno primaju drugi dijelovi prostora, a to je tek malo više od ukupne količine kozmičkog zračenja. Uzmemo li prosjek kroz cijeli prostor, uključivši velika prostranstva među maglicama, izgleda da je kozmičko zračenje mnogo obilatije od svjetlosti i topline zvijezda i tako je najobilniji oblik zračenja u cijelom svemiru.

Ono je također najprodorniji poznati oblik zračenja. Obično svijetlo jedva prolazi kroz kovine ili



uopće kroz čvrste tvari; tek sitan dio prolazi kroz najtanji zlatni listić. Röntgenske zrake su mnogo prodornije, ali mogu proći samo kroz nekoliko milimetara debelo olovo. Najprodornije  $\gamma$ -zrake radija B prolaze kroz centimetre olova; dok najprodorniji dio kozmičkog zračenja prolazi kroz više metara olova.

Zbog ogromne prodorne moći mora to zračenje proći kroz rijetku materiju međuzvezdanog prostora tako lako da, kad se jednom nađe slobodno u prostoru, ono se može smatrati gotovo neuništivim. Tä vidjeli smo već da je iznos materije u prostoru, uključivši mase zvijezda i maglica, jedva dovoljan da daje prosječnu gustoću u prostoru od kojih  $10^{-28}$  grama u kubičnom centimetru. To znači da zračenje mora proći prosječni put od  $10^{28}$  centimetara prije nego što sretne toliko materije, koliko je ima u sloju vode debelom jedan centimetar. Zračenju, koje putuje brzinom svjetlosti, potrebno je deset milijardâ godina, da prođe tako dugi put; korpuskule ili nabijeni dijelici moraju putovati svakako polaganije od svjetlosti i zato bi im bilo potrebno još više vremena. Za to dugo vrijeme umanjeње zračenja je tek onoliko, koliko oslabi, dok prođe jedan centimetar vode, a to je nezamjetljivo; zračenje mora putovati bilijune godina prije nego što mu jačina primjetljivo oslabi. S obzirom na vrijeme, za koje ćemo kasnije naći da odgovara vjerojatnoj starosti svemira, znači to da je zračenje stvarno neugasivo; praktički to znači da sve zračenje, koje je ikad nastalo, još uvijek putuje po prostoru. Najzanimljivije pitanje, ipak, nije kada je ili gdje je zračenje nastalo, nego kako.

Opažajući, da li se zračenje savija, ili ne, u magnetskom polju, izgleda da bi bilo lako ustanoviti, da li je kozmičko zračenje vrsta  $\gamma$ -zraka, ili se sastoji od djeleća ili korpuskula, ali u stvari je to pitanje vanredno zamršeno. Sigurna i značajna osobitost zračenja jest njegova moć, da razbije svaku molekulu na koju padne. Ostaci te razbijene molekule prate prvotno zračenje na daljem putu, tako da s vremenom, kad zračenje stigne do površine Zemlje, ono mora izgledati kao mješavina čestica različitih vrsta, i valova različitih valnih duljina, kako se je to u stvari opažanjem i našlo.

Budući da je tako, onda je samo jedno magnetsko polje koje se može iskoristiti, da se ispita prvotno zračenje; a to je Zemljino magnetsko polje, kroz koje zračenje treba da prođe prije nego što stigne do atmosfere Zemlje i izmiješa se s atomskim ostacima koje samo stvara. Mjerenja jačine kozmičkog zračenja pokazala su da ono na različitim mjestima dolazi do površine u različitoj jačini; zaključak je onda da je ono bilo otklonjeno Zemaljskim magnetskim poljem i mora se prema tome, sastojati, bar djelomično, od električki nabijenih čestica. Millikan i Neher su nedavno našli da 60% energije kozmičkog zračenja, koje ulazi u Zemljinu atmosferu mora biti nošeno od električki nabijenih čestica, a svaka čestica da nosi energiju, koja iznosi 2 do 15 puta onoliko energije, koliko je dobiva elektron, kad prolazi kroz pad napetosti od milijardu volti. Tako je energija kretanja svake čestice, koja ulazi, usporediva s onom cijelog atoma, koji se kreće gotovo jednako brzo kao svjetlost. Nije onda čudo, što zračenje pokazuje naprodorniju moć, kako je već spomenuto, ili što je gotovo nerazorivo.

#### Pozitron

Magnetska polja proizvedena u laboratorijima mogu, ipak, da se iskoriste za ispitivanje prirode ostataka koji nastaju kod sudara zračenja i atomske jezgre. Godine 1932. pokazao je na taj način C. D. Anderson da ti ostaci sadrže, među ostalim sastojinama, čestice, koje imaju pozitivan naboj jednako kao i protoni, ali masu usporedivu, a vjerojatno i jednaku, masi elektrona. Te se čestice mogu opisati kao pozitivno nabijeni elektroni i nazvane su »pozitroni«. Kako se čini da se oni pomaļaju iz atomske jezgre, moglo bi se obrazloženo smatrati, da su oni normalni sastojci jezgre. Anderson je pokazao da proton ne može biti osnovna nedjeljiva čestica, nego može biti strukture složene od pozitrona i neutrona. No ostaci jezgre, koja je razbijena kozmičkim zračenjem, sadrže elektrone kao i pozitrone, a elektroni nastaju, koliko se moglo uvidjeti, od iste atomske jezgre kao i pozitroni. To je dovela Blacketta i Occhialinia do nazora, da se elektroni i pozitroni mogu javljati u paro-

vima, kao posljedica procesa bombardiranja i razbijanja atomskih jezgra.

Izgleda gotovo sigurno da pozitron može samo privremeno postojati. Za pozitrone, čini se, da nisu pridruženi tvari pod normalnim uvjetima, i, izgleda, oni iščekavaju, gotovo u isto vrijeme kad su rođeni, spajajući se s negativnim elektronima. Baš kao što se par elektrona — jedan nabijen pozitivno a drugi negativno — rađa iz zračenja, tako ne može umrijeti u zagrljaju, a da ne ostavi za sobom zračenje.

Prije nego što se opazilo postojanje pozitrona, ili bar eksperimentalno posumnjalo, iznio je profesor Dirac u Cambridgeu matematičku teoriju, koja je nagovijestila ne samo postojanje pozitrona, nego također i način njegova postanka. Diracova teorija je previše ispunjena matematikom, a da bi se ovdje objasnila, ali ona je predviđala da tuča pozitrona treba da postepeno nestane spontanom spajanjem s negativnim elektronima po istom zakonu raspadanja koji vrijedi za radioaktivne tvari. Za prosječni život pozitrona predviđeno je da iznosi tek nekoliko milijuntina sekunde, što dovoljno objašnjava, zašto može pozitron živjeti dosta dugo, da se fotografira u kondenzacionoj komori, ali ne toliko dugo, da otkrije svoje postojanje bilo gdje u svemiru.

### *Mezon*

Proučavanje kozmičkog zračenja otkrilo je još jednu vrstu čestica — mezon — ili teški elektron, kako se koji put nazivlje. To se također našlo u ostacima, koje ostavlja kozmičko zračenje, kad udari na tvar. On ima isti naboj kao i elektron, ali mu je masa negdje po srijedi između one elektrona i protona. Njegovo postojanje je nužno zbog nekih osobina kozmičkog zračenja, naročito zbog velike prodorne moći, ali se vrlo malo zna o njegovim svojstvima. Različita određivanja njegove mase dala su vrijednosti koje sežu od 40 do 500 masa elektrona, — možda je masa od kojih 120 elektronskih masa najvjerojatnija, ali nije čak ni to sigurno da mezon ima uvijek istu masu. Ima nekih činjenica, da je i on podložan spontanom raspadu radioaktivne vrste, a

njegov normalni život trajao bi tek nekoliko milijuntina sekunde. Ako je tako, onda je prirodno da mezon ne može biti prvotni sastojak kozmičkog zračenja, već se mora javljati kao sekundarni nusprodukt, pošto se prvotno zračenje zaplelo u Zemljinu atmosferu.

Ima također dokaza, da postoje pozitivni i negativni mezoni i da se slobodni proton može razdružiti u neutron i pozitivno nabijeni mezon, dok se nagađa da se negativni mezon može razdružiti u obični elektron i u još jednu česticu, nove vrsti, nazvanu *neutrino*. Ta i druga slična nagađanja ipak su donekle bez važnosti za našu sadašnju diskusiju.

### ZRAČENJE

Do sada smo govorili samo o tvarnim sastojcima materije. Stvorili smo sebi sliku o atomu, izgrađenom od nekih ili svih materijalnih opeka, koje smo opisali kao: elektrone, protone, neutrone i pozitrone. No to još nije sve. Kad bi bilo tako, tada bi se svaki atom sastojao od stanovitog broja protona i neutrona, s upravo tolikim brojem elektrona i pozitrona, da se ukupni električni naboj dovede na nulu. Tako bi bila, izuzevši beznačajne težine elektrona i pozitrona, težina svakog atoma točni mnogokratnik težine atoma vodika. Pokusi pokazuju da se to ne zbiva.

### *Elektromagnetska energija*

Da shvatimo potpunu istinu, moramo priznati da atom sadrži osim tvarnih elektrona i protona, a možda i neutrona i pozitrona, još jedan sastavni dio, koji bismo mogli nazvati elektromagnetskim poljem.

Kad uznemirimo površinu ribnjaka štapom, polazi od štapa red valova i rasprostire se u nizu krugova koji se sve više rastežu po površini ribnjaka. Budući da se voda opire štapu, moramo djelovati kako bi se ribnjak održao u stanju gibanja. Energija tog rada bit će barem djelomično pretvorena u valnu energiju. Možemo se osvjedočiti da valovi imaju u sebi energije, jer oni čine da se plivajuće pluto ili igračka-čamac uzdiže usprkos pri-



vlačnoj sili Zemlje. Tako valovi predstavljaju mehanizam, što po površini ribnjaka raspodjeljuje energiju koju smo u taj ribnjak dali s pomoću pokretanja štapom.

Svijetlo i svi drugi oblici zračenja jednaki su vodenim naborima ili valovima u tome, što vrše raspodjelu energije s jedne središnje točke. Sunčevo zračenje kroz prostor vrši razdiobu velikih količina energije koja se proizvodi u unutrašnjosti Sunca. Da se prikažu osobine svijetla, kojim se sada zanimamo, najbolja slika, koju možemo nacrtati, sastoji se od niza valova. Svjetlost i druge vrste zračenja rasprostiru se u takvom obliku, da imaju mnoga svojstva niza valova.

Vidjeli smo kako se različite svjetlosne boje, koje ujedinjene sastavljaju sunčano svijetlo, mogu odijeliti jedna od druge, ako se svijetlo pusti da prođe kroz prizmu. Rastavljanje se može postići i jednim drugim instrumentom, mrežicom, što se sastoji samo od metalnog zrcala s velikim brojem crta, koje su jednoliko urezane u njegovu površinu. Teorija djelovanja toga instrumenta dobro je poznata; svijetlo se doista rastavlja u valove različitih valnih duljina<sup>1</sup>). To dokazuje da valovi različite duljine proizvode različite boje svijetla a mi u isti mah možemo mjeriti dužine valova, koje odgovaraju različitim bojama svjetlosti.

Te su se dužine pokazale vrlo malene. Najcrvenije svijetlo, što ga možemo vidjeti, ujedno je najveće valne dužine; ona iznosi samo  $7,5 \times 10^{-5}$  cm. Najljubičastije svijetlo, što ga možemo vidjeti, ima samo polovinu te valne dužine. Svijetlo svih boja ima jednaku brzinu 300 000 km ili  $3 \times 10^{10}$  cm u sekundi. Broj valova crvenog svijetla, koji u jednoj sekundi prođu neku određenu točku, nije prema tome manji od 400 bilijuna. To se zove »frekvencija« svijetla. Ljubičasto svijetlo ima još veću frekvenciju koja iznosi 800 bilijuna. Kad gledamo ljubičasto svijetlo, prodire u naše oko svake sekunde 800 bilijuna svjetlosnih valova.

<sup>1</sup> Valna dužina u jednom sustavu valova jest razmak od jednog brijega vala do slijedećeg, a naziv (termin) se može primijeniti na sve pojave valovite prirode.

Spektar razloženog Sunčevog svijetla izgleda oku kao da se proteže od crvenog svijetla na jednom kraju do ljubičastog svijetla na drugom; no to nisu prave granice. Metne li se neke kemijske soli izvan ljubičastog kraja vidljivog spektra, nađe se da one živahno svijetle, a to je znak, da se i ovamo prenosi energija, premda u nevidljivom obliku. Druge metode pokazuju da isto vrijedi i za crveni kraj spektra. Termometar, ili drugi neki instrument za toplinu koji se tu postavi, pokazuje da se ovdje javlja energija kao toplina.

Na taj način nalazimo da se područja nevidljivog zračenja protežu s oba kraja vidljivog spektra u beskonačnost. Počevši od jednog kraja — crvenog — možemo neprekidno ići do valova, koji se upotrebljavaju za radio prenos, a imaju valne dužine od stotinu ili čak i tisuću metara. Počevši od ljubičastog kraja prolazimo valove sve kraćih i kraćih valnih dužina — sve različite oblike ultraljubičastih zraka. Kod valnih dužina od jedne stotnine do jedne tisućine valne dužine vidljivog svijetla, dolazimo do poznatih röntgenskih zraka, koje prodiru kroz cijele slojeve mesa, te možemo fotografirati kosti u našem tijelu. Još dalje preko tih dolazimo do vrsti zračenja, koje obrazuje  $\gamma$ -zrake, kojih valna dužina iznosi oko  $\frac{1}{10\ 000\ 000\ 000}$  cm ili oko jedne stotisućine valne dužine vidljivog svijetla. Tako se  $\gamma$ -zrake mogu smatrati za nevidljivo zračenje skrajnje kratkih valnih dužina. Kasnije ćemo se upoznati s točnom funkcijom koju vrše. Zasad ćemo samo primijetiti da su one izvršile vrlo korisnu uslugu, kad su utjecale na Becquerelove fotografske ploče i tako dovele do otkrića radioaktivne osobine materije.

U središtu je moderne elektromagnetske teorije tvrdnja, da zračenje nosi sobom neku vrstu težine, težine koja je u svakom pogledu isto tako stvarna kao i težina tone ugljena. Svjetlosna zraka izvodi na svaku površinu, na koju padne, izvjestan pritisak, baš kao što i vodeni mlaz ili udar vjetra ili pad tone ugljena. S dovoljno jakim svijetlom mogao bi se isto tako sigurno oboriti čovjek kao i vodenim mlazom vatrogasne štrcaljke. To nije samo puko teoretičko tvrđenje. Pritisak svjetlosti na površinu otkriven je i izmjeren neposre-

dnim pokusom. Pokusi su izvanredno teški, jer je, mjereći svim običnim mjerilima, težina, koju nosi zračenje, izvanredno malena; zračenje reflektora jakog 50 konjskih snaga, koji bi sijao neprekidno cijelo stoljeće, težilo bi otprilike tek nešto malo više od jednoga grama.

Po tomu slijedi, da svaka tvar, koja od sebe odaje zračenje, mora u isti čas gubiti na težini. Naročito mora proizvesti opadanje težine raspad neke radioaktivne tvari, jer je on popraćen zračenjem u obliku  $\gamma$ -zraka. Konačna sudbina jednog grama urana može se izraziti jednadžbom:

$$1 \text{ gram urana} = \begin{cases} 0,8653 \text{ grama olova} \\ 0,1345 \text{ grama helija} \\ 0,0002 \text{ grama zračenja} \end{cases}$$

Olovo i helij zajedno sadrže upravo toliko elektrona i protona kao prvotni gram urana, ali oni teže oko  $\frac{1}{4000}$  manje od prvotnog urana. Ako je prvotno bilo 4000 grama materije, ostaje još samo 3999; gram, što ga nema, izgubio se u obliku zračenja.

Po tomu je jasno kako ne smijemo očekivati, da su težine različitih atoma točni mnogokratnici težine atoma vodika. Takvo očekivanje ne bi uzelo u obzir težinu uključenog elektromagnetskog zračenja, koje se oslobađa pri promjeni sastava atoma i izlazi u prostor. Težina je toga zračenja razmjerno malena, te se može očekivati da su težine atoma približno, premda ne potpuno cijeli mnogokratnici težine vodikova atoma, a to je očekivanje potvrđeno. Točna težina naše atomske zgrade nije jednostavno ukupna težina svih njezinih opeka; mora se nešto dodati i za težinu morta — elektromagnetske energije — koji povezuje opeke.

Normalni se dakle atom sastoji od protona, elektrona, neutrona i pozitrona ili barem od nekih između njih — a dakako i od elektromagnetskog polja koje također doprinosi nešto njegovoj težini. Ako se atom preuredi, sam od sebe, ili zbog bombardiranja, mogu se izbaciti protoni i elektroni ili druge čestice njegove materijalne strukture u obliku tvornih čestica ( $\alpha$ - i  $\beta$ -zrake) i osloboditi energija izbacivanjem  $\gamma$ -zraka. Konačna se

težina atoma dobije, ako se od prvotne težine ne odbije samo težina svih izbačenih elektrona i protona, nego također i težina ukupnog zračenja koje se oslobodilo.

Postoji također mogućnost, da dva ili više atoma preurede svoje ustrojstvo pa obrazuju neki novi i složeniji atom ili kombinaciju atoma. Izotop vodika mase 2, na primjer, sadrži sasvim iste sastojke kao dva normalna atoma vodika, ali njegova masa nije jednaka dvostrukoj masi dvaju običnih atoma. Uzevši masu kisika kao 16, masa običnog vodika je 1,0081 dok je ona izotopa 2,0142, a to je za 0,0020 jedinice manje od dva normalna atoma. Ako bi se dakle spojila dva normalna atoma, da čine jedan atom izotopa, oslobodilo bi se zračenje mase od 0,0020 jedinica.

Obični helij mase 4 sadrži iste sastojke kao četiri normalna atoma vodika, ali sadrži 0,0280 jedinica manje mase. Stoga, ako bi se četiri normalna atoma vodika spojila i stvorio jedan atom helija, oslobodilo bi se zračenje u iznosu od 0,0280 jedinica mase.

## KVANTNA TEORIJA

Pojmovi, do kojih sada dolazimo, teško su shvatljivi i još teže objašnjivi, nesumnjivo najvećim dijelom zbog toga, jer tu naše svagdanje iskustvo prirode ne pruža nikakve potpore našem duhu<sup>1</sup>).

Još jednom podsjećamo, da je teško pokušavati da razumijemo pravu prirodu realnosti, možemo govoriti samo u slikama i modelima, za koje ne možemo zahtijevati da predstavljaju konačnu realnost, i opet ćemo predočiti naš atom kao jezgru oko koje se vrte elektroni.

Zakoni elektriciteta, koji su prevladavali slikom svijeta do konca 19. stoljeća — glasoviti zakoni Maxwella i Faradaya — tražili su da energija atoma neprekidno opada, jer atom rasipa energiju zračeći, i tako zadržava sve manje energije u sebi. Ti su isti zakoni tvrdili da se sva oslobođena energija u prostoru pretvara u zračenje gotovo neizmjereno male valne dužine.

<sup>1</sup> Čitač, kojega se interes ograničava samo na astronomiju, možda će radije preći odmah na treće poglavlje.



To se međutim naprosto ne zbiva i zato je bilo jasno da se moraju napustiti zakoni, koji su do tada važili.

### Zračenje šupljine

Potpuno su neuspjeli ti zakoni pri takozvanom »zračenju šupljine«. Tijelo sa šupljinom u unutrašnjosti bilo je užareno do bijelog sjaja. Nije se pazilo na svijetlo i toplotu koji su zračili iz njegovih vanjskih površina, ali se svijetlo zatvoreno u unutrašnjoj šupljini puštalo kroz mali prozorčić i razložilo pomoću spektroskopa ili mrežice u različite boje. To se zračenje zove »zračenje šupljine«. Ono predstavlja najpotpuniji oblik zračenja koji je uopće moguć, zračenja u kojem ne manjka ni jedna boja i u kojem se svaka boja pojavljuje u svojoj punoj jačini. Nijedna poznata tvar ne daje iz svoje površine tako potpuno zračenje, premda se mnoge približuju toj savršenosti. Takva tijela nazivamo »crna tijela«.

Prema elektromagnetskim zakonima, koji su vrijedili u 19. stoljeću, trebalo je da cijelo zračenje crnog tijela ili šupljine leži na krajnjem ljubičastom kraju spektra ili izvan njega, bez obzira na temperaturu do koje je tijelo užareno. U stvarnosti se nalazi zračenje sakupljeno baš na suprotnom kraju spektra, i ni u jednom slučaju ne odgovara nagovještavanjima zakona 19. stoljeća niti pokazuje i najmanje sklonosti, da bude bar približno u skladu.

Godine 1900. otkrio je berlinski profesor Planck eksperimentalno zakon, po kojem je razdijeljeno »zračenje šupljine« među različitim bojama spektra. On je još pokazao kako se njegov novootkriveni zakon, koji se silno razlikovao od dotada priznatog, može teorijski izvesti iz sistema elektromagnetskih zakona.

Planck je zamislio da sve vrsti zračenja proizlaze iz oscilatorâ koji, kada su pobuđeni, emitiraju svjetlost baš onako kao što glazbene viljuške odaju ton, kad ih čovjek udari. Stari su elektrodinamski zakoni tvrdili da se svako titranje postepeno umiri i prestane, kao i titraji glazbene viljuške, dok se oscilator opet ne pobudi na titranje. Planck je sve to zabacio i pretpostavio

da oscilator može samo naglo skokom promijeniti svoju energiju i nikako drukčije. On može imati jednu, dvije, tri, četiri, ili svaki drugi cijeli broj jedinica energije, ali ni jedan razlomljeni broj, tako da su nemoguće promjene energije s veličinom razlomljenog broja. Oscilator ne nosi u džepu, tako reći, nikakav sitniš i može svoju energiju isplaćivati samo u deseticama, dok ih još ima. I ne samo to; on oklijeva da primi također sitniš, premda je uvijek spreman primiti cijele desetice. Te predodžbe, koje su mnogi tada držali za senzacionalne, revolucionarne, pa čak i za smiješne, dovele su upravo na raspodjelu po bojama, kako se ona pri zračenju šupljine stvarno i opazila.

Godine 1913. primijenio je profesor Niels Bohr iz Kopenhagena slične ideje na strukturu atoma. On je pretpostavio da atom, ili molekula, ne može mijenjati svoje ustrojstvo ili rasipati svoju energiju postepeno i neprekidno. Naprotiv, promjene slijede naglo, te je upravo dopušteno da se shvate kao niz iznenadnih skokova. Bohr je pretpostavio da se za izgradnju atoma raspolaze izvjesnim brojem stanja ili ustrojstava, koja su među sobom posve različita i odijeljena, baš kao što i uteg, položen na stepenice, može imati samo dopušteni broj položaja: on može biti visoko 3 ili 4 ili 5 stepenica, ali ne  $3\frac{1}{4}$  ili  $3\frac{3}{4}$  stepenica. Promjene iz jednog položaja u drugi izyode se općenito putem zračenja. Atomski se sistem može uspeti stepenicama primitkom energije iz zračenja, ili se spustiti niz stepenice u stanje niže energije i pri tome izdavati energiju putem zračenja. Da se proizvede neka određena promjena stanja, dolazi u obzir samo zračenje izvjesne određene boje, dakle izvjesne određene valne dužine. Problem promjene atomskog sistema naliči na problem vađenja kutije šibica iz automata; vađenje je moguće samo s pomoću posebnog postupka, naime ubacivanjem dinara, koji mora imati ispravnu veličinu i ispravnu težinu — dinar, koji je premalen, ili prevelik, prelagan, ili pretežak, u tom slučaju ne koristi. Ako upravimo zračenje neispravne valne dužine na atom, možemo se naći u smiješnom nezgodnom stanju milijunaša koji, i unatoč svog bogatstva, ne može nabaviti kutiju šibica, jer nema u

džepu sitniša; ili se zadesiti u stanju djeteta vrijednu sažaljenja, jer ne može izvaditi čokoladu, budući da se čitavo njegovo sakupljeno bogatstvo sastoji od pedesetparaca; a mi ne možemo pokrenuti atom iz njegova mira. Kad se upravi mješavina zračenja na više atoma, prihvatit će oni samo zračenje onih valnih dužina, koje su potrebne za promjenu njihovih unutarnjih stanja, i ni jedno drugo. Zračenje svih drugih valnih dužina prolazi pokraj njih bez djelovanja.

Taj izbor atoma u odnosu na zračenje pokazuje se na razne načine, i najjednostavnije dolazi do izražaja možda u spektru Sunca i zvijezda. Tamne linije, nalik na one koje je promatrao Fraunhofer u Sunčevu spektru, javljaju se u spektrima skoro svih zvijezda (vidi tablu XV.) i sada možemo razumjeti zašto mora tako biti. Svjetlost svih mogućih valnih dužina struji iz vruće unutrašnjosti zvijezde i bombardira atome, što obrazuju njezinu atmosferu. Svaki atom prima zračenje, koje ima za taj atom ispravnu valnu dužinu, a svako drugo prolazi ne utječući na nj, tako da od odaslanog zračenja zvijezde nedostaju baš one valne dužine koje odgovaraju atomima. Tako pokazuje zvijezda apsorpcijski spektar finih linija. Položaj tih linija pokazuje nam koju su vrst zračenja progutali atomi zvijezde, i osposobljuje nas, da identificiramo atome s našim laboratorijskim znanjem ukusa za zračenje raznih atomskih vrsta. Ali što, na koncu konca, odlučuje koje će vrsti zračenja neki atom progutati, a koje će pustiti?

Planck je već pokazao da zračenje svake valne dužine nosi sa sobom izvjesnu količinu energije, nazvanu »kvant«, koja ovisi jedino o valnoj dužini. Kvant je razmjernan »frekvenciji« ili broju titraja koje izvrši zračenje u jednoj sekundi<sup>1</sup>) i stoji pri tome u obrnutom odnosu prema valnoj dužini zračenja — što je

<sup>1</sup> Da budemo točni: ako je  $\nu$  frekvencija zračenja, tada je kvant energije  $h\nu$ , gdje je  $h$  univerzalna prirodna konstanta, tako zvana Planckova konstanta. Ona ima fizikalnu dimenziju: energija puta vrijeme. Njezina je brojna vrijednost:  $6,55 \times 10^{-27}$  erg  $\times$  sekunda.

kraća valna dužina, to je veća energija kvanta i obrnuto. Crveno svjetlo ima slabe, a ljubičasto svjetlo snažne kvante i t. d.

U mnogim fizikalnim problemima možemo zgodno prikazati zračenje kao da putuje kroz prostor u obliku odijeljenih paketa, a svaki paket sadrži upravo jedan kvant energije. Ti se paketi obično opisuju kao »fotoni«. Fotoni će visokofrekventnog zračenja nositi dakako više energije nego oni niskofrekventnog zračenja, i tako će mnogo brže prodirati u materiju. To objašnjava visoku prodornu moć röntgenskih i  $\gamma$ -zraka (str. 135).

Einstein smatra da zračenje stanovite vrsti može samo onda proizvesti promjene atoma ili molekula, ako je energija, potrebna za promjenu, baš jednaka energiji pojedinog kvanta zračenja. To je takozvani Einsteinov zakon; on određuje vrst zračenja, koje je potrebno, da djeluje atomski ili molekularni automat.<sup>1</sup>

Moramo zapamtiti da radnju, koja zahtijeva jedan snažan kvant, ne mogu izvršiti dva ili bilo koliko mnogo slabih kvanta. Mala količina ljubičastog svjetla (velike frekvencije) može izvršiti djelovanje, koje nikakva, makar kako velika, množina crvenog svjetla (male frekvencije) ne može izvesti.

Po tom se zakonu ne mogu dvije ptice ubiti jednim kamenom ili jedna ptica dvama kamenima. Cijeli kvant je iskorišten za promjenu koju izazivlje, te od tog posebnog kvanta ne preostaje nikakve energije koja bi dala poticaj za dalju promjenu. Ta osobina razjašnjuje Einsteinov fotokemijski zakon: »U svakoj je kemijskoj reakciji, izazvanoj padom svjetla, broj pogođenih molekula jednak broju absorpiranih (uhvaćenih) kvanta svjetla«. Ljudi, koji se služe automatima, znaju sličan zakon: Broj je prodanih artikala upravo jednak broju komada novca u automatu.

<sup>1</sup> U obliku jednadžbe:

$$E_1 - E_2 = h\nu,$$

gdje su  $E_1$  i  $E_2$  energije atomskog sistema prije i poslije promjene,  $\nu$  je frekvencija zračenja, a  $h$  već objašnjena Planckova konstanta.



Promatramo li energiju s obzirom na njezinu sposobnost da napravi štetu, vidimo da zračenje kratke dužine stvara u atomskom ustrojstvu veća razaranja nego zračenje velikih valnih dužina. To je činjenica koju svaki fotograf i predobro poznaje. Možemo propustiti, koliko god hoćemo, crvenog svijetla, pa da nam ne napravi nikakve štete; ali čak i najmanji tračak ljubičastog svijetla kvari naše ploče. Zračenje dovoljno kratke valne dužine, može ne samo preurediti molekule ili atom, nego može razbiti svaki atom na koji slučajno padne, time, što izbaci jedan njegov elektron i tako proizvede tako zvani fotoelektrični efekt. Ovdje također postoji određena granica frekvencije, te svijetlo, kojega je frekvencija ispod te granice, uopće ne izazivlje nikakvo djelovanje, pa bilo ono makar kako intenzivno; ali čim dođemo do frekvencija, koje leže iznad granice, čak i svijetlo najslabijeg intenziteta izaziva odmah fotoelektrično djelovanje. Absorpcija jednog kvanta razbija samo jedan atom i istjera također samo jedan elektron iz atoma. Ako zračenje ima frekvenciju iznad te granice, te njegov kvant ima više energije od minimuma potrebnog da se udalji jedan jedini elektron iz atoma, ipak se absorpira cijeli kvant, pri čemu se suvišna energija iskoristi za to, da se izbačenom elektronu dađe kretanje.

#### *Staze elektrona*

Te se predodžbe osnivaju na Bohrovoj pretpostavci, da je elektronima dopušten samo izvjestan broj staza u atomu, dok su im sve druge, zbog razloga koje Bohrova teorija ne objašnjava potpuno, onemogućene, pa elektron pod utjecajem zračenja može preskakati iz jedne dozvoljene staze na drugu. Na osnovu tih pretpostavaka Bohr je sam ispitivao način, kako su poredane različite dozvoljene staze.

Slijedeći Rutherforda, ocrtao je Bohr vodikov atom kao da se sastoji od jednog jedinog protona kao centralne jezgre i jednog jedinog elektrona, koji kruži oko te jezgre. Proton, koji je 1847 puta teži od elektrona, nije poremećen gibanjem elektrona i praktički miruje,

baš kao što ni Sunce nije poremećeno gibanjem Zemlje. Proton i elektron su nabijeni pozitivnim i negativnim elektricitetom i zato se među sobom privlače; zato kruži elektron oko jezgre, namjesto da odleti u ravnoj liniji; dakle opet isti odnos kao između Zemlje i Sunca. Nadalje se privlačenje među suprotnim pozitivnim i negativnim električnim nabojem vlada točno po istom zakonu kao i sila teža, privlačenje, naime, slabi obrnuto s kvadratom udaljenosti obaju naboja. Tako je sistem jezgra-elektron sličan u svakom smislu sistemu Sunce-planet, a staze, koje može elektron opisivati oko središnje jezgre, naliče baš na one nekog planeta oko Sunca; one se sastoje od sistema elipsa, od kojih svaka ima jezgru u žarištu (strana 48.).

Ipak općenito shvaćanje kvantne dinamike ne dopušta da se elektron giblje samovoljno u svim tim stazama. Prema Bohru, elektron vodikova atoma može se gibati u izvjesnom broju kružnih putanja, kojih su promjeri razmjerni kvadratima prirodnih brojeva 1, 4, 9, 16, 25, 36, ... Bohr je kasnije tu vrlo jednostavnu hipotezu izmjenio, a nedavno ju je teorija valne mehanike dalje promjenila.

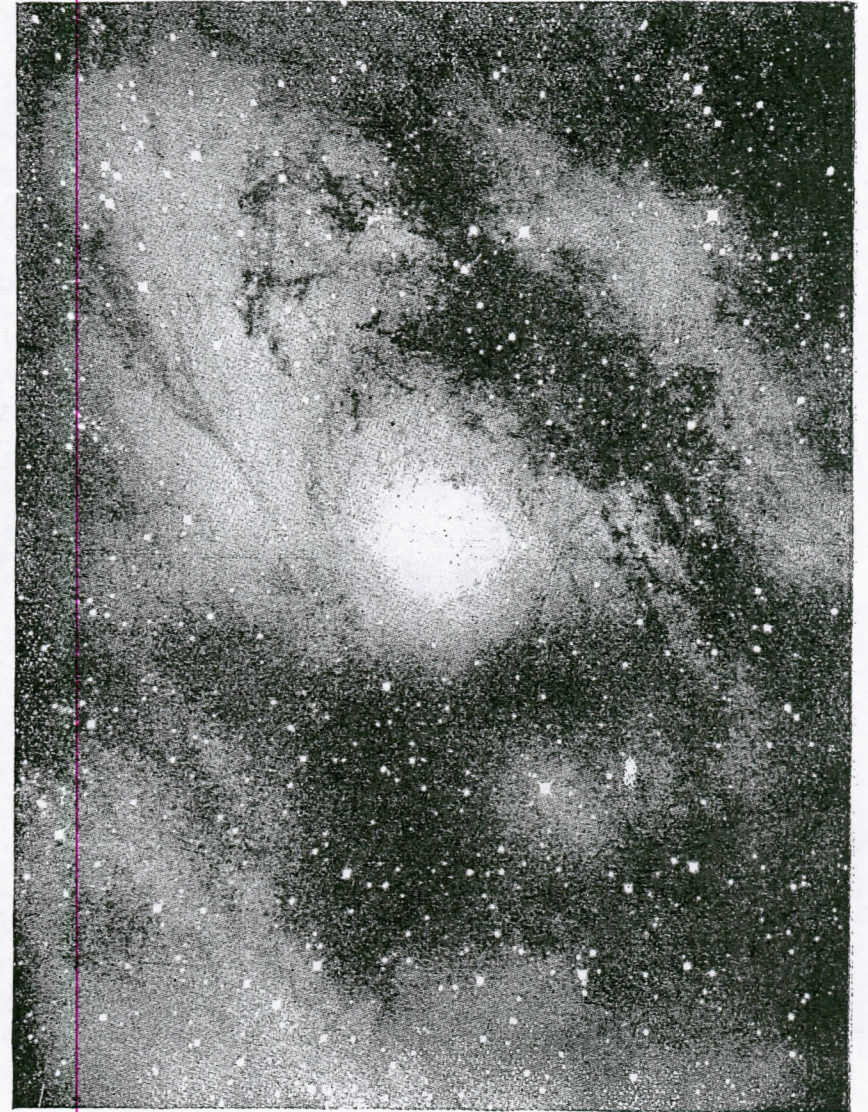
Ali još uvijek ostaje istina, da vodikov atom ima vrlo približno jednaku energiju, koja bi mu pripadala, kad bi elektron opisivao neku od tih jednostavnih Bohrovih staza. Tako, kad se njegova energija mijenja, ona se mijenja, kao da elektron preskače s jedne staze na drugu. Zbog toga razloga lako je izračunati koje promjene energije može pretrpjeti atom vodika — to su upravo one, koje odgovaraju prelazima s jedne Bohrove staze na drugu. Dvije staze s najmanjim promjerima u vodikovu atomu imaju na primjer, razliku energije od  $16 \times 10^{-12}$  erga. Kad upravimo zračenje ispravne valne dužine na atom, u kome elektron opisuje najmanju od svih staza, on prelazi na susjednu stazu, absorpira pri tome  $16 \times 10^{-12}$  erga i postaje neko vrijeme spremište energije koje sadrži  $16 \times 10^{-12}$  erga energije. Ako se atom na bilo koji način izvana poremeti, može on naravno odjedamput izbaciti ili može absorbirati više energije i tako povećati svoju zalihu.



Kada za atom bilo koje vrsti znamo sve moguće staze, mogu se lako izračunati promjene energije, što nastaju pri raznim prelazima. Budući da svaki prelaz absorpira ili oslobađa upravo jedan kvant energije, možemo odmah izvesti frekvenciju svjetlosti izdanu ili absorpiranu pri tim prelazima. Ukratko, kad nam je poznat uređaj atomskih staza, možemo izračunati spektar atoma. U praksi poprima problem, dakako, obrnuti oblik: na osnovu opaženog spektra otkriti ustrojstvo atoma, koji emitira taj spektar. Bohrov model atoma vodika barem je utoliko dobar model, što se spektar, koji bi emitirao, gotovo točno poklapa sa spektrom vodika. Ipak, slaganje nije posve savršeno, ni za vodik a potpuno zatajuje kod zamršenih spektara, i zato se sada gotovo općenito smatra, da Bohrov model staza nije dostatan, da bi odrazio stvarne spektre. Mi ćemo i dalje razmatrati Bohrov model, ne zato što bi atom doista bio tako izgrađen, nego zato, jer on pretstavlja dovoljno upotrebljiv model za naš sadanji cilj.

Bitna je značajka cijele teorije, premda na prvi pogled nešto neočekivana, da čak i onda, kad se vodikov atom, nabijen sa svojim  $16 \times 10^{-12}$  erga energije, pusti na miru, mora elektron poslije nekoga vremena sam opet pasti na svoju prijašnju stazu, pri čemu ispušta svojih  $16 \times 10^{-12}$  erga energije, i to zračenjem. Einstein je pokazao da se Planckov dobro zasnovani zakon o »zračenju šupljine« ne bi mogao slagati, kad ne bi tako bilo. Tako je izvjestan broj vodikovih atoma, u kojim elektroni opisuju veće od najmanje moguće staze, sličan stanovitoj skupini atoma urana ili drugih radioaktivnih tvari, gdje atomi poslije nekoga vremena opet sami od sebe padnu u stanje manje energije.

Elektronske staze u zamršenijim atomima imaju otprilike isti općeniti poredaj kao i vodikov atom, ali različite veličine. U vodikovu atomu padne elektron u normalnom slučaju poslije nekog vremena na stazu s najmanjom energijom i tamo ostane. Odavle bi se moglo zaključiti da se u zamršenijim atomima, u kojima kruži više elektrona, svi elektroni s vremenom nađu na stazi najniže energije i tamo ostaju. Međutim se pokazalo da nije tako. U jednoj stazi nema mjesta

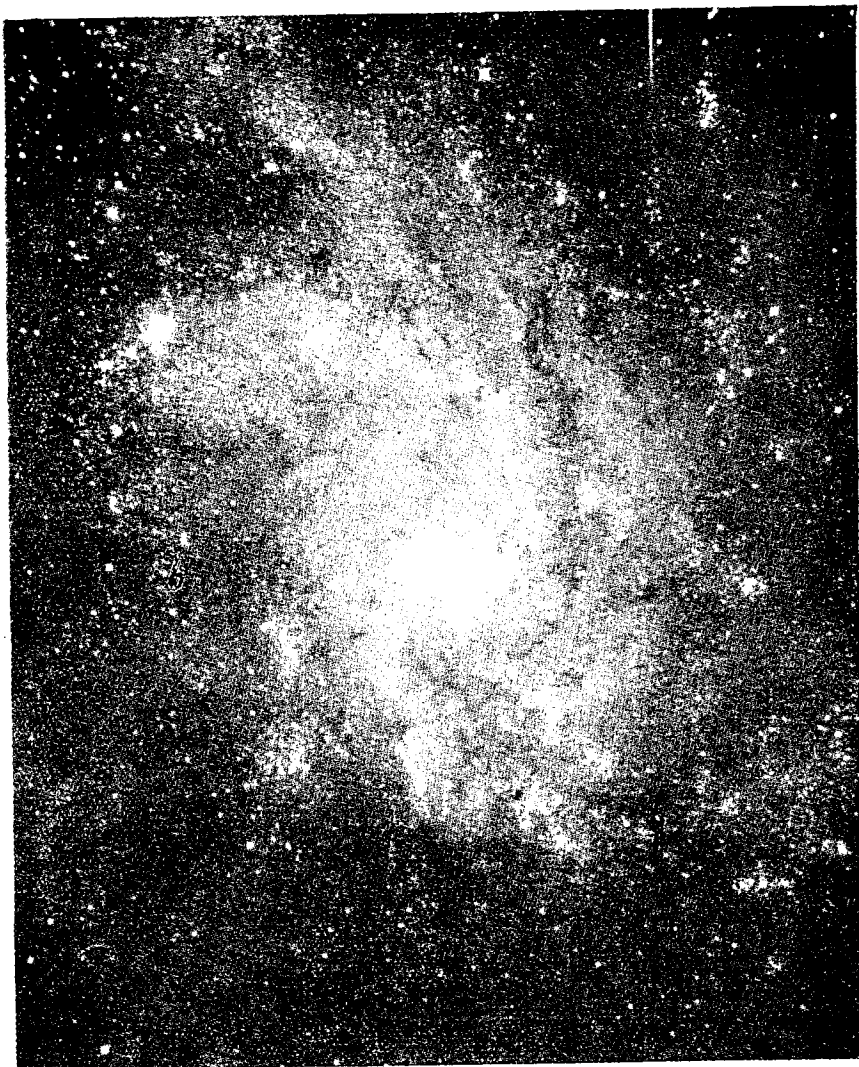


*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Povećanje središnjeg predjela Velike Maglice M 31 u Andromedi, koja se cijela vidi na tabli X



Tabla XVIII



Zvezdarnica Mt. Wilson

Maglica M 33 u Trokutu.

za više od jednog elektrona. To je osobita strana općeg principa koji, čini se, vlada cijelom fizikom. On ima ime — »princip isključivosti« — ali to je do sada gotovo sve što znamo; mi smo ga tek počeli razumijevati. Na izvjestan način on je srodan starom kamenu temelju fizike, prema kojem dva različita komada materije ne mogu biti u isti mah na istom mjestu. Ako i ne razumijemo princip, na kojem se osniva, možemo priznati činjenicu, da dva elektrona ne mogu biti ne samo na istom mjestu, nego ni na istoj stazi. To je upravo tako, kao da se elektron rasprostranio po cijeloj stazi i nije ostavio mjesta drugima. To naravno ne treba uzeti kao točnu sliku stvarnosti, premda moderna teorija valne mehanike dopušta mišljenje, da su staze najniže energije u vodikovu atomu, u izvjesnom smislu (što ipak ne možemo prikazati u pojedinostima), jedino moguće staze upravo zato, jer ih elektron može potpuno ispuniti, dok susjedne staze nisu moguće, jer bi ih elektron ispunio tek  $\frac{3}{4}$  ili  $1\frac{1}{2}$  puta, a slično je i sa zamršenijim atomima. U vezi s tim vrijedno je možda primijetiti da nam nijedna poznata fizikalna pojava ne dopušta tvrdnju, da se u stanovitom trenutku elektron nalazi na toj točki u stazi najmanje energije. Takvo tvrđenje izgleda potpuno besmisleno, i stanje atoma očito je prikazano sa svom mogućom točnošću, kad se kaže da se elektron u stanovitom trenutku nalazi u takvoj stazi kakvu bi, na primjer, zauzeo, kad bi se mogao proširiti u jedan prsten. O drugim stazama ne možemo to isto reći. Cim prijedemo na staze više energije i većih promjera, uzima neodređenost postepeno drukčiji oblik i naposljetku je tek malo značajna. Poprimi li elektron, koji mu drago oblik, dok opisuje malu stazu u blizini jezgre, u vrijeme kad opisuje veliku stazu daleko od jezgre, on postaje obična tvarna čestica nabijena elektricitetom.

Tako se moraju elektroni, pa bio tome razlog koji mu drago, koji opisuju staze u istom atomu, gibati svi različitim stazama. Elektroni su na svojim stazama kao ljudi na ljestvama; baš kao što ni dva čovjeka ne mogu stajati na istoj priječki, ne mogu se dva atoma slijediti u istoj stazi. Neonov je atom, naprimjer, sa svojih deset

elektrona u svom normalnom stanju najniže energije, kad svaki od deset elektrona zauzima jednu od deset staza najnižih energija. Zbog razloga, koje je kvantna teorija konačno rasvijetlila, postoje u svakom atomu dvije staze, u kojima je energija jednaka i niža od one u svim drugim stazama. Zatim dolazi osam staza jednake, ali znatno više energije, pa onda osamnaest staza jednake, ali još više energije i t. d. Budući da elektroni imaju u svakoj toj različitoj skupini staza svi jednaku energiju, označavaju se obično zornim pogrešnim izrazom: elektronska ljuska. One se nazivaju K-ljuska, M-ljuska i t. d. K-ljuska, koja je najbliža jezgri, ima mjesta samo za dva elektrona. Svi su drugi elektroni potisnuti u L-ljusku, u kojoj ima mjesta za osam elektrona, kojih su sve staze različite, ali imaju približno jednaku energiju. Ima li još više elektrona, koji treba da se smjeste, moraju oni ući u M-ljusku i t. d.

U svom normalnom stanju ima vodikov atom jedan elektron u svojoj K-ljuski, helijev atom dva, a L-, M- i više ljuske su prazne. Slijedeći atom po složenosti, litijev atom, ima tri elektrona, a kako samo dva elektrona imaju mjesta u K-ljuski, mora se jedan smjestiti u vanjski prostor L-ljuske. U beriliju sa četiri elektrona, potisnuta su dva u L-ljusku, i tako ide dalje, dok ne dođemo do neona sa deset elektrona, kod kojeg je L-ljuska već potpuno ispunjena, baš kao i unutarnja K-ljuska. Kod slijedećeg atoma, natrija, potisnut je jedan od jedanaest elektrona u M-ljusku, još dalju od jezgre i t. d. Kad atomi zračenjem ili drugim draženjem nisu uzbuđeni, dolazi s vremenom svaki atom u stanje, u kojem njegovi elektroni zauzimaju staze s najnižim energijama.

Koliko seže naše iskustvo, postaje atom, čim postigne to stanje, pravi perpetuum mobile, jer se elektroni kreću u svojim stazama (svakako prema Bohrovoj teoriji), a da ništa ne gube od svoje energije kretanja zračenjem ili na neki drugi način. Izgleda zapanjujuće i gotovo nepojmljivo što atom u takvom stanju nije više sposoban nadalje emitirati svoju energiju, ali po našem dosadanjem iskustvu on to i ne može. A to svojstvo, makar koliko ga malo mi shvaćali, osigurava na koncu

konca opstanak svemira. Kad bi normalni vodikov atom mogao emitirati takvo zračenje, kakvo zahtijevaju fizikalni zakoni 19. stoljeća, počeo bi se on skupljati kao neposredna posljedica te emisije zračenja u razmjeru više od jednog metra u sekundi, pri čemu bi elektron padao na staze sve niže i niže energije. Iza jedne milijardine sekunde sudarila bi se jezgra i elektron, a cijeli bi atom vjerojatno iščeznuo u jednom bljesku zračenja. Ukoliko kvantna teorija zabranjuje svako zračenje osim u potpunim kvantima i ukoliko uopće ne dopušta emisiju zračenja, ako nema raspoloživih kvanta, uspijeva joj protumačiti činjenicu da svemir trajno postoji.

#### MEHANIČKO DJELOVANJE ZRAČENJA

Što je električna tvorevina zbijenija, to je potrebna veća množina energije, da se poremeti, a jer se ta energija mora privesti u obliku pojedinog kvanta, što je veća energija kvanta, to kraća mora biti valna dužina zračenja. Na vrlo zbijenu tvorevinu može se utjecati samo zračenjem vrlo male valne dužine.

Najlakše se ošteti brod na olujnom moru i njegovi su putnici najviše izvrgnuti nezgodi, kad je duljina broda približno jednaka dužini valova. Kratki valovi su pogibeljni kratkim, a dugi valovi dugim brodovima, ali još duži valovi ne čini ni jednima ni drugima velikih šteta. No ta slika ne pruža nikakve stvarne analogije s djelovanjem zračenja, budući da je valna dužina zračenja, koja razara neku električnu tvorevinu, stotinu puta veća od te tvorevine. Nautička analogija takvom zračenju bio bi jedan doista vrlo dugi val. Da bi stvar donekle razjasnili, možemo reći da neka električna tvorevina može biti poremećena samo zračenjem, kojemu je valna dužina oko 860 puta veća od te tvorevine, a razbiti se može samo zračenjem, kojemu je valna dužina ispod te granice.<sup>1</sup> Ukratko, razlog zašto plavo svijetlo djeluje na fotografske ploče, a crveno ne djeluje,

<sup>1</sup> Matematičar će lako shvatiti osnovu za to pravilo, koji je ukratko slijedeći: energija, koja je potrebna da se drže razdvojeni električni naboji  $+e$  i  $-e$  na daljini  $r$ , jest  $e^2/r$ ,



jest u tome, što je valna dužina plavog svijetla manja, a crvenog svijetla veća od 860-orostrukog promjera molekula srebrnog bromida. Tek onda se nešto desi, kada dođemo ispod »granice 860«.

Kad atom ispražnjuje svoju zalihu nagomilane energije, tada svijetlo, koje on emitira, ima nužno istu valnu dužinu kao i svijetlo koje on absorbira pri nagomilavanju te energije; budući da su oba kvanta energije jednaka, iste su i njihove valne dužine. Svijetlo, koje emitira neka električna tvorevina, ima također valnu dužinu koja je 860 puta veća od te tvorevine. Obično vidljivo svijetlo emitirano je uglavnom od atoma i ima, prema tome, valnu dužinu, što je jednaka oko 860 atomskih promjera. Baš jer ima tu valnu dužinu, djeluje to svijetlo na atome naše mrežnice, pa je zato vidljivo.

Zračenje te valne dužine remeti samo izvanjske elektrone atoma, ali zračenje mnogo kraćih valnih dužina može imati daleko razornije djelovanje. Röntgenske zrake, na primjer, mogu načeti mnogo zbijenije unutrašnje elektronske ljuske atomske građe. K-ljusku, L-ljusku i t. d. Zrake još kraćih valnih dužina mogu djelovati čak na protone i elektrone jezgre. Jezgre, naime, kao i sami atomi, tvorevine su s pozitivnim i negativnim električnim nabojima i moraju se dakle slično ponašati prema zrakama koje na njih padnu, samo što postoji velika razlika u valnoj dužini zraka. Ellis i drugi su našli da su za vrijeme raspada atoma radioaktivnog elementa radij-B emitirane  $\gamma$ -zrake imale valne dužine 3,52; 4,20; 4,80; 5,13 i  $23 \times 10^{-10}$  cm. Te su valne dužine oko sto tisuća puta manje od vidljivog svijetla, a razlog je tome što je jezgra atoma oko sto tisuća puta manja od potpunog atoma. Zrake s tim valnim dužinama mogu

a energija koja je potrebna, da se preuredi ili razbije tvorevina elektrona i protona prostiranja  $r$  općenito se može usporediti s njom. Ako je  $\lambda$  valna dužina potrebnog zračenja, onda je s absorpcijom tog zračenja postala upotrebljiva energija od  $hc/\lambda$  ( $c$  = brzina svjetlosti) kvanta. Kad se tome doda, da je vrijednost  $h$  vrlo približno jednaka  $860 e^2/c$ , nalazimo, da je potrebna valna dužina zračenja približno 860-orostruke veličine tvorevine, koja se razbija.

isto tako poremetiti jezgru radija-B kao što zrake sa sto hiljada puta većom valnom dužinom preuređuju vodikov atom.

Budući da su valne dužine zračenja, koje atom absorpira ili emitira, obrnuto razmjerne kvantu energije, mora potrebnj kvant za »obradu« atomske jezgre imati oko stohiljadostruku energiju od množine koja je potrebna za obradu atoma. Ili, ako je vodikov atom automat, koji reagira na pedesetparac, tada bi jezgre radioaktivnih atoma reagirale samo na banknote od pedeset hiljada dinara.

Materija dovoljno visoke temperature, kakva se nalazi u zvijezdama, sadrži bogatu zalihu kako u kvantima velike energije, tako i u česticama koje se kreću velikim brzinama. No prije nego razmotrimo efekte tih kvanta i čestica, moramo razmisliti o tome kako njihova energija ovisi o temperaturi.

#### Temperaturno zračenje

U običnom životu govorimo o crvenom ili bijelom žaru, pri čemu mislimo na temperaturu, koju mora postići neka tvar, da emitira crvenu ili bijelu svjetlost. Kaže se da su niti u ugljenoj žarulji crvenog sjaja, a one u žarulji, ispunjenoj plinom, žutoga. Nije potrebno naročito naznačivati tvar, s kojom radimo: ako ugljen pri temperaturi od  $3000^{\circ}$  emitira crveno svijetlo, tada će i volfram, ili svaka druga čvrsta tvar, na toj temperaturi emitirati upravo isto crveno svijetlo kao i ugljen, a isto vrijedi za sve druge boje zračenja. Tako svakoj boji, dakle također svakoj valnoj dužini zračenja, odgovara određena temperatura, naime temperatura pri kojoj je baš ta boja najjača u spektroskopskoj analizi svijetla što ga emitira užareno tijelo. Čim se posve blizu približi toj osobitoj temperaturi, ali ne prije, zračenje valnih dužina, koje su u pitanju, postaje obilnije, dok je pri nižim temperaturama gotovo posve nezatno.<sup>1)</sup>

<sup>1</sup> Valna dužina zračenja  $\lambda$  i tome odgovarajuća temperatura  $T$  (mjerena u apsolutnim stupnjima) stoje u poznatom odnosu:

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

Upravo kao što govorimo o crvenom i bijelom žaru, mogli bismo također posve opravdano govoriti, premda to ne činimo, o röntgen-žaru ili o  $\gamma$ -zraka žaru. Što jače žarimo neku tvar, to su kraće valne dužine svjetlosti, koju ona emitira, pa svjetlost redom prolazi sve dugine boje — crvenu, narančastu, žutu zelenu, plavu, ljubičastu — a zatim nastavlja emitirati ultraljubičasto zračenje, röntgenske zrake i tako dalje redom. Ne raspoložemo dovoljnom temperaturnom skalom, da izvedemo cijeli eksperiment u laboratoriju, ali ga priroda izvodi za nas u zvijezdama.

#### Djelovanja topline

Vidjeli smo već da su za razbijanje neke električne tvorevine malog opsega potrebne zrake male valne dužine. Budući da su kratke valne dužine spojene s visokim temperaturama, postaje jasno da za neku električnu tvorevinu, ukoliko je manja, to veći mora biti žar potreban za njeno razaranje. Možemo izračunati temperaturu pri kojoj se počinje raspadati neka električna tvorevina zadanog opsega pod tjecajem topline.<sup>1</sup>

Obični atom, na primjer, s promjerom oko  $4 \times 10^{-8}$  cm prsnut će tek pri temperaturi od par hiljada stupnjeva. Uzmimo jedan određeni primjer: žuto svjetlo valne dužine od 0,00006 cm odgovara temperaturi od 4800 stupnjeva; ta temperatura predstavlja prosječni »žuti žar«. Pri nižim temperaturama javlja se žuto svjetlo samo kad se proizvodi umjetnim putem. Zvijezde i sva druga tijela s temperaturom od 4800 stupnjeva emitiraju (zrače), dakako, žuto svjetlo i pokazuju linije u žutom području njihova spektra, jer žuto svjetlo uklanja izvanjski elektron iz atoma kalcija i sličnih elemenata. Na elektrone se kalcija djeluje, kad se počinje približavati temperaturi od 4800 stupnjeva, ali ne prije. Ta temperatura nije postignuta na Zemlji (izuzev u električnim lukovima i u drugim umjetnim okolnostima), te

<sup>1</sup> Ako kombiniramo upravo navedeni odnos između  $T$  i  $\lambda$  sa odnosom iz približno točnog zakona »granice 860«, nalazimo, da će tvorevina, čiji je promjer  $r$  cm, biti razorena temperaturnim zračenjem, kad temperatura dostigne  $1/3000 r$  stupnjeva.

zemaljski atomi kalcija uglavnom miruju u stanju najniže energije.

Na drugoj strani skale vidjeli smo da je najkraća dužina emitiranog  $\gamma$ -zračenja pri raspadu radija B oko  $3,52 \times 10^{-10}$  cm, a to odgovara temperaturi od 820 000 000 stupnjeva. Najkraća valna dužina za uran je  $0,5 \times 10^{-10}$  cm, a njoj odgovara silno visoka temperatura od 5.800.000.000 stupnjeva. Kod približavanja toj temperaturi, ali ne prije, počinju se preuređivati sastavni dijelovi jezgre radioaktivnih atoma, baš kao što to čine sastavni dijelovi atoma kalcija, kad se dostigne temperatura od 4800 stupnjeva. Ako pretpostavimo da se preuređenje neke električne tvorevine može postići ako je bombardiramo česticama tvari, tada je temperatura, pri kojoj počinje bivati djelotvorno bombardiranje elektronima, jezgrama ili molekulama, približno jednaka onoj, pri kojoj se počinje opažati zračenje djelotvornih valnih dužina; oba procesa počinju pri približno jednakoj temperaturi. To objašnjava naravno zašto nikakva temperatura, koju možemo proizvesti na Zemlji, nema nikakva vidljivog djelovanja na ubrzanje ili usporenje radioaktivnog raspada. To isto vrijedi i u zvijezdama; proračun pokazuje da one nemaju dovoljne visoke temperature, koje bi djelovale na radioaktivne procese.

#### MEHANIČKA DJELOVANJA ZRAČENJA

Valne dužine (cm)	Vrst zračenja	Djelovanje na atom	Temperatura (abs. stupnjevi)	Nalazi se u
$7500 \times 10^{-8}$ do $3750 \times 10^{-8}$	Vidljiva svjetlost	Djeluje na vanjske elektr.	3.850° do 7.700°	atmosferi zvijezda
$250 \times 10^{-8}$ do $10^{-8}$	Röntgenske zrake	Djeluje na unutar. elektr.	115.000° do 29.000.000°	unutrašnjosti zvijezda
$5 \times 10^{-9}$ do $10^{-9}$	Meke $\gamma$ -zrake	Istjeruje sve ili gotovo sve elektrone	58.000.000° do 290.000.000°	središnjem području gustih zvijezda
$4 \times 10^{-10}$	$\gamma$ -zrake Ra B	Remeti jezgre atoma	720.000.000°	?
$5 \times 10^{-11}$	Najkraće $\gamma$ -zrake	—	5.800.000.000°	?



Tablica na strani 151 pokazuje valne dužine potrebnog zračenja za proizvođenje različitih atomskih procesa. Zadnja dva stupca pokazuju odgovarajuće temperature i, ukoliko znamo, mjesto gdje se te temperature nalaze. Ti zadnji navodi koriste se izvjesnim rezultatima o kojima ćemo u pojedinostima govoriti u četvrtom poglavlju (str. 203). Na mjestima, na kojima je temperatura duboko ispod one navedene u predzadnjem stupcu, ne može se pretvaranje, o kojemu se radi, proizvesti toplinom, već ono može nastupiti samo spontano. Zato može taj proces teći samo u jednom smjeru. Budući da je na raspolaganju isključivo zračenje nedovoljno kratkih valnih dužina, to za rad atomske mašine atomi ne absorpiraju nikakve energije od okolnog zračenja i padaju zato neprestano natrag u stanja niže energije, ako takva postoje.

### TERMO-NUKLEARNE REAKCIJE

Da upotpunimo raspravljanje, moramo razmotriti ne samo djelovanje tvari i zračenja među sobom, nego također i djelovanje tvari na drugu tvar. Moramo naročito razmotriti reakcije koje se dešavaju u astronomskim uvjetima, a naročito u žarkoj unutrašnjosti zvijezda. Tamo su temperature potpuno iznad onih temperatura koje postizemo u laboratoriju, te nas u mnogom pogledu vodi samo teorija.

Usprkos tome možemo graditi na čvrstom temelju izvjesnog broja činjenica dobro utvrđenih pokusima. Godine 1920. bombardirao je Rutherford lake atome brzim  $\alpha$ -česticama (str. 125.), pa je našao da neposredni pogoci mogu izmijeniti jezgre atoma, pretvarajući, na primjer, jezgru dušika u jezgru kisika. U tim pokusima dobivene su  $\alpha$ -čestice od običnog radioaktivnog raspadanja, no pri pogodnim uvjetima mogu samostalno postojati takve čestice. Te one nisu drugo nego jednostavne jezgre helijevih atoma, a pri visokim temperaturama u unutrašnjosti zvijezda posljedica je te temperature, kako smo upravo razmotrili, da je svaki helijev atom razbijen u dva elektrona i jednu česticu. Pri temperaturama, kakve prevladavaju u unutrašnjosti zvijezda, te se čestice giblju brzi-

nama približno jednakim onima koje je upotrebljavao Rutherford, pa se može očekivati da će biti i jednake posljedice, kad se one sudare s drugim jezgrama. Tako sama priroda ne samo da izvodi Rutherfordov pokus, nego još i mnoge druge u žarkoj unutrašnjosti zvijezda koje postaju istinski alkemijski laboratoriji, u kojima se kemijski elementi neprekidno mijenjaju jedan u drugi; kako god se jezgre njihovih atoma bombardiraju raznim brzim projektilima — protonima, neutronima, deutonima,  $\alpha$ -česticama i još zamršenijim jezgrama. Reakcije te vrsti poznate su pod imenom »termo-nuklearne«, a zakone, po kojima se odigravaju, proučavaju mnogi istraživači — Atkinson i Houtermanns, Gamow i Teller i drugi. U mnogim slučajevima našlo se da je reakcija vrlo osjetljiva kad se mijenja temperatura, te se može dovesti u svezu s određenom kritičkom temperaturom, i nećemo mnogo pogriješiti, ako shvatimo da se pri nižoj temperaturi reakcija zbiva u vrlo rijetkim slučajevima, pri toj temperaturi i blizu nje u umjerenom broju slučajeva, a iznad te temperature u ogromnom broju.

Za svaku posebnu reakciju ovisi kritička temperatura u prvom redu o naboju jezgre koja reagira, a prema tome, o atomnom broju tvari o kojoj se radi. Ona je najniža za proton i jednostavne jezgre, a naglo raste, kako raste zamršenost jezgara, mijenjajući se približno s kvadratom atomnih brojeva. Kritička je temperatura, naprimjer, četiri puta viša za reakciju, u kojoj učestvuje  $\alpha$ -čestica, nego slična reakcija u kojoj učestvuje samo proton.

Reakcija, koja se zbiva pri najnižim temperaturama, jest jednostavna reakcija protona s protonom. Dva se protona spajaju i tvore »deuton« jezgru vodikova izotopa mase 2 (str. 122) — i budući da je pri tomu previše pozitivnog elektriciteta, izbacuje se pozitron (s. 131). Nakon toga deuton može uhvatiti još dva dalja protona i stvoriti jezgru helija.

Slijedeće, pri temperaturama od 3 do 7 milijuna stupnjeva, dolaze reakcije protona s lakim jezgrama, kao one litija, berilija i bora.

Zatim pri temperaturama od kojih 20 milijuna stupnjeva dolazi reakcija protona s jezgrom ugljika. Oni se spajaju i tvore jezgru dušika mase 13, ali to je tek početak dugog niza procesa. Dušik može uhvatiti drugi proton, i tako postaje obična dušikova jezgra mase 14, a zatim i treći proton, postajući dušikova jezgra mase 15. Dotična može uhvatiti još i četvrti proton, ali spoj neće tvoriti dušikovu jezgru mase 16, jer takva ne postoji. U gotovo svim slučajevima, izuzevši ih tek nekoliko, spoj se preuređuje u jezgru ugljika mase 12 i jezgru helija, ili  $\alpha$ -česticu, mase 4.

Ukratko, postupno hvatanje protona tjera prvotnu jezgru ugljika kroz niz izotopa dušika do kraja tog reda. Ustrojstvo poprima na koncu oblik jezgre ugljika, od koje se počelo, a svi protoni, koji su uhvaćeni, budu izbačeni u obliku helijeve jezgre.

Stvarno je naš opis pojednostavnio niz procesa u dvije točke. Dušikova jezgra mase 13 ne hvata neposredno drugi proton, nego se najprije sama od sebe raspada u jezgru ugljika mase 13 i pozitron. Jezgra ugljika tada uhvati proton i time se pretvori u jezgru dušika mase 14. Na isti način nije hvatanje trećeg protona posljedica neposrednog stvaranja jezgre dušika mase 15; prvi je produkt jezgra kisika mase 15, no ta se odmah raspada u jezgru dušika mase 15 i jedan pozitron.

Konačni je rezultat da se četiri protona vežu zajedno i tvore jezgru helija. A kako smo već gore vidjeli (str. 137), mora se pri tom procesu osloboditi energija koja sobom odnosi 0,0280 jedinica atomske težine. Vidjet ćemo kasnije da neprekidno ponavljanje tog procesa, brzinom od nebrojeno bilijuna puta u sekundi, nadoknađava energiju pretežnog dijela zračenja Sunca i zvijezda.

## TREĆE POGLAVLJE

### ISTRAŽIVANJE VREMENA

Istražili smo prostor do najdáljih dubina što ih mogu dostići naši dalekozori; istražili smo zamršeno ustrojstvo sitnih tvorevina koje nazivamo atomi i od kojih je izgrađen čitav materijalni svemir; nastupit ćemo sada istraživačko putovanje kroz vrijeme. Vrijeme života pojedinog čovjeka, a čak i cijelo povijesno doba — koje iznosi najviše nekoliko tisuća godina — prekratko je, da bi nam ikoliko bilo korisno u našu svrhu. Moramo naći duže mjerilo, da bi izmjerili dubine prošlosti i istražili budućnost što leži pred nama.

Primijenit ćemo pri tome opću metodu, na koju smo već navikli u studiju geologije. Ne bojeći se ni najmanje nedostatka neposrednih historijskih dokaza, geolog tvrdi da je život na Zemlji postojao milijune godina, jer je našao fosilne ostatke života pod naslagama, za kojih su postanak bili potrebni, po njegovu sudu, milijuni godina. Kad kopa kroz različite slojeve, istražuje on isto tako vrijeme kao što geograf, koji obilazi putovanjima po Zemlji, istražuje prostor. Sličnu metodu može primijeniti i astronom. Pronađemo bilo kakvu astronomsku pojavu, svojstvo ili osobinu, koja pokazuje neko stalna povećanje ili smanjenje kao, na primjer, pijesak u donjoj ili gornjoj polovici pješčanog sata; pa procjenjujemo brzinu kojom se sada zbiva taj porast ili opadanje i, ako je moguće, također brzinu kojom se je u različitim okolnostima u prošlosti morala zbivati ta pojava. Pitanje je zatim možda samo aritmetike, no koji put i više matematike, da se procijeni proteklo vrijeme od početka tog procesa.



## STAROST ZEMLJE

Razmjerno priprosti problem starosti Zemlje pruža nam zgodan primjer te metode.

Prvi znanstveni pokušaj, da se odredi starost Zemlje, pokušao je astronom Halley godine 1715. Svakog dana nose rijeke izvjesnu količinu vode u more, a ta voda sadrži male količine rastopljene soli. Voda se ispari i opet vrati rijekama, ali sô ne. Zato se količina soli u morima neprestano povećava, svakog dana mora sadrže malo više soli nego dan prije, pa se po sadašnjoj količini morske soli može izmjeriti dužina vremena u kojem se sô nakupila. »Imamo tako u rukama sredstvo«, rekao je Halley nekako optimistički, »da prosudimo starost svih stvari«.

Na taj način, međutim, ne mogu se dobiti nikakvi točni sudovi o Zemljinoj starosti, no ipak se može smatrati prema računima koji se osnivaju na rezultatima modernih istraživanja, da Zemlji mora da je mnogo stotina milijuna godina .

### Geološki sat.

Vrijedniji se rezultati dobivaju od staloženih naslaga koje je isprala kiša. Svake je godine više poravnana površina Zemlje. Tlo, koje je još prošle godine bilo visoko na obroncima brda, saprano je kišom na dno blatne rijeke i odnosi se neprestano u more. Samo Temza odnosi svake godine jedan do dva milijuna tona zemlje u more. Koliko će još dugo Engleska trajati, ako se tako bude nastavilo u toj mjeri, i koliko već dugo postoji? Vidjeli smo u vlastitom životu, kako se na našim obalama kližu velike mase zemlje, koje ili sasvim padnu u more ili bar doprinose tome, da se žal još više poravna. Tako nestaju pred našim očima značajni oblici, kao Needles, pa čak i veliki dio južne obale otoka Wight. Geolog može ustanoviti brzinu kojom se zbivaju te i slične pojave, i po tom izračunati koliko je trajalo taloženje, da bi proizvelo opažene debljine geoloških slojeva.

Te su debljine vrlo velike. Profesor Arthur Holmes navada opažene maksimalne debljine ovako:

Kenozojsko doba (Novi vijek života)	22 000 metara
Mezozojsko doba (Srednji vijek života)	27 000 metara
Paleozojsko doba (Stari vijek života)	56 000 metara
Prekambrijska era (još raniji život, prvotni život i svitanje života) najmanje	55 000 metara
Ukupno-najmanje	160 000 metara

Možemo stvoriti općenitu predodžbu o vremenu u kojem su se ti slojevi taložili. Od vremena kraljevanja Ramsesa II. u Egiptu, prije 3000 godina, podizalo se tlo zemlje u Memphisu svakih 400 do 500 godina za 30 cm. Mora se kopati 2 metra duboko, da se dopre do tla tadanjeg Egipta. No nekoliko decimetara tog materijala obrazuje samo par centimetara stijene. Staložiti par decimetara stijene proces je od par tisuća godina.

Ako bi geološki slojevi bili staloženi prosječnom brzinom od 30 cm za 1000 godina trajalo bi onda preko 500 milijuna godina, da se staloži svih 160 000 metara debljine slojeva. Ako je pak za staloženje 30 cm potrebno 4000 godina, tada bi to vrijeme iznosilo oko 2100 milijuna godina. Procjene na osnovu ispiranja dovode do sličnih brojaka.

Ova se metoda za procjenu geološkog vremena nazvala »geološki pješčani sat«. Vidimo koliko je već pijeska isteklo, ustanovljujemo kako brzo on sada teče, pa možemo onda izračunati, koliko je vremena proteklo, otkad je pijesak počeo isticati. Metoda je opterećena pogreškom svih pješčanih satova; nedostaje, naime, garancija, da je pijesak tekao uvijek istom brzinom. Geološka opažanja dostaju, da se pokaže da je Zemlja stara na stotine milijuna godina, ali želimo li dobiti točne procjene, moramo se pomoći točnijim metodama fizike i astronomije. Na sreću pružaju nam radioaktivni atomi, koje smo razmotrili u prošlom poglavlju, savršeniji sistem satova, koji ne odstupa ni za dlaku od svog pravih hoda ni u prošlo ni u sadanje doba.



## Radioaktivni sat

Vidjeli smo kako se u toku vremena jedan gram urana raspadne u 0,865 grama olova i 0,135 grama helija. Proces raspadanja je apsolutno spontan (sam od sebe), i nikakvo fizikalno sredstvo, u cijelom svemiru, ne može ga ni najmanje zaustaviti ili usporiti. Slijedeća tablica pokazuje brzinu toga procesa:

### Povijest jednog grama urana

Prvobitno	1 grama urana	ništa olova
Iza 100 milijuna god.	0,985 gr. urana	0,013 gr. olova
Iza 1000 » »	0,865 »	0,116 » »
Iza 2000 » »	0,747 »	0,219 » »
Iza 3000 » »	0,646 »	0,306 » »

i tako dalje. Tako predstavlja mala količina urana savršeni sat, pretpostavivši da možemo u svako doba izmjeriti količinu olova, koje se stvorilo, i količinu urana koji je još preostao. Kad je Zemlja počela očvršćivati, bili su mnogi komadi urana zatvoreni u stijene; oni mogu sada poslužiti, da se otkrije starost Zemlje. Ne možemo bez daljega pretpostaviti da je sve olovo, koje je pronađeno zajedno s uranom, nastalo radioaktivnim raspadanjem. Međutim, sretnim se slučajem donekle razlikuje olovo nastalo raspadom urana od običnog olova, koje ima atomnu težinu 207,2, dok je atomna težina prvoga samo 206,0. Tako nam kemijska analiza komada radioaktivne stijene pokazuje koliko je od prisutnog olova obično, a koliko je nastalo radioaktivnim raspadom. Odnos množine olova te zadnje vrsti, prema količini preostalog još urana, točno nam kazuje koliko već dugo traje proces raspadanja.

Uglavnom nam svi primjerci stijena, uzeti iz dotičnih geoloških slojeva, pripovijedaju istu pripovijest i omogućuju nam navesti starost dotičnog sloja.

Spajajući te činjenice s onima u fosilima, nađenim u pojedinim slojevima, možemo složiti vjerojatnu tablicu vremena, na slijedeći način:

	Trajanje u milionima godina	Ukupno
Kenozojsko doba ili novi vijek života (sisavci, ptice bez zubi, cvijeće)	60	60
Mezozojsko doba ili srednji vijek života (Divovski reptili, ptice sa zubima)	140	200
Paleozojsko doba ili stari vijek života (Morske ribe, vegetacija na kopnu)	400 (?)	600 (?)
Prekambrij (primitivni život)	400 (?)	1000 (?)

Na taj način možemo ustanoviti trajanje života na Zemlji od 300 milijuna do milijarde godina. Teže je navesti starost same Zemlje. Najstarije, do sada ispitane, stijene pokazuju starost od 1750 milijuna godina, te je to najmanja dužina vremena koje je proteklo od očvršćenja Zemlje. Radioaktivni sat ne može nam, međutim, ništa reći koliko dugo je prije postojala Zemlja u plastičnom ili tekućem stanju, budući da su se u tom ranijem stanju produkti raspada morali odijeliti jedan od drugoga, te se moramo ogledati za drugim vrelom obavijesti.

Postoji izotop (str. 122) urana, koji se zove aktinouran. Budući da uran i njegovi izotopi imaju različite periode raspadanja, mijenja se neprestano relativna količina obaju. Iz odnosa količina tih tvari, koje se sada nalaze na Zemlji, izračunao je Rutherford da Zemlja ne može biti starija više od 3400 milijuna godina, a prava njezina starost vjerojatno je mnogo manja.

Druge su procjene veće. Olovo ima osam izotopa atomske težine od 203 do 210, a neki su od njih produkti radioaktivnog raspadanja urana i aktinija. Izučavanjem relativne obilnosti različitih izotopa, odredio je S. Meyer starost zemaljske tvari na nekih 4600 milijuna godina, broj koga je Kocky, upotrebivši mnogo novije podatke, povisio na 5300 milijuna godina. Starost Zemlje kao planeta mora biti naravno manja od toga.

Dalje je bilo procijenjeno da milijun grama obične lave sadrži 7,5 grama olova, 6 grama urana i 15 grama torija. Odatle je Russel izračunao da, čak ako bi i sve olovo bilo radioaktivnog porijekla, ne bi mogla starost



Zemlje biti veća od 3 milijarde godina. U stvari starost mora biti manja — dijelom zato, jer dio olova o kom se radi i nije radioaktivnog porijekla, a dijelom zato, što je nešto od radioaktivnog olova nastalo još na Suncu prije nego se Zemlja od njega odijelila (vidi stranu 254 i dalje).

Različite ove fizikalne procjene proteklog vremena od očvršćenja Zemlje su prema tome:

#### Starost Zemlje prema radioaktivnom satu

- |                                                                    |                               |
|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Prema odnosu između olova i urana u radioaktivnim stijenkama... | Više od 1750 milijuna godina  |
| 2. Prema relativnoj količini urana i aktino-urana...               | Manje od 3400 milijuna godina |
| 3. Prema relativnoj količini izotopa olova...                      | Manje od 5300 milijuna godina |
| 4. Prema sadržaju olova u lavi...                                  | Manje od 3000 milijuna godina |

Ima također različitih astronomskih metoda, da se odredi starost postanka Sunčeva sistema. Ovdje su »satovi« predstavljani oblicima staza raznih planeta i satelita. Staze se ne mijenjaju jednoliko, nego su njihove promjene određene poznatim zakonima, te matematičar može proračunati vrijeme u kojem su nastupile promjene zbog prošlih odnosa, a po tomu može zbrajanjem izvesti potrebno vrijeme, da se dođe do sadašnjih odnosa. Slijedeće dvije procjene potječu od H. Jeffreysa:

#### Starost Sunčeva sistema prema astronomskom satu

- |                               |                              |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Na osnovu staze Merkura... | Od 1 do 10 milijardâ godina  |
| 2. Na osnovu staze Mjeseca... | Otprilike 4 milijarde godina |

Postoji još jedan sat osnovan na radioaktivnosti meteorskog kamenja (strana 262.). Paneth i razni njegovi suradnici analizirali su kemijski i radioaktivni sastav

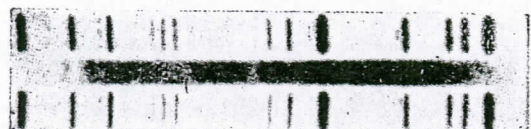


*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Maglica N. G. C. 7331 u Pegazu i daleki skup slabih maglica.

Tabla XX

KH



Helij

Nebo

Helij



N. G. C. 221



N. G. C. 385



N. G. C. 4884



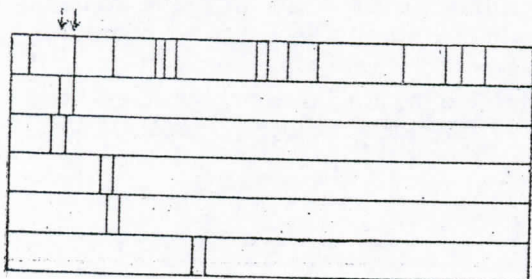
Maglica u Lavu

↑↑  
KH

Zvezdarnica Mt. Wilson

M. L. Humason

KH



Helij

Nebo

N. G. C. 221

N. G. C. 385

N. G. C. 4884

Maglica u Lavu

↑↑  
KH

Spektri maglica pokazuju pomake.

velikog broja meteorskog kamenja i izračunali su različite starosti, koje sežu od 110 milijuna godina do kojih 7 milijardâ godina. Kad bi bili sigurni, da meteoriti, te posljednje vrsti, potječu iz istog doba, otkada i Sunčev sistem, bili bi prisiljeni pripisati materiji, od koje se sastoji Sunčev sistem, starost od kojih 7 milijardâ godina.

Premda ti različiti brojevi ne vode do vrlo točne procjene starosti Zemlje kao planeta, ipak svi upozoravaju da se mora mjeriti u milijardama godina. Želimo li upamtiti jedan okrugli broj, najbolje je izabrati 3 milijarde godina kao starost Zemlje; zemaljska je tvar, dakako, mogla postajati još i u doba, dok Zemlja nije bila oblikovana.

### ZRAČENJE SUNCA

Geološko istraživanje, provedeno sve do stijena koje su se staložile pred nekih 300 milijuna godina, pokazuje da je Sunce kroz cijelo to vrijeme odavalo zračenje otprilike u jednakoj količini kao i sada. Nadalje, astronomska prosuđivanja, na koja ćemo doći, čine vrlo vjerojatnim da je Sunce emitiralo zračenje u sadašnjoj količini kroz veći dio vremena od 3 milijarde godina, koliko je prošlo od postanka Zemlje.

Ako su naši pređi uopće o toj stvari razmišljali, nisu u tom bujnom izljevu svijetla i topline vidjeli ništa osobito; oni nisu imali jasne pojmove o održanju energije i nikakve predodžbe o zapanjujućoj dužini vremena, koliko već traje to izjarivanje. Tek sredinom prošlog stoljeća, kad se prvi put jasno razumio princip održanja energije uvidjelo se da izvor sunčane energije predstavlja izvanredno tešku zagonetku znanosti. Stalno izjarivanje znači za Sunce očiti gubitak energije, a budući da je princip održanja energije pokazao da energija ne može nastati od ničega, morala je ta energija potjecati iz nekog vrela ili zalihe, koja bi odgovarala takvom moćnom i tako dugom izbacivanju energije. Gdje da se traži ta riznica?

Sunce sada zrači svijetlo i toplinu toliko, da bi moralo svake sekunde izgorjeti mnogo tisuća bilijuna tona



ugljena, kad bi se htjelo da se ta ista energija proizvede u nekoj centrali izvan Sunca. Takve centrale naravno nema. Sunce mora samo sebi pomoći, ono je brod na pustom oceanu. Kad bi Sunce nosilo sobom potrebnu zaliha ugljena, ili kad bi sva njegova tvar bila njegova zaliha ugljena, tako da bi svijetlo i toplina potjecali od njegova vlastitog sagorijevanja, bila bi cijela ta zaliha već u par tisuća godina izgorjela u prah i pepeo.

Povijest prirodnih znanosti pokazuje samo jedan jedini pokušaj, da se porijeklo Sunčeve energije objasni iz nekog vanjskog izvora. Vidjeli smo kako se energija kretanja jedne kugle pretvori u toplinu, ako se kugla spriječi u letu. Poznata pojava krijesnica (meteora) pruža astronomski primjer iste vrsti. To su tijela slična tanadi koja izvana dospijevaju u Zemaljsku atmosferu. Dok takvo tijelo juri kroz prazan prostor, pada ono sve brže prema Zemlji, ali čim prodre u atmosferu Zemlje, usporeno je njegovo kretanje otporom zraka, a njegova energija kretanja pretvara se postepeno u toplinu. Krijesnica se najprije ugrije, a onda užari, pri čemu izaruje jarko svijetlo, po čemu je prepoznajemo. Na koncu žar je ispari i ona nestane pred našim očima, ostavljajući za sobom samo kratkotrajni trag svijetlećeg plina. Prvotna energija kretanja pretvorena je u svijetlo i toplinu — u svijetlo, po kojem je vidimo, i toplinu koja ju konačno pretvori u paru.

Godine 1849. istaknuo je Robert Meyer kako je moguće da bi energija, koju Sunce odaje kao zračenje, mogla potjecati od neprestanog padanja krijesnica ili sličnih tijela u Sunčevu atmosferu. Kad one uđu u atmosferu, njihova je brzina smanjena, a energija se njihova kretanja pretvara u toplinu. Naravno, nema sumnje, da krijesnice i slična tijela neprestano padaju na Sunce, ali njihov prilog Sunčevu izdavanju energije mora biti posve neznatan; jednostavni račun pokazuje da bi masa takvih tijela, s ukupnom težinom cijele Zemlje, mogla održati zračenje Sunca tek jedno stoljeće, a da bi masa tvari, potrebna da održi zračenje kroz 30 milijuna godina, podvostručila težinu Sunca. Budući da je nemoguće postaviti da bi težina Sunca mogla rasti u takvom omjeru, morala se odbaciti ta hipoteza.

Godine 1853. iznio je Helmholtz vrlo sličnu teoriju, poznatu »hipotezu kontrakcije«, prema kojoj stezanje Sunca oslobađa energiju što se konačno pojavljuje u izdavanju. Ako se polumjer Sunca stegne za kilometar i pol, oslobodi pri tome toliko energije, koliko bi se dobilo istom težinom krijesnica, koje bi pale kilometar i pol, a čije bi se kretanje pri tome zaustavilo. Prema Helmholtzovoj teoriji igrali su razni dijelovi Sunca onu ulogu koju je Mayer pripisivao krijesnicama što bi izvana padale; oni neprestano ponavljaju istu ulogu, dok se, konačno, Sunce toliko stegne, da se više ne može skupljati. Ali ni Helmholtzova teorija nije mogla izdržati računsku probu, kao ni Mayerova. Godine 1862. izračunao je Lord Kelvin da je stezanje Sunca na svoj sadanji opseg moglo pružiti u prošlosti zračenje kroz jedva više od 50 milijuna godina, a već spomenuti geološki dokazni materijal pokazuje da je Sunce moralo sijati kroz mnogo duže vrijeme.

Kao i ranije, ne može biti sumnje, da je stezanje nadoknađavalo energiju za izvjestan dio Sunčeva zračenja u prošlosti, ali je sadanji prilog iz toga izvora sasvim neznatan.

Da bi otkrili stvarni izvor energije Sunca, moramo napustiti nagađanja i razmatrati problem s druge strane. Vidjeli smo (str. 136) da zračenje odnosi sobom masu, tako da svako tijelo, koje zrači, nužno gubi od svoje težine. Zračenje što bi ga emitirao jedan reflektor od 50 konjskih snaga, odneslo bi, kako smo vidjeli, gram mase u jednom stoljeću. No šest kvadratnih centimetara Sunca doista su reflektor od kojih 50 konjskih snaga, odakle zaključujemo da se na svakih šest kvadratnih centimetara Sunčeve površine gubi jedan gram mase u sto godina. Takav gubitak težine izgleda prilično malen, dok ga ne pomnožimo s ukupnim brojem kvadratnih centimetara Sunca. Tada se ispostavlja da cijelo Sunce gubi svake sekunde preko četiri milijuna tona težine ili 250 milijuna tona u minuti — što je oko 650 puta više od težine vode koja u to vrijeme prostruji kroz Niagarin slap.

Kad bi bilo zračilo tom brzinom kroz cijelo vrijeme od 3 milijarde, koliko je prošlo otkako je nastala

Zemlja, njegov ukupni gubitak mase od onog doba iznosa bi 400 000 trilijuna tona, što iznosi oko jedne pet tisućine njegove ukupne mase.

U ranijem smo poglavlju razmotrili pretvaranje tvari u zračenje, koje prati spontano raspadanje radioaktivnih atoma. Pretvaranje urana u olovo je primjer te pojave s najvećom energijom, što je znamo na Zemlji a tada se jedna četiritisućina ukupne mase pretvara u zračenje. Tako bi Sunce, kad bi prvotno bilo sastavljeno od čistog urana, bilo u stanju da oslobodi toliki dio svoje tvari kao zračenje, a to bi održalo Sunčevo zračenje nešto manje od 4 milijarde godina. Premda bi spontano radioaktivno raspadanje moglo priskrbiti dovoljni iznos energije za Sunce, ipak nema razloga, da mislimo da bi to bilo stvarni izvor Sunčeve energije. Doista, kad bi bilo, onda bi se veći dio tvari sadašnjeg Sunca morao sastojati od produkata raspada urana, a mi smo prilično sigurni da nije tako. Štaviše, problem Sunčeva zračenja nije odijeljen problem, nego čini mali dio šireg problema zračenja zvijezda uopće. Mnoge od njih zrače daleko više energije nego Sunce, pa bi izvor, koji bi priskrblijavao dovoljno energije za Sunce, potpuno podbacio za opskrbljivanje drugih zvijezda. Uskoro ćemo vidjeti da radiaktivnost ne predstavlja dovoljno rješenje za zvijezde u cijelosti.

Razmotrili smo drugi gubitak mase, naime onaj koji prati pretvaranje elemenata, onakvo kakvo smo vidjeli da se može zbivati u unutrašnjosti zvijezde. Vidjeli smo da bi spajanje četiriju atoma vodika u jedan atom helija moglo osloboditi 0,0280 jedinica mase u obliku zračenja. To je 0,0070 jedinica mase na svaki atom vodika, ili jedna 144-tina ukupne mase o kojoj se radi. Kad bi se Sunce u početku sastojalo od čistog vodika, onda bi pretvaranje svega tog vodika u helij moglo pružiti Suncu energiju dovoljnu za zračenje pri sadanjem načinu kroz više od 100 milijardâ godina.

Druge pretvorbe vodika održavale bi zračenje za slične vremenske periode. Gledajući na problem u krupnim crtama, možemo uzeti, približno, da su sve atomske težine cijeli brojevi, osim one vodika, koja je

1,0081. Ako je tako, onda oslobođena masa, pri bilo kojem pretvaranju, biti će 0,81% ukupne mase vodika koji se pretvara, a to je jedna 124-tina. Takve pretvorbe, mogu tada priskrbiti, dakako dovoljno energije za Sunčevo zračenje, i naći ćemo da one, vjerojatno, tvore glavni izvor energije i za Sunce, a isto tako i za ostale zvijezde. No da raspravimo o tom posljednjem pitanju, treba da temeljitije poznamo zvijezde, u pojedinostima i općenito. Skupljanje toga znanja sačinjavati će slijedeće poglavlje.



## ČETVRTO POGLAVLJE

### ZVIJEZDE

U prošlom smo poglavlju došli do predodžbe o Suncu kao o spremištu energije i o njegovu zračenju kao izdavanju energije; isto vrijedi i za druge zvijezde. Kad bismo mogli steći potpuno znanje o ustrojstvu zvijezde, o njezinoj zalih energije i o načinu izdavanja te energije, bili bismo u stanju slijediti promjene, koje bi se događale godinu za godinom, i tako otkriti potpunu povijest razvoja zvijezde. Svaka bi se poznata zvijezdanih konfiguracija proširila u cijeli niz mogućih zvijezdanih konfiguracija, i mi bismo bili, na primjer, u stanju da kažemo: »Ova je zvijezda kao što je bilo naše Sunce prije milijardu godina, a ona kao što će naše Sunce biti za milijardu godina.« Bili bismo u stanju ocrtati zvijezde kao ogromnu armiju, koja korača duž određenog puta, i mogli bismo opisati prvotno stanje pa i starost svake zvijezde. Bili bismo u stanju odgovoriti, da li se zvijezde stvaraju kroz cijelo vrijeme, ili su sve postale u određenoj epohi.

To su problemi, kojima sada prilazimo, a najprije moramo opisati stanja različitih tipova zvijezda, koje opažamo na nebu; i moramo objasniti kako se opažanje astronoma pretvara u oblik, koji nas neposredno obavješćuje o stanju zvijezde.

### OPAŽANJA ZVIJEZDA

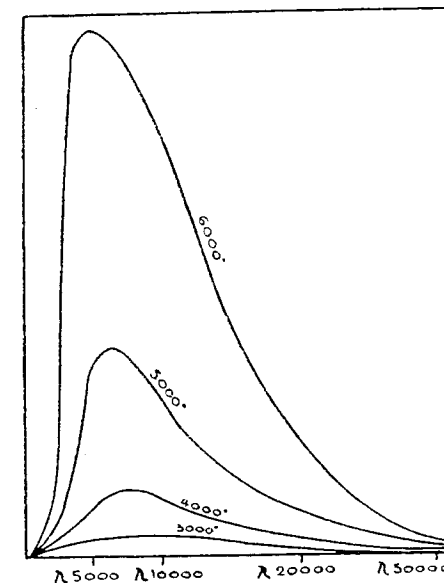
#### Temperatura površine

U drugom smo poglavlju (str. 150) vidjeli kako svaka boja svijetla ili valna dužina zračenja ima određenu temperaturu svezanu s njom, i da svijetlo te boje

prevladava, kad se tijelo ugrije do dotične temperature. Tijelo, ugrijano do tako zvanog crvenog žara, emitira, na primjer, više crvenog nego drugog svijetla, pa nam zato izgleda crvenim.

Izgleda li stoga jedna zvijezda crvena, opravdan je zaključak, da njezina površina ima temperaturu koju zovemo crveni žar. Kad druga zvijezda ima boju lučnog svijetla, možemo zaključiti da njezina površina ima, otprilike, istu temperaturu kao i električni luk. Na taj način možemo ocjenjivati temperature zvijezdanih površina.

U praksi nije postupak tako grub, kako bi se mislilo prema predhodnom opisu. Astronom pretvara svijetlo zvijezde u spektar i rastavlja ga u razne boje. Točnim mjerenjem određuje tada odnos u kom se pojavljuju razne boje. On odmah vidi koja je boja najjače zastupljena u spektru zvijezde. Ili po tomu, ili po



Slika 11. Raspodjela zračenja raznih valnih dužina pri različitim temperaturama

općoj raspodjeli boja, može zaključiti kakva je temperatura površine zvijezde.

Vidjeli smo već (strana 138) kako je Planck otkrio zakon po kojem je raspodijeljeno zračenje »crnog tijela« među različite boje ili valne dužine spektra. Četiri krivulje na slici 11. predstavljaju teoretsku raspodjelu zračenja emitiranog s površine pri temperaturi od 3000, 4000, 5000 i 6000 stupnjeva. Različite valne dužine svijetla predstavljene su na horizontalnoj osi točkama, pri čemu su označene valne dužine mjerene jedinicom zvanom Ångström, koja iznosi stomilijunti dio cm. Visina krivulje iznad takve točke pretstavlja količinu zračenja odgovarajuće valne dužine.

Promatraju li se te krivulje, mogu se lako razumjeti obje metode za određivanje zvjezdanih temperatura. Krivulja 6000<sup>0</sup> stupnjeva postiže najveću visinu kod valne dužine od 4800 Ångströma, te znamo, kad u spektru neke zvijezde prevladava svijetlo od 4800 Ångströma, da je temperatura površine te zvijezde 6000<sup>0</sup>. Druga se metoda sastoji u ispitivanju, koja od teorijskih krivulja na slici 11 najbolje odgovara opaženoj krivulji.

Obje nam te metode pokazuju da temperatura Sunčeve površine iznosi oko 6000<sup>0</sup> apsolutnih, dakle za 2000<sup>0</sup> više od najtoplijeg dijela električnog luka. Ukupni iznos svijetla i topline, koji na Zemlji primamo od Sunca, pokazuje da je Sunčevo zračenje vrlo blizu »crnom zračenju« tijela, koje bi imalo tu temperaturu, ako i nije posve jednako. To se pokazuje i time, što je Sunčevo zračenje podijeljeno među razne boje na taj način, da se gotovo posve poklapa s teorijskom krivuljom koju vidimo na slici 11 za crno zračenje od 6000<sup>0</sup>.

#### Kemijski sastav

Proučavajući spektar neke zvijezde, možemo reći (str. 38) koje su kemijske tvari prisutne u njezinoj atmosferi. Možemo također reći u kojim odnosima dolaze. Znajući, da je atmosfera zvijezde na toj i toj temperaturi, moguće je izračunati kako bi njezin spektar izgledao, kad bi svih tvari bilo jednako mnogo. Uspo-

redivši taj zamišljeni spektar s onim, koji stvarno vidimo, pokazuje se koji je elemenat jako zastupljen u atmosferi zvijezde, a koji samo u malim količinama, pa se podrobnim uspoređivanjem mogu otkriti relativni iznosi različitih elemenata.

Na taj način Russel je izračunao tablicu, od koje je niže dan jedan dio koji pokazuje relativnu čestinu različitih elemenata u Sunčevoj atmosferi. Relativni brojevi atoma različitih elemenata dani su u drugom stupcu. Jedan upitnik znači da je određivanje nesigurno, a dva upitnika, da je vrlo nesigurno, dok crtica znači da se nije našlo nikakvog dokaza, da na Suncu ima toga elementa ili njegovih spojeva.

Element	Relativni broj atoma	Element	Relativni broj atoma
Vodik	1,000,000,000	Sumpor	16.000
Helij	30,000.000??	Klor	—
Litij	3	Argon	—
Berilij	2?	Kalij	200.000?
Bor	3.000	Cink	2,500
Dušik	3,000.000?	Bakar	3.000
Ugljik	1,000.000	Nikalj	30.000
Kisik	30,000.000	Kobalt	13.000
Fluor	30.000?	Željezo	500.000
Neon	—	Mangan	25.000
Natrij	500.000	Krom	16.000
Magnezij	600.000	Vanadij	3.000
Aluminij	80.000	Titanij	5.000
Silicij	1,000.000	Skandij	130
Fosfor	300?	Kalcij	160.000

Od elemenata, koji nisu ovdje spomenuti, ima nekih u neznatnim količinama, dok se drugi uopće ne mogu otkriti. No ima priličan broj elemenata za koje je spektroskopska proba prilično neosjetljiva, te se ne može očekivati da će se pokazati, osim ako ih nema u izobilju.

Russell zaključuje kako nema nikakva razloga pretpostavljati da nekog elementa uopće nema na Suncu.

Spomenuli smo (str. 116) da na Zemlji ima tek 14 vrsta elemenata stvarno u izobilju. Russellova tablica



pokazuje da istih tih 14 elemenata ima mnogo i na Suncu, izuzevši fosfor i klor. Ali se ti elementi ne nalaze u istom odnosu na oba mjesta; vodik i helij su nesravnjivo obilniji u Sunčevoj atmosferi nego u onim dijelovima Zemlje koji su dostupni našem opažanju, a i drugi laki elementi, sve do dušika ili kisika, svi su nekako obilniji. Već smo našli razlog za to (str. 117).

Primijetili smo već da su, općenito, teški elementi u Sunčevoj atmosferi mnogo rjeđi od lakših. To se objašnjava, naprosto, njihovom prirodnom težnjom da potonu u dublje slojeve, a tamo su nepristupačni opažanju. Ipak, sve se više očituje da to nije potpuni razlog, pa čak uopće ne može biti razlog. Vrijedno je, na primjer, napomenuti da su elementi s parnim rednim brojem (usporedi str. 120 i dalje) mnogo češći od mnogo lakših elemenata sa neparnim atomnim brojem. Tako da je magnezij češći od lakšeg natrija, a silicij od lakšeg aluminijsa. Slično vrijedi i za sastav Zemljine kore. Najteži elementi očevidno nisu potpuno potonuli u unutrašnjost Zemlje, a postoji i općenita zakonitost, da su elementi parnog atomnog broja češće zastupani od onih s neparnim.

Značajno je da su se u Sunčevoj atmosferi mogle pronaći praktično sve kemijske tvari koje su rasprostranjene na Zemlji. Od 90 elemenata, što ih znamo na Zemlji, 58 ih je pouzdano i konačno otkriveno na Suncu, 4 dalja još nisu posve pouzdana, nedostaje ih 18, dok su spektri ostalih 12 tako malo poznati, da bi se teško mogli naći, čak ako bi ih i bilo.

Istraživanja Miss Payne u Harvardu, zatim Adamsa i Russella na Mount Wilsonu, daju da se naslućuje kako je kemijski sastav svih zvijezda prilično jednak. Premda zvijezde pokazuju od česti vrlo različite spektre, upozoruju te razlike većma na razlike u temperaturi (u neznatnijoj mjeri i na razlike u pritisku) nego na razlike u kemijskom sastavu. Vladi li, na primjer, neka određena temperatura u zvjezdanoj atmosferi, tada je vrlo jak spektar vodika; pri nižoj temperaturi bit će sve slabiji, dočim spektar željeza raste intenzitetom. Stariji spektroskopisti pogrešno su smatrali da zvijezda prve vrste mora sadržati više vodika, a manje

željeza od zvijezde druge vrste. Pravo je razjašnjenje samo u tome, što je atmosfera prve zvijezde dovoljno vruća, da bi vodik imao mogućnosti dostatno dokumentira svoju prisutnost, dočim druge zvijezde nije.

### Spektralni tipovi

Po saznanju, da spektar zvijezde ovisi u prvom redu o temperaturi njezine površine, slijedi da se svi spektri mogu u stvari poredati u jedan jedini neprekidni niz. On je obično klasificiran redom slova O, B, A, F, G, K, M s decimalnom podjelom, na taj način da temperatura tim redom opada. O-zvijezde imaju, dakle, najvišu površinsku temperaturu a M-zvijezde najnižu. Primjeri zvjezdanih spektara vide se na tabli XV., pri čemu je na lijevoj strani označen spektralni tip.

Isto tako, budući da je spektralni tip neke zvijezde određen, uglavnom, temperaturom površine te zvijezde slijedi da se temperatura zvijezdine površine može odrediti po njezinu spektralnom tipu. Mnoge vidljive linije u zvjezdanim spektrima emitiraju atomi kojima je vrućina zvijezdine atmosfere otela jedan ili više elektrona. Mi poznajemo temperature, pri kojima su dotični elektroni izbijeni iz njihovih atoma, pa možemo i na taj način odrediti temperaturu zvijezde.

Različitim vrstama zvjezdanih spektara, koji se vide na tabli XV, odgovaraju slijedeće temperature:

Spektralni tip	Temperatura
B	20 000
A	10 000
F	7 000
G	6 000
K	5 100
M	3 400

Posljednje tri vrijednosti u tablici odnose se na normalne zvijezde, kojima se promjer može usporediti sa Sunčevim. Vidjet ćemo (str. 190) da ima jedan drugi razred zvijezda (div-zvijezde), kojima je promjer mnogo veći od promjera Sunca. One imaju bitno niže temperature:

Spektralni tip	Temperatura
G	5 600
K	4 200
M	3 200

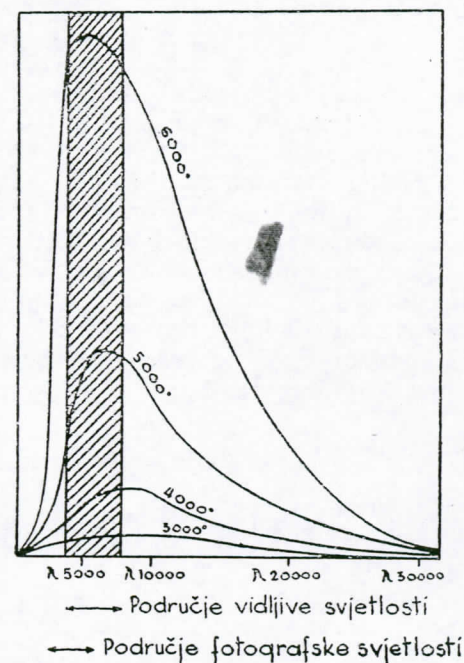
Temperature površina zvjezdanog tipa O poznate su manje točno, ali su svakako više od svih do sada navedenih i izgleda da se protežu od 20 000 stupnjeva do 100 000 stupnjeva. Novae spadaju, kad su u najvećem sjaju, (str. 62), tome spektralnom tipu, a isto tako i jezgre planetarnih maglica (str. 28). Zauzima, koji je o zadnjima proveo posebno ispitivanje, našao je da je površinska temperatura od 18 jezgara oko 42 000°. Beals nalazi da je temperatura Nova Aquilae u njezinu najsjajnijem stanju morala biti oko 65 000 stupnjeva, i smatra da većina »novih« dostižu vjerojatno u trenutku svojeg najvećeg sjaja tako visoke temperature.

Proučavamo li ustrojstvo i mehanizam zvijezda, manje nam je stalo do topline površine, koja se izražava u njezinoj temperaturi, nego za količinu zračenja koju emitira na svaki kvadratni centimetar.

Dotična ovisi, dakako o temperaturi; što je toplija neka površina, to više zračenje emitira. No temperaturom se ne mjeri količina zračenja. Podvostručimo li temperaturu površine, ne emitira ona dva puta, nego šestnaest puta više zračenja; zračenje svakog kvadratnog centimetra površine, razmjerno je četvrtoj potenciji njezine temperature. Stoga emitira zvijezda s površinskom temperaturom od 3000°, ili polovine temperature Sunca, samo šestnaestinu Sunčeva zračenja po kvadratnom centimetru<sup>1</sup>). Zračenje svake zvijezde je skup svijetla, topline i ultraljubičastog zračenja, a to ne stoji kod raznih zvijezda u istom odnosu; što je hladnija površina neke zvijezde to veći je dio zračenja koji ona emitira kao toplinu. Stoga zvijezda od 3000° neće ni približno emitirati jednu šestnaestinu svijetla Sunca, ali više od jedne šestnaestine Sunčeve topline.

<sup>1</sup> To se vidi na slici 11, budući da je površina krivulje 3000° tek jedna šestnaestina površina krivulje 6000°.

To pokazuje da se ukupno zračenje zvijezde ne može cijeliti samo po njezinu vidljivom sjaju; mora se uvijek uzeti u račun i velik dio nevidljivog zračenja, kako nevidljive topline na crvenom kraju spektra, tako i nevidljivog ultra ljubičastog zračenja na drugom kraju. Važnost tog ispravka vidi se na slici 12. Četiri krivulje su istovjetne s onima na slici 11, i pokazuju kako se svijetlo, koje emitira zvijezda određene temperature, raspodijeli na različite valne dužine. Skupno zračenje, emitirano pri nekoj temperaturi, predstavljeno je površinom zatvorenom među odgovarajućim krivuljama i horizontalnom sviju odgovarajućim krivuljama i horizontalnom osi. Ako je osjetljivo samo za zračenje čije valne dužine leže između 3750 i 7500 Ångströma, tako da je od tog cijelog zračenja vidljiv samo onaj dio što je osjenčen, sve ostalo je nevidljivo zračenje.



Slika 12. Raspodjela zračenja u vidljivo i nevidljivo



Odmah vidimo da prilično velik dio emitiranog zračenja sa zvijezde s površinskom temperaturom od 6000<sup>0</sup> pada u područje vidljivosti, ali samo mali dio od zračenja koje emitira zvijezda s površinskom temperaturom od 3000<sup>0</sup>; jer je glavni dio tog posljednjeg zračenja toplinsko zračenje s većom valnom dužinom od vidljivog svijetla. Nemoguće je u sliku 12. ucrtati krivulju koja bi prikazivala podjelu zračenja zvijezde s površinskom temperaturom od 60 000<sup>0</sup>; jer bi takva krivulja bila visoka 6 km. No kad bi se nacrtala ta krivulja, vidjelo bi se da bi praktički cijelo zračenje bilo ultralubičasto zračenje s kraćom valnom dužinom od vidljivog svijetla. Uzmemo li se zvijezde u cijelosti, tada vidljivo zračenje svijetlo sačinjava samo mali dio ukupnog zračenja zvijezda.

Pri svim proračunavanjima u ovoj knjizi uzeto je u obzir nevidljivo zračenje, premda se nije uvijek smatralo za potrebno da se to neprestano naglašuje.

#### Boje

Vidljivo zračenje zvijezda sastoji se od raznih čistih (t. j. spektralnih) boja, pomiješanih u raznim odnosima, a točan odnos ovisi, naravno, o temperaturi zvijezde. Po prilici možemo pretpostaviti da u svijetlu svake pojedine zvijezde nikad nije stvarno značajno više od tri susjedne spektralne boje, dok se ostale pojavljuju samo u malim iznosima. Prosjek boja, koje su značajne, odredit će, dakako, boju kako je vidi oko. Uzimajući šest spektralnih boja u susjednim skupinama i uzimajući prosjek, dobivamo niz boja pokazan u drugom stupcu slijedeće tablice:

Spektralne boje	Prosječna boja (boja zvijezde kako se vidi)
Ljubičasta, plava	Plava
Ljubičasta, plava, zelena	
Plava, zelena, žuta	Bijela
Zelena, žuta, narančasta	Žuta
Žuta, narančasta, crvena	Narančasta
Narančasta, crvena	Crvena
Crvena	

Često je zgodnije istraživati zvijezde po njihovim bojama nego prema mnogo točnijim mjerenjima njihovih temperatura koje se ne mogu pouzdano znati.

Kad bi naše oči odjednom postale osjetljive za sve vrste zračenja, a ne samo za vidljivo svijetlo, doživio bi izgled neba neobičnu promjenu. Crvene zvijezde Betelgeuze i Antares koje su sada na dvanaestom i šestnaestom mjestu među svim zvijezdama, sjale bi kao dvije najsjajnije zvijezde na nebu, dok bi Sirius, sada najsjajniji od svih, bio po sjaju treći po redu. Jedna zvijezda u prilično neupadljivom zviježđu Herkula zasljalala bi kao šesta po sjaju na nebu. To je zvijezda  $\alpha$  Herculis, koja je sada nadjačana sjajem od 250 zvijezda. Zbog svoje izvanredno niske temperature od 2650<sup>0</sup> emitira ta zvijezda svoje zračenje gotovo posve u obliku nevidljive topline. Ona zrači, naprimjer, šestdeset puta više topline od plave zvijezde  $\eta$  Aurigae kojoj temperatura iznosi 20 000<sup>0</sup>, ali tek  $\frac{4}{5}$  njezina svijetla.

#### Promjeri zvijezda

Lako je mjeriti promjer većine planeta; osim u Plutona, svi oni izgledaju u dalekozoru kao pločice zamjetljive veličine. No zvijezde su predaleko, da bi se njihov promjer mogao mjeriti na taj način. Ni jedna zvijezda na nebu ne izgleda veća od glavice pribadače na daljini od šest kilometara, a ni jedan dalekozor, dosada napravljen, ne može pokazati predmet te veličine kao pločicu. Sve zvijezde, čak i najbliže i najveće, izgledaju kao puke svijetle točke<sup>1</sup>), tako da se njihov promjer može mjeriti samo posrednim načinom.

Ako je poznata udaljenost neke zvijezde, možemo ustanoviti njezinu pravu jačinu sjaja po prividnom sjaju. Po tomu možemo, pošto uzmemo u obzir i nevidljivo zračenje, doznati ukupnu količinu energije koju ona emitira — toliko i toliko kvadrilijuna konjskih

<sup>1</sup> Velike okrugle slike zvijezda, koje se često vide na astronomskim fotografijama, kao na primjer na tabli I. (str. 16). potječu samo od preosvjetljavanja, a nisu ni u kakvoj vezi sa pravom veličinom.



snaga. Znamo također koliko emitira energije po kvadratnom centimetru, jer to ovisi samo o površinskoj temperaturi, a tu saznajemo neposredno po spektroskopskom opažanju. Znamo li oba podatka, preostaje samo puko dijeljenje, da se izračuna broj kvadratnih centimetara površine zvijezde, a to nam neposredno kazuje i promjer zvijezde.

Promjeri izvanredno velikih zvijezda mogu se neposredno mjeriti pomoću instrumenata poznatih pod imenom interferometra. Uperimo li dalekozor na neku zvijezdu, vidimo, točno govoreći, samo svijetlu točku, ali svijetlu točku okruženu zamršenim sistemom svijetlih i tamnih prstenova, tako zvanom ogibnom slikom. Moglo bi se pomisliti da bi po veličini tih prstenova mogli ustanoviti veličinu zvijezde, ali to oboje nema nikakve veze među sobom. Prsteni se svode samo na izvjestan nedostatak instrumenta, a njihova veličina ovisi samo o veličini i optičkom uređaju dalekozora. Slijedeći jednu metodu koju je potaknuo 1868. Fizeau, pokazao je profesor Michelson kako se taj nedostatak može iskoristiti i stvorio je, možda, najduhovitiji i najuzbudljiviji instrument koji upotrebljava moderna astronomija — interferometar. Taj instrument stavlja dvije posebne ogibne slike iste zvijezde, jednu povrhu druge, i tako otkriva veličinu zvijezde koja ih stvara. Na taj su način izmjerene neke najveće zvijezde, te možemo reći da znamo njihovu veličinu neposrednim opažanjem. U svakom slučaju poklapa se neposredno izmjereni promjer dosta dobro, premda ne sasvim, s onim izmjerenim na već objašnjeni posredni način. Neslaganja, koja nisu znatna, potječu, izgleda, od crvenih zvijezda koje ne emitiraju pravo »crno zračenje« u već protumačenom smislu na str. 138.

Metoda interferometra može se primijeniti samo na najveće zvijezde, no na drugom kraju skale došla nam je u pomoć teorija relativnosti. Einstein je kao nužnu posljednicu svoje teorije relativnosti, izveo da je spektar neke zvijezde pomaknut prema crvenom kraju za iznos, koji ovisi kako o masi, tako i o promjeru zvijezde. Znamo li dakle masu zvijezde, morali bi po opaženom pomaku spektra odmah ustanoviti njezin



Maglica N. G. C. 4594 u Djevići.





*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Zbijeni skup slabih maglica u Pegazu.

promjer. Taj je pomak spektra nedavno opažan u svijetlu Siriusova pratioca, i izmjereni iznos pomaka doводи nas do veličine promjera zvijezde, koja se točno poklapa s onom ustanovljenom po jačini sjaja. Tako neposredno opažanje potvrđuje na oba kraja skale, kod najvećih i kod najmanjih zvijezda, izračunate veličine za promjere.

Smijemo se dakle potpuno pouzdati u izračunate promjere zvijezda, čak i onda kad oni nisu dobiveni neposrednim mjerenjem. Neslaganje između pravog i izračunatog promjera moglo bi nastati samo na jedan jedini način. Promjeri su izračunani na osnovu pretpostavke, da zvijezde emitiraju svoje puno temperaturno zračenje.

Ako zvijezde ne bi zračile približno kao »crna tijela«, našli bismo nesklad između mjerenih i izračunatih promjera. Činjenica, da se ne javljaju velika odstupanja, upozorava da zvijezde kroz cijelu svoju skalu, od najveće do najmanje, emitiraju približno potpuno temperaturno zračenje.

#### RAZNOLIKOST ZVIJEZDA

Opazanje pokazuje da postoje silne razlike u fizikalnim osobinama zvijezda, te bismo lako mogli, kako ćemo ubrzo vidjeti, ispričati uzbudljivu priču, suprotstavljajući krajnosti, uspoređujući najsajnije s najtamnijim, najveće s najmanjim i t. d. To bi nam ipak dalo posve krivu sliku nebeskih tijela; bilo bi isto kao da prosuđujemo jedan narod po divovima i patuljcima, po jakim ljudima i vještacima u gladovanju koji se pokazuju na sajmovima.

Dobit ćemo ujednačeni utisak o stvarnom stupnju razlika, koje se javljaju kod zvijezda, ako promatramo fizikalna stanja onih zvijezda koje su najbliže Suncu. Pozabavimo li se s njima točno po redu u kojem dolaze, izbjeći ćemo sumnji, da griješimo, uvodeći zvijezde samo zato, jer su neobične ili izvanredne. Mala skupina zvijezda, dobivena na taj način, moći će pružiti primjer bez prigovora za sve zvijezde, premda naravno nije dosta velika, da obuhvati i krajnje slučajeve. O Suncu ne treba

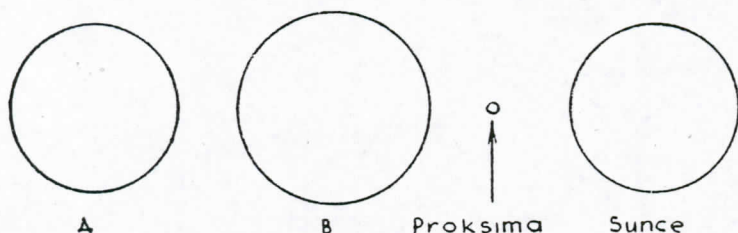


da govorimo posebno, budući da je ono naša normalna zvijezda, pa se na njega odnose sva uspoređivanja.

#### Sistem zvijezde $\alpha$ Centauri

Taj se sistem sastoji od tri komponente koje su, kako se smatra, naši najbliži susjedi u prostoru.

Najsajjnija,  $\alpha$  Centauri A, vrlo je slična Suncu. Ima istu boju i isti spektralni tip, no teži 10% više, a svijetlija je 14%. Budući da ima istu boju kao i Sunce, emitira ona po kvadratnom centimetru istu količinu zračenja. Zbog toga pokazuje njezina 14% veća jačina sjaja da ona ima površinu 14% veću, dakle 7% veći promjer od Sunca.



Slika 13. Sistem  $\alpha$  Centauri uspoređen sa Suncem.

Druga komponenta,  $\alpha$  Centauri B, znatno je crvenija od Sunca i ima površinsku temperaturu samo  $4400^{\circ}$ , dok Sunce ima oko  $6000^{\circ}$ . Ona ima 89% mase Sunca, ali samo trećinu njegove jačine sjaja. No uslijed svoje niske temperature treba ona 50% više površine od Sunca, da bi emitirala trećinu Sunčeva zračenja, prema tome je njezin promjer 22% veći od Sunčeva.  $\alpha$  Centauri A i  $\alpha$  Centauri B tvore zajedno vizuelnu dvojnu zvijezdu, koje se obje komponente okrenu jednom jedna oko druge u roku od 80 godina.

Ni jedna od tih komponenata nije jako različita od Sunca, ali je treća zvijezda sistema, *Proxima Centauri*, sasvim različite vrsti. Njezina je boja crvena, a površinska joj je temperatura samo  $3000^{\circ}$ . Ona je gotovo sasvim

tamna, emitira samo deset tisući dio Sunčeva svijetla, a njezin promjer iznosi samo jednu četrnaestinu Sunčeva promjera. Njezina masa nije poznata.

Veličine triju zvijezda tog sistema uspoređene s veličinom Sunca vide se na slici 13.

#### München 15040.

To je jedna jedina slaba zvijezda o kojoj se ne zna mnogo. Njezina je površina crvena, a njezina temperatura ne leži mnogo iznad  $2500^{\circ}$ , pa emitira samo 1/2000 Sunčeva svijetla.

#### Wolf 359.

To je najslabija zvijezda, koja je sada otkrivena, ali se osim toga ne zna mnogo više o njoj. Njezina je boja crvena, a emitira samo 1/50 000 Sunčeva svijetla.

#### Lalande 21185

Druga slaba crvena zvijezda, koja emitira 1/160 Sunčeva svijetla.

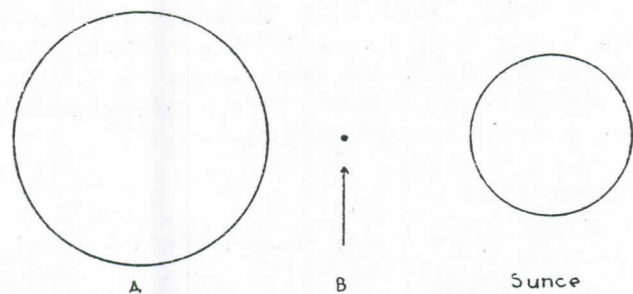
#### Siriusov sistem

Taj se sastoji od dvije vrlo različite zvijezde, a sluti se da mora postojati i treća.

Glavna zvijezda, *Sirius A*, koja je najsjajnije zvijezda na nebu (Pasja zvijezda), bijele je boje i temperaturom površine kojih  $11\,000^{\circ}$ . Budući da je to gotovo dvostruka temperatura Sunca, emitira *Sirius A* po kvadratnom centimetru gotovo 16 puta više zračenja nego Sunce. Jačina njegova sjaja je 24 puta veća od Sunčeve, a to zahtijeva da je njegov promjer za 50% veći od Sunca. On ima oko tri i po puta veći obujam od Sunca, ali samo 2,35 puta njegovu masu, pa tvar u *Siriusu A* nije tako gusto složena kao u Suncu. Kubični metar sadrži na Suncu prosječno 1,42 tone, a na *Siriusu A* tek oko 1 tone.

Slabi pratilac, *Sirius B*, jedna je od najzanimljivijih zvijezda na nebu. On ima gotovo istu boju i isti spek-





Slika 14. Siriusov sistem uspoređen sa Suncem.

tralni tip kao i *Sirius A*, ali emitira tek 1/10 000 svjetla. Uzevši u obzir malu razliku u temperaturi površine, nalazimo da njegova površina iznosi samo 1/3000, a njegov promjer 1/55 primjera *Siriusa A*. *Sirius B* teži samo 0,98 mase Sunca, tako da *Sirius A* teži samo 2,4 puta više od njega, premda ima 160.000 puta veći obujam. Nije *Sirius A* nego *Sirius B* vrijedan pažnje. Prosječna je gustoća tvari *Siriusa B* oko 80.000 puta veća od gustoće vode, jedan kubični centimetar sadrži prosječno oko 80 kg tvari. Slika 14. pokazuje obje komponente *Siriusa* u istom mjerilu kao što su nacrtane veličine na slici 13. Te se komponente okreću jedna oko druge za vrijeme kojih 50 godina, te se njihov raspored u prostoru može usporediti s onim Sunca i Urana.

Nastavljajući dalje u prostor, dolazimo zatim do šest vrlo neznatnih zvijezda:

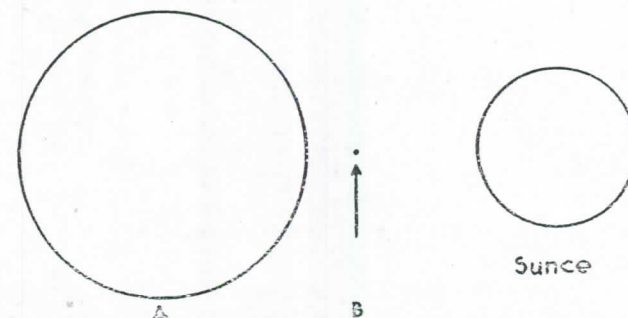
*Ross 248, L 789-6 i Ross 154*. To su tri od najcrvenijih i zato od najhladnijih zvijezda. O njihovim fizikalnim stanjima ne zna se mnogo, osim to što one emitiraju 9000-ćinu, 10000-ćinu i 2000-ćinu Sunčeva svjetla.

$\epsilon$  *Eridani* i  $\tau$  *Ceti*. Dvije sjajnije zvijezde, ali obje još bitno crvenije i hladnije od Sunca; svaka emitira oko trećine Sunčeve svjetlosti. *61 Cygni*. Dvojna zvijezda, kojoj su obje komponente crvenije i hladnije od Sunca, jedna emitira četraestinu, a druga šesnaestinu Sunčeva svjetla. Objе komponente imaju vjerojatno zajedničku masu kojih 1 $\frac{1}{8}$  veću od Sunca a okreću se jedna oko

druge u periodu od kakvih 720 godina, tako da moraju biti među sobom udaljenije nego Sunce i Pluton. Nepravilnosti u kretanju po stazi, (str. 50) upozoravaju da postoji treće tamno tijelo, koje ima tek šesnaestinu Sunčeve mase i okreće se oko jedne od komponenata za vrijeme 4,9 godina. Tako je vrlo vjerojatno *61 Cygni* trojni sistem. Slijedeći dolazi

#### Sistem Procyona.

Dvojni sistem koji je u mnogom pogledu sličan *Siriusu*. Glavna zvijezda, *Procyon A*, pripada istoj općoj vrsti kao i Sunce, no teži 48% više i emitira 6,5 puta više svjetla nego Sunce. Njegova površinska temperatura iznosi oko 7000<sup>0</sup>, a promjer mu je skoro dva puta veći od Sunca.



Slika 15. Sistem Procyona uspoređen sa Suncem.

Slabi pratilac, *Procyon B*, tako je slab, da se o njegovu fizikalnom stanju ništa ne zna, osim da emitira samo 1/2000 Sunčeva svjetla. Njegova je masa 46% Sunčeve mase.

Slika 15. Pokazuje veličine obiju komponenata *Procyona* u istom mjerilu kao i prije. Te se komponente okreću jedna oko druge u roku malo većem od 40 godina.

Slijedeća po redu, kako se udaljujemo od Sunca, dolazi slaba crvena zvijezda  $\epsilon$  *Indi*, koja emitira sedminu



Sunčeva svijetla. Iza nje slijedi sedam vrlo neznatnih zvijezda, sve spektralnog tipa M, tako da je svaka od njih crvenija i slabija od Sunca, a nijedna od njih nema površinsku temperaturu višu od 3400 stupnjeva. Nijedna od njih ne emitira više od 3%, a pet, od njih sedam, emitiraju manje od 160-ine Sunčeva svijetla. Poslije njih dolazimo do

#### Sistema Krüger 60.

To je dvojni sistem u kojem su obje komponente malene, crvene i slabo vidljive.



16. Sistem Krüger uspoređen sa Suncem

Sjajnija komponenta, *Krueger 60 A*, ima površinsku temperaturu od 3200° i emitira  $\frac{1}{660}$  Sunčeva svijetla. Njezin promjer je jedna petina promjera Sunca, a njezina masa četvrtina Sunčeve, tako da je njegova tvar 30 puta gušće zbijena od Sunčeve.

Slabija komponenta *Krueger 60 B*, ima sličnu površinsku temperaturu, ali emitira tek  $\frac{1}{2400}$  Sunčeva svijetla. Njezin je promjer jedna osmina, a masa sedmina mase Sunca, tako da je njezina tvar 70 puta gušće zbijena od Sunčeve. Sistem je prikazan na slici 16. Obje se komponente okrenu jedna oko druge za 44 godine. Prelazeći preko neznatne crvene zvijezde, što emitira tek  $\frac{1}{600}$  Sunčeva svijetla dolazimo do

#### van Maanenove zvijezde

Opet vrlo slaba zvijezda koja ima vrlo visoku površinsku temperaturu od 7000°. Ipak emitira tek  $\frac{1}{6000}$

Sunčeva svijetla. Njezin je promjer tek  $\frac{1}{110}$  Sunčeva promjera, pa je zvijezda manja čak od Zemlje. Njezina je masa nepoznata ali je njezina tvar, kako po svemu izgleda, još gušće zbijena nego u *Siriusu B*.

Slijedeći iza nje dolazi dvojni sistem koji se sastoji od dvije izvanredno crvene i izvanredno slabe komponente od kojih svaka emitira tek 7000-ći dio Sunčeva svijetla. Zatim slijede 4 slabe crvene zvijezde od kojih najsjajnija emitira 150-ti dio Sunčeva svijetla, a onda dolazimo do

#### $\alpha$ Aquilae

Ona emitira devet puta više svijetla od Sunca. To je zvijezda istog općeg tipa i iste spektralne klase kao i *Sirius* ali, koliko je do sada poznato, nije dvojna.

Iza dviju slabijih neizrazitih crvenih zvijezda došli smo od Sunca na daljinu od 16 godina svjetlosti. Možemo ovdje stati. Zvijezde, koje smo nabrojili, pružaju nam uzorak našeg dijela neba; idemo li dalje, dolazimo do predjela, u kojima su poznate sjajnije zvijezde, dok su slabije, barem djelomično, još uvijek nepoznate.

Glavni utisak, koji se stiče kod tog malog skupa zvijezda, jest taj, da je većina zvijezda u prostoru manja, hladnija i slabijeg sjaja od Sunca. Postoje zvijezde, koje su daleko sjajnije od Sunca, ali one su izuzeci, prosječna je zvijezda na nebu mala, slaba i tamna uspoređi li se sa Suncem.

Slično je i kod zvjezdanih masa. Znamo mase svih važnijih i masivnijih između tih zvijezda, izuzevši  $\alpha$  Aquilae, a mase, koje su nepoznate, mogu se odrediti prilično točno izjednačuju li se sa poznatim masama, sličnih zvijezda. Računajući po prilici, izlazi na taj način, da 40 zvijezda (uključujući Sunce), koje leže unutar daljine od 16 godina svjetlosti, imaju zajedničku masu od 20.8 sunaca. Tako je u tom nizu, masa prosječne zvijezde upravo malo veća od polovine Sunca.

Tih 40 zvijezda leži unutar kugle, koja ima promjer od 16 godina svjetlosti i, prema tome, obujam od 17.200 kubnih godina svjetlosti. Prema tome jedna zvijezda nalazi se u svakih 430 kubnih godina svjetlosti —



t. j. jedna zvijezda u svakoj kocki sa stranicom od 7,5 godina svjetlosti —, dok svakih 800 kubnih godina svjetlosti sadrži zvjezdane mase otprilike jednake masi Sunca. Ne znamo koliko treba dodati toj zadnjoj masi za kozmičku prašinu ili plin i za tamne zvijezde, ali je zanimljiv slijedeći račun u svezi s time. Ako uzmemo da je galaksija u obliku sploštenog sferoida, s jednim polumjerom od 60000 godina svjetlosti u galaktičkoj ravnini, a drugim od jedne dvanaestine u pravcu okomitom na galaktičku ravninu, tada je cijeli obujam galaksije oko  $7,5 \times 10^{13}$  kubičnih godina svjetlosti. Budući da je poznato da je cijela masa galaktičkog sistema oko  $1,5 \times 10^{11}$  masa Sunca, onda je tu jedna Sunčana masa na svakih 500 kubičnih godina svjetlosti. Tako je prosječna masa svih vrsta u sistemu znatno veća nego prosječna masa obuhvaćena u zvijezde u neposrednom susjedstvu Sunca; u stvari je 60 postotaka veća. To se može razjasniti pretpostavivši da je tamo veća koncentracija zvijezda i materije općenito u središnjim dijelovima galaksije, ili pretpostavivši da je velik dio mase galaksije doprinos druge materije, a ne one zvijezda.

S tim nizom prosječnog pučanstva neba pred nama možemo nastaviti da raspravljamo o različitim značajkama zvijezda na sistematski način, ne bojeći se spominjanja krajnosti. Počnimo s njihovim masama.

#### Zvjezdane mase

Dvije zvijezde s najmanjom poznatom masom jesu upravo spomenuta slaba komponenta Krüger 60 sa  $1/7$  Sunčeve mase i najslabija komponenta trojnog sustava O<sub>2</sub> Eridani, koje svaka imaju samo petinu Sunčeve mase. No ima tako malo zvijezda, kojima znamo masu, te nije opravdano mišljenje, da su to najmanje mase koje postoje u cijelom zvjezdanom svijetu.

Doista, upravo smo spomenuli treću komponentu 61 Cygni koja, izgleda, ima tek 60-tinu Sunčeve mase, premda je još otvoreno pitanje, da li nju treba smatrati zvijezdom ili planetom.

Općeniti pregled situacije dovodi nas do uvjerenja, da mora biti mnogo zvijezda s još manjom masom, ali ih je vjerojatno vrlo malo s izvanredno malom masom. Vjerojatno ima samo nekoliko zvijezda manje od jedne desetine Sunčeve mase.

Velika većina zvijezda ima masu koja leži između desetine i desetorostruke mase Sunca. Već su zvijezde, koje imaju samo tri puta više od Sunca, vrlo rijetke — nismo našli ni jednu jedinu u našem nizu od 39 zvijezda blizu Zemlje — dok su one s deset puta većom masom vrlo rijetke, vjerojatno ima tek jedna od 100.000 zvijezda deset puta veću masu od Sunca. Još veće mase također postoje — već smo spomenuli Plaskettovu zvijezdu, čije dvije komponente imaju 75 odnosno 63 puta više od Sunca zatim Trümplerova zvijezda mase od kojih 100 Sunaca — ali takvi su slučajevi vrlo, vrlo neobični. Smijemo reći da, uglavnom, mase zvijezda leže na skali koja se proteže od jedne desetine do desetorostruke mase Sunca, a naći ćemo da se zvijezde manje razlikuju masom nego drugim fizikalnim svojstvima.

#### Jačina sjaja

Daleko veću skalu pokazuje, naprimjer, jačina sjaja zvijezda — u njihovoj svjetlosnoj jačini, koja je odmjerenjena prema Sunčevoj svjetlosnoj jačini kao jedinici.

Od zvijezda, kojih je sjaj točno poznat, najslabija je Wolf 359 (str. 179), koja emitira tek jednu 50.000-inu Sunčeva svijetla, premda prethodna mjerenja upućuju, da zvijezda L789-6 može imati tek jednu 300.000-inu Sunčeva sjaja.

Na drugom kraju niza najsjajnije su zvijezde već spomenute »supernove« (str. 62) — pojave, koje silno zasjaju za vrijeme nekoliko mjeseci, a zatim oslabe do beznačajnosti. Najsjajnija supernova, koja je zabilježena, bila je opažena u maglici IC 4182 u augustu 1937; njezin najveći sjaj bio je oko 350 milijuna veći od Sunčeva. Postoji neka nesigurnost u pogledu daljine te maglice, pa je možda malo precijenjeno, ali nema sumnje, da neke supernove sjaju sjajem kojih 150 mi-



lijuna Sunaca. Ne uzimajući u obzir ova i druga povremena rasplamsavanja sjaja, najsjajnija trajna zvijezda možda je *S Doradus*; promjenljiva zvijezda, kojoj je prosječni sjaj najmanje 300.000 Sunaca, a možda i nekoliko puta veći.

Skala se jačine sjaja proteže kao i skala mase na obje strane Sunca gotovo podjednake, te je Sunce, s obzirom na svoju masu, i jačinu sjaja, srednja zvijezda. Ono je srednja zvijezda u tom smislu, što stoji po sredini krajnosti, ali smo vidjeli da ima više zvijezda ispod nego iznad njega, a ne možemo stvoriti ni približnu predodžbu o broju zvijezda koje izbjegavaju našim opažanjima zbog vanredno slabog sjaja.

Usporedi li se s mlom skalom zvjezdanih masa ima skala jačine sjaja silan opseg. Jačina sjaja zvijezde *S Doradus* veća je preko 90 milijardâ puta od jačine sjaja zvijezde *L 789-6*. Kad bi *S Doradus* bila svjetionik, onda bi *Wolf 359* i *L 789-6* bile slabije od male krijesnice, dok bi Sunce bilo obična svijeća — a *supernove* bi bile gradovi u požaru. Kad bi Sunce iznenada zasjalo i emitiralo toliko svijetla i topline kao *S Doradus* porasla bi temperatura Zemlje i svega na njoj na  $7000^{\circ}$ , pa bismo mi i čvrsta Zemlja iščezli kao oblak pare. Kad bi pak, obratno, Sunce emitiralo samo toliko svijetla i topline kao *Wolf 359*, ustanovili bi ljudi na ekvatoru da njihovo novo Sunce u podne šalje tek toliko svijetla i topline kao vatra ugljena četvrt kilometra daleko; mi bismo su ukrtili i smrzi, dok bi nas Zemaljska atmosfera okružila u obliku oceana tekućeg zraka. Koliko sada znamo, ne postoji nikakva mogućnost, da bi se Sunce počelo vladati kao *S Doradus*, ali kasnije ćemo vidjeti da nije posve isključena mogućnost, da će se jednom vladati kao *Wolf 359*.

#### *Površinska temperatura i zračenje.*

Sirius ima najvišu površinsku temperaturu od svih blizih zvijezda; ona iznosi  $11.000^{\circ}$  ili gotovo dva puta više nego temperatura Sunca. Idemo li dalje, nalazimo mnoge zvijezde s mnogo višim površinskim tem-

peraturama. *Plaskettova zvijezda*, na primjer, mora imati temperaturu od  $28.000^{\circ}$ , tri zvijezde O-tipa *Wolf-Rayet* klase<sup>1</sup> temperaturu kojih  $110.000$  i  $95.000(2)^{\circ}$  a *Nova Aquilae* ima temperaturu od  $65.000^{\circ}$ . Mora se ipak priznati da je u svim tim procjenama vrlo visokih temperatura prilično velik element nesigurnosti.

S druge strane, temperature su zvijezdâ do  $2.500^{\circ}$  razmjerno obične. Najniže temperature su ograničene na promjenljive zvijezde crvene divove i to dugoperiodične promjenljive (str. 57), kod kojih je promjena sjaja praćena, a u glavnom, i izazvana promjenom u temperaturi površine zvijezde. Temperatura tih zvijezda može u najnižoj točki dostići  $1650^{\circ}$ , što je samo malo više od temperature obične vatre ugljena. Kod mnogih takvih zvijezda poprimaju promjene temperature jako veliki opseg, ali se temperatura ipak ne spusti toliko, da bi zvijezda postala posve nevidljiva. Ispod  $2500^{\circ}$  se ne spušta ni jedna zvijezda osim dugoperiodičnih promjenljivih, a također one dostižu te niske temperature samo u izvjesnim intervalima. To upozorava na činjenicu, da je broj posve tamnih zvijezda vrlo malen.

Koliko dostiže naše sadanje znanje, temperatura zvjezdanih površina obuhvaća uglavnom skalu od  $60.000^{\circ}$  do  $2.500^{\circ}$ , dok se donja granica kod dugoperiodičnih promjenljivih pri najnižoj temperaturi pomakne do  $1650^{\circ}$ .

Izuzimajući dugoperiodične promjenljive, seže ta skala samo od 24 do 1, tako da su temperature zvijezda jednoličnije nego njihove jačine sjaja ili njihove mase. Moramo se ipak sjetiti da je daleko važnije zračenje neke zvijezde po kvadratnom centimetru nego njezine površinske temperature, a skali površinske temperature, koja seže od 24 do 1, odgovara skala zračenja od 330.000 do 1. Uključimo li i dugoperiodične promjenljive, obuhvaća emisija zračenje po kvadratnom centimetru skalu od 1,750.000 do 1.

<sup>1</sup> To su zvijezde O-tipa, koje namjesto tamnih absorpcijskih linija, kakve se obično opažaju, imaju svijetle linije u spektru.



Izrazimo li emisiju u konjskim snagama zrači Sunce 10 konjskih snaga energije na jedan kvadratni centimetar, dok zvijezda s površinskom temperaturom od  $1650^{\circ}$  daje samo  $\frac{1}{3}$  konjske snage po kvadratnom centimetru, a Plaskettova zvijezda s površinskom temperaturom od  $28.000^{\circ}$  emitira 28.000 konjskih snaga energije po kvadratnom centimetru. Govoreći jednostavnim jezikom značilo bi da svaki kvadratni centimetar te posljednje zvijezde zrači toliko energije, da bi zračenje moglo održati u punoj brzini oceanski brod sat za satom i stoljeće za stoljećem. Energija pak, koju emitira kvadratni centimetar površine zvijezde, čija je temperatura  $70.000^{\circ}$ , još je 40 puta veća — preko 1.000.000 konjskih snaga.

#### Veličina

Četiri zvijezde s najvećim poznatim promjerima su slijedeće:

Zvijezda	(Promjer sunca = 1)	Promjer u kilometrima
Antares . . . . .	450	624,000,000
$\alpha$ Herculis . . . . .	oko 400	554,000,500
$\circ$ Ceti (u maksimumu) . . . . .	300	416,000,000
Betelgeux (maksimalni) . . . . .	355	494,000,000
(minimalni) . . . . .	210	291,000,000

Svi su ti promjeri izmjereni neposredno interferometrom. Prema mjerilu upotrebljenom u crtežima 13 do 16, u kom je Sunce veličine jednog dinara, trebalo bi za predodžbu o Ceti nacrtati kružnicu veliku kao pod prostrane sobe, dok bi druga zvijezda sistema (jer o Ceti je dvojna zvijezda) bila velika kao zrnce pijeska. Možemo sebi predočiti ogromnu veličinu te zvijezde, ako se sjetimo da je svaki njezin promjer veći od promjera Zemljine staze pa, kad bi se Sunce rasteglo do veličine takve zvijezde, mi bismo se našli u njemu.

Te zvijezde moraju biti izvanredno rijetke. Antares, na primjer, zaprema 90 milijuna puta više mjesta nego

Sunce, te bi on težio 90 milijuna puta više od Sunca, kad bi njegova tvar bila isto tako gusto zbijena. U stvari teži on samo 40 do 50 puta više od Sunca, pri čemu razlika između tog broja i 90 milijuna potječe od razlike između gustoće Antaresa i Sunca. Prosječno zaprema tona materije na Suncu nešto manje od jednog kubičnog metra, a na Antaresu zaprema ona više prostora nego unutrašnjost katedrale sv. Pavla u Londonu. Ipak, točan studij unutrašnjosti zvijezda pokazuje da možemo pridati malo važnosti ocjenjivanju prosječnosti te vrsti. Vrlo je vjerojatno da je materija u središtu Antaresa gotovo isto tako gusta (makar ne posve jednako) kao i materija u središtu Sunca (str. 204), pa veliki obujam Antaresa potječe vjerojatno od silno rasprostranjene atmosfere rijetkog plina.

Vjerojatno je *S Doradus* čak i veća. Gapoškin je našao da je ona pomrčinska dvojna (str. 54), i izračunao da njezine komponente imaju najmanje 1400 odnosno 1200 puta veći promjer od Sunca. Veća komponenta druge jedne pomrčinske dvojne zvijezde,  $\epsilon$  Aurigae, izgleda, ima promjer 3000 puta veći od Sunca, dakle oko 4200 milijuna kilometara.

Planetarne maglice treba možda shvatiti kao zvijezde još većeg promjera. Oko jezgre — razmjerno slabe zvijezde s izvanredno visokom površinskom temperaturom — proširuje se magleni omotač, od kojega im je druga polovica njihova nešto nezgodnog imena. Te su maglice, najvjerojatnije, samo atmosfera prostiranja još većeg od one što okružava četiri zvijezde naše tablice. Van Maanen smatra da je promjer maglenastog omotača prstenaste maglice u Liri (slika 2, tabla VI. preko 6 bilijuna km, dok je prosječni promjer 21 maglice, koje je on ispitivao, oko godine svjetlosti ili gotovo 9,5 bilijuna km. Taj se magleni omotač ipak razlikuje od atmosfere obične zvijezde time, što je gotovo posve proziran; možemo gledati kroz bilijune kilometara prstenaste maglice, ali samo nekoliko desetaka ili stotina km u unutrašnjost zvijezde.

Na drugoj je strani skale najmanja zvijezda, van Maanenova zvijezda (str. 182), upravo isto tako velika



kao i Zemlja. Preko milijun takvih zvijezda moglo bi se složiti u Sunce pa da se ne ispuni. A ipak se masa te zvijezde, kako po svemu izgleda, ne može usporediti sa Zemljom, nego sa Suncem; ona navodno teži jednu petinu mase Sunca. Da se zbije petina Sunčeve tvari u globus Zemljina obujma, morala bi tona materije naći mjesta u prostoru male trešnje — oko 0.4 tone moralo bi ući u jedan kubični centimetar. Po čvrstini Zemlje zaključuje se da njezini atomi moraju biti prilično gusto zbijeni, ali atomi u van Maanenovoj zvijezdi moraju biti 66.000 puta gušće zbijeniji.

Kako je to moguće? Kako ćemo ubrzo vidjeti (str. 206), ima na ovo samo jedan razumljiv odgovor. Atom se najvećim dijelom sastoji od praznine — usporedili smo atom ugljika sa šest osa, što zuje na Waterloo-kolodvoru. Rastavit ćemo atom u njegove razne sastavke i složiti ih opet zajedno, što je gušće moguće, pa imamo predodžbu o tom, kako je gusta materija u van Maanenovoj zvijezdi. Šest osa, što lete naokolo po velikom kolodvoru, mogu se ipak složiti u vrlo malu kutijicu.

#### *Divovi i patuljci*

Među navedenim granicama težine, a isto tako temperatura, boje i veličine, leži neprekidni niz zvijezda.

Unutar tih označenih granica mogu vam naći zvijezdu svake težine, svake boje i svake veličine koju zaželite, no to ne znači da ćete vi odrediti i težinu i boju i veličinu zvijezde koju želite, a koju ću vam ja naći; ako bi težina bila točna, ne bi odgovarala boja i t. d. Ako, naprimjer, zapitate za crvenu zvijezdu, mogu vam naći ili vrlo tešku ili vrlo laku, ali nije zgodno da tražite jednu srednje težine. Koliko znamo, crvenih zvijezda srednje težine naprosto nema. Isto to vrijedi i za veličinu — ne postoje crvene zvijezde srednje veličine. Prof. je Hertzsprung iz Leidena ustanovio 1905. da su crvene zvijezde podijeljene u dva razreda strogo odijeljena i karakterizirana velikim i malim opsegom — on ih je nazvao »divovima« i »patuljcima«. Russell, koji je dalje proučavao problem

1913. godine, potvrdio je Hertzsprungove ranije zaključke i istaknuo da se podjela na divove i patuljke proteže i na zvijezde drugih boja.

Zamislimo da imamo niz obojenih ljestava, za svaku boju zvijezda po jednu — crvenu, narančastu i t. d. Uzmemo se sve crvene zvijezde i postavimo se (u mislima) na razne priječke crvene ljestvice. Ipak, ne postavimo se kako god, nego se poredaju prema njihovoj jačini sjaja, tako da one najjačeg sjaja dođu na vrh. Postave se dalje različite zvijezde, ako im je jačina sjaja jednaka, na istu priječku. Da bi poredaj bio potpun, neka svaka priječka ljestvice predstavlja pet puta veću jačinu sjaja od one neposredno ispod nje, tako da je uz svaku priječku vezana određena jačina sjaja<sup>1</sup>.

Ako smo se o tome sporazumjeli, možemo prosljediti dalje. Uzmemo naše crvene zvijezde i postavimo ih svaku na pravu priječku crvene ljestvice, a isto učinimo kod svih ostalih boja. Rezultat se vidi na slici 17, gdje su različite zvijezde predstavljene križićima. Vidi se da crvene zvijezde leže na desnoj strani diagrama, a Hertzsprungova podjela u divove i patuljke jasno se izražava. Narančaste se zvijezde vide na slijedećoj ljestvici prema lijevoj strani, i ovdje se pokazuje podjela, kako ju je našao Russell, samo je manje upadljiva.

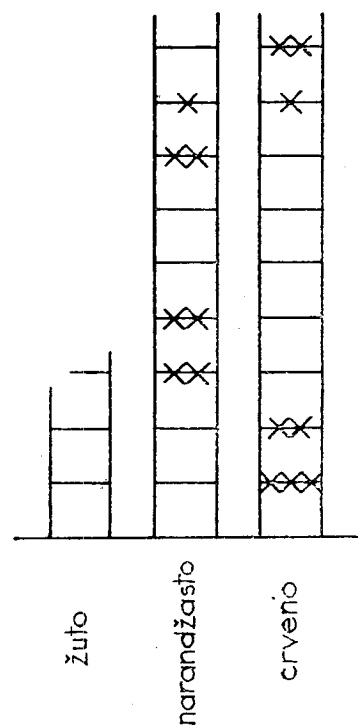
#### *Russellov diagram*

Slične diagrame učinit ćemo za sve boje zvijezda i poredati ih u ispravnom redu jednog za drugim, tako da su zastupane sve moguće boje. Dobijemo onda diagram prikazan na slici 18. (str. 193). Tu vrst diagrama uveo je 1913. godine Russell, pa je sada općenito poznata kao Russellov diagram.

Slova na vrhu diagrama predstavljaju spektralne tipove zvijezda, jer oni pružaju bolju i točniju klasifikaciju nego imena boja. Boje, koje približno odgovaraju

<sup>1</sup> Samo zbog praktičnih razloga nije visina proporcionalna jačini sjaja, nego njezinu logaritmu; bez te doskočice bilo bi nemoguće predočiti skalu od 1000 000 do 1 opaženih jačina sjaja crvenih zvijezda.



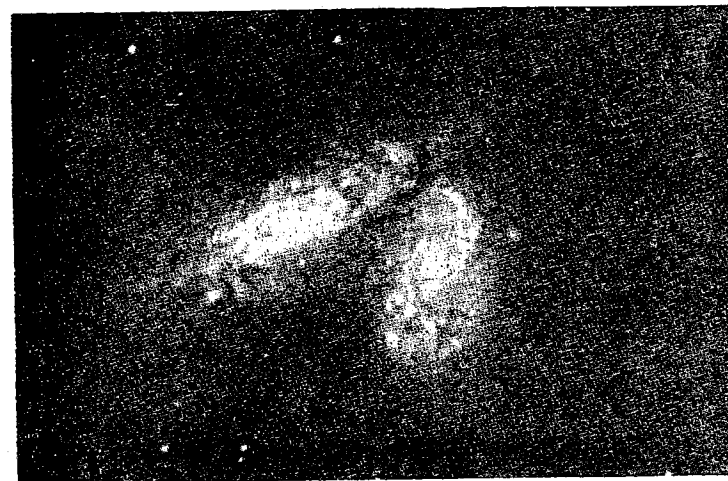


Slika 17. Zvijezde raznih boja poredane prema njihovoj jačini sjaja.

raju raznim spektralnim tipovima, navedene su na donjem kraju diagrama.

Sjaj (jedinica je Sunčev sjaj) je naznačen brojevima na desnom rubu diagrama. Brojevi na lijevom rubu pokazuju odgovarajuće apsolutne veličine. To je tehnički način astronoma za mjerenje sjaja; svaka stepenica od 2,5 veličine predstavlja odnos od 10 prema 1 u jačini sjaja.

Kao primjer navedeno je samo nekoliko zvijezda, no sve se poznate zvijezde skupljaju oko mjesta tih nekoliko značajnih zvijezda. Govoreći općenito, postoje dva određena, ali nepovezana, područja zaposjednuta

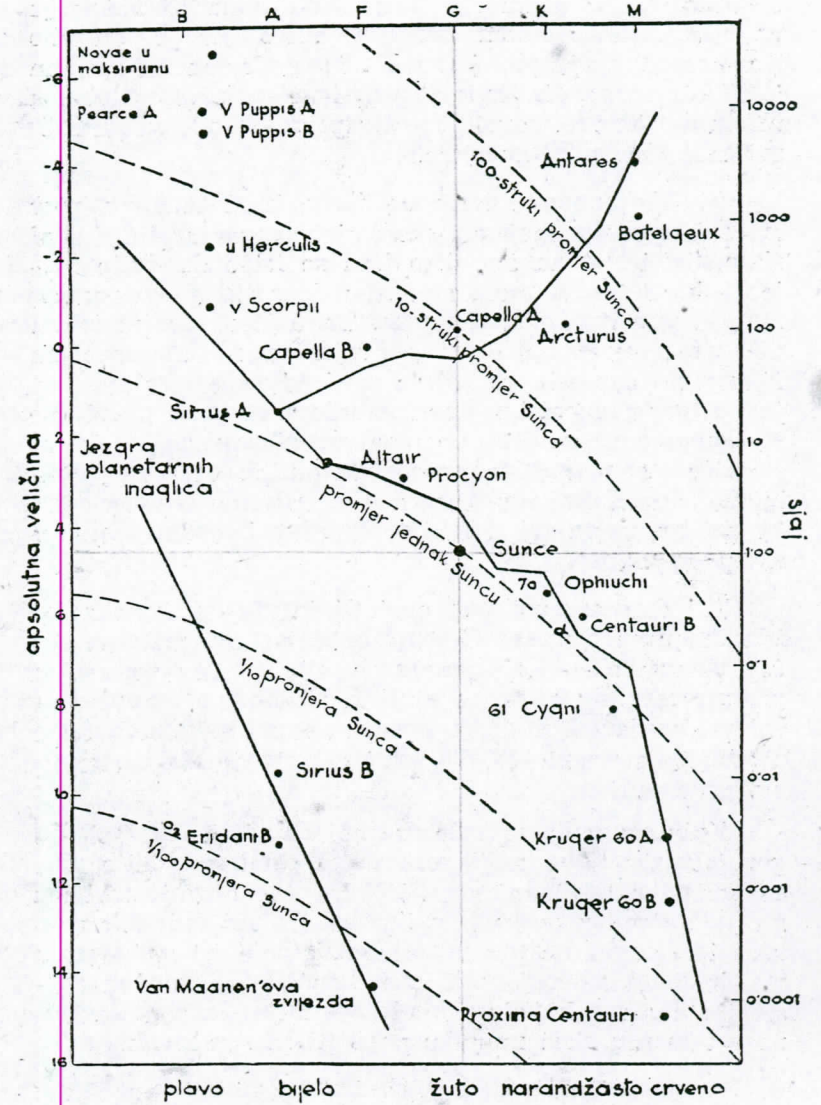


Dvojna maglica N. G. C. 4567-8.



Zvezdarnica Mt. Wilson

Maglica M81 u Vel. Medvjedu.



Slika 18. Russellov diagram.



zvijezdama. Prvo i najvažnije područje oblikovano je kao obrnuto  $\gamma$ . Središnja linija toga područja označena je neprekidnom debelom linijom, kako ju je odredio Redman. Postoji još jedno malo područje u lijevom kutu diagrama. Zvijezde tog područja su vrlo slabe, a imaju daleko više površinske temperature od svih drugih zvijezda slične jačine sjaja.

Vidjeli smo već kako se može izračunati promjer zvijezde po njezinoj površinskoj temperaturi i jačini sjaja. To izlazi na isto kao kad se kaže da dvije zvijezde koje su na istom mjestu u Russellovu diagramu, moraju imati jednaki promjer. Tako je uz svaku točku diagrama vezan određeni promjer, a mi možemo na diagramu nacrtati promjere zvijezda kao što su na jednoj geografskoj karti nadmorske visine predstavljene sistemom slojnica. U ovom se slučaju pokazalo da su slojnice sistem gotovo paralelnih linija. One leže približno onako, kako pokazuju crtkane krivulje na slici 18, pri čemu sve zvijezde, koje leže na istoj liniji, imaju isti promjer.

Taj diagram prilično osvjetljuje opće pitanje zvjezdanih promjera. Odmah opažamo da zvijezde najvećeg promjera — koje imaju sto ili još više puta veći promjer od Sunca — moraju biti nužno crvene zvijezde velike jačine sjaja. I doista, sve su zvijezde, navedene u tablici na strani 188, crvene i vrlo jakog sjaja, one su crveni divovi.

Većinom su zvijezde u pojasu, koji prolazi od gornjeg lijevog ugla diagrama prema desno dolje. Taj se pojas zove »glavni niz«. Položaj tog niza, s obzirom na »slojnice« promjera, pokazuje da zvijezde *glavnog niza* imaju znatne promjere. Najsjajnije od svih imaju možda dvadeset puta veći promjer od Sunca, dok najslabije imaju tek jednu dvadesetinu Sunčeva promjera, no svi se promjeri mogu usporediti sa Sunčevim.

Među zvijezdama u blizini Sunca, koje smo već razmotrili, nalazimo mnoge primjere za zvijezde *glavnog niza*. Tamo imamo poredano po opadajućem sjaju:

Z v i j e z d a	Sjaj (Sjaj i promjer sunca = 1)	Promjer
Sirius A	24	1,50
Procyon A	6,5	1,80
$\alpha$ Centauri A	1,14	1,07
Sunce	1,00	1,00
$\alpha$ Centauri B	0,32	1,22
$\tau$ Ceti	0,32	0,95
$\epsilon$ Indi	0,14	0,82
Krüger 60 A	0,0015	0,20
Krüger 60 B	0,0004	0,12
Wolf 359	0,00002	0,03

Ta tablica zorno pokazuje kako opada sjaj i promjer zvijezda, kad se spuštamo *glavnim nizom*.

Preostale zvijezde na slici 18., one u donjem lijevom uglu, zovu se »bijeli patuljci«. Njihov položaj na diagramu kazuje da su ovi promjeri vanredno maleni.

Osim tri zvijezde koje su u diagramu, sigurno je i slabi pratilac ovisni bijeli patuljak. Izuzevši ove, zna se ili sumnja tek za vrlo malo zvijezda da su bijeli patuljci, ali slabi da ne može biti slabiji, sjaj tih zvijezda vrlo otežava njihovo otkrivanje, pa je vjerojatno da su oni čak prilično česti.

Izgleda sigurno da se i jezgre planetarnih maglica moraju ubrojiti među bijele patuljke. Već smo spomenuli izvanredno visoke površinske temperature tih jezgara. Kad bi zvijezde takvih temperatura ležale u *glavnom nizu*, onda bi mogli očekivati da će njihov sjaj biti par tisuća puta veći od Sunca — proračunato po prilici dovodi čak i do milijun puta većeg sjaja — a u tom bi slučaju njihov slabi prividni sjaj značio da su vrlo daleko.

Van Maanen je ispitao gibanja tih planetarnih maglica u prostoru i zaključio, po brzini njihovih prividnih gibanja, da su one razmjerno blizu i umjerenog sjaja. On smatra da je prosječna daljina 21 maglice, koje je ispitao, otprilike 4500 godina svjetlosti, pa po tomu zaključuje da one nisu znatno jačeg sjaja od Sunca. Istražuje li se sjaj vizuelno, onda se nalazi pro-



sječno deset puta veći od Sunca, a fotografskim metodama i petnaest puta. Svijetlo maglice djeluje jače na fotografsku ploču, budući da je mnogo plavije od običnoga Sunčeva svijetla — otuda razlika u obje procjene.

Spajanjem prosječnog sjaja s poznatim površinskim temperaturama može se lako izračunati da jezgre planetarnih maglica imaju prosječno promjer tek jednu petinu Sunčeva promjera. U isti mah pojava malog sjaja i malog promjera očito označuje te jezgre kao bijele patuljke.

Slijedeća tablica pokazuje jačinu sjaja i promjere predstavnika zvijezda toga razreda:

Zvijezda	Jačina sjaja	Promjer (Sunce kao jedinica)
Jezgre planetarnih maglica	10	0,2
Sirius B	0,0024	0,03
$\alpha$ Eridani B	0,003	0,02
van Maanenova zvijezda	0,00016	0,009

Na tablici na str. 195 navedene su zvijezde *glavnog niza*, poredane po svomu sjaju, ali su u isto vrijeme poredane i po masi. Mase triju zvijezda su nepoznate; a mase ostalih su slijedeće:

Zvijezda	Jačina sjaja (Jačina sjaja i masa Sunca = 1)	Masa
Sirius A	24	2,35
Procyon A	6,5	1,48
$\alpha$ Centauri A	1,14	1,10
Sunce	1,00	1,00
$\alpha$ Centauri B	0,32	0,89
Krüger 60 A	0,0015	0,27
Krüger 60 B	0,0004	0,14

Kao i sjaj, tako stalno opada i masa, spuštamo li se *glavnim nizom*, premda ona ne pada tako brzo kao jačina sjaja.

Jedine zvijezde, kojima možemo neposredno mjeriti masu, jesu komponente dvojnih zvijezda, a tih je raz-

mjerno malo. Seares je ipak našao da se mase dvojnih zvijezda prilagođuju zakonu o jednolikoj raspodjeli energije, koga smo već objasnili u drugom poglavlju, te je vrlo vjerojatno da se i druge zvijezde, koje nisu dvojne, podvrgavaju tom zakonu, jer je teško zamisliti neki uzrok, zbog kojega bi dvojne zvijezde postigle stanje jednolike raspodjele energije prije nego druge zvijezde. Sjetimo se da je to stanje određeno posve statističkim zakonom koji povezuje među sobom mase i brzine kretanja zvijezda, pa činjenica, da je neki sistem zvijezda postigao to stanje, ne daje nikakvih podataka o masi pojedinih zvijezda poznate brzine, ali zakon omogućuje da se odredi prosječna masa zvijezdane skupine po njezinoj prosječnoj brzini gibanja. Na taj način je Seares 1922. odredio prosječne mase zvijezda raznih jačina sjaja i spektralnog tipa — drugim riječima, prosječne mase zvijezda označenih na raznim točkama slike 18. Rezultati tog istraživanja vide se na debelim krivuljama slike 19. Raspored tih krivulja potvrđuje zaključak, koji smo zaključili prema nekoliko izabраниh zvijezda. Masa zvijezda *glavnog niza* stalno opada, kad se spuštamo u nizu od većeg k manjem sjaju.

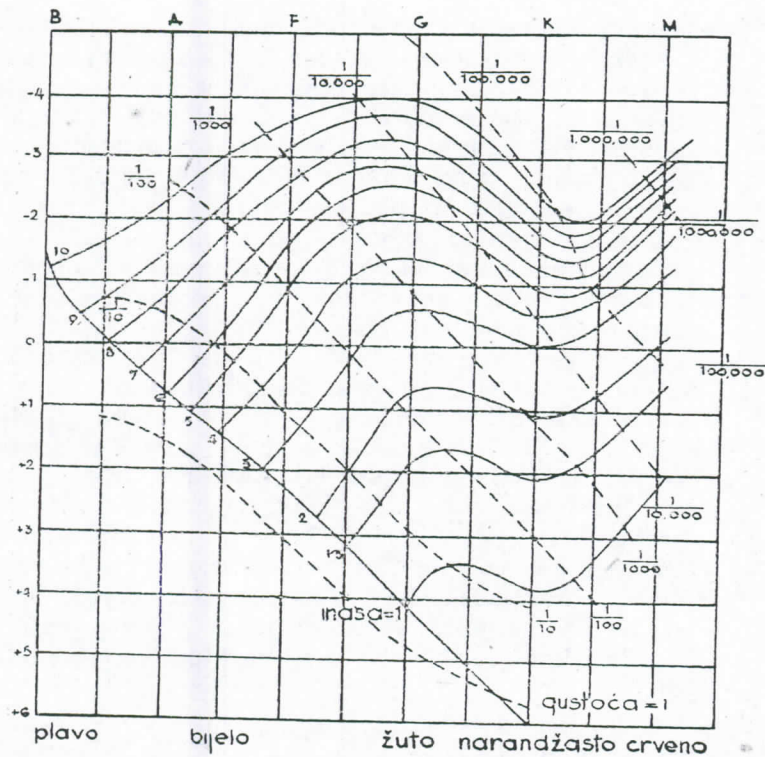
Te krivulje na slici 19. daju prosječnu masu svake zvijezde predstavljene točkom u Russellovu diagramu, dok je promjer već poznat iz slike 18. Prema ta dva podatka može se, naravno, izračunati srednja gustoća zvijezde. Srednje gustoće (prema računu Searesa) prikazane su prekinutim linijama na slici 19.

## FIZIKALNA STANJA ZVIJEZDA

To upotpunjuje našu zbirku materijala opažanja. Došli smo dokle možemo s neposrednim podacima koji se dobivaju izučavanjem vanjskih dijelova zvijezda, a sada se pozivamo na matematičku teoriju, da nas vodi u unutrašnjost zvijezda.

Vidjeli smo kako silna bujica energije zračenja neprestano ističe iz svake točke na površini zvijezde. Zamislimo da slijedimo svaku rijeku energije do njezina





Slika 19. Zvezdane mase u Russellovu diagramu i gustoće po Searesu.

izvora u unutrašnjosti zvijezde. Mogli bismo naći i u svi razni izvori u središtu, ili vrlo blizu njemu, ali su razasuti posvuda po unutrašnjosti zvijezde. U slučaju prevladava općenito pravilo, da energija može teći samo od mjesta s višom prema mjestu nižom temperature, pa ako slijedimo svaku bujicu energije i vodno, moramo nužno prelaziti k sve višim temperaturama. Snažni izljev topline na površini zvijezde dokaz je stepenice u gradijentu temperature unutar zvijezde. Tako snažni izljev energije iz Sunca pokazuje da temperatura mora naglo porasti, kad pređemo sa Sunčeve površine u njegovu unutrašnjost, a taj se porast nastavlja duž

svih 695 kilometara do Sunčeva središta i mora tamo dovesti do vrlo visoke temperature.

Jednostavni matematički poučak, takozvani Poincaréov poučak, pokazao se veoma korisnim pri razmatranju zvijezda, naročito u pitanjima temperature. Teorem je ispravan samo ako se pretpostavi da je zvijezda posvuda sasvim plinovita. Prihvatit ćemo za trenutak tu pretpostavku zbog oportunističkih razloga, jer nam omogućuje najzgodniji put do vanredno teškog problema.

Vidjeli smo kako je Helmholtz mislio da Sunčeva energija zračenja potječe od stezanja Sunca, tako da svaki sloj padne u susjedni unutrašnji, pošto se taj stegao i pretvorio energiju, oslobođenu padom, u svijetlo i toplinu. Može se lako izračunati koliko bi se oslobodilo energije takvim stezanjem. Lord Kelvin je, na primjer, izračunao, da bi stezanje Sunca otkad se ono počelo stezati od neizmjernog opsega do sadanjeg promjera, koji je 1,391.000 km, oslobodilo otprilike toliko energije, koliko Sunce sada emitira za 50 milijuna godina. Izraženo u ergima, oslobodilo bi stezanje Sunca  $6 \times 10^{48}$  erga energije.

Poincaré-ov poučak kazuje da je ukupna energija kretanja svih molekula ili drugih čestica, od kojih je sastavljena plinovita zvijezda, a kreću se neovisno, upravo polovica ukupne energije koju bi zvijezda oslobodila pri stezanju od beskonačno velikog promjera na svoj sadanji opseg. Ispravnost toga poučka uopće ne ovisi o tome, da li se zvijezda doista stezala ili ne; sve ovisi samo o sadanjem stanju zvijezde.

Zanimljiva je posljedica, da je plinovita zvijezda to vruća, što se više stegne. Stegne li se neka zvijezda na polovinu svog sadanjeg opsega, podvostručit će se energija oslobođena od početka stezanja, tako da će se podvostručiti ukupna energija kretanja njezinih molekula, a time i njezina prosječna temperatura, barem dotle, dok ljestvice ostanu jednake. To je posebni slučaj tako zvanog Laneova zakona.

Zadržat ćemo se na posebnom slučaju Sunca i nastaviti naše proračune. Poincaréov poučak kaže da je



ukupna energija kretanja svih molekula ili drugih čestica, ako je Sunce plinovito,  $3 \times 10^{48}$  erga. Dalje želimo znati koliko Sunce sadrži molekula. Sunce teži  $2 \times 10^{33}$  grama, no koliko čestica ima u jednom gramu? Odgovor ovisi, naravno, o vrsti dotičnih čestica. U gramu vodika ima  $3 \times 10^{23}$ , u gramu zraka  $2 \times 10^{22}$ , a u gramu urana samo  $2,51 \times 10^{21}$  molekula.

### Temperatura

Pretpostavimo li da se Sunce sastoji od zraka, moralo bi se ono sastojati od  $4 \times 10^{55}$  molekula, a budući da ukupna energija kretanja svih tih molekula iznosi  $3 \times 10^{48}$  erga, mora biti prosječna energija kretanja svake molekule  $7,5 \times 10^{-8}$  erga. No ta bi energija bila postignuta tek pri temperaturi od 375 milijuna stupnjeva, tako da bi to morala biti *prosječna temperatura unutrašnjosti* Sunca, kad bi se ono sastojalo od zraka.

Emden je našao 1907. godine drugim računom, da bi, u slučaju da se Sunce sastoji od zraka, *temperatura u njegovu središtu* iznosila 455 milijuna stupnjeva. Ne obazirući se na pojedinosti jasno je da bi temperatura unutrašnjosti Sunca, koje bi se sastojalo od zraka, morala iznositi na stotine milijuna stupnjeva.

Ipak taj rezultat konačno pokazuje da Sunce ne može biti sastavljeno od zraka. Jednostavni račun one vrsti, koja je prikazana na strani 148, pokazuje da bi kvanti zračenja, koji pri toj temperaturi lete naokolo, imali dovoljno energije, ne samo da molekule zraka razbiju u atome, nego i da sve, ili gotovo sve, elektrone izbiju iz atoma. Pri toj bi se temperaturi svaki molekul zraka raspao na jezgru i elektrone, baš kao što se za vrućeg dana komad leda raspada u svoje molekule. Električne sile, koje u mirnijoj okolini mogu ujediniti jezgre i elektrone u atome i onda u potpune molekule, nemoćne su prema neprestanoj tuči strahovito jureće tanadi i pod razmrskavajućim udarcima snažnih kvanta energije. Mogla bi se isto tako sagraditi kula od karata u vihoru. Sunce izgrađeno od molekula zraka prema tome je nemogućnost, protivurjeđe. Naša se hipoteza sama oborila, pa moramo početi iznova.

### Ionizacija.

Ustanovili smo već kako razni tipovi zvjezdanih spektara uglavnom odgovaraju raznim temperaturama. Razlike u pritisku, gustoći i kemijskim spojevima moraju također izazvati razlike u zvjezdanim spektrima, ali su one malene, usporede li se s onima, izazvanim razlikama u temperaturi. Sada kako god prelazimo niže — t. j. od površine unutra — u zvijezdi, prolazimo stvarno kroz slojeve različitih temperatura. Uzorci tvari, uzeti iz tih slojeva, pokazivali bi različite spektre, a prilično bi se dobro slagali s raznim tipovima zvjezdanih spektara.

Tako moraju razni spektri zvijezda pružati grafičku predodžbu raznih slojeva jedne te iste zvijezde — Sunčeva površina s temperaturom  $6000^{\circ}$  pokazuje spektar G-tipa; nešto dublje ležeći sloj, u kojem je temperatura od  $7500^{\circ}$ , mora pokazivati spektar F-tipa, a još dublji slojevi redom spektre A-, B- i O-tipa. Prođemo li redom razne spektralne tipove, od najhladnijih do najtoplijih, nalazimo sve jače razbijanje atoma. U M-spektrima, koji odgovaraju najnižim temperaturama, opaža se prisustvo potpunih molekula, kao na pr. titanov oksid ili magnezijev hidrid. Pri višim temperaturama nestaju potpune molekule i zato srećemo potpune atome, zatim »jedan put ionizirane« atome, kojima nedostaju dva elektrona. U najtoplijim se zvijezdama općenito nalazi, da su atomi silicija i kisika dva puta ionizirani. U još toplijim jezgrama maglica ioniziran je neon dva puta. Nema sumnje, da bi spektri tvari na još višoj temperaturi pokazali još veći stupanj ionizacije.

Po tomu zaključujemo, da prodirući u unutrašnjost Sunca, ili bilo koje zvijezde, nailazimo na sve jači stupanj ionizacije. Grubi račun pokazuje kao prvu dovoljnu aproksimaciju (koju tek treba dokazati, da je i nužna), da vrućina zvjezdanog središta razbija sve molekule i atome potpuno ili gotovo potpuno u njihove sastavne dijelove, jezgre i elektrone. Isto to vrijedi za sve druge zvijezde, a to znači da je problem izgradnje unutrašnjosti zvijezda izvanredno pojednostavljen.



Ne možemo reći koliko ima jedan gram potpunih molekula, ako ne znamo vrst molekula, ali čim su jedan put molekule razbijene u svoje razne sastavne dijelove, odmah znamo ukupni broj sastavnih dijelova, a da nam nije poznat sastav tvari zvijezda. To je moguće zbog okolnosti što su atomne težine svih elemenata, osim vodika, približno dva put veće od njihova atomnog broja (strana 122.). Broj jezgara u razbijenoj materiji bit će mali prema broju elektrona za sve tvari, izuzevši najlakše, kao vodik i helij. Pustimo ih dakle. Tada nalazimo da je broj čestica svakog atoma jednak atomnom broju atoma i, prema tome, jednak polovini atomske težine tvari. To znači da je prosječna masa svih čestica oko 2, kolika je masa molekule vodika; vidimo da je broj čestica bilo koje mase približno isti kao da bi se masa sastojala od molekula vodika.

Atomni je broj kisika, na primjer, 8, a atomna težina 16. Tada će potpuno razbijen atom kisika sadržati 9 čestica — jezgru i 8 elektrona — koje se nezavisno kreću a efektivna molekularna težina materije bit će 16/9, što je skoro 2. Kako ćemo kasnije vidjeti, može biti ispravnije pretpostaviti da unutarnja, ili K-ljuska od dva elektrona, ostaje vezana uz jezgru; u tom slučaju bio bi broj djelića samo 7, a efektivna molekularna težina 16/7, što je opet blizu 2.

Isto vrijedi, mijenjajući stupanj točnosti, i za druge elemente. Vodik i helij su iznimke, budući da su njihove efektivne molekularne težine, kad su potpuno razbijeni, tek 1/2 i 4/3; tu, naravno, broj jezgara nije malen prema broju elektrona. Izuzevši vodik i helij, najlakši atom, koga ima u izobilju u zvijezdama, jest ugljik, s atomnim brojem 6 i atomnom težinom 12. Tada je efektivna molekularna težina potpuno razbijenog ugljika 1,71, ili ako ostane K-ljuska, 2,4; a oba su broja blizu 2. Najteži atom, koga ima dosta u zvijezdama, je željezo atomnog broja 26 i atomne težine 56; za njega su odgovarajući brojevi 2,08 i 2,24. Došli smo do paradoksnog (protuslovnog) zaključka: ako je zvjezdana materija vodik, ona se vlada vrlo različito od zemaljskog vodika; ako nije

vodik, ona se vlada kao zemaljski vodik — t. j. kao vodik u potpunim molekulama.

Tako, vraćajući se već datom računu, vidimo: ako zvijezda ne sadrži velike množine vodika ili helija, tada u jednom gramu potpuno razbijene zvjezdane materije mora biti oko  $3 \times 10^{23}$  sastavnih djelića, posve svejedno koje je vrsti molekula od koje potječu te čestice. Ali ako znamo ukupni broj čestica u jednoj zvijezdi, lako je izračunati temperaturu unutrašnjosti zvijezde, bilo prema Poincaréovu poučku, bilo na neki drugi način. Temperatura će biti ista kao kad se zvijezda sastoji od razbijenih vodikovih molekula.

Emden je 1907 godine izračunao da bi temperatura središta takvog Sunca iznosila oko 31,5 milijuna stupnjeva. Kasnija i profinjenija izračunavanja Eddingtona i drugih dovela su do gotovo istog rezultata.

Vidjeli smo, na drugoj strani, da se atmosfera Sunca i zvijezda sastoji uglavnom od vodika, te je barem moguće da se i njihova unutrašnjost sastoji u znatnoj mjeri od vodika. Tek u krajnjem slučaju, pretpostavi li se da se Sunce u svom svojem obujmu sastoji posve, ili gotovo posve, od vodika morali bi sve prijašnje procjene podijeliti sa četiri, pa tada imamo da je unutrašnja temperatura oko 8,000.000°.

Uzevši u račun sva primjenljiva razmišljanja, ta je temperatura, čini se, oko 20,000.000 stupnjeva. Takva temperatura nadmašuje naše iskustvo toliko, da je teško predstaviti što ona znači. Održati komad obične materije, velik kao glavica pribadače, na temperaturi od 20,000.000 stupnjeva — to jest samo nadoknađavati energiju, koju gubi zračenjem na svojoj površini, — iziskivalo bi svu energiju koju daje stroj od sto bilijuna konjskih snaga; materija glavice pribadače emitirala bi dovoljno topline, da ubije svakog, tko bi se usudio prići na daljinu od 160 kilometara.

Koliko god je visoka ta temperatura, račun pokazuje, da ne bi bila dovoljna, da potpuno razbije zvjezdane molekule. Ona bi izbila iz atoma sve elektrone do K-ljuske (str. 146), no ta bi ostala neoštećena. Potrebne su još više temperature, da bi se elektroni K-ljuske odvojili od



jezgre atoma. To vrijedi za cijelu skalu temperature unutar koje leži, vjerojatno, temperatura Sunčeva središta a vrijedi nezavisno o atomnoj težini ili atomnom broju atoma od kojih se, po našem mišljenju, sastoji Sunce.

Tako moramo pretpostaviti da se središnji dijelovi Sunca sastoje od atoma, kojima su oteti njihovi elektroni do K-ljuske, ali ne više, leteći manje ili više neovisno kao molekule nekog plina, a isto tako neovisno lete s njima i izbijeni elektroni, što su ranije sačinjavali L-ljusku, M-ljusku i t. d. atoma, pri čemu sve to zajedno ima temperaturu oko 20 milijuna stupnjeva. Idemo li prema površini Sunca, dolazimo do nižih temperatura pri kojima nisu atomi tako potpuno ionizirani. Konačno možemo u blizini površine Sunca sresti atome, koji su potpuni, osim jednog ili dva izvanjska elektrona, pa čak i potpune molekule; mnoge su od njih od tvari neobičnih na Zemlji, kao CN, CH, NH, OH, TiO, AlH i AlO, BO i SiF.

Ispita li se na isti način unutarnje stanje drugih zvijezda, nalazi se da sve zvijezde *glavnog niza* imaju otprilike istu temperaturu u središtu kao i Sunce.

Stvarno one sežu oko 20,000.000 stupnjeva za Sunce i zvijezde bliske njemu na *glavnom nizu* do kojih 30,000.000 stupnjeva za najsajnije poznate zvijezde *glavnog niza* Tako razlika u jačini sjaja od stotine tisuća odgovara razlici od 1,5 u temperaturama središta.

To u ostalom nije jedino zajedničko svojstvo. Na slici 19. (str. 198), koja pokazuje srednju gustoću zvijezda po Searesovim računima, vidi se da su sve srednje gustoće zvijezda *glavnog niza* približno jednake, osim razmjerno neznatnih razlikovanja na krajevima.

Srednja gustoća Sunca je 1,4, a to znači da kubični metar Sunca sadrži prosječno 1,4 tona materije. U Sunčevu središtu je gustoća 70 puta veća, tako da bi tamo u kubični metar stalo 100 tona materije. Za usporedbu spomenimo da kubični metar olova sadrži samo 11 tona. Kad bi sve zvijezde bile izgrađene po istom modelu kao i Sunce, tada bi dvije zvijezde, koje imaju istu srednju gustoću, također imale istu gustoću u središtu. No kod zvijezda, koje su nekoliko puta teže od Sunca, javlja se

u igri još jedan novi faktor, naime pritisak zračenja — pritisak koji vrši zračenje zbog svoje mase. Kod većine je zvijezda taj pritisak neznatan, usporedi li se s pritiskom od tvornih atoma i elektrona, no u vrlo masivnim zvijezdama on je dovoljno velik, te utječe na strukturu zvijezde. Tom utjecaju zahvaljuju vrlo masivne zvijezde, čije smo promjere naveli u tablici na strani 188, svoj izvanredno velik opseg. Posljedica je pritiska zračenja, da je težina vrlo masivne zvijezde mnogo više koncentrirana u središtu, nego koje laganije zvijezde te, kad jedna lagana i jedna masivna zvijezda imaju istu prosječnu gustoću potonja ima mnogo veću gustoću u svom središtu. Uzme li se u obzir taj faktor poremećaja, nalazi se da sve zvijezde u gornjem dijelu *glavnog niza* imaju u središnjim dijelovima približno istu gustoću, gustoću koja je gotovo jednaka gustoći središta Sunca, procijenjenoj 100 tona za kubični metar. Vidjeli smo već da središnji dijelovi tih zvijezda imaju i približno iste temperature kao i središte Sunca, pa otuda slijedi da su njihova fizikalna stanja u bitnosti jednaka. Zato moraju atomi u središnjim dijelovima svih tih zvijezda biti jednako ionizirani kao i atomi u središnjim dijelovima Sunca. K-ljuske elektrona ostaju neoštećene, ali su vanjske ljuske pretvorene u tuču elektrona, koji lete neovisno naokolo kao molekule nekog plina.

Može se pretpostaviti dovoljno točno u našu svrhu, da se sve zvijezde *glavnog niza*, izuzevši možda one na skrajnjem donjem dijelu, nalaze u istim fizikalnim stanjima. Zbog toga svojstva čini *glavni niz* zgodnu osnovicu s koje možemo premjeriti Russellov diagram obzirom na fizikalna stanja unutrašnjosti zvijezda.

Na slici 18. opažamo da zvijezda na desno od *glavnog niza* u Russellovu diagramu ima veći promjer od isto tako teške zvijezde *glavnog niza*; prema tome je energija, koju je oslobodila pri svom stezanju na sadanji promjer, manja, a zato je i njezina molekularna energija kretanja manja (prema Poincaré-ovu poučku). Slijedi da su njezine temperature u unutrašnjosti niže, a njezini atomi nisu tako potpuno ionizirani. Računi pokazuju da crveni divovi kao Antares imaju tempera-



turu središta visoku do 5 milijuna stupnjeva, a njihovi su atomi sačuvali neoštećenu ne samo K-ljusku, nego također L-ljusku i barem dio M-ljuske.

Na lijevoj strani *glavnog niza* dolazimo do područja, u kojem su se zvijezde, ukoliko ih tamo ima, i ukoliko se može pretpostaviti da su plinovite, još više stegnule i pri tome postigle višu temperaturu, te imaju potpunije ionizirane atome. No u stvari, tamo ne susrećemo nikakve zvijezde, dok ne dođemo do bijelih patuljaka, a tu jamačno ima razloga, da se zvjezdana materija nikako ne smatra plinovitom, pa čak ni približno.

Srednja gustoća *Siriusa B* je oko 80.000 puta veća od vode. dok van Maanenova zvijezda ima, vjerojatno, srednju gustoću iznad 300.000. Tako se gusto može zbiti materija samo kad su atomi do jezgre ogoljeni od elektrona. Izuzevši manji broj atoma, koji su možda izbjegli toj općoj sudbini, mora se materija tih zvijezda sastojati od potpuno ogoljelih jezgara i razriješenih elektrona koji slobodno jure po zvijezdi.

#### USTROJSTVO ZVIJEZDA

Zvijezda bi se, baš kao i kuća ili hrpa pijeska, srušila zbog svoje vlastite težine, kad ne bi svaki sloj bio poduprt protiv sile teže pritiskom što ga na nj vrši sloj ispod njega. Taj pritisak nije, kao obični pritisak plina, rezultat udaraca potpunih molekula. On je djelomice izazvan udaranjem izvjesnog broja atoma, kojima su svi, ili gotovo svi, elektroni izbačeni, a većim djelom udarcima tuče slobodnih elektrona. U masivnim zvijezdama dolazi k tome još i pritisak zračenja koje ima, kako smo vidjeli, masu i vrši pritisak na svaku zapreku na koju naiđe. Zajednički pritisak slobodnih elektrona atoma (ili golih jezgara) i zračenja sprečava da se zvijezda ne sruši zbog svoga vlastitoga gravitacionog privlačenja.

To daje približno dobru trenutnu sliku ustrojstva zvijezde. Odgovarajuća slika njezina mehanizma postizava se tako, da se jezgre predoče kao  $\alpha$ -čestice, slobodni elektroni kao  $\beta$ -čestice, a zračenje kao  $\gamma$ -zrake (premda u

većini zvijezda glavnina zračenja ima valnu dužinu röntgenskih zraka). Sve to putuje kroz zvijezde, i baš kao kod rada u laboratoriju,  $\beta$ -zrake su prodornije od  $\alpha$ -zraka, a  $\gamma$ -zrake su najprodornije.

#### Prenošenje energije u zvijezdi

Vidjeli smo kako je toplina plina samo energija kretanja njegovih molekula. Prenašanje topline u plinu proučava se obično tako, da se svaka molekula smatra nosiocem energije. Sukobi li se ona s drugom molekulom, razdijeli se energija sudarenih molekula na obe, pa se na taj način prenosi toplina s toplijeg na hladnije područje. Svaka molekula ima svoju sposobnost prenašanja, koja je razmjerna njezinoj energiji kretanja, njezinoj brzini kretanja i njezinoj »slobodnoj dužini puta« — razmaku koji ona proleti u vremenu između dva sudara.

U unutrašnjosti zvijezde djeluju trovrzni nosioci — atomi (ili gole jezgre), slobodni elektroni i zračenje. Možemo usporediti njihove relativne sposobnosti, kao prenosilaca, ako pomnožimo energiju, brzinu i »slobodnu dužinu puta« svakoga pojedinoga. U tu svrhu može se kao »slobodna dužina puta« zračenja smatrati dužina koju proleti zračenje prije nego je 63% absorpirano, jer se može pokazati da je to prosječna dužina, koliko ono nosi svoju energiju. Provede li se taj račun, nađe se da je sposobnost prenošenja i jezgara i elektrona posve beznačajna uspoređi li se sa zračenjem. Jezgre i elektroni mogu nositi veću količinu energije, ali zbog njihove slabije prodorne moći daljina je, na kojoj je oni prenose, njihova slobodna dužina puta, mnogo manja od one kod zračenja. I njihova brzina kretanja je manja, budući da zračenje prenosi svoju energiju brzinom svjetlosti. Na taj način proizlazi da se cijelo prenošenje energije iz unutrašnjosti zvijezde na njezinu površinu praktički vrši zračenjem.

Postoje dva izuzetka u tom općem zaključku. Prvo, Kothari je pokazao da su elektroni najdjelotvorniji nosioci energije u zvijezdama vrlo velike gustoće, kao što su, na primjer, bijeli patuljci. Drugo, Cowling je iznio



razloge za tvrdnju, da postoji mali središnji predio u većini zvijezda, u kojem se energija prenosi uglavnom konvekcijom, — to jest vrtlozima zvijezdane materije, koja se diže i spušta i na taj način se zvijezdana tvar trajno miješa u predjelu, o kome je riječ, kao što vjetrovi održavaju zemljinu atmosferu izmiješanom u konvektivnim slojevima.

Osim tih izuzetnih slučajeva, zračenje potpuno nadmašuje atome i elektrone u prenošenju energije iz unutrašnjosti zvijezde prema površini; slijedi da građa zvijezde mora biti određena prozračnošću tvari u njezinoj unutrašnjosti. Ako se dotična izmijeni, izmijeni se i moć nosivosti zračenja, a ta djeluje na cijelo ustrojstvo zvijezde. Zvijezda, kojoj bi unutrašnjost bila potpuno prozirna, ne bi mogla zadržavati nikakvu toplinu uopće; njezina bi cijela unutrašnjost bila na vrlo niskoj temperaturi i zvijezda bi se izvanredno raširila. Na drugoj strani, u vrlo neprozirnoj zvijezdi sva bi energija ostala skupljena na mjestu, gdje je nastala, te bi temperatura unutrašnjosti postala vrlo visoka, a promjer zvijezde bio bi prema tome malen. Srednji je slučaj, naravno, praktično značajan, ali ti krajni primjeri, upravo navedeni, pokazuju kako ustrojstvo zvijezde ovisi o njezinoj prozirnosti.

Na nesreću nemoguće je neposredno mjeriti neprozirnost materije zvijezda. Ne možemo mjeriti čak ni absorpcionu moć zemaljske materije pod uvjetima koji vladaju na zvijezdama, budući da je u unutrašnjosti zvijezda nesrazmjerno viša temperatura nego što je mi možemo postići u laboratoriju. Znamo, ipak, da neprozirnost zvijezdane materije ovisi o atomima, jezgrama i slobodnim elektronima, od kojih je ona sastavljena, a koji sprječavaju prodiranje zračenja na površinu; premda nismo mogli izvršiti nikakve probe zvijezdane materije, ipak znamo, prilično točno, koliko bi takva proba sadržavala atoma, jezgara i elektrona. Na taj se način može teoretski izračunati neprozirnost zvijezdane materije.

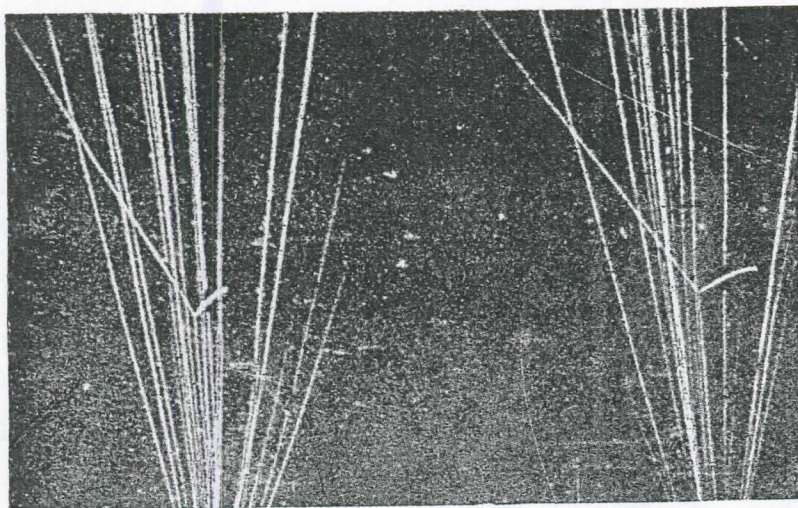
Takav je račun proveo Kramer u Kopenhagenu 1923. godine, pa su njegovi rezultati, s malim izmjenama,



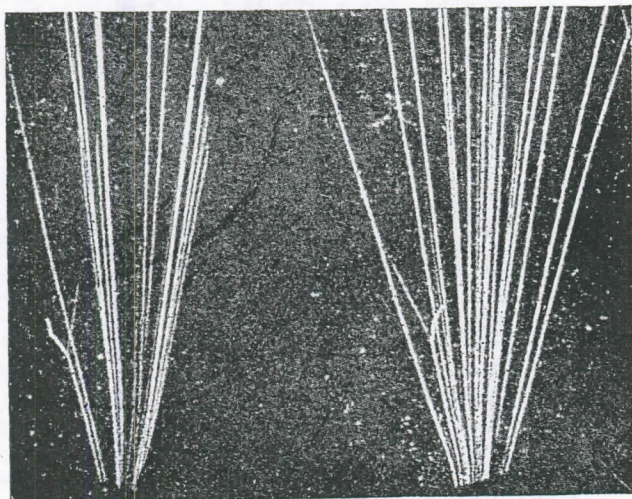
C. T. R. Wilson.

Tragovi  $\alpha$ - i  $\beta$ -čestica.





Slika 1.



Slika 2.

P. M. S. Blackett

Sudari  $\alpha$ -čestica s atomima dušika.

Na slici 1.  $\alpha$ -čestica samo se odbija od atoma dušika. Na slici 2. ona izbija proton i spaja se s atomom.

općenito primljeni. Oni se mogu primijeniti na zemaljske i zvjezdane uvjete i, koliko se ti rezultati mogu provjeriti u laboratoriju, podudaraju se lijepo s opažanjima pa, premda između odnosa u laboratoriju i onih na zvjezdama postoji veliki jaz, ipak je teško shvatiti da bi Kramerova formula zatajila što se tiče zvijezda.

Prema toj formuli možemo potpuno odrediti izgradnju zvijezde ili, ako uzmemo izgradnju zvijezde kao poznatu, Kramerova nam formula kaže u kojoj mjeri teče energija k površini, (budući da to sasvim ovisi o prozirnosti zvjezdane tvari), a po tomu opet saznajemo u kojoj se mjeri stvara energija u nutarnjosti zvijezde, da bi se održala ravnoteža s odgovarajućom veličinom toka energije.

Sada je moguće izračunati način, kako ovisi sjaj zvijezde o masi i promjeru zvijezde. To nam opet pruža tumačenje činjenice, već spomenute na str. 52, da se dvije zvijezde obično mnogo više razlikuju u sjaju nego u masi; mala razlika u masi uzrokuje često veliku razliku u sjaju. Uzimajući izvjesne pretpostavke o uvjetima u zvjezdanoj unutrašnjosti, Eddington je bio kadar izračunati teoretski odnos između mase i sjaja zvijezda, i to se je pronašlo kao prilično ispravno, barem za zvijezde *glavnog niza* — u toj mjeri, da se prigodice upotrebljavalo za procjenu mase zvijezde, čiji je sjaj bio poznat. Odnos je općenito poznat kao »zakon mase i sjaja«; a izražen je nešto zamršenijom formulom, ali se ona može zamijeniti, bez ikakvog gubitka na točnosti, tvrdjenjem, da je sjaj zvijezde srazmjeran kubusu njezine mase — ako jedna zvijezda ima dva puta veću masu od druge, imat će osam puta veći sjaj, i tako dalje.

Razmotrimo najprije zvijezdu, čija je tvar tako labavo složena, da se elektroni i razbijeni atomi kreću slobodno kao u idealnom plinu, da se sudari rijetko događaju, a razmak je između elektrona i susjednih razbijenih atoma velik prema njihovoj veličini. To se stanje može prikladno označiti kao »plinovito«, budući da se unutrašnjost zvijezde vlada kao plin, pri čemu elektroni i razbijeni atomi nadomještaju molekule običnog plina.



Po Kramerovoj teoriji ovisi absorpciona moć materije o atomnim brojevima i atomnoj težini atoma koji je sačinjavaju, pri čemu velika hrpa materije u obliku masivne atomske jezgre absorpira mnogo djelotvornije zračenje nego veliki broj malih hrpica iste težine. Na Zemlji se svakog dana osvjedočavamo da je tako. Zbog toga izabiru fizičari i liječnici za materijal, kojim oklopljavaju svoje röntgenske aparate, olovo, jer su pronašli, da tona olova mnogo djelotvornije zadržava neželjene röntgenske zrake nego tona drveta ili željeza. Znademo li jačinu röntgenskog aparata i ukupnu težinu zaštitnog materijala, što ga okružuje, možemo prilično točno izračunati atomnu težinu zaštitnog materijala mjerenjem röntgenskog zračenja što je prošlo kroza nj.

Slična se metoda može primijeniti, da bi se odredila atomna težina atomâ koji sastavljaju zvijezde. Zvijezda je stvarno samo jedan veliki röntgenski aparat. Znamo težinu mnogih zvijezda, a iznos, u kojem proizvode röntgenske zrake, iznos je u kojem zrače energiju u prostor. Razrežemo li svaku atomsku jezgru neke zvijezde u dvije polovice, raspolovili bismo absorpciju zvijezde, te bi zračenje prolazilo dva puta duže kroz zvijezdu prije nego što se absorpira. Kad bi zvijezda bila posve plinovita, bio bi njezin prvotni promjer zato četiri puta veći, a površinska bi joj temperatura pala na polovinu. Iz toga slijedi da možemo izračunati atomne težine atoma, od kojih je zvijezda sastavljena, po težini, jačini sjaja i površinskoj temperaturi zvijezde.

Ostanemo li pri mišljenju, da se zvijezda, uglavnom, ne sastoji od vodika, uz pretpostavku, da su zvijezde posve plinovite, dobivamo da su atomne težine izvjesnog broja zvijezda u svakom slučaju veće od urana, najtežeg atoma što ga na Zemlji znamo. One se ne dobiju samo veće nego mnogo veće, toliko velike da je to posve nevjerovatno.

Podemo li s druge strane od pretpostavke, da se zvijezdana tvar sastoji najvećim dijelom od vodika, tada se dobije drugo rješenje, koje traži da se barem neke zvijezde moraju sastojati gotovo isključivo od vodika. To može izgledati nevjerovatno, ali se ne mora smatrati

besmislenim, jer se jedina zvjezdana tvar, koju sigurno znamo — naime atmosfera Sunca i zvijezda — sastoji, kako znamo po iskustvu, gotovo isključivo od vodika.

Moramo se složiti u zaključku, da se zvijezde sastoje pretežno od vodika. Strömngren i Eddington su našli da se sve činjenice mogu dovesti u sklad, pretpostavljajući da zvijezde *glavnog niza* sadrže jednu trećinu, ili više, vodika. Kod Sunca će navjerovatniji odnos biti oko 35%, premda bi za divovske plave zvijezde na vrhu *glavnog niza* odnos mogao biti 80%. Naše znanje o sastavu neplinovitih bijelih patuljaka manje je određeno, ali se čini izvjesnim da ni njihova sadržina vodika u najmanju ruku nije neznatna.

## RAZVOJ ZVIJEZDA

Kasnije (str. 231) ćemo biti navedeni na mišljenje, da su zvijezde nastale od mrlja plinovitog pramena, koji izbacuju kružeće maglice, i da su otpočele svoje vlastito postojanje kao zgušćenje u vanjskim okrajcima spiralnih maglica. Ta su zgušćavanja mogla, prema načinu postanka, imati sve moguće oblike i veličine i biti podvrgnuta samo jednom ograničenju, da nijedno od njih nije moglo nastati manje od određene granične mase. Sva su imala zajedničko svojstvo, a to je da su bila vrlo rijetka i njihova se gustoća mogla usporediti sa gustoćom same maglice.

Pokušat ćemo ocrtati niz promjena koje bi se dalje zbivale pod utjecajem prirodnih sila.

Kad bi Sunce zračilo u sadašnjoj mjeri kroz život od 3 milijarde godina, ono bi izgubilo 5000-ći dio svoje mase u obliku zračenja. Tako mali gubitak neznatan je u svrhu naše sadašnje rasprave, pa možemo slobodno pretpostaviti da je Sunce zadržalo jednaku masu za vrijeme svega svoga postojanja. Vraćajući se diagramu na strani 198, vidimo da je Sunce u svakom periodu svog života moralo zauzimati položaj negdje na liniji označenoj »masa=1«. Mora biti dakle moguće prikazati sve promjene što ih je Sunce prošlo krećući se po toj liniji, a naravno i po neobilježenom dijelu koji leži na lijevo od *glavnog niza*.



Jednako je i sa zvijezdama uopće; jedino mogući smjer razvoja zvijezda prikazan je kretanjem duž ove ili one linije jednake mase u tom diagramu. Moramo se, dakako, sjetiti da te linije predstavljaju prosječna svojstva, a ne svojstva neke određene zvijezde, ali opažanje pokazuje da je odstupanje od prosjeka obično dosta maleno, te nije učinjena nikakva velika pogreška, pretpostavlja li se da se slika 19 odnosi na pojedine zvijezde, i da razvoj svake pojedine zvijezde mora biti približno duž linija konstantne mase u tom diagramu.

Budući da razvojni proces napreduje, mora to kretanje biti općenito s desne strane na lijevu, a to je u smjeru od male gustoće k velikoj ili od velikog promjera prema malom. Kada zvijezda otpočne život kao izvanredno rijetko zgušnjavanje, predstavljena je točkom izvan krajnjeg desnog ruba diagrama, a kako se steže uslijed vlastite gravitacije, kreće se nalijevo, gdje su gustoće veće. Za vrijeme tog zgušnjavanja cijela zvijezda postaje toplija u skladu s principima objašnjenim na str. 199. S vremenom središnja temperatura dostigne točku — možda oko 200,000 stupnjeva — kod koje se prvi put javi termo-nuklearne reakcije u znatnijem iznosu (str. 152) i tako nadoknađuju bitni iznos zračenja zvijezde. Vrijeme, dok ne dođe do toga, iznosi najviše nekoliko milijuna godina, jer smo vidjeli da, ako uopće ne bi bilo termo-nuklearnih reakcija koje bi nadoknađivale energiju, Sunce bi se steglo na sadanju veličinu za kojih 50 milijuna godina, a kraće stezanje, koje sada razmatramo, trebalo bi naravno još kud i kamo kraće vrijeme.

Reakcije, koje su najprije nastupile, reakcije su protona s protonom, u kojima se protoni spajaju s drugim protonima, da stvore deutone i, konačno, druge teže čestice, i reakcije deutona s protonima i među sobom. Prva od spomenutih je spora reakcija i ne nadoknađuje dovoljno brzo energiju, da nadomjesti onu emitiranu s površine zvijezde; te ona može usporiti stezanje, ali ga ne može potpuno spriječiti. Reakcija deutona može ipak nadoknaditi dovoljno energije, da spriječi stezanje, dok se ne iscrpe svi deutoni, nakon čega opet otpočne stezanje i nastavlja se, dok se ne postignu tem-

perature — od nekoliko milijuna stupanja — pri kojima počinju reagirati protoni s jezgrama lakih elemenata, litijem, berilijem i borom. Te reakcije nadoknađuju dovoljno energije, da spriječe stezanje zvijezde, dok se ne iscrpe zalihe lakih jezgara u središnjim predjelima zvijezde.

Sve zvijezde na desno od *glavnog niza* vjerojatno su u jednom ili drugom stanju koje smo upravo razmotrili. U stvari se našlo da se te zvijezde dijele u tri jasne skupine. Najviše na desno u slici 18 dolaze crveni divovi (str. 187), iza kojih slijede promjenljive cefeide, i onda, najdalje na lijevo i tako najbliže *glavnom nizu*, promjenljive skupova (str. 57). Gamow i Teller su našli da se položaji tih zvijezda, u diagramu na slici 18, vrlo dobro slažu s onim izračunanim po čistoj teoriji, kao položaji zvijezda u kojima se odigravaju one reakcije, upravo opisane. Skupina zvijezda najdesnije — crveni divovi — jest točno na mjestu koje treba da zauzimaju zvijezde, u kojima se nadoknađava energija s pomoću reakcija deutona s protonima i ostalim deutonima. Slijedeća skupina — ona promjenljivih cefeida — manje je određena; tu se, izgleda, prekrivaju tri skupine koje odgovaraju reakcijama protona s jezgrama litija, berilija i bora atomne težine 11. Konačno promjenljive skupova zauzimaju mjesta opredjeljena zvijezdama, u kojima je glavna reakcija protona s jezgrom bora, atomne težine 10.

Konačno mora doći vrijeme, kad se potpuno iscrpe lagane jezgre u središnjim predjelima zvijezde i zvijezdi nije preostao ni jedan izvor energije osim stezanja i spore reakcije protona s protonom, koja ne nadoknađava dovoljno energije za zračenje zvijezde. Zvijezda se, prema tome, steže, dok ne postigne temperaturu dovoljno visoku, da bi otpočela nova termo-nuklearna reakcija. To se zbiva pri temperaturi od kojih 20 milijuna stupnjeva i, ako je zvijezda obilno snabdjevena u prvom redu vodikom, može nadoknađavati energiju doista vrlo dugo vremena — oko 100 milijardâ godina za zvijezdu s masom i sjajem Sunca. Za vrijeme te faze svog postojanja zvijezda je zvijezda *glavnog niza*, a dugo trajanje



te faze objašnjava nam zašto su zvijezde pretežnim dijelom baš zvijezde *glavnog niza*.

Nakon dugog vremena iscrpi se zaliha vodika u središnjim predjelima, pa opet nema drugog izvora energije do stezanja. Zvijezda se, prema tome, steže — prelazeći na lijevo od *glavnog niza*, i postaje bijeli patuljak ili podpatuljak. Te zvijezde emitiraju tako malo zračenja da im samo stezanje može nadoknaditi energiju za mnogo milijardâ godina zračenja. Neke od njih nemaju nikakvih drugih izvora energije osim toga, dok se druge mogu toliko stegnuti, da može otpočeti nova termonuklearna reakcija i nadoknađavati energiju za njihovo zračenje.

Termo-nuklearne reakcije su, kako smo već spomenuli, vrlo osjetljive na promjene temperature. Pod uvjetima, na primjer, koji prevladavaju u središtu Sunca, račun pokazuje da će se iznos energije, proizveden reakcijom proton-ugljik, mijenjati približno sa sedamnaestom potencijom temperature; ako temperatura poraste samo za 4%, proizvodnja energije bit će gotovo dvostruka.

Ipak možemo vidjeti da to podvostručenje ne može biti odjednom, jer da je tako, bile bi zvijezde silno nestabilne. Neznatni porast temperature u središtu zvijezde prouzročio bi da se energija proizvodi mnogo brže; to bi još podiglo temperaturu, s njom još veću proizvodnju energije i tako dalje neograničeno — zvijezda bi bila izvanredno eksplozivna.

Tako pokazuju opći principi da mora biti neko vremensko zakašnjanje u prilagođivanju temperature i proizvodnje energije; proizvodnja energije u nekom trenutku ne ovisi o temperaturi u tom momentu, nego i o onoj u nekom prošlom trenutku ili trenucima. Ne samo to, već i teorija i laboratorijski pokusi pokazuju da takvo zakašnjenje mora stvarno postojati — energija postaje upotrebljiva nakon niza pretvaranja radioaktivnog tipa, a te pretvorbe traju svoje vrijeme; u reakciji proton-ugljik, nekima od pretvorbi potrebni su milijuni godina. Sve to rezultira u određenim, ali stalnim, promjenama u brzini proizvodnje energije, a te uzrokuju

periodične promjene u sjaju zvijezde, a također u njezinu mehaničkom ustrojstvu. Ukratko, možemo očekivati da sve zvijezde mogu biti promjenljive zvijezde one vrsti, objašnjene u I. poglavlju.

Vrijedno je onda pažnje, da su praktički sve zvijezde desno od *glavnog niza*, promjenljive zvijezde. Ne samo da njihov sjaj koleba gore dolje s posve točnom periodičnošću, nego i spektroskopsko opažanje pokazuje da su ta kolebanja praćena pulzacijom cijele strukture zvijezde; kako god sjaj zvijezde postaje jači i slabiji, tako njezina veličina postaje veća i manja.

Tako nema više teškoće u objašnjenju, zašto dugoperiodične promjenljive, cefeide i promjenljive skupova izvode kolebanja u sjaju; teškoća je u objašnjenju, zašto zvijezde *glavnog niza* ne izvode slična kolebanja. Iznese na su različita mišljenja, ali prije nego ih budemo prosuđivali, potrebno je da imamo daleko točnije znanje nego danas i o samim termo-nuklearnim reakcijama i o strukturi unutrašnjosti zvijezda.

Da uskladimo ovaj nazor o razvoju zvijezda sa zaključcima, koje smo postigli na str. 211., moramo pretpostaviti da se vodik u vanjskim slojevima zvijezde nije iscrpio u stanju *glavnog niza*, nego je preostao do kasnijeg stanja bijelog patuljka. Vodik je izgorio samo u središnjim predjelima zvijezde, i Schönberg i Chandrasekhar misle da, kako tu vodik izgara, konvektivna jezgra postepeno mijenja svoje osobine i konačno postaje jezgra u kojoj je sva materija iste temperature, tako da konvekcija prestaje. Oni nalaze da ne izgori više od 10% ukupne sadržine vodika zvijezde prije nego što zvijezda ostavi *glavni niz*. Čak i za izgaranje te količine Suncu je potrebno vrijeme od kojih 10 milijardâ godina, premda masivnijim zvijezdama treba znatno manje vremena.

U svakom slučaju izgleda vjerojatno — premda ne posve sigurno — da zvijezde ne mogu biti sve iste starosti; različiti postanci zvijezda moraju se zbivati u različitim epohama. Bijeli patuljak Sunčeve mase, takav kao *Sirius B*, može jedva postojati za vrijeme kraće od 10 milijardâ godina, dok podpatuljak, koji je još manje mase i slabijeg sjaja, izgleda da je imao čak još duži



život. Na drugoj strani, masivni i sjajni crveni div nije dakako mogao imati život nikako te dužine; njegovo je zračenje nadoknađeno djelomice gravitacionim stezanjem, koje je jedva moglo izdržati zračenje u milijun godina, a djelomice izgaranjem male količine vodika (možda sa malo litija), što je moglo nadoknaditi zračenje tek u nekoliko milijuna godina.

No hipoteza, da su zvijezde različite starosti, nailazi na teškoće u mnogom pogledu; razmotrit ćemo neke u slijedećem poglavlju. Složit ćemo se, da tu ima još prilično neizvjesnosti, pa čak i misterije oko cijelog problema, ali se moramo sjetiti da je cijeli predmet saznanje posljednjih nekoliko godina; red se pomalja vrlo brzo iz kaosa, i potpuno je opravdano nadati se da će se sve teškoće ubrzo razjasniti.

## PETO POGLAVLJE

### OBLIKOVANJE SVEMIRA

Istražili smo svemir do najdubljih dubina, do kojih dopiru naši teleskopi, i prodri u unutrašnjost sitnih tvorevina koje zovemo atomi, a iz kojih je izgrađen cijeli materijalni svijet. Ispostavilo se da su oni izgrađeni od još više osnovnih jedinaka — od sitnih nabijenih čestica koje zovemo elektroni i pozitroni, protoni, neutroni i možda još neki. Nezamislivo veliki broj njih — po procjeni Eddingtona oko  $10^{79}$  protona i isto toliko elektrona — sjedinili su se nekako, da izgrade svijet. Oni se ipak nisu oblikovali u slučajne hrpe ili gomile tvari, nego u određene i svojstvene tvorevine, zvijezde, maglice i t. d. Naravno da treba ispitati zašto su nastale baš te tvorevine a ne neke druge.

Govorili smo o zapanjujućoj praznini prostora: šest trunaka prašine na Waterloo-kolodvoru prikazuje nam mjeru, u kojoj je on ispunjen zvijezdama u svom najgušćem dijelu. Našu smo primjedbu mogli i drukčije izraziti. Šest zrnaca prašine sadrže, kažimo, 1000 bilijuna molekula. Naš model prostora je prazan, jer je taj veliki broj molekula slučajno zbijen u samo šest grumena. U stvarnom prostoru astronomije jedinica zgušćenja jest zvijezda, a prosječna zvijezda sadrži oko  $10^{56}$  molekula — broj tako velik, da je besmislen svaki pokušaj, da ga predočimo. Praznina prostora ne dolazi od malog broja molekula, ona potječe od okolnosti, da se molekule, izuzev one, koje obrazuju tanke plinovite oblake, što se prostiru od zvijezde do zvijezde, zbijaju u velike hrpe molekula koje nazivamo zvijezde, pri čemu ih na jednu prosječnu zvijezdu otpada  $10^{56}$ . Zašto se tako zbijaju mole-



kule u prostoru, kad to ne čine molekule u sobama u kojima ja pišem a vi čitate?

Slijedeći iskušanu znanstvenu metodu, možemo pokušati otkriti uzrok tog zbivanja, tako da najprije ispitamo, što ih sada zadržava tamo gdje su se obrazovale. Atmosfera Zemlje sastoji se od  $10^{44}$  molekula. Zašto se one zadržavaju u atmosferi namjesto da se razidu po prostoru? Uzrok je tu, dakako, sila teža Zemlje. Kugla, ispaljena s površine Zemlje brzinom od 11 km u sekundi, ili većom, odletjeti će u prostor, jer je sila teža nemoćna da je zadrži, ako se giblje tako velikom brzinom. Kugla, ispaljena manjom brzinom neće ostaviti Zemlju, jer njezina brzina nedostaje za svladavanje sile teže Zemlje. Tako ne mogu kugle molekula, koje sačinjavaju Zemljinu atmosferu, a lete brzinom manjom od jednog kilometra, nikako odletjeti. Sila teža privlači ih stalno natrag, tako da Zemlja zadržava svoj zračni omotač.

U rijetkim zgodama može pojedina molekula doživjeti niz izvanredno sretnih sudara s drugim molekulama i time postići brzinu preko 11 kilometara u sekundi. Molekula, koja stigne tom brzinom na rub Zemljine atmosfere, ostavit će Zemlju posve i pridružiti se jatru molekula, što lete u međuzvijezdanom prostoru. Zemlja na taj način neprestano rasipa svoju atmosferu, ali račun pokazuje da je gubitak, čak i u bilijun godina, toliko neznan, da možemo Zemljinu atmosferu smatrati trajnom.

Isto vrijedi i za Sunce. Sunčev žar razbio je molekule njegove atmosfere u sastavne atome, a oni se giblju prosječnom brzinom od kojih 3,2 km u sekundi. No atomsko tane mora se kretati brzinom od 600 km u sekundi, da može odletjeti sa Sunca, pa se i atmosfera Sunca može smatrati trajnom.

Kad bi se sve molekule zraka u jednoj običnoj sobi sakupile u sredini prostora u hrpu, tada bi naravno na taj način obrazovana kugla zraka djelovala privlačnom snagom na svoje izvanjske molekule, baš kao što Sunce i Zemlja privlače molekule svoje atmosfere. Međutim, budući da je težina te kugle zraka tako nezatna, onda i jačina njezine privlačne moći može biti jako nezatna;

doista ona je tako slaba, da već brzina od jednog metra na sat dostaje, da se otrgnu vanjske molekule. Budući da se molekule običnog zraka giblju brzinom od kakvih 450 metara u sekundi, raspala bi se takva kugla odmah po cijeloj sobi. Kad bi, s druge strane, prostor bio dovoljno velik, da obuhvati Sunce, održale bi se sve molekule u lopti u središtu, baš kao i kod Sunca. Izvanjske molekule morale bi imati brzinu najmanje 600 km, tako da im njihova stvarna brzina od 450 m u sekundi ne bi ništa pomogla.

#### *Planetske atmosfere*

Bijeg molekulâ ovisi uglavnom o ishodu borbe između molekularne brzine izvanjskih molekula i intenziteta privlačne sile kojom djeluju ostale mase molekula na njih. Naći ćemo kasnije (str. 268 i dalje) na mnoge primjere. Mjesec djeluje samo  $\frac{1}{23}$  Zemljine privlačne sile na molekule atmosfere, pa je posljedica toga da je već iščezla atmosfera koju je Mjesec nekad imao. Merkur ima  $\frac{1}{10}$  privlačne snage Zemlje, no zbog velike blizine Sunca vrlo je vruća ona njegova površina koja je okrenuta prema Suncu, pa je i on izgubio svoju atmosferu. Mars djeluje na svoje molekule samo petinom privlačne sile Zemlje, ali je njegova površina hladnija. Račun pokazuje da vodena para i teške molekule ostaju, dok laganije molekule vodika i helija moraju iščeznuti. To se, vjerojatno, u stvari i događa. Najveći satelit Saturna i dva najveća satelita Jupitera djelovali bi otprilike istom privlačnom silom kao i Mjesec; ali budući da su njihove površine mnogo hladnije, morali bi oni ipak zadržati neku atmosferu. Neki opažači tvrde da su kod svih triju satelita opazili znake neke atmosfere. Sva četiri velika planeta djeluju jačom privlačnom silom na svoje molekule nego Zemlja i zadržavaju lako svoju atmosferu, dok Venera, koja ima približno jednaku privlačnu silu kao i Zemlja, zadržava također svoju atmosferu.

Ova rasuđivanja objašnjavaju, velikim dijelom, zašto zvjezdane molekule sada, kad su se zbivanja već jednom obrazovala, ostaju nužno u tom stanju, ali je mnogo teže odgovoriti na pitanje, kako i gdje su se ta zbivanja



najprije obrazovala. Što, na primjer, odlučuje da u svakoj zvijezdi češće ima  $10^{56}$  molekula nego  $10^{54}$  ili  $10^{58}$ ?

### GRAVITACIONA NESTABILNOST

Nameće se pitanje, da li sile, koje sada održavaju neku zvijezdu zajedno, nisu ujedno i uzroci njezina postanka. To nas dovodi do toga, da malo podrobnije proučimo ujediniujuću snagu gravitacije.

Pet godina pošto je Newton objavio zakon gravitacije, Bentley, rektor Trinity College-a, pišući mu postavio je pitanje, ne bi li novootkrivena sila teža mogla biti uzrok skupljanju materije u zvijezdu, a Newton mu je odgovorio pismom datiranim 10. prosinca 1692.:

»Čini mi se, kad bi materija našeg Sunca i planeta i sva materija svemira bila jednoliko razasuta po nebu, a svaki dijelić sadržavao u sebi silu težu prema svim ostalima, cijeli bi prostor, u kom je materija razasuta, bio ograničen, te bi materija u vanjskim područjima toga prostora težila svojom težom prema materiji, koja se nalazi više unutra, i pala bi konačno u središte cijelog prostora i tamo stvorila veliku kuglastu masu. Ali, ako bi materija bila jednoliko raspoređena po jednom beskrajnom prostoru, ne bi se nikad mogla sjediniti u jednu jedinu masu; nego bi se jedan dio skupio u jednu masu, a drugi u drugu, te bi nastao neograničeni broj velikih masa, koje bi bile razasute daleko jedna od druge po tom cijelom beskrajnom prostoru. I tako su se mogli oblikovati Sunce i zvijezde, pretpostavivši da je materija svijetleće prirode«.

Točno matematičko ispitivanje ne samo da je uglavnom potvrdilo Newtonovo mišljenje, nego nam također pruža metodu, da izračunamo koliki će opseg uzeti to skupljanje pod utjecajem sile teže.

#### Oblikovanje kondenzacije

Stojite u sredini sobe i plješćete rukama. Bučite, rekao bi laik; proizvodite zvučne valove, rekao bi fizičar. Kad se vaše ruke približuju jedna drugoj, potiskuju one molekule zraka koje su među njima. One lete odatle

i sudaraju se s molekulama vanjskih slojeva znaka, koje se opet sa svoje strane sudaraju s udaljenijim slojevima. Poremećaj, stvoren prvotnim pokretom vaših ruku, prenosi se dalje u obliku vala. Premda pojedine molekule imaju prosječnu brzinu 450 metara u sekundi, ipak okolnost, da se njihovo kretanje zbiva u cik-cak liniji, smanjuje brzinu kojom se poremećaj širi, kako smo već vidjeli, na 333 metra u sekundi — obična brzina zvuka. Širenjem vala porasti će jako broj molekula u svakoj točki u koju stigne, jer molekule, koje napreduju, povećavaju normalni broj molekula koje se nalaze na tom mjestu. To izaziva naravno povećanje pritiska. To povećanje pritiska, što djeluje na moj bubnjić, prenosi mom mozgu neki osjet, tako da čujem šum vaših ruku koje plješću.

Povećanje pritiska, naravno, ne može dugo potrajati, tako da se suvišak molekula, koji ga je izazvao, mora brzo rasuti. Na taj način putuje val dalje. No jedna okolnost zadržava njihovo rasipanje. Svaka molekula djeluje svojom privlačnom silom na sve svoje susjede, tako da na mjestima, gdje se nalazi prekomjerno mnogo molekula, postoji i suvišak na privlačnoj sili. Kod običnog zvučnog vala to je potpuno neprimjetljivo, ali ipak i on zaustavlja, doduše posve neznatno, molekule i spriječava ih, da se raspu onako slobodno kako bi to inače učinile. Kada ta pojava nastupi u astronomskom mjerilu, mogu odgovarajuće sile dobiti presudno značenje.

U bilo kojem predjelu prostora, gdje je broj molekula iznad prosjeka okoline, zovemo to »kondenzacija« (zgušnjavanje) plina. Tada se može dokazati da suvišak na sili teže može biti dovoljan, da potpuno spriječi rasipanje ako je zguščavanje dovoljno prostrano. U takvom slučaju može zgušnjavanje stalno rasti, ukoliko uvlači one molekule u sebe koje nemaju dovoljno velike brzine, da se opet udalje od zgušnjavanja.

Da li se to doista dešava, ovisi, naravno, o brzini molekularnog gibanja u plinu kao i o veličini zguščavanja. Ono pak neće ni ukoliko ovisiti o mjeri do koje je napredovao proces zgušnjavanja. Ako podvostručimo prekobrojni broj u svakom zgušnjavanju podvostručimo i



mjeru do koje je doslo zgušnj enje. Time podvostručimo silu teže koja nastoji povećati zgušnjavanje, ali mi podvostručimo i pritisak koji nastoji da ga razagna. Podvostručili smo težinu na obje strane vage, ali se vaga još uvijek nalazi u istom položaju. Jesu li jedamput nastali povoljni odnosi za njezin porast, tada zgušnjavanje raste automatski dalje, dok ne nestane i posljednja molekula, koju bi mogao absorpirati.

Što se dalje prostire neko zgušnj enje u prostoru, to postaju povoljnije prilike za njegovo neprekidno rašćenje. Zgušnj enje od dva milijuna kilometara promjera djelovat će dvostruko jačom privlačnom silom od zgušnj enja, čiji promjer iznosi samo milijun kilometara, ali je suvišak na pritisku u oba slučaja jednak. Što je veće neko zgušnjavanje, to lakše raste i, ako sebi predočimo sve veća zgušnj enja, moramo doći konačno do takvih, čiji je opseg tolik, da moraju sve više rasti. Prirodni zakon poznaje ovdje samo neograničenu utakmicu. Ništa toliko ne uspijeva koliko uspjeh, pa zato nalazimo da zgušnjavanje, koja su dosta velika da mogu otpočeti, imaju sposobnost daljega rašćenja, dok se mala opet razidu.

Pretpostavimo da se ogromna masa jednolikog plina prostire kroz prostor u svakom smjeru bilijunima kilometara. Za svaki poremećaj, koji naruši tu jednolikost, može se smatrati da stvara zgušnjavanje svake moguće veličine.

Ovo ne mora biti odmah pojmljivo; moglo bi se smatrati da poremećaj, koji zahvaća samo mali dio plina, može izazvati samo zgušnj enje malog opsega, ali se zaboravlja način na koji djeluje privlačna sila i malog tijela kroz cijeli svemir. Mjesec izazivlje na dalekoj Zemlji plimu i osjeku, a isto tako i na najdaljoj zvijezdi, premda su tamo neusporedivo manje opsegom. Baci li dijete igračku iz svojih kolica, utječe to na gibanje svake pojedine zvijezde u svemiru. Dok god djeluje kao sila teža, ne može se nijedan poremećaj ograničiti na područje koje je manje od cijelog svemira. Što je žešći poremećaj, koji izazivlje zgušnjavanje, to će ono biti u početku intenzivnije, ali čak i najmanji poremećaj mora izazvati zgušnj enje, premda bi ono moglo biti vrlo sla-

bog intenziteta. A vidjeli smo da sudbina zgušnjavanja ne ovisi o njegovu intenzitetu, nego o njegovu rasprostiranju. Bio prvotni intenzitet slab koliko mu drago, velika zgušnjavanja rastu dalje, a mala iščezavaju. S vremenom preostaje samo niz velikih zgušnj enja. Već spomenuto matematičko ispitivanje pokazuje da postoji određena minimalna težina, tako da se sva zgušnj enja koja ne dostignu tu težinu, opet rasplinu u prostoru. Ta minimalna težina je tolika, da kad bi izolirali desetinu te težine plina u prostoru, a ostali plin uništili, onda bi molekula jedva, ali baš jedva bilo spriječeno da odlete s površine.<sup>1</sup>

Možemo reći da je prvotno jednoliko razdijeljena plinska masa bila »nestabilna«, jer je svaki, pa i najmanji, poremećaj potakne da potpuno promijeni svoje ustrojstvo. Ona ima dinamička svojstva jednog štapa koji stoji na šiljku, ili mjehura sapunice, koji tek što nije prsnuo.

#### Prvotni kaos

Ti se općeniti teoretski rezultati mogu primijeniti na koju mu drago masu plina. Mi ćemo ih najprije primijeniti na Newtonovu hipotetičnu »jednoliko razdijeljenu materiju po jednom neograničenom prostoru« (str. 220).

<sup>1</sup> To je samo približno, a ne sasvim točno. Točna matematička analiza pokazuje, da je težina minimalnog zgušnj enja  $M$  dana izrazom

$$M = \left(\frac{1}{3}\pi\kappa\right)^{\frac{3}{2}} \frac{C^3}{\gamma^{\frac{3}{2}} \rho^{\frac{1}{2}}}$$

pri čemu su  $C$ ,  $\gamma$ ,  $\rho$ ,  $\kappa$  molekularna brzina, gravitaciona konstanta, prvobitna gustoća i odnos specifičnih toplina, dok je težina zgušnj enja od koga se molekule brzine  $C$  upravo ne mogu više osloboditi dana sa

$$M = \frac{3}{4\pi} \frac{C^3}{\gamma^{\frac{3}{2}} \rho^{\frac{1}{2}}}$$

Kod  $\kappa = 1\frac{2}{3}$  iznosi minimalna težina zgušnj enja 9,7 puta više od od težine, koja upravo dostaje, da zadrži molekule.



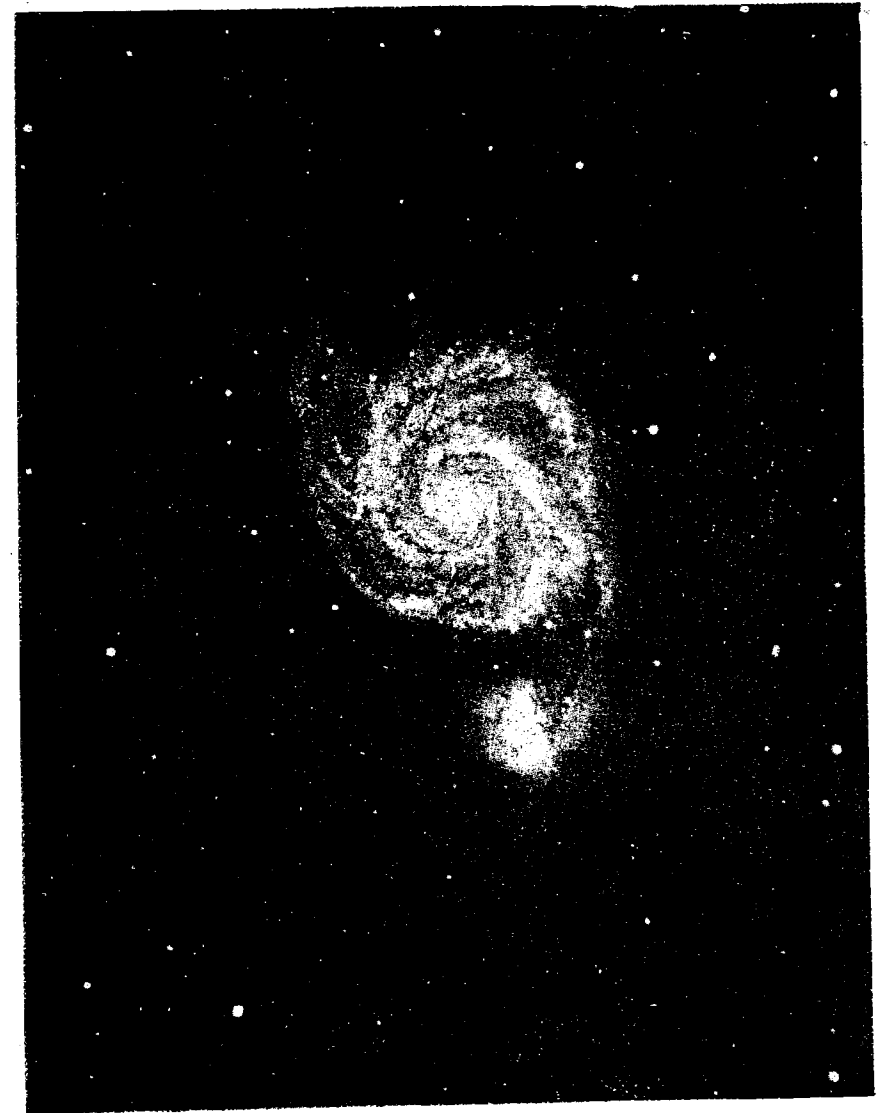
Vratimo se u mašti u ono doba, kad je sva tvar sadašnjih zvijezda i maglica bila raširena jednoliko po prostoru, ukratko, mi polazimo od prvotnog kaosa, kao i većina znanstvenih teorija o postanku svijeta.

Ako svu materiju u dosada poznatim dijelovima svemira — maglice, zvijezde, raspršenu materiju i sve drugo — jednoliko razdijelimo po prostoru, onda (kako smo to već vidjeli na str. 86) dobijemo oko  $10^{-28}$  grama materije po kubičnom centimetru, tako da toliku gustoću moramo pripisati hipotetičnoj pramaglici. Ona je gotovo neshvatljivo malena. U običnom je zraku kod gustoće od  $1/800$  gustoće vode, prosječni razmak između dva susjedna molekula jedna trimilijuntina centimetra. U prvotnom plinu, o kome je sada riječ, iznosi odgovarajući razmak gotovo 1 metar. Ako bi se zrak naše atmosfere, velike kolika je glavica pribadače, rastanjio do te gustoće, zapremio bi prostor od 405 milijuna kubičnih kilometara, to jest kocke sa 740 kilometara dugom ivicom. Ta nas opreka dovodi opet na misao o ogromnoj praznini svemirskog prostora.

Ne smijemo ipak zaboraviti da se svemir, kako izgleda, rasteže silnom brzinom i time mijenja svoju srednju gustoću materije u prostoru. Srednja gustoća prakaosa mogla je biti veća, ili manja, nego što je sada, već prema tome, da li je prostor povećao ili smanjio svoj obujam. Prema pretpostavci Friedmann-Lemaîtreove kozmologije procijenio je Eddington da je srednja gustoća materije u originalnom Einsteinovu prostoru morala iznositi približno  $10^{-27}$ .

Nastavljamo istraživati najmanju težinu zgušnjavanja koje bi se moglo održati u prvotnom plinu te gustoće.

Račun pokazuje da je zrak razrijeđen na gustoću od  $10^{-28}$ , te su njegove molekule 1 metar daleko jedna od druge, ne bi moglo ni jedno zgušnjavanje postojati ili se dalje širiti, ako ne bi imalo 640.000 puta veću masu od Sunca. Bilo koja manja težina plina djelovala bi tako malom gravitacionom silom na izvanjske molekule, te bi njihova obična molekularna brzina od 450 metara u sekundi odmah dovela do razilaženja molekula.



*Zvezdarnica Mt. Wilson*

»Vrtlog« maglica M 51 u Lovačkim Psima

Tabla XXVIII



Slika 1. N. G. C. 3379.



Slika 2. N. G. C. 4621.



Slika 3.  
N. G. C. 3115.



Slika 4.  
N. G. C. 4594  
u Djevici



Slika 5.  
N. G. C. 4565.  
u Kosi Berenice.

Zvezdarnica Mt. Wilson.

Niz izgleda maglica.

Ako bi stoga takav plin bio jednoliko razdijeljen u prostoru i na neki način poremećen, rasplinula bi se sva prvotna zgušnjena, kojih bi mase bile manje od 640.000 Sunaca, a plin bi se konačno raspao u veća zgušnjena, od kojih bi svako imalo 640.000 ili više Sunčevih masa.

Možemo izvesti račun i sa svim drugim molekularnim brzinama. Slijedeća tablica pokazuje težine zgušnjena koja bi mogla biti obrazovana u prvotnoj plinskoj masi jednolike gustoće  $10^{-28}$ , kad bi se molekule kretale različitim brzinama.

Brzina (metri u sekundi)	Postignuto kod	Minimalna masa u jedinicama Sunčeve mase
450	zraka u sobi	640 000
1800	vodika pri 0° C	40,000.000
25000	?	100,000,000.000
110000	slobodnih elek- trotna pri 0° C	9,000,000,000.000

Izvedemo li sličan račun za gustoću od  $10^{-27}$  grama po kubičnom centimetru, dobijemo tad za mase tek  $\frac{1}{3}$  vrijednosti navedenih u gornjoj tablici.

Sve poznate zvijezde možemo, što se težine tiče, usporediti sa Suncem. Ako su dakle, kako je Newton predmijevao, zvijezde nastale kao zgušnjavanje te vrsti, morale bi vrijednosti u toj tablici biti blize jedinici. Newtonova je pretpostavka, u obliku u kojem smo je upravo razmotrili, neodrživa, jer su sve izračunate težine mnogo milijuna puta teže od težine Sunca. Ako je uopće ikad postojao neki prvotni kaos te vrsti, ne bi se zgusnuo u zvijezde, nego u mnogo puta masivnije gomile, od kojih bi svaka imala težinu od nekoliko milijuna zvijezda.

#### POSTANAK VELIKIH MAGLICA

Značajno je da u prostoru postoje tijela, čije su težine blize ovima, upravo izračunatim, naime, velike



vangalaktičke maglice, kojih su mase veličine reda od 100 milijarda Sunaca.

Nailazimo dakle na velike maglice, a ne na zvijezde, kad tražimo mase koje bi se mogle uspoređiti s veličinama navedenim u tablici. Općenita veličina mase maglica dovodi prema tome do shvaćanja, da su zgušnjavanja, koja su se najprije ustrojila iz pramaglice, morala biti velike vangalaktičke maglice, a ne same zvijezde. Dakako, samo je naslućivanje, da su velike maglice nastale na taj način — već stoga, što ne možemo nikad saznati, da li je ikad postojala pretpostavljena pramaglica —, ali to izgleda kao najrazumljivija hipoteza koju možemo postaviti za razjašnjenje stvarnog postojanja sadanjih maglica. Te su maglice, uglavnom, jedna drugoj tako slične, da su vjerojatno nastale djelovanjem istog procesa; hipoteza, koju smo upravo razmotrili, daje nam razumno razjašnjenje, koje se, izuzevši pretpostavku o postojanju jednolike pramaglice, osniva na *verae causae* (stvarnim činjenicama).

Možemo još ustanoviti da su se molekule morale kretati vrlo velikim brzinama ako su maglice nastale na taj način možda brzinama od 25.000 metara u sekundi ili više od 50-rostruke molekularne brzine u običnom zraku. Molekule običnog zraka ne mogu nikad postići takve brzine, jer toplina razbija molekule u njihove sastavne dijelove prije nego postignu brzinu od 25.000 metara u sekundi. Toplina razbije čak i atome prije nego dostignu te brzine, oslobađajući neke vanjske elektrone.

Ako dakle sebi predočimo da su maglice nastale zgušnjavanjem iz prakaosa, tada taj kaos nije mogao biti sastavljen od potpunih molekula, ni od potpunih atoma. On je morao biti sastavljen od smjese slobodnih elektrona i atoma, a možda i od nekoliko potpunih molekula. Pođe li se od takve jedne pramaglice, onda se lako može pretpostaviti da su maglice, baš kako je to Newton mislio, nastale zgušnjavanjem uslijed gravitacije. Temperatura prvotne materije ne treba biti jako visoka. Čak i pri običnoj sobnoj temperaturi kreću se elektroni brzinom od 110.000 metara u sekundi, te prisutnost

samo malo slobodnih elektrona silno povećava prosječnu brzinu smjese, pa se može pripisati potrebna brzina od 25.000 metara u sekundi smjesi vjerojatnog sastava.

Velike maglice nisu, naravno, potpuno jednake, pa je naše slijedeće pitanje, koji je uzrok tih razlika.

Kad bi se zgušnjavanja u plinovitoj pramaglici ustrojila na potpuno pravilan način i sjedinila, bio bi tada konačni rezultat niz posve jednakih i sličnih plinskih masa, poredanih u pravilnim razmacima. No priroda rijetko pokazuje takvu pravilnost, pa se ne trebamo iznenaditi što opažene maglice nemaju pravilnih razmaka, ni jednake težine, niti su simetrično poredane. Kako su se prvotna zgušnjavanja skupljala u prvotnom plinu morala su izazvati strujanja, a kod tih jedva je i bilo kakvog simetričnog poređaja. Kad bi u svakoj masi, što se je zgušnjavala, kretanje bilo u svakoj točki upravljeno prema centru zgušnjavanja, ustrojila bi se konačno posve nepokretna kuglasta maglica, ali svaki drugi, manje simetrični, sistem strujanja dao bi masi, koja se zgušnjava, izvjesnu vrtnju. Ta bi vrtnja bila nesumnjivo vrlo polagana u početku, ali bi poznati princip »održanja momenta vrtnje« zahtijevao da se pri skupljanju rotirajućeg tijela, mora povećati njegova brzina vrtnje. Tako bi konačni proizvod, nakon završenog procesa zgušnjavanja, bio niz maglica koje bi se okretale različitim brzinama.

#### *Rotirajuće mase plina*

Velike maglice već odavno nisu rotirajuće mase plina; one bi se vjerojatno mogle bolje opisati kao rotirajući skupovi zvijezda. No razmatranja, netom spomenuta, pokazuju da su one počele život kao jednostavne mase rotirajućeg plina koji se na neki način u toku vremena promijenio u skupove zvijezda, takve kakve opažamo u vangalaktičkim maglicama i u našem galaktičkom sistemu.

Masa plina, u kojem nema nikakve vrtnje; nikakvih unutarnjih kretanja, poprimila bi naravno savršeno kuglasti oblik uslijed vlastitih gravitacionih sila; ona bi bila upravo ogromna kugla plina s gustoćom



koja raste prema središtu, gdje je pritisak najveći. No mase plina, koji se vrti, poprimit će različite oblike, točan oblik ovisi o veličini vrtnje. Ti se oblici mogu matematički izračunati, pa je vrlo značajno, što se izračunani oblici gotovo potpuno poklapaju s opaženim oblicima stvarnih maglica. Sklad je tako potpun, da bi bilo zgodno izbrojiti oblike izračunane za rotirajuće mase plina i, u isti mah, one opažene za stvarne maglice.

Zgodno je otpočeti od kuglastog oblika koji odgovara stanju bez vrtnje. Kuglasta bi se maglica, naravno, vidjela kao okrugla mrlja svijetla na tamnoj pozadini neba, ali ne možemo reći da maglica, koja izgleda okrugla, mora svakako biti kuglastog oblika — tanjur učvršćen na zidu u visini naših očiju izgledao bi okrugao, ali on nije kuglastog oblika. Poznat je izvjestan broj maglica, koje izgledaju okrugle pa, premda ne možemo reći ni za jednu pojedinu od njih da je kuglasta, ipak možemo biti sigurni da neka od njih jest. Jer kad ne bi ni jedna bila kuglasta, bio bi puki slučaj da bi svaka pojedina izgledala okrugla, a jednostavni statistički račun pokazuje da je broj maglica, koje izgledaju okrugle, daleko veći, a da bi se mogao objasniti na taj način. Tipičan primjer okrugle maglice pokazan je na slici 1. tabl. XXVIII.

Pri laganoj vrtnji poprima masa klina oblik lako sploštene naranče, kao Zemlja ili Jupiter. Maglice tog oblika su također poznate u velikom broju, a primjer se vidi na slici 2 iste table.

Pri većoj brzini vrtnje raste stupanj sploštenosti, ali teoretski račun pokazuje da se uskoro gubi oblik naranče. Ekvator u početku pokazuje izrazitu ispupčenost, koja se konačno pri dovoljno brznoj vrtnji razvije u oštru ivicu, te rotirajuća masa izgleda kao bikonveksna leća. Na nebu se može opaziti velik broj maglica u obliku leće; a tipični primjer vidi se na slici 3 table XXVIII.

Slijedeći korak je donekle neobičan. Dalja vrtnja nema za posljedicu, dalje sploštavanje, kako bi se moglo očekivati. Do sada je svako povećanje vrtnje po-

većalo oštrinu ekvatorskog ispupčenja, ali ono sada već ne može biti oštrije. Teorija pokazuje da je sploštenost postigla svoju najviše moguću granicu, pa se slijedeći stadij mora sastojati u tome, da se kroz oštri rub ekvatora izbacuje materija i raspršuje po cijeloj ravnini ekvatora. I ovdje opažanje potvrđuje teoriju; slike 4 i 5 table XXVIII pokazuju stvarno opažene vrste maglica, prva je maglica N. G. C. 4594 u Djevici, o kojoj smo već govorili (str. 79).

Razmjerno tanki sloj plina, koji leži u ravnini ekvatora, slični bar u jednom pogledu materiji, »jednoliko razdijeljenoj po beskonačnom prostoru«, od koje bi prema Newtonu nastajale zvijezde. U njemu mogu poremećaji nastajati na različite načine, a svaki poremećaj, pa i onaj najneznačajniji, ima za posljedicu obrazovanje niza zgušnjavanja. Kao i prije nestaju ona manja od izvjesne veličine sama od sebe, dok ona iznad te granice dobivaju neprestano na intenzitetu, dok potpuno ne absorpiraju sav plin u ekvatorskoj ravnini. Možemo opet, kao i kod hipotetičkog plina, izračunati minimalni obujam zgušnjavanja, koje ima stalnu trajnost, pa dobivamo još jednom značajni rezultat.

Vidjeli smo već (str. 183) da ima oko 40 zvijezda koje leže unutar daljine od 16 godina svjetlosti od Sunca. To su većinom manje, i veličinom i masom, od Sunca, a njihova prosječna masa je možda polovina Sunčeve mase. Ako uzmemo da je ukupna masa od 20 Sunaca unutar daljine od 16 godina svjetlosti od Sunca, možemo izračunati da je prosječna gustoća u susjedstvu Sunca  $3 \times 10^{-24}$ . Bliže središtu galaksije, mora naravno porasti prosječna gustoća.

Doista, po jedinom dobro ustanovljenom podatku, da jedan period rotacije Sunca u galaksiji traje 250 milijuna godina, može se zaključiti, prilično sigurno, da prosječna gustoća materije unutar Sunčeve staze mora biti veličina reda od  $3 \times 10^{-23}$ , ili deset puta veća od one upravo izračunane za neposrednu blizinu Sunca; glavna nesigurnost u računu potječe od našeg nedovoljnog poznavanja kako su raspodijeljene zvijezde unutar te staze.



Slični se računi mogu izvesti za sve maglice kojima se zna period rotacije. Nalazimo, na primjer, da središnji predio Andromedine maglice mora imati gustoću reda  $5 \times 10^{-21}$ , a rezultati za druge maglice vrlo su slični.

S tim brojkama pred nama možemo možda uzeti  $10^{-22}$  kao pravilnu procjenu za gustoću materije u ekvatorskoj ravnini prvotne plinovite maglice.

Izračunamo li nadalje težine najamanjih zgušnjenja, koja se uopće mogu ustrojiti i trajno postojati u plinu tako male gustoće, dobijemo rezultate navedene u slijedećoj tablici. Brzine molekula su uzete dosta malene, uzevši u obzir mogućnost ohlađivanja, koje mora nastupiti pri širenju plina u ekvatorskoj ravnini maglice.

Molekularna brzina	Masa zgušćenja (Sunce kao jedinica)
90 metara u sekundi	5
270 " " "	140
450 " " "	640
900 " " "	5000

Opet je kod zgušnjenja uzeta masa Sunca kao jedinica, pa se pokazala značajna činjenica, da se većina brojeva što predstavljaju mase, može usporediti sa Sunčevom masom; zgušnjenja, koja se moraju ustrojiti u vanjskim područjima velikih maglica, imaju mase koje se mogu usporediti s masama zvijezda.

#### Postanak zvijezda

Doista čini se ispravnim naslućivanje, da su zvijezde nastale u procesu koji smo upravo razmatrali. Dovoljan je čak i površni pogled na fotografije maglica, da se vidi kako materija, izbačena u ekvatorskoj ravnini, nije jednoliko razdijeljena u toj ravnini, nego se zgomilala u snopove, uzlove i zgušnjenja. Na mnogim snimkama maglica to je jasno vidljivo, ali se još jasnije može vidjeti kod onih maglica koje gledamo u potpunosti, kao, na primjer, vrlo upadljive maglice na tablama XXVII i XXIV.

Ti su uzlovi bez razlike preveliki, da bi ih mogli pripisati pojedinim zvijezdama; oni su vjerojatno zvezdane skupine. U najvećim dalekozorima one su već odijeljene u veliki broj svijetlih točaka, kako se to vidi na tabli V. Spomenuli smo već razloge koji nas sile da smatramo te svijetle točke stvarnim zvijezdama. Glavni je razlog što neke od njih pokazuju karakteristična kolebanja sjaja promjenljivih cefeida. Nije još posve jasno, dali se zvijezde stvaraju neposredno kao zgušnjavanja u ekvatorskoj ravnini maglice, ili se stvaraju veća zgušnjenja, naime oni uzlovi, što ih opažamo na snimkama koji tvore zatim manja zgušnjavanja, zvijezde. Uopće izgleda da se vjerojatno radi o dva procesa — najprije o pretvaranju magličine mase u velika zgušnjenja i, zatim, o pretvaranju tih zgušnjenja u zvijezde. Takav bi redosljed mogao biti praćen postepenim hlađenjem tvari, pa je, naravno, moguće da se radi čak i o više od dva procesa. Za sada ne treba stvarati nikakvo konačno mišljenje, budući da ono nije bitno za naše dalje izvode.

Niz snimaka tih maglica omogućuje nam da slijedimo razvoj maglica od najranijeg stanja, pokazanog na tabli XXVIII, preko prve pojave ekvatorskog prstena materije i pramena nalik klasu, kako se vidi na tabli XXVII, i prve jasne pojave zvijezda na tabli V do kasnijih stanja (tabla XXXI) u kojima maglice izgledaju nešto malo drukčije od zvezdanog oblaka. Hubble je našao da je moguće još dalje prosljediti razvoj, i mogao je dokazati neprekidni prelaz od maglica te posljednje vrsti do čistih zvezdanih oblaka, kao što su Veliki i Mali Magellanov Oblak, pokazani na slici XIII.

Tako izgleda da su zvijezde nastale na isti način kao što su prema našem predmnijevanju nastali i njihovi preci, velike maglice, naime djelovanjem takozvane »gravitacione nestabilnosti«. Ona uzrokuje da se svaka masa kaotičnog plina raspadne u odijeljena zgušnjenja. Što je rjeđi prvotni plin, to su veće težine zgušnjenja koja od njega nastaju. Pramaglica je bila tako male gustoće, da su zgušnjenja, koja su potekla od nje, težila na hiljade milijuna Sunaca. Ona toliko povećavaju skupljanjem gustoću, da se plinovita materija,



koju izbacuju uslijed rotacije zgušnjava u mase s težinom zvijezda, koje su po našem nazoru doista stvarne zvijezde.

O prvom procesu nije naše znanje tako sigurno kao o posljednjem. Naš jedini razlog za pretpostavku, da se uopće zbio prvi proces, jest sadanje postojanje van-galaktičkih maglica. Za postojanje kaotičke pramaglice možemo navesti samo činjenicu, da hipoteza njezina ranijeg postojanja vodi do vrlo zadovoljavajućeg objašnjenja za postojanje maglica u njihovu današnjem obliku. S druge strane ne samo da znamo da postoje zvijezde, nego znamo da postoje ili su postojale plinske mase, od kojih moraju nužno nastati zvijezde djelovanjem prirodnih sila — naime od ogranaka vangalaktičkih maglica.

#### ZVJEZDANI SKUPOVI

Znatan dio zvijezda, bilo naše galaksije, bilo vangalaktičkih maglica, ne putuju kroz prostor same, već zbijene u hrpe ili skupove. Kuglasti skupovi, koji su opaženi i u našem sistemu (str. 63) i u bližim maglicama, pružaju najočividniji dokaz za to. One izgledaju hrpe zvijezda, koje su, i uvijek su bile, pregusto zbijene, da bi bile podložne rasipanju zbog djelovanja drugih zvijezda, i tako su poprimile kuglasti oblik zbog svoje vlastite privlačnosti, baš kao što to čine i molekule plina. U našem sistemu se našlo da ti skupovi leže nekako izvan galaktičke ravnine; može biti, kako je pokazao Shapley, da su se oni razbili putujući kroz tu ravninu, gdje su se susretali s mnogim drugim zvijezdama, ili to može jednostavno biti zato, što je tamna materija u toj ravnini premračna, da bi mogli vidjeti ima li skupova.

Nasuprot tome, za skupine zvijezda one vrsti, koja je općenito opisana kao putujući skupovi (str. 42) — Vlačići, Hijade, zvijezde Velikog Medvjeda i hrpa drugih, koje zajedno s njima putuju kroz prostor — obično se utvrdi da se kreću u galaktičkoj ravnini. One bi mogle predstavljati krajnje ostatke kuglastih sku-

pova, koji su se raspali djelovanjem drugih zvijezda, pa su svi članovi, osim najtežih, bili izbačeni iz skupine. Kao što je već spomenuto, pokazuje matematička analiza da će djelovanje među zvijezdama takvog skupa u kretanju, i drugih zvijezda u galaktičkoj ravnini, pro-uzrokovati da svaki skup poprimi oblik plosnatog biskvita ili džepnog sata, kome je promjer 2,5 puta veći od debljine. Značajno je da većina putujućih skupova pokazuje sploštenost te vrsti, a njezin iznos se u dozvoljenim granicama slaže s izračunanom vrijednošću.

Svi skupovi zvijezda, i kuglasti i otvoreni, izgledaju, na prvi pogled, da se sastoje od skupina zvijezda, koje se drže skupa među sobom gravitacionom privlačnošću i tako se kreću zajednički kroz prostor kao stalna skupina. Kuglasti skupovi sadrže velik broj zvijezda, dok ih otvoreni skupovi imaju manje, no nema poznate granice malobrojnosti njihovih članova. Postoji stvarno neprekidni prelaz od najvećih otvorenih skupova do skupova koji sadrže vrlo malo zvijezda.

Uzevši krajnje primjere, može se zvijezda  $\alpha$  Centauri i Proxima Centauri, koje su već spomenute kao zvijezde najbliže Suncu, smatrati kao skup koji se sastoji samo od tri člana — tri, budući da je  $\alpha$  Centauri sama dvojni sistem (str. 178). Tri komponente kreću se sada zajedno kroz prostor, trajno vezane zajedno gravitacionom privlačivošću među sobom. Na isti se način mogu smatrati dvojni sistemi — Sirius, Procyon i t. d. — kao skupovi od cigla dva člana.

Tri se moguća razloga nameću sami od sebe, zašto se mala skupina zvijezda trajno povezala i skupa se kreće kroz prostor:

1. mogle su otpočeti kao samostalne zvijezde i kretale su se neovisno, ali su postepeno došle do toga, da su utjecale jedne na druge, i nisu se više odijelile — masivnija zvijezda, na primjer, mogla je uhvatiti manju;

2. one mogu biti razbijeni ostaci jedne jedine zvijezde;

3. one su otpočele kao bliska zgušnjavanja u prvotnoj maglici i ostale su otada susjedi.

Ispitajmo redom te tri mogućnosti.



## DVOJNI SISTEM KAO POSLJEDICA HVATANJA

Izgleda, u prvi mah, da se većina dvojnih sistema na nebu sastoji od vrlo nezgodno složenih parova. U kratkoj tablici, na str. 50, dva od četiri sistema mogu se slobodno smatrati takvim parovima, naime sistem Siriusa i Procyona; ta u svakom je od njih silno teška i jako sjajna zvijezda združena s drugom mnogo lakšom i izvanredno slabašnom zvijezdom. A razmjor loših parova u cijelom prostoru, vjerojatno, nije mnogo drukčiji. Krajnost predstavlja sistem o Ceti u kojem jedna zvijezda ima 300 puta veći promjer od Sunca, a praćena je suputnikom jedva većim od Zemlje; zamislimo da su se složili slon i mušica, pa zajedno putuju kroz prostor. Mami nas pomisao da u tako loše složenom paru manji član mora biti žrtva nebeske »otmice« — posljedica hvatanja. Ipak moramo se sjetiti da postoje samo dva načina, na koji jedna zvijezda može uhvatiti drugu. Prvi je način sukob, a drugi pomoću treće zvijezde, kao posrednika. Poznato je, naime, dobro da dvije zvijezde, koje samo prolaze jedna blizu druge, a da se ne dodirnu, i ako nije neka treća zvijezda blizu, samo jedna drugu skrenu u većoj ili manjoj mjeri s gibanja u pravcu i nastave svoje putovanje kroz prostor po novim stazama. No slučaj, da se dvije zvijezde sudare vrlo je rijedak — tako rijedak, da se može očekivati da će se dogoditi samo jednom u hiljadu bilijuna godina — dok je bliski susret triju zvijezda još rjeđi događaj. Samo vrlo mali broj od svih zvijezda bit će upleten u neki sudar ili u trojni susret i nikakav znatni dio dvojnih sistema ne može nastati na ovaj način.

Čak ako i nategnemo vjerojatnost do te mjere, pa pretpostavimo da su *Sirius* i *Procyon* nastali na taj način — usprkos nevjerojatnosti od jedan prema bezbroj milijuna — mi bismo se sreli s još većim poteškoćama kod sistema o<sup>2</sup> Eridani. Taj se sistem sastoji od glavne zvijezde nalik Suncu i dviju manjih zvijezda potpuno različite kakvoće. Bilo bi smiješno zamisliti da je glavna zvijezda sistema mogla izvesti dva uzastopna hvatanja; takvi sistemi moraju svakako imati neko drugo podrijetlo.

## DVOJNI SISTEM KAO POSLJEDICA CIJEPANJA

Ispitajmo sada drugu mogućnost. Kad smo razmatrali o načinu, na koji je od kaosa mogla nastati maglica, ustanovili smo da bi prisutnost strujanja u pramaglici mogla podijeliti pojedinim maglicama u stvaranju različite brzine vrtnje. Zbog istog razloga moraju se vrtjeti i djeca maglica, zvijezde, kod svog postanka. Za tu vrtnju postoji još jedan drugi razlog. Opći princip »održanja momenta vrtnje« traži da vrtnja, kao ni energija, ne može posve iščeznuti. Njezin ukupni iznos ostaje jednak, te se, ako se maglica raspadne u zvijezde, prvotna vrtnja maglice mora uzdržati u vrtnji zvijezda. Tako dobivaju zvijezde, već kod postanka, vrtnju od maglice koja pridolazi vrtnji koja je kod procesa zgušnjavanja nastala od strujanja.

Neprekidnim zračenjem mijenjaju se fizikalna stanja zvijezda, a mi ćemo u slijedećem poglavlju naći da te promjene imaju za posljedicu skupljanje promjera zvijezde. Isti princip »održanja momenta vrtnje« zahtijeva da se brzina zvijezde povećava pri stezanju. Ukratko, što je zvijezda starija, to se sve brže i brže vrti.

Vidjeli smo već (str. 40) kako se danas može otkriti i mjeriti vrtnja zvijezda spektroskopskim metodama. Ta je metoda bila do sada ograničena uglavnom na najveće zvijezde, i čini se da se kod njih potvrđuje upravo spomenuti zakon. Najveće zvijezde — »crveni divovi«, opisani na str. 194 — pokazuju vrlo malu ili nikakvu vrtnju, nasuprot tome, plave zvijezde, znatno manje, pokazuju vrlo brzu vrtnju; njihove brzine vrtnje dostižu na ekvatoru i do 300 km u sekundi. Vidjeli smo kako maglice, koje se od početka vrte, neprestano povećavaju brzinu vrtnje pri procesu skupljanja, dok se od svoje vrtnje konačno ne raspadnu, pa se od svake stvori zvjezdana obitelj. Sad se samo postavlja pitanje, da li se i zvijezde pri rastućoj brzini vrtnje raspadaju i proizvode treću generaciju astronomskih tijela. Mogli bismo očekivati da se matematička analiza može primijeniti na velika i mala tijela bez obzira na njihove dimenzije. Točno ispitivanje problema pokazuje da se taj



proces doista ponavlja i dozivlje u život dalju generaciju manjih nebeskih tijela, kada to dopuštaju fizikalni odnosi.

No fizikalni odnosi nisu povoljni, već zakazuju barem u jednom pogledu. Premda rotirajuća zvijezda može izbacivati plinovitu materiju u svojoj ekvatorskoj ravnini, zbivat će se ipak cijeli proces u daleko manjem mjerilu, nego u maglicama. Mogli bismo očekivati da će izbačena materija obrazovati zgušnjavanja kao i ranije, no račun pokazuje da se, ako molekularne brzine nisu izvanredno malene, nikakva zgušnjavanja ne mogu održati, osim ako njihova težina nije veća od ukupne težine zvijezde! To znači da se pri izvjesnoj ne previše maloj molekularnoj brzini uopće ne mogu obrazovati zgušnjavanja izbačenog plina. On se može samo raspršiti u prostor i stvoriti atmosferu bez određenih zgušnjavanja.

Ovo je tok događaja, ako se zvijezde razmatraju kao maglice, to jest kao čiste plinske mase. Mora se ipak uzeti u obzir još jedna mogućnost.

#### *Cijepanje tekućih masa*

Vidjeli smo kako bi plinovita maglica, koja se ne vrti, poprimila potpuno kuglasti oblik pod utjecajem svoje vlastite sile teže, dok bi se pri polaganoj vrtnji sploštila u narančasti oblik što ga ima Zemlja. I Zemlja je poprimila taj oblik zbog svoje vrtnje, premda se ona svojom unutrašnjom građom silno razlikuje od plinovite maglice.

Točno matematičko ispitivanje pokazuje da taj splošteni narančasti oblik mora biti zajednički svim tijelima, koja se polako vrte, bez obzira na njihov unutarnji sastav. To vrijedi jednako za plinove, tekućine i plastične mase dok se polagano vrte. No obličje tijela, koje se vrlo brzo vrti, mora velikim dijelom ovisiti o unutarnjem sastavu, budući da se kod njega radi najviše o tome, do kojeg je stupnja težina tijela koncentrirana u blizini središta.

Zbog velikog kompresibiliteta (moći zbijanja) plinova postiže ta koncentracija težine čisto plinovite mase svoju najvišu granicu u središtu. Krajnja suprotnost tome javlja se u masi jednolike i nekompresibilne tekućine, kao voda, gdje uopće ne može nastati nikakva koncentracija u središtu. Pojačava li se brzina vrtnje mase takve vrsti, sploštiti će se narančasti oblik još jače. Međutim potpuno nedostaje ona naklonost plinovite mase, da stvori oko ekvatora oštri rub pa presjek njezina obličja ostaje neprekidno eliptičan. Pri još jačoj vrtnji gubi i ekvator svoj kružni oblik i postaje također eliptičan. Tijelo ima tada tri nejednaka promjera, ali je svaki njegov presjek eliptičan; po obliku je to »elipsoid«. Zatim se počinje produžavati najduži promjer, dok još elipsoidna masa ne poprimi obličje cigare, kojoj je dužina gotovo tri puta veća od najkraćeg promjera.

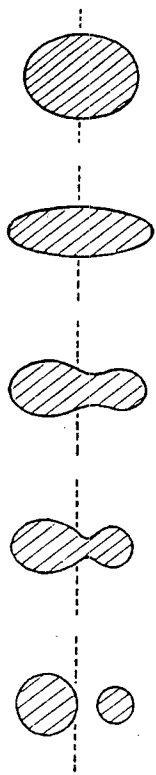
Sad počinje novi odsjek. Masa tekućine koncentrira se postepeno oko dvije čvrste točke na svom najdužem promjeru, a u njezinoj se sredini počinje javljati žlijeb. Žlijeb postaje sve dublji i dublji, dok nije tijelo raspolovljeno u dvije odijeljene mase, koje onda opisuju staze jednu oko druge i sačinjavaju dvojni zvijezdu. Redoslijed stanja pokazuje slika 20.

U svrhu usporedbe prikazan je na slici 21 niz oblika, koje u vrtnji poprime plinovita masa. On je potpuno jednak nizu stvarno opaženih oblika maglica fotografiranih na tabli XXVIII.

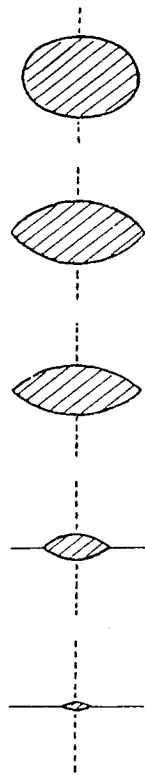
Ova dva niza oblika sa slike 20 i 21 predstavljaju, kako se sjećamo, dva krajnja slučaja tijela koje se vrti. Prvi je slučaj kad je tvar potpuno jednoliko razdijeljena, a drugi, kad je tvar u velikoj mjeri koncentrirana u središtu. Budući da pravo ustrojstvo nebeskih tijela mora biti negdje među tim krajnostima, smjeli bismo naravno očekivati da će takvo tijelo slijediti niz oblika, koji bi bio prelazni među oblicima prikazanim na slikama 20 i 21. Ipak teorija pokazuje da nije tako.

Sva tijela, koja imaju koncentraciju u središtu u manjem stepenu od izvjesne vrijednosti, slijede red, prikazan na crtežu 20, ili red koji se samo neznatno od njega





Slika 20. Niz oblika tekuće mase, koja se vrti.



Slika 21. Niz oblika plinovite mase, koja se vrti.

razlikuje; sva tijela, koja imaju veću koncentraciju, slijede red prikazan na crtežu 21. Kad je, prema tome, distignut taj kritični stupanj koncentracije u središtu, nastupa iznenadni prijelaz od crteža 20 na crtež 21. Ukratko, svako tijelo u vrtnji ponaša se ili kao čisto tekuće ili kao čisto plinovito. Srednjih mogućnosti nema.

Niz, pokazan na slici 20, završava se s dvije odijeljene mase, koje se okreću jedna oko druge, nalik dvjema komponentama dvojnog sistema. Često se tvrdilo da

su dvojni sistemi nastali na taj način, ali se već dugo spoznalo da ima teškoća u tome tumačenju, i one se ne smanjuju premda se znanje povećava.

Glavna je slijedeća poteškoća. Vidjeli smo već kako nas je moderna eksperimentalna fizika opskrbila sa potrebnim znanjem za proučavanje ustrojstva unutrašnjosti zvijezda (str. 206), i što god više proučavamo taj problem, to sve izvjesnije izgleda da se zvijezde ponašaju većinom tako kao da su im unutrašnjosti potpuno plinovite, pa bi morale prolaziti niz promjena, pokazan na slici 21, i nikad ne bi proizvele dvojni sistem. Znajući ono, što sada znamo o teoriji zvjezdanih unutrašnjosti, teško je zamisliti zvijezdu s masom, kao Sunce, raspodjeljenom dovoljno jednoliko, da bi proizvela dvojni sistem s pomoću cijepanja zbog vrtnje. Ipak u mnogim dvojnim sistemima svaka je komponenta masivnija od Sunca.

Izvjestan broj neposrednih činjenica potvrđuje to. U običnoj pomrčavajućoj dvojnjoj zvijezdi (str. 54) okreću se dva nebeska tijela poznate mase jedno oko drugoga na poznatoj daljini i djeluju jedno na drugo poznatom gravitacionom silom. Ako su mase dovoljno blizu, jedno će bitno izmijeniti oblik drugome izazivanjem plime. Iznos poremećaja zavisiće naravno o stupnju koncentriranja masa blizu središta, i može se izračunati kolebanje sjaja koje bi odgovaralo različitim stupnjima koncentracije; stvarna opažanja upozoruju na preveliku koncentraciju komponentata, a da bi cijepanjem mogle nastati od jednog tijela.

Drugi je dio dokaza slijedeći. Ako bi oba pripadnika dvojnog sistema bila daleko jedan od drugoga, da se smatraju kao točke, onda bi staza svakoga bila savršena elipsa. No, ako su oni bliže jedan drugome, staze neće biti točne elipse; svaka je gotovo elipsa, ali elipsa koja se okreće u prostoru. Ta će vrtnja biti polagana, ako je tvar pripadnika jako koncentrirana blizu središta, jer će se tada mase moći smatrati gotovo kao točke; mnogo će biti brža, ako tamo nema tolikog zgušnjavanja oko središta mase. Brzina, kojom se okreću staze, do-



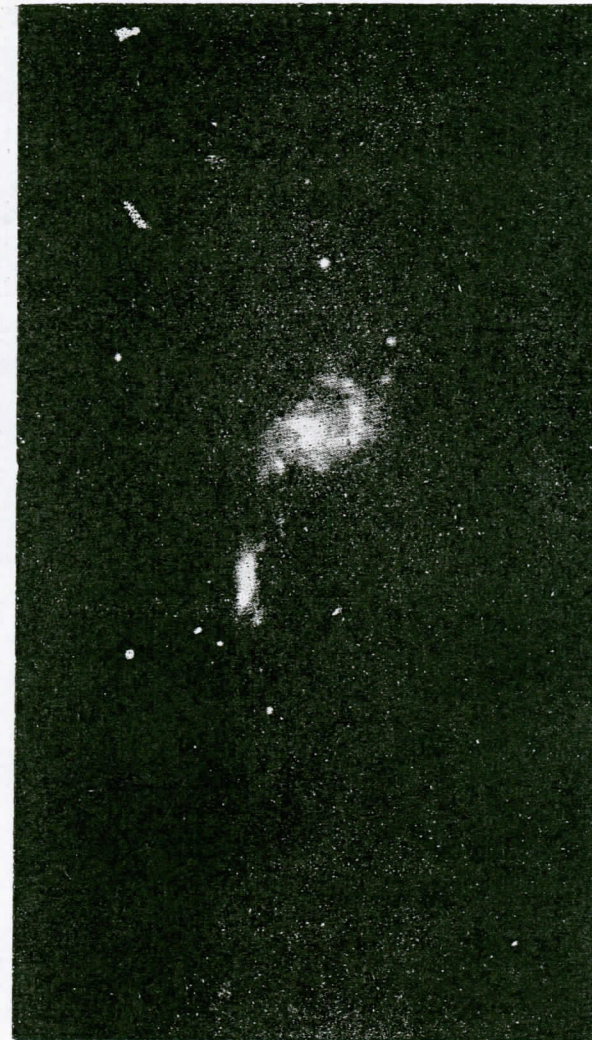
pušta mjerenje, i rezultati pokazuju da su komponente previše koncentrirane u blizini njihovih središta, da bi bilo moguće cijepanje.

Ako i ne vidimo tu činjenicu, pa još uvijek mislimo da su dvojni sistemi nastali cijepanjem od jedne mase, susrećemo nove poteškoće, razmatrajući dalje promjene, koje bi se zbile, nakon pretpostavljenog cijepanja. Jasno je da se ne može očekivati, da će dvije komponente za uvijek nastaviti vrtnju jedna oko druge u položajima pokazanim na crtežu 20, a ako je tako ne mogu se objasniti dvojni sistemi; opaženo je naime, da njihove komponente imaju sve moguće daljine među sobom do nekoliko milijuna promjera. Kako se dakle, htjeli bismo znati, nastavlja niz, pokazan na slici 20, i da li svršava s masama, koje su nekoliko milijuna promjera daleko jedna od druge? Možemo li mi otkriti prirodne uzroke, koji čine da se mase razdvoje do takvih daljina, kakve su nađene u većini dvojnih sistema?

Cijelo je pitanje vezano okolnošću, da razdvajanje dviju zvijezda na veliku daljinu jedne od druge zahtijeva vrlo veliku količinu energije. Ako se dvije komponente dvojnog sistema kreću jedna od druge tokom vremena, ta se energija mora od nekuda nadoknaditi; a odkuda dolazi?

Nešto može, naravno, doći od drugih zvijezda, ali to se može desiti samo u vrijeme bliskog susreta, a već smo vidjeli, (str. 103) da bliski susreti drugih zvijezda moraju biti izvanredno rijetki događaji; jednostavni matematički račun pokazuje da bi energija, koja bi se dobila takvim susretima kroz nekoliko milijardâ godina, bila sasvim nedovoljna.

Ako dakle, treba odijeliti komponente bliskog dvojnog sistema, mora se energija naći u samom sistemu da se rastegne — sistem ima samo svoju vlastitu zalihu energije, kao brod na pustom oceanu. Poznat je samo jedan raspoloživi izvor energije — energija rotacije komponenata. Proces, kojim ta energija postaje raspoloživa, jest slijedeći.



*Zvezdarnica Mt. Wilson*

Dvije maglice (N. G. C. 4395, 4401) ukazuju na plimsko djelovanje.



Tabla XXX.



Zvezdarnica Mt. Wilson

Maglica N. G. C. 7479.

### Plimsko trenje

Vidjeli smo, kad su komponente dvojnog sistema blizu jedna drugoj, one mogu djelovati takvim silama jedna na drugu, da su obje prilično razvučenog oblika. To je sve isti proces kao onaj, kad Mjesec izaziva plime na Zemlji, izuzevši razmjer veličina. Blizina Mjeseca je bitna točka kod izazivanja plime i osjeke. Mjesec na vrlo velikoj daljini djelovao bi privlačnom silom, koja bi bila praktički jednaka na cijeloj Zemlji. Mjesec je međutim dovoljno blizu Zemlji, te je privlačenje jače na dijelu koji je njemu najbliži, dakle na dijelu mora neposredno pod njim, nego privlačenje koje se vrši na čvrstu Zemlju kao cjelinu, dok je privlačenje na suprotnom dijelu mora — koji leži najdalje od Mjeseca — mnogo slabije. Kad se Zemlja ne bi okretala oko osi, bilo bi djelovanje razlike u privlačnoj sili takvo, da bi se voda naročito nakupila na prvoj točki, u Mjesečevoj blizini, i zatim na najdaljoj točki. Drugim riječima, postoje dvije točke s najvećom plimom: jedna baš ispod Mjeseca, a jedna na suprotnoj strani. Spajanje tog efekta s vrtnjom Zemlje oko osi daje zamršenu sliku naših morskih plima i osjeka.

Na isti način, kad astronomska masa u vrtnji prsne i obrazuje sistem dvojne zvijezde, onda su komponente tako blizu jedna drugoj, da moraju nužno izazvati među sobom ogromne valove plime. Ove plime čine mnogo zamršenijim privlačne sile među oba tijela i izazivlju cijeli niz djelovanja, koje je istražio Sir George Darwin pod imenom »plimsko trenje« (tidal friction). On je pokazao da nove sile nastoje razdvojiti oba tijela i pri tome izjednačiti njihove brzine vrtnje. Poslije milijunâ godina djelovanja tih sila izjednače se brzine vrtnje obaju tijela, a i brzina kojom se giblju jedno oko drugoga, tako da svako tijelo okreće uvijek istu stranu svojem pratiocu, pa se oba okreću jedan oko drugoga, kao mase nekih gimnastičkih ručica spojenih nevidljivom priječkom. Kad se postigne to stanje, razdvajanje je postiglo svoju granicu i više nema na raspoloženju energije za dalje razdvajanje.



Ako se sistem sastoji od dva tijela vrlo različitih masa, tada oslobođena energija zbog usporavanja vrtnje veće mase prouzrokuje velike posljedice na maloj masi, vjerojatno je odgurne vrlo daleko. No, ako su oba tijela približno podjednakih masa, kao što jesu u dvojnog sistema, to se ne može dogoditi; raspoloživa energija može izvesti vrlo ograničeno razdvajanje, možda do daljine od tek nekoliko promjera obiju masa.

No mi smo već spomenuli da razdvajanje dvojnih sistema može biti od dijela jednog promjera do nekoliko milijuna promjera. Ako je dvojna zvijezda nastala cijepanjem jedne mase, njezini bi pripadnici isprva bili razdvojeni tek za dio jednog promjera; plimsko je trenje posve nedovoljno, da to poveća na milijune promjera, a ni jedan izvor energije nije na raspolaganju. Zato, i bez obzira na već spomenute poteškoće, izgleda sasvim nevjerojatno da se dvojni sistemi mogu općenito stvarati cijepanjem. Taj zadnji prigovor ne može se primijeniti na bliske dvojne sisteme. Velik se dio njih sastoji od pripadnika koji su ne samo slični u masi i veličini, nego daju slične spektre, što pokazuje da su sličnog fizikalnog ustrojstva. Ista se tendencija može opaziti i kod raširenih sistema, ali u daleko manjoj mjeri — toliko mnogo manjoj, te se može gotovo kazati da bliske i među sobom daleke dvojne zvijezde čine dvije različite klase.

Zbog toga već je često bilo izraženo da bliski i među sobom razdaleki dvojni sistemi mogu imati različito porijeklo; bliski sistemi — ili bar oni sličnog ustrojstva i spektralnog tipa — da su nastali cijepanjem, a ostali na drugi neki način. No oba dijela te pretpostavke izvrgnute su teškim prigovorima. Mišljenje, da su bliski sistemi nastali cijepanjem, nailazi na već spomenutu poteškoću na str. 239, dok su, koliko do sada možemo vidjeti, jedine mogućnosti za postanak sistema dalekih među sobom, hvatanje, koje smo već odbacili kao neodrživo, i bliska zgušnjavanja u prvotnoj maglici, što ćemo sada razmotriti i naći da je neodrživo.

## DVOJNI SISTEMI KAO SUSJEDNA ZGUŠNJENJA

Preostala je još mogućnost, da su dva pripadnika dvojnog sistema mogla nastati kao susjedne ili bliske kondenzacije (zgušnjavanja) u prvotnoj maglici; oni su se možda prvotno tako čvrsto držali zajedno gravitacionim privlačenjem među sobom, da nisu nikad bili u stanju odbjeći jedan drugome, da bi putovali kroz prostor kao nezavisne odvojene zvijezde.

Vidjeli smo da zgušnjavanja, koja nastaju u masi maglovitog plina, mogu biti svih veličina iznad izvjesne granice.

Prema tome, nema potrebe očekivati da će susjedna zgusnuća biti jednake ili gotovo jednake veličine, te činjenica, da su pripadnici dvojnog ili višestrukog sistema često nimalo slične zvijezde, ne predstavlja nikakvu teškoću.

S druge strane, ako bi dvojni sistemi imali porijeklo, koje smo sada razmotrili, dva ili više pripadnika morali bi biti jednako stari, a kako smo već spomenuli (str. 233), pripadnici su mnogih dvojnih sistema — *Sirius*, *Procyon*, *o Ceti*, i t. d. — prema svim izgledima vrlo različite starosti. U skladu s teorijom zvjezdanog razvoja, iznesenoj u poglavlju prije ovoga, bijeli patuljci i crvene zvijezde moraju biti vrlo stari, dok su crveni divovi i masivne zvijezde *glavnog niza* mnogo mlađi.

To je samo jedan pogled na teškoće koje okružuju dijeli problem zvjezdanog razvoja. Vidjeli smo kako najmasivnije zvijezde emitiraju naj snažnije — ne samo apsolutno, nego također i po jedinici mase njihove tvari. U *glavnom nizu*, na primjer, mijenja se zračenje približno s kubom mase, tako da zvijezda desetorostruke Sunčeve mase ima hiljadu puta veći sjaj od Sunca pa svoju zalihu energije troši sto puta brže od Sunca. Tako, po općem pravilu, masivnije zvijezde izdaju svoju energiju daleko brže nego laganije zvijezde; one mnogo brže stare. Ako su dakle sve zvijezde jednako stare, očekivali bismo da su masivnije zvijezde postigle veću starost, dok bi lakše bile još u punoj snazi mladosti. Naravno, našlo se upravo obrnuto, tako da pretpostavci,



da su sve zvijezde jednake dobi, stoje na putu ogromne poteškoće.

Vraćajući se posebnom problemu dvojnih zvijezda, teško je uvidjeti kako bi oba pripadnika bila jednake dobi, a opet oni mogu biti različite dobi, samo ako je njihova zajednica posljedica hvatanja; mogućnost, koja je tako nevjerovatna, te se mora odbaciti kao mogućnost načina postanka normalnog dvojnog sistema.

Razumljivo da slične teškoće okružuju problem postanka većih skupina zvijezda, a isto tako i kuglastih skupova, a dakako i galaktički sistem kao cjelinu. Jasno je da su se ovdje izgubile neke sličice zagonetne slike za sastavljanje.

## SESTO POGLAVLJE

### SUNČEV SISTEM

#### POSTANAK SISTEMA

Kozmogonija je nastala kao pokušaj, da se otkrije podrijetlo Sunčeva sistema. Razlozi, što je ograničila svoje napore na to posebno područje, kronološke su prirode; u prvim danima kozmogonije astronomi su jedva znali nešto o onom izvan Sunčeva sistema.

#### *Ranije hipoteze*

Već rano su ljudi zapazili pravilnost rasporeda i kretanja u Sunčevu sistemu, pa su najmunđri pokušali otkriti razlog tome. Najraniji pokušaji bili su čisto aritmetički ili geometrijski, nemajući nikakva odnosa s razvojem pod djelovanjem prirodnih sila. Platon je, na primjer, vjerovao da su daljine Sunca, Mjeseca i planeta u »razmjeru dvostrukih intervala«, pod kojim je razumijevao odnos 1:2:3:4:8:9:27. Dvije hiljade godina kasnije smatrao je Kepler kao veliko otkriće, da su daljine planeta od Sunca određene geometrijom pravilnih tjelesa. Ako bi se oko Sunca, kao središta, povukle kugle, na čijim bi površinama ležale staze svakog planeta, on je vjerovao da bi se jedno pravilno tijelo moglo smjestiti između svakog para susjednih staza — to jest smjestiti tako, da bi jedna kugla bila upisana u njemu, a druga bi bila opisana oko njega.

Kepler je neko vrijeme vrlo cijenio tu teoriju, a zatim je odbacio zbog kasnijeg uvjerenja, da planetarne



daljine stoje jedna s drugom u istom odnosu u kojem su odnosi frekvencije konsonantnih muzičkih intervala.

Vođen sličnim rasuđivanjem, Bode je 1772. iznio jednostavni brojni odnos, koji povezuje daljine, na kojima se kreću razni planeti oko Sunca. Taj se odnos dobije na slijedeći način: napiše se najprije niz brojeva

0 1 2 4 8 16 32 64 128 256

u kojem je svaki broj iza prva dva dva puta veći od predašnjeg. Zatim se pomnoži svaki s tri i dobije se

0 3 6 12 24 48 96 192 384 768

i doda se još svakome četiri, pa se konačno dobije slijedeći niz

4 7 10 16 28 58 100 196 388 772

Ovi su brojevi vrlo blizu razmjernim daljinama planeta od Sunca, ako se daljina Zemlje uzme kao 10, jer su prave vrijednosti

Merkur	Venera	Zemlja	Asteroidi	Mars	Jupiter	Saturn	Uran	Neptun	Pluton
3,9	7,2	10	15,2	26,5	52	95,4	191,9	300,7	395

Zakon je bio izrečen prije nego su bili otkriveni Uran i asteroidi, tako da treba primijetiti da oni dobro pristaju na nagoviještena mjesta. S druge strane, zakon je potpuno nemoćan kod Neptuna, a još više kod nedavno otkrivenog Plutona, tako da izgleda, više nego sigurno, da je to čisto slučajno podudaranje, bez ikakvog racionalnog tumačenja.

Moderna se znanost već davno ne zanima numeričkim redom u daljini planeta, ali silno nastoji spoznati da li se razne opažene pravilnosti mogu objasniti razvojnim načinom, kao posljedica djelovanja prirodnih sila.

Newton nam pripovijeda da je Platon zamislio kako su planeti stvoreni u beskrajno dalekoj točki u prostoru i pušteni da padaju prema Suncu iz ruke njihova Stvo-

ritelja, dobivajući cijelo vrijeme brzinu zbog pada, dok nisu stigli do određene staze; tada se njihovo kretanje naglo okrenulo pod pravim kutem, a da nije promijenilo brzinu. Platon je mislio da bi to objasnilo mnogo brže kretanje unutarnjih planeta, ali je Newton pokazao da brzine, dobivene na taj način, ne bi dopustile planetima da opisuju kružne staze; to bi bilo moguće samo onda ako bi se Sunčeva privlačnost prema pojedinim planetu podvostručila u momentu, kad se izmjenio smjer kretanja.

Godine 1750. Buffon je zamišljao da su planeti nastali sudarom kometa i Sunca, grumeni materije su prsnuli iz Sunca i zgusnuli se u planete.

Prvu potpunu razvojnu (evolucionu) teoriju iznio je filozof Immanuel Kant, koji je otpočeo intelektualni život kao proučavatelj prirode. On je priznao svoju zaduženost engleskom piscu Tomasu Wrightu iz Durhama, ali izgleda da Wright nije učinio ništa više no što je dao poticaj; kao da je okinuo obarač. Godine 1751. Wright je objavio knjigu pod naslovom *Originalna Teorija ili Nova Hipoteza Svemira, osnovana na Zakonima Prirode, i riješavajući Matematičkim Principima općenite Fenomene vidljivog Stvaranja*.

Čini se da Kant od te knjige nije vidio ništa drugo do naziv i referat o njoj u jednom hamburškom časopisu, ali to ga je potaklo na rad, pa je počeo misliti na koji je način astronomski svemir poprimio svoj sadanji oblik djelovanjem prirodnih zakona. Objavio je rezultat svog razmišljanja četiri godine kasnije pod naslovom *Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels*. (Opći prirodopis i teorija neba). U njemu je ocrtao prvotni svemir kao kaotični oblik trunaka prašine i čestica materije različitih vrsta, bilo da su u svemiru, bilo da tumaraju amo tamo posve slučajno. To je bio isti hipotetični početak stvari, kako ga je Newton postavio nekih šezdesetak godina ranije (str. 220), ali nema ni najmanje razloga, da se pomisli da je Kant znao Newtonova razmišljanja.

Kant je nastavio da ocrta kako postepeno iskrsava rad iz takvog kaosa; prvotna materija je počela da se skuplja, dok konačno nije cijela slika zauzeta prostra-



nom neprekidnom masom koja će na koncu konca oblikovati Sunce. Kant je zamišljao, da će masa početi vrtnju samo zbog skupljanja u jedno tijelo, ali tu je pogriješio. On je dalje pretpostavljao da će se postepeno hladiti i, kako se bude hladila, da će se stezati, i to će opet uzrokovati da se vrti sve brže i brže, dok konačno njezina brzina vrtnje ne bude tako velika, da se ne bude mogla držati zajedno kao jedno tijelo, pa će prsnuti kao zamašnjak zbog prebrze vrtnje. Mase plina bit će izbačene na ekvatoru i, kako će se dalje hladiti, one postaju najprije tekuće, a zatim čvrste. Te očvršle mase, prema Kantu, tvore planete, jedan od njih je Zemlja.

#### *Laplaceova nebularna hipoteza*

Laplace je neovisno nastavio praktički istu hipotezu godine 1796. — neovisno, jer sam kaže da, koliko on zna, nitko osim Buffona nije ranije mislio o tim problemima. Laplace je bio neusporedivo bolji matematičar od Kanta, pa je znao neispravnost pretpostavke, da bi sam čin skupljanja pokrenuo njegovu nebularnu masu u vrtnju — masa ne može imati veći momenat vrtnje nego što ga je imala na početku.

Tako je on pretpostavio nebuloznu masu koja je od početka rotirala. Tome nije trebalo nikako prigovoriti, jer smo vidjeli da je većina maglica na nebu u stanju rotacije. Hlađenje, stezanje i brža vrtnja dolaze sada kao i u Kantovoj teoriji. Laplace je s matematičkom točnošću istražio detaljne promjene koje se mogu očekivati. On je pokazao kako se rotirajuća plinska masa splošnjuje, čim se zbog skupljanja sve brže i brže vrti, poprima već spomenuti oblik leće (slika 3, tabla XXVIII.) počinje izbacivati materiju u ekvatorskoj ravnini ili je ostavlja za sobom kod daljeg skupljanja glavne mase. U tom stanju izgledala bi kao maglice, prikazane na slikama 4 i 5 na tabli XXVIII., premda Laplace nije poznavao maglice te vrsti, pa je kao primjer za očekivani oblik u tom stanju naveo Saturn okružen prstevima (tabla XXXII.). Laplace je mislio da će se okrajci zaostalog plina zgusnuti i obrazovati pojedini planet. Budući da se glavna masa i dalje skuplja, zaostat će

opet plin u ekvatorskoj ravnini, koji bi se tada zgusnuo u novi planet i t. d., sve dok se Sunce ne bi prestalo skupljati, pa ne bi više nastajali novi planeti. Ponavljanje istog procesa, ali u daleko manjem mjerilu, imalo bi za posljedicu postanak satelita od planeta.

Budući da je hipoteza na prvi pogled shvatljiva, jasno je da je preživjela gotovo stoljeće i bila općenito prihvaćena prije nego se našlo ozbiljno protivurjeđe. U najnovije vrijeme ojačala je kritika, po kojoj je jasno da hipoteza nije više održiva.

Sunce se po Laplaceu rascijepilo zbog brze rotacije pa su od njega nastali planeti. No zbog održanja »kutnog momenta«, može se sačuvati kutni momenat prvotnog Sunca u rotaciji sadašnjeg Sunca i revoluciji (obilaznju) planeta oko njega. Zbrojimo li sve njihove priloge, dobijemo ukupni zbroj, koji mora predstavljati moment vrtnje prvotnog Sunca. Želimo li biti posve točni, moramo još uzeti u obzir moment svega zračenja, koje je Sunce emitiralo iza postanka planeta. Možemo izračunati visinu toga iznosa, jer znamo prilično točno starost Zemlje, ali se on pokazuje posve beznačajnim.

Ukupni moment vrtnje za prvotno Sunce može se prilično točno izračunati, budući da je više od 95% ukupnog momenta vrtnje sadašnjeg Sunčeva sistema sadržano u kretanjima po stazi četiriju velikih planeta, pri čemu samo Jupitrov prilog iznosi 60%. Prilog tih četiriju velikih planeta može se izračunati vrlo točno, tako da nesigurnost u manjim iznosima, koji iznose preostalih 5%, može imati samo neznatan utjecaj na ukupni zbroj.

Izračuna li se taj ukupni zbroj nalazimo da prvotno Sunce nije imalo dovoljno brzu rotaciju, da bi se uopće moglo rascijepiti. Sunce se ne cijepa ni zbog sadanje rotacije. Sploštenost oblika je prvi korak raspadu, a izgled Sunca je tako malo splošten zbog sadašnje rotacije, da ni najtočnija mjerenja nisu mogla do sada otkriti uopće nikakvu sploštenost. Dodamo li još sve momente vrtnje, sadržane u kretanju Jupitra i svih drugih članova Sunčeva sistema, dolazimo do prvotnog Sunca, koje bi rotiralo isto tako brzo kao sada Jupiter ili Saturn, i pokazivalo isto takvu sploštenost kao i Jupiter — dovoljnu,



da se lako mjeri, a otkrije čak i prostim okom, ali koja ni izdaleka ne dostaje, da bi prouzročila cijepanje. Tako ne može Sunce prsnuti, kako je zamislio Laplace, zbog prekomjerne vrtnje; u stvari ono nikad nije imalo više od prilično malog dijela one vrtnje, potrebne da ga razbije.

Laplaceovoj se hipotezi može nadalje iznesti prigovor posve druge vrsti. Laplace je bio vrlo veliki matematičar i ništa se ne može prigovoriti njegovoj apstraktnoj matematičkoj teoriji. Profinjenija moderna analiza potvrdila ju je na svakom koraku, a isto tako i opažanje, kako svjedoče fotografije rotirajućih maglica (tabla XXVIII.). Te slike pokazuju proces koji se zbiva pred našim očima i koji je u bitnom sličan onome, izmišljenom od Laplacea, izuzevši silnu razliku u mjerilu. Sve se zbiva kvalitativno kako je Laplace izmislio, ali u mjerilu neusporedivo većem nego što je on mogao ikad i pomisliti. Na tim slikama pramaglica ne nastaje samo jedno Sunce, već ono sadrži dovoljno tvari za obrazovanje na stotine milijunâ Sunaca; zgušnjavanja ne obrazuju nikakve sitne planete veličine naše Zemlje, nego su to sama Sunca; nema ih samo osam na broju, već ih se mora brojiti na milijune.

Možemo zapitati zašto se ne bi moglo isto desiti i u manjem mjerilu, koji je Laplace imao pred očima — jer nisu li zaključci matematike primjenljivi neovisno o veličini tijela o kojima se radi? Već je odgovoreno na to pitanje (str. 223). Sve se u manjem mjerilu događa potpuno po planu, dok ne dođemo do toga da se zbude zgušnjavanje. Ovdje igra mjerilo odlučnu ulogu. Vidjeli smo (str. 218) kako se molekule, koje sačinjavaju Sunce, zgušnjavaju u zvijezdu zbog njihova velikog broja; molekule u jednoj sobi se uopće ne zgušnjavaju, jer ih je premalo. Isto tako molekule, koje bi zaostale pri polaganom stezanju Sunca (smatrat ćemo da ono dovoljno brzo rotira, da može ostavljati molekule), ne bi se mogle zgusnuti, jer ih u svakom trenutku nema dovoljno za jedno zgušnjavanje. One su izbačene u malim količinama, a male se količine plina ne zgušnjuju, nego rasprše u prostoru — nalik plinu što izlazi iz otvorene cijevi. Matematičko izvođenje

konačno odlučuje pitanjem, a ono je takve prirode, da ga Laplace onda nije mogao izvesti, budući da se onda još nije znalo za molekularna svojstva plinova. Odluka je posve suprotna njegovoj hipotezi. Izuzimajući manje pojedinosti, objašnjava proces, kako ga je Laplace zamislio, postanak Sunaca od maglica, ali ne može objasniti postanak planeta od Sunca.

Sva su moderna ispitivanja potvrdila te prigovore Laplaceovoj zamisli, pa i svakoj drugoj zamisli koja pridaje postanak planeta samo jednoj zvijezdi. Danas je jasno da moraju biti dva tijela u igri; planeti moraju uz majku imati isto tako i oca.

#### HIPOTEZE DVAJU TIJELA

Ta zamisao je takva da se često navraćalo na nju. Vidjeli smo kako je Buffon zamislio da je Sunčeva obitelj postala zbog sudara Sunca i kometa koji je prolazio — komadići Sunca su se rasprsnuli naokolo i zgusnuli u oblik sadašnjih planeta.

Godine 1880. proslijedio je Novozelandski Bickerton Buffonove misli i pretpostavio da je Sunčev sistem stvoren sudarom Sunca s drugom nekom zvijezdom. On je zamislio da su krhotine nakon sudara obrazovale treće nebesko tijelo u kojem su zgušnjavanja oblikovala planete. On je pokazao kako su zbog otpora, što ga je planetima pružala maglica koja ih je okružavala, postale njihove staze postepeno kružne i tako je objasnio današnje gotovo kružno putanje. Deset godina ranije iznio je engleski pisac R. A. Proctor slične misli, premda ne tako precizirane. Posljednjih godina H. Jeffreys iz Cambridgea vratio se tome toku misli.

Ipak svim teorijama te vrsti može se vrlo ozbiljno prigovoriti. Dva divovska planeta Jupiter i Saturn okruženi su satelitima i, u svakom slučaju, predstavlja planet sa svojim satelitima gotovo savršeno ponavljanje u minijaturi glavnog Sunčeva sistema: Sunca i planeta. Sličnost je tako značajna da izgleda fantastično pridati različite početke trima sistemima, a to je i preveliko navlačenje vjerojatnosti, ako se pretpostavi da su se



dogodila tri susreta s dodirrom, a pri svakom se stvorio jedan sistem — jedan sudar, kojim se izvršuje tek dodir, nevjerojatni je događaj a, jednostavno govoreći, previše je za svaku teoriju, da pretpostavlja tri.

#### *Plimske teorije*

Godine 1898. zamijenio je matematičar W. F. Sedgwick u Cambridgeu pretpostavku materijalnog sudara s utjecajem plime. On je predložio teoriju po kojoj su planeti izvučeni iz Sunca privlačnim silama zvijezde, koja je blizu prošla. 1901. godine došao sam neovisno na isti slijed misli. 1905. postavljeno je čak i treće mišljenje o tomu od profesora Chamberlina i Moultona u Chicagu. Oni su pretpostavili da je, u davno prošlo vrijeme, Sunce izbacivalo slične erupcije kao što su danas njegove protuberance, ali daleko snažnije. Tada se desilo da je jedna zvijezda prolazila tako blizu, da su te erupcije strahovito porasle zbog njezina plimskog djelovanja i mase plina su izbačene tako snažno, da su probile Sunčevu atmosferu i konačno se zgusnule u čvrsta tijela, koja su nazvali »planetezimali«. Oni su bili mnogo manji od veličine planeta, ali u daljem zbivanju velik se broj njih skupio i spajanjem stvorio sadanje planete. Ova teorija ima tu pogrešku, što se mase plinova planetezimalne veličine ne bi mogle stegnute u čvrsta tijela; njihov unutrašnji pritisak plina bio bi uzrok, da se raspadnu, i konačno bi se rasuo po prostoru kao kapi plina koje se pojavljuju u Laplaceovoj teoriji (str. 250).

Sve te razne teorije bile su čisto spekulativne. One nisu bile sposobne odoljeti oštroj probi matematičke analize ili objasniti upadljive osobine Sunčeva sistema: ni jedna od njih ne objašnjava, na primjer, zašto su veliki planeti Sunčeva sistema okruženi s obitelji satelita koji su mnogo manji od njih samih.

Godine 1916. pokušao sam čisto matematički riješiti problem, ispitujući koji će se događaji u stvari zbiti, kada se druga neka zvijezda približi dovoljno blizu Suncu, i našao sam da plimsko djelovanje može biti samo po sebi dovoljno, da razbije Sunce i stvori obitelj planeta;

izgleda da ne treba zamišljati nikakav posredni mehanizam kao erupcije i planetezimale. Proces je ukratko slijedeći.

Blizina Mjeseca uzdiže plime u našoj atmosferi i našim oceanima, pa čak i u tvrdom tlu Zemlje, a blizina druge neke zvijezde uzdignula bi na isti način plime u plinovitom Suncu. Plime, koje diže Mjesec na Zemlji, neznatne su, djelomice zato, jer je Mjesec mnogo manji od Zemlje, a djelomice, jer je on na relativno velikoj daljini od Zemlje, oko 60 Zemljinih polumjera — a plimsko djelovanje opada s kubom daljine. Ali ako se druga neka zvijezda, barem isto tako masivna kao Sunce, približi na dva do tri polumjera Suncu, njezino plimsko djelovanje bilo bi ogromno. Račun pokazuje da namjesto blagog uzdizanja površine, što ga nalazimo kod zemaljskih plima, uzdiglo bi se silno brdo plina pri približavanju druge zvijezde, a njegova se brzina rašćenja povećava gotovo bez granica i konačno izbije kao dugi pramen plina — izvučen iz Sunca gravitacionim privlačenjem druge zvijezde i uperen prema središtu druge zvijezde.

No svaki stup plina, ako je u dovoljno velikom mjerilu, nestabilan je zbog onoga, što nazivljemo gravitaciona nestabilnost. Zato se počinju stvarati zgušnjenja u tom dugom pramenu plina, na način već opisan (str. 220). Kao i prije raspu se mala zgušenja, dok velika rastu u jačini, dok se pramen ne raspadne u izvjestan broj odijeljenih masa. Računi one vrsti, izloženi na str. 223, pokazuju da će one imati masu koja se može usporiti s onom planeta Sunčeva sistema, tako da ih od sada možemo opisivati kao planete. Parovi maglica, koje su pokazane na tabli XXIII i tabli XXIX vjerojatno su među sobom pod plimskim djelovanjem i mogu poslužiti, da ukažu na opću prirodu procesa koji sada razmatramo, premda se moramo podsjetiti na to, da je cijela slika u jednom silno uvećanom mjerilu prema Sunčevu sistemu — kad ne bi bila, ne bi teleskop bio kadar da nam je pokaže.



Kad se nanovo nastali planeti počnu kretati kao razriješena i nezavisna tijela, utjecat će na njih privlačne sile obiju zvijezda, pa će opisivati vrlo zamršene staze. Postepeno se veća zvijezda povlači, dok djelovanje njezine privlačne sile ne postane beznačajno, pa planeti opisuju konačno staze samo oko manje zvijezde. Kad bi se planeti kretali u praznom prostoru, bile bi te staze točne elipse, no velika katastrofa, koja se netom zbila, morala je ostaviti otpatke svake vrsti. Kometi, meteori, i druga mala tijela, koja još sada postoje u Sunčevu sistemu, mogu biti dijelovi tih otpadaka, ali se njihov glavni dio sastojao od prašine, ili plina, pa su nanovo nastali planeti morali najprije prokrciti put kroz otpatke, koji su se opirali njihovim gibanjima. Pod tim uvjetima nisu njihove staze bile nikakve elipse. Može se dokazati da otpor te vrsti mijenja oblik staza, pa one u toku vremena postaju sve okruglije i okruglije, da konačno postanu posve kružne, ako otpaci dosta dugo potraju.

Planeti stalno čiste otpatke plina i prašine, pa oni konačno posve nestanu, vjerojatno prije nego što planet-ske staze postanu posve kružne. Pretpostavi li se da se to već zbilo u Sunčevu sistemu, onda je sada moglo preostati vrlo malo od prvotnih otpadaka, a njihovi posljednji tragovi, vjerojatno, sačinjavaju prašinu koja pro-uzrokuje zodiacalno svjetlo. Usprkos tome izgleda da je sredstvo, koje se opiralo, postojalo dosta dugo, da pre-težno oblikuje staze, i planeta i njihovih satelita, gotovo u kružnice.

Izuzeci su isto tako značajni kao i pravilni slučajevi. Razmjerno razvučenih staza ima još u onim predjelima, gdje je tvar, koja se, ispunjavajući prvotno prostor opirala, bila najređe razdijeljena, naime na krajnjim granicama Sunčeva i raznih satelitskih sistema. Staza Plutona, naj-daljeg planeta, razvučena je u daljinu više nego ijednog drugog planeta. U sistemima Jupitra i Saturna opet su oni sateliti s najrazvučenijim stazama koji su najdalji od svog glavnog planeta. Tome još pridolazi da su razvu-čene staze uglavnom kod tijela malih masa, i kod pla-

neta i kod satelita. Merkur, koji ima samo jednu dvadesetpetinu mase Zemlje, ima prilično razvučenu stazu, a u manjoj mjeri Mars, koji teži devet puta manje od Zemlje. Jeffreys je to pokušao razjasniti. Masivni pla-neti, kao Jupiter i Saturn, moraju sakupiti veliku masu otpornog sredstva oko sebe i voditi je sobom kroz prostor kao prostrani omotač. Budući da je kretanje tog ma-sivnog planeta otežano uzajamnim djelovanjem te veli-ke mase omotača s ostatkom sredstva, njihove će staze postati brže kružne od staza laganijih planeta koji su oko sebe sakupili omotače daleko manjih dimenzija. Isto to vrijedi, uz odgovarajuće promjene, i za satelitske sisteme (str. 256).

Jeffreys je izračunao u kojoj bi mjeri planetske staze promijenile svoj oblik pod djelovanjem toga otpornog sredstva. Pretpostavke problema nužno su nesigurne, a ta nesigurnost ima naravno utjecaja na njegove zaključke, no njegovo je istraživanje dalo, kako smo već vidjeli (vidi stranu 160), dragocjenu potvrdu drugih procjena o dužini proteklog vremena od postanka planeta.

#### *Evolucija planeta.*

Sada moramo svratiti pažnju fizikalnim promjenama kojima su planeti izvrgnuti kroz cijelo vrijeme. Dugački pramen materije, izvučen iz Sunca, morao je biti, vjero-jatno, najgušći u svom srednjem dijelu, budući da je taj dio bio izvučen, kad je druga zvijezda bila najbliža i njezina privlačna sila najjača. Šematski barem možemo taj pramen predstaviti u obliku cigare — u sredini de-beo, a na krajevima tanak — tako da su zgušnjavanja, kad su se počela stvarati u sredini bila po svoj prilici bogatija materijom od onih na krajevima. To vjerojatno objašnjava zašto su najmasivniji planeti, Jupiter i Sa-turn, zauzeli srednje položaje u nizu planeta.

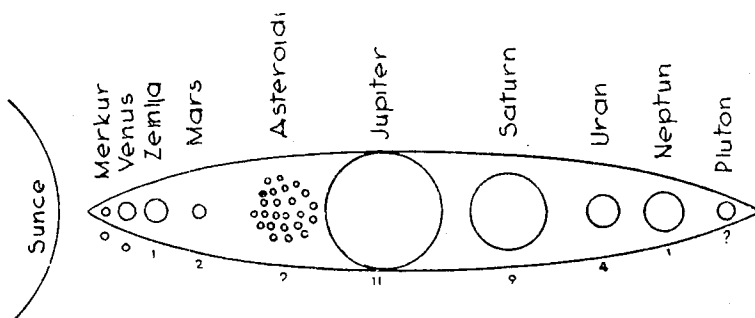
Slika 22. pokazuje planete poredane po njihovoj daljini od Sunca, pri čemu su njihove veličine dane u približno ispravnom mjerilu. Tisuće asteroida, čije staze ispunjavaju prostor između Marsa i Jupitra, predsta-vljeni su kao jedan planet, budući da se općenito smatra



da su ti asteroidi nastali raspadom jednog planeta, a opisat ćemo još, ukratko, na koji način.

Okružimo li te planete neprekidno linijom kao u crtežu, možemo prikazati, u predodžbi, cigarni oblik pramena, od kojeg su nastali, pa odmah vidimo kako su u sredini, gdje je bilo najviše materije, nastali najveći planeti.

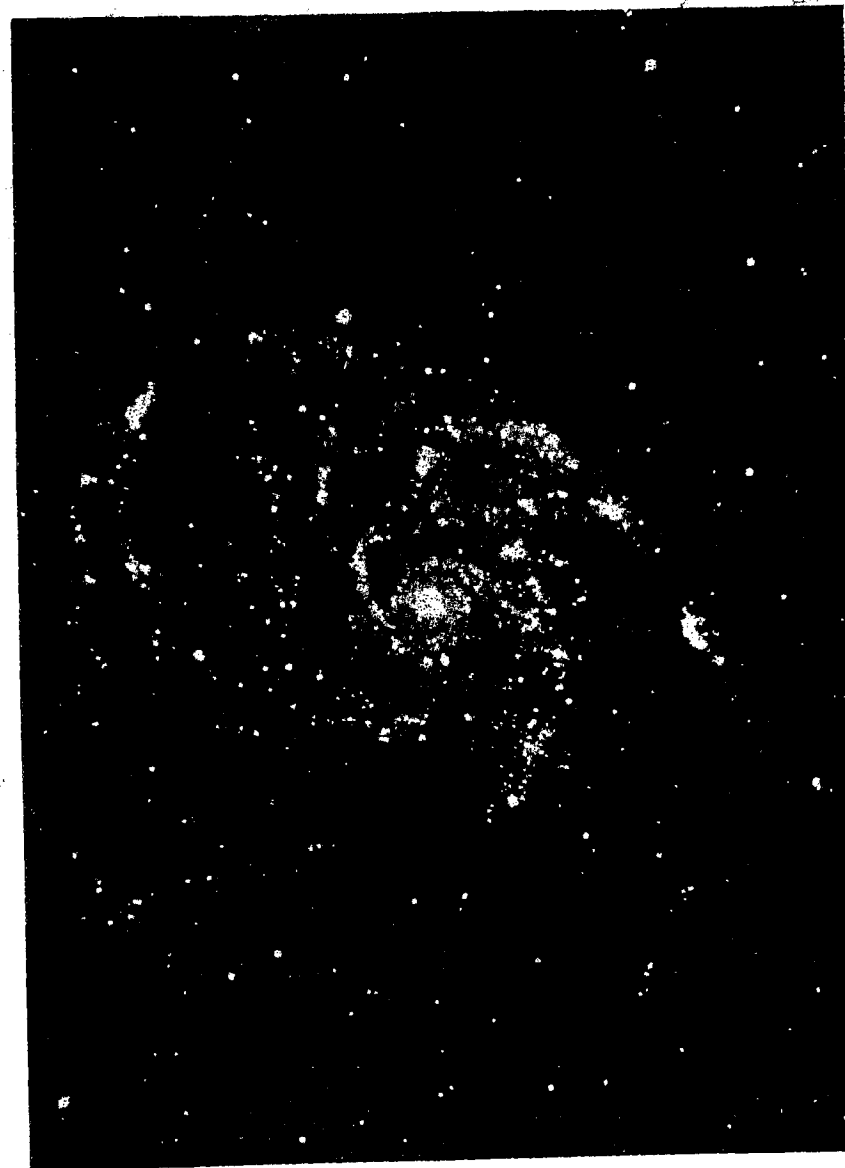
Plimska teorija, koja predviđa sve te osobitosti, bila je iznesena mnogo godina prije otkrića novog planeta Plutona, a bile su izvedene sve posljedice koje od nje slijede. Zato se okolnost, da se Pluto vlada u svakom pogledu kako to zahtijeva plimska teorija, može smatrati dragocjenim osloncem za teoriju.



Slika 22. Šematski prikaz, koji pokazuje postanak planeta iz plinovite mase u obliku cigare. Pod svakim planetom označen je broj njegovih satelita (vidi stranu 258).

#### Postanak satelita

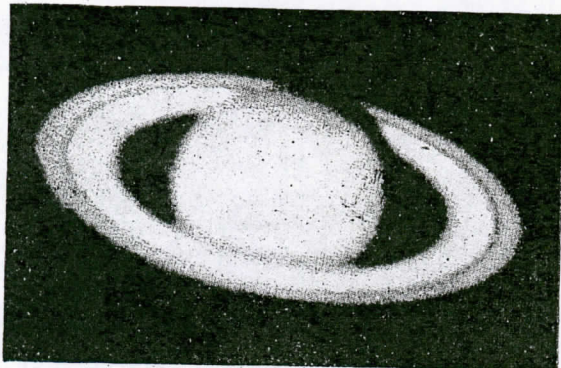
Rekli smo već da se velikom razlikom u težini Sunca i planetâ razlikuje sistem *Sunce-planeti* od normalne dvojne zvijezde, a to pokazuje da su porijekla tih obiju formacija sasvim različite. Upravo ista ta nejednakost ponavlja se kod sistema *planet-satelit*. Baš kao što je Sunce mnogo masivnije od svoje djece planeta, tako su oni opet daleko masivniji od njihove djece, satelita. Sunce teži 1047 puta više od najtežeg planeta, a oko šest milijuna puta više od najmanjeg planeta. U Satur-



Zvjezdarnica Mt. Wilson

Maglica M 101 u Velikom Medvjedu.





Saturn 1916.



Saturn 1917.



Saturn 1921.

*Lowellova zvjezdarnica*

Saturn i njegov sistem prstena.

novu su sistemu odgovarajući brojevi 4150 i 16 milijuna. Najbliži je jednakosti masa sistem Zemlja-Mjesec, budući da je Zemlja samo 81 puta teža od Mjeseca. A kao što planetarni sistem Sunca, tako satelitski sistem Saturna, a u manjoj mjeri Jupitera, pokazuje općenitu naklonost, da mase različitih satelita rastu, što se više udaljujemo od planeta, do izvjesnog maksimuma, pa se onda opet smanje. I to nam nameće misao, da su nastali od pramena u obliku cigare, u kojem je materija bila najgušća u sredini. U vezi s ponavljanjem velike nejednakosti u težini između glavnog i sporednih tijela pokazuje to vrlo upadno, da su sateliti nastali od planeta istovrsnim procesom, kojim su ranije dozvani u život i njihovi roditelji, planeti.

Možemo općenito predočiti sebi proces. Odmah po svom postanku moraju planeti početi da se ohlađuju. Najveći planet Jupiter i Saturn, hlade se, naravno, najpolaganije, a najmanji najbrže. Ti potonji mogu tako brzo izgubiti svoju toplinu da, gotovo neposredno nakon postanka, postaju tekući, a možda čak i čvrsti. Za vrijeme tog procesa hlađenja planeti još uvijek nemaju čvrste staze i mogu katkad doći tako blizu Suncu, da se desi drugo razaranje djelovanjem plime. Sada igra Sunce ulogu koju je prije odigrala zvijezda u prolazu, a planeti preuzimaju prijašnju ulogu Sunca. Sunce može sada izvući duge pramene materije iz površine planeta, a oni mogu zgušnjavajući se dozvati u život novu generaciju nebeskih tijela, planetarne satelite. Na taj način otprilike zamišlja plimska teorija postanak satelita.

Matematičko ispitivanje pokazuje da plinovito Sunce može to teže razoriti planet, što je on više odmakao u očvršćivanju. Treba li ipak da nastupi razbijanje, u tom će slučaju težine glavnog tijela i satelita biti veća podjednake nego da je planet bio plinovit. Prelazimo li stoga od potpuno plinovitih planeta k onima, koji su postali tekući kod postanka ili neposredno nakon toga, možemo očekivati da ćemo najprije susresti planete s velikim brojem relativno malih satelita a, prešavši graničnu liniju, planete s malim brojem razmjerno velikih satelita i, konačno, planete koji nemaju nikakvih satelita.



Vidjeli smo već da najveći centralni planeti, Jupiter i Saturn, ostaju najduže plinoviti, a mali su planeti najprije postali tekući; vidimo sada da to teoretsko predviđanje odgovara stvarnosti u Sunčevu sistemu. Pođemo li od Jupitera i Saturna, od kojih svaki ima 11 odnosno 9 razmjerno malih satelita, dolazimo do Marsa s dva satelita, do Zemlje s njezinim razmjerno velikim satelitom i, zatim, do Venere i Merkura koji nemaju ni jednog satelita. Pođemo li u drugom smjeru, dolazimo od Jupitera i Saturna s njihovim 11 odnosno 9 malih satelita do Urana s četiri mala satelita i do Neptuna s jednim, razmjerno velikim, satelitom. Broj pod svakim planetom na slici 22. daje broj njegovih satelita. Učini li se na taj način broj zornim, postaje vrlo jasan zakoniti poredaj u redosljedu satelitskog sistema, a njihov raspored odgovara točno predviđanju plimske teorije. Izgled cigare ne dolazi do izražaja samo u veličini planeta, nego također, kako i treba, u broju njihovih satelita.

Zemlja i Neptun, koji imaju svaki jednog, ali razmjerno velikog, satelita, sačinjavaju jasnu demarkacionu liniju među prvotno tekućim i prvotno plinovitim planetima. To nas dovodi do nazora, da su Merkur, Venera i Pluton bili tekući ili čvrsti neposredno nakon svog postanka, da su Zemlja i Neptun bili djelomice tekući, a djelomice plinoviti, a da su Mars, Jupiter, Saturn i Uran nastali kao plinovita tijela i ostali to, barem do postanka njihovih satelitskih obitelji.

Dalju potvrdu plimske teorije možemo možda naći u okolnosti, da su mase Marsa i Urana neobično malene za njihov položaj u nizu planeta. Ako su planeti nastali svi od neprekidnog pramena materije, kako smo pretpostavili, bila bi masa Marsa, vjerojatno, između Zemlje i Jupitera, a masa Urana između masa Saturna i Neptuna. No ako su dva izuzetna planeta, Mars i Uran, bili najmanji od planeta nastalih u plinovitom stanju, kako smo to morali pretpostaviti, onda su oni, vjerojatno morali izgubiti više od svoje tvari nego drugi planeti, jer su se njihovi vanjski slojevi molekula raspršili u prostoru prije nego su se ohladili do tekućeg stanja. Pretpostavi li se da su Mars i Uran samo ostaci prvotno zna-

tno masivnijih planeta, počinju iščezavati nepravilnosti, a pojedini se dijelovi slike-zagonetke počinju lijepo slagati na zadovoljavajući način.

#### *Ravnine staza*

Svaka rotirajuća masa, plinovita, tekuća ili čvrsta, ima određenu os rotacije, a okomito na nju određenu ekvatorsku ravninu, koja simetrično dijeli masu u dvije posve jednake i slične polovine. Prsne li masa uslijed svoje vlastite rotacije, postoji i nadalje ekvatorska ravnina i simetrija. To se može ustanoviti kod svih fotografija rotirajućih maglica kao, na primjer, kod onih na tablama XI i XXI. U našem svakidanjem običnom životu može kao primjer poslužiti prskanje blata, kad se vrti kotač bicikla, koje uvijek ostaje u ravnini vrtnje kotača.

Kad bi se pokazalo da je ekvatorska ravnina Sunca ravnina simetrije za Sunčev sistem, mogao bi se sistem objasniti kao posljedica raspadanja uslijed rotacije. No ekvatorska ravnina nije ravnina simetrije. Planeti se ne giblju u toj ravnini, nego većinom u ravnini koja je prema njoj nagnuta za 5 ili 6 stupnjeva. Primijenimo li opet našu skromnu usporedbu: prskanje blata ne odlijeće u ravnini u kojoj se okreće kotač bicikla.

Hipoteza, da su planeti nastali razbijanjem Sunca uslijed brze rotacije, ne može objasniti tu činjenicu, ali nam plimska teorija odmah pruža jednostavno objašnjenje. Sunce rotira još uvijek prilično jednako, kao i prije postanka planeta, i održava tako svoju prvotnu ekvatorsku ravninu. Posve različita ravnina, u kojoj točno ili vrlo blizu njoj opisuju planeti svoje staze, mora biti posve naravno ona ravnina u kojoj je prvotno zvijezda u prolazu izvukla dugački plimski pramen. Tako mora ravnina, u kojoj se sada kreću vanjski planeti, odgovarati položaju ravnine u kojoj su obje zvijezde, Sunce i prolazeća zvijezda, koja je sa Suncem dozvala u život Sunčevu djecu, opisale jedna oko druge stazu prije tri milijarde godina. To je jedini trag koji je ona ostavila za sobom, a taj je trag naravno preneznatan, da bi se



nakon tako dugog vremena moglo pokušati njezino identificiranje.

Takva je plimska teorija postanka i razvoja Sunčeva sistema, koja može zorno objasniti velik broj opaženih karakteristika sistema. No ona zaprema tek mali ugao platna, na kome smo pokušali naslikati razvoj svemira kao cjeline.

Pretpostavili smo u V. poglavlju da zvijezde nastaju kao zgušnjnja u maglici gotovo nezamislive razrjeđenosti; ta se zgušnjnja stežu, dok se ne stvore zvijezde kakve poznajemo.

Kroz cijelu svoju povijest te bi zvijezde lutale naokolo, većinom neovisno, kroz prostor, tako da bi se parovi prigodice susretali dovoljno blizu jedan drugome, te proizveli planetske obitelji na način koji smo netom opisali.

Mislilo se dugo vremena da proces stezanja novorođene zvijezde teče tako brzo, da nema nikakvog izgleda, da bi nastali planeti, dok je on u toku. Ali to predviđa da bi novorođena zvijezda, zahvaljujući svojoj ogromnoj veličini i rijetkom sastavu, bila osobito osjetljiva na plimsko djelovanje. Zaboravljajući, za trenutak, potpuno Sunčev sistem, izgleda gotovo izvjesno da bi morao nastati velik broj planetarnih sistema plimskim djelovanjem upravo spomenute vrste, da bi vrlo veliki dio njih morao nastati, dok su njihova Sunca bila još u polu maglovitom stanju; sve je to stvar čisto statističkog računa. Naš vlastiti Sunčani sistem sadrži očevitni dokaz, da je nastao na isti način kao i ta većina; Sunce je bilo još ogromne veličine, kad je nastao sistem. Ni jedna druga hipoteza ne može objasniti njegovu silnu proširenost u prostoru; ako bi planeti nastali, kad se Sunce već stegnulo do sadašnje veličine, nema te sile koja bi mogla iznesti materiju iz Sunca do staze Plutona, a ne bi bilo nikakvog uzroka, koji bi mogao prouzrokovati da se planeti vrte brzo kao što se sada vrte.

Pretpostavljalo se, ipak, dugo vremena da su planeti, koliko ih je god moglo biti na nebu, nastali uglavnom od zvijezda u njihovu sadanjem stegnutom stanju; tada bi bilo vanredna rijetkost, da se dvije zvijezde pri-

bliže dovoljno blizu jedna drugoj, kako bi mogli nastati planeti. Na osnovu toga obično se pretpostavljalo da planetarni sistemi moraju biti rijetki objekti na nebu. No sada vidimo da se morao zbiti daleko veći broj susreta, dok su još zvijezde bile velike, i da planetarni sistemi moraju biti daleko češći nego što se ranije mislilo. Priličan, premda vjerojatno još mali, dio zvijezda mora biti praćen planetima; postanak planetske obitelji nije redovna sudbina zvijezda, ali je mnogo manje izvanredna nego što smo običavali misliti, i to se moralo desiti određenom broju zvijezda. Ukupni je broj zvijezda u prostoru tako ogroman da mora i broj planetarnih sistema u cijelom svemiru biti gotovo nezamislivo velik. Bilijuni njih moraju biti gotovo točne kopije našega Sunčeva sistema, a milijuni njihovih Zemalja moraju biti gotovo točna kopija naše Zemlje.

#### ROCHEOVA GRANICA

Vladavina gravitacione nastabilnosti mora završiti s postankom satelita, jer se plinovita tijela manje težine od njih ne bi mogla održati zajedno. Čak ni pod najpogodnijim uvjetima ne bi njihova slaba privlačna moć mogla spriječiti vanjskim molekulama da se brzo ne rasprše u prostoru. U astronomiji ima ipak mnogo primjera manjih tijela; spomenuli smo već asteroide, meteore ili krijesnice, i dijeliće Saturnova prstena. Budući da su premalena, da bi nastala u plinovitom stanju, moramo pretpostaviti, da su ona krhotine većih masa. To se slaže s okolnošću, da se ta mala tijela ne javljaju pojedinačno, nego u rojevima.

Asteroidi su jedan jedini roj. Kad bi bili rasijani po cijelom Sunčevu sistemu, predstavljalo bi njihovo porijeklo težak problem. Kako sada stvari stoje, može se cijeli roj vrlo jednostavno objasniti kao krhotine nekog planeta koji je prvotno postojao. Saturnovi se prsteni mogu opet prirodno objasniti kao komad nekog ranije razbijenog Saturnova mjeseca. Komet ili repatice, koje smo do sada zbog pomanjkanja prilike jedva i spomenuli, vjerojatno su jata malih tijela, koja jedva drže skupa privlačne sile među sobom, da bi opisivali zajedničku



stazu u prostoru. Kod pojave Halleyeve repatice godine 1909. procijenilo se da ona reflektira toliko Sunčeva svijetla koliko jedno jedino tijelo od 40 km promjera. No njena je vidljiva površina bila 300 000 puta veća od takvog tijela i posve prozirna. Teško se suprotstaviti zaključku, da se repatica sastojala od prostranog jata malih tijela, a takvo se jato može jednostavno objasniti kao preostali komadi jedne jedine razbijene mase.

Krijesnice ili meteore susrećemo također u jatima. Kako ćemo kasnije vidjeti gibanje mnogih jata omogućuje njihovo identificiranje kao komada repaticâ. Tako su otpaci, od kojih je sastavljena repatica, istovetni s meteorima koje, kada dopiju u atmosferu Zemlje, vidimo kao krijesnice. Shapley je procijenio da Zemaljska atmosfera mora svakog dana uhvatiti tisuće milijuna krijesnica, od kojih je najviše jedna od stotine dovoljno sjajna, da bi se vidjela prostom okom. Općenito se one rastvore u paru prije nego stignu do površine Zemlje. Prigodice je neka tako velika, da je atmosfera Zemlje ne ispari potpuno, a što od nje preostane udara o zemlju kao čvrsto tijelo — meteorit. Svaka se krijesnica i svaki meteorit može smatrati sitnom repaticom, koja se sastoji samo od jednog jedinog komada. Prigodice može pogoditi Zemljinu atmosferu cijela skupina pokretnih otpadaka u maloj udaljenosti među sobom, pa se pojavi kao »vatromet«. Općenito se kreće sav sitniš Sunčeva sistema u jatima i može se slobodno smatrati za krhotine većeg nebeskog tijela.

Lako ćemo uvidjeti kako se veća tijela mogu raspasti u jata meteora. Pretpostavili smo da se Sunce razbilo barem u toliko, da je izbacilo planetsku obitelj plimskim djelovanjem zvijezde u prolazu. Što bi se dogodilo, da zvijezda nije samo prošla, nego da je ostala u blizini? Dok je ona ostala u izvjesnoj daljini od Sunca otrgla je njezina privlačna sila obrazovanjem plime komad Sunca. Možemo sebi predočiti da bi dulji boravak izazvao još veća pustošenja na Suncu i da bi povećao planetsku obitelj koja je od njega nastala. Neograničeno bi zadržavale nje konačno posve razbilo Sunce.

Godine 1850. Roche je matematički ispitao taj proces. Njegova se je rasprava bavila samo čvrstim i tekućim tijelima, no osnovni mehanizam je isti, bila tijela čvrsta, tekuća ili plinovita. Vidjeli smo da manje od ta dva tijela pretrpi mnogo više od plimskog djelovanja. Roche se bavio samo sa slučajem, u kojem je jedno tijelo, uspori li se s drugim, vrlo maleno; u tom bi slučaju malo tijelo bilo posve razoreno, dok bi veće ostalo neoštećeno. Roche je zamislio da malo tijelo opisuje oko velikog tijela stazu koja se stalno smanjuje. Kad bi ta oba tijela bila iste gustoće, tada bi, prema tome računu, bilo malo tijelo razoreno, čim bi se približilo velikom na 2,45-struku daljinu velikog polumjera. Imaju li tijela različite gustoće, stvar je onda nešto zamršenija. Moramo zamisliti da se veliko tijelo rastegne ili stegne, dok ne dobije istu prosječnu gustoću kao i manje tijelo; kritična daljina je onda 2,45 puta polumjer većeg tijela u njegovu stegnutoj ili rastegnutoj stanju.

Ta se daljina općenito naziva Rocheova granica. Sateliti može neugrožen, opisivati svoju kružnu stazu oko nekog planeta sve dok ta staza leži izvan Rocheove granice, ali čim pređe tu granicu, bit će razbijen u komade. Slijedeći brojevi potvrđuju Rocheovo matematičko ispitivanje:

Polumjer vanjskog Saturnova prstena . . . . .	2,30 polumjera Saturna
Rocheova granica . . . . .	2,45 polumjera
Polumjer staze unutar-njeg Saturnova satelita . .	3,11 polumjera Saturna
Polumjer staze unutar-njeg Jupiterova satelita . .	2,54 polumjera Jupitera
Polumjer staze unutar-njeg satelita Marsa . . . . .	2,79 polumjera Marsa.

U isti mah sile nas ti brojevi na pretpostavku, da su Saturnovi prsteni krhotine nekog prijašnjeg satelita koji se usudio ući u opasnu zonu ograničenu Rocheovom granicom.

Govorimo o Saturnovim prstenovima u pluralu, jer dvije odijeljene pukotine pobuđuju dojam, da se radi o



tri odijeljena prstena. To bi nas lako moglo zavesti, da zaključimo da su prsteni krhotine triju različitih satelita, ali nije tako. Izvjesne su staze oko Saturna postale nestabilne zbog kretanja većih Saturnovih satelita, tako da se u tim stazama ni jedan dio prstena ne može trajno zadržavati. Izračunato je gdje bi morale te staze ležati, pa se našlo da se one poklapaju upravo s pukotinama opaženim među prstenovima. Tako su Saturnovi prsteni vjerojatno stvoreni razbijanjem jednog jedinog satelita.

Rocheova se osnovna misao može proširiti u raznim pravcima i različito primijeniti. Mora, na primjer, i oko Sunca postojati opasna zona ograničena Rocheovom granicom. Daljina te opasne zone Sunca ovisi o gustoći tijela (za koje je opasna vidi stranu 263). Za tijelo manje gustoće neke repatice ta je daljina u stvari vrlo velika. Ležala ta granica bilo gdje, repatice je prigodice pređu pa se pri tome razbiju. Opazilo se kako su se dvije repatice, Bielina repatica (1846.) i Taylorova repatica (1916.), razbile u dva komada, kad su bile daleko od Sunca otprilike kao Zemlja, a 1882. razbila se jedna repatica u četiri dijela. Bielina repatica vratila se točno 1852. u obliku dviju repatica 2 milijuna km daleko jedna od druge, ali se od onog vremena nije nikad više vidio ni jedan dio prvotne repatice. Staza je te repatice bila identična s rojem Andromedida, koji za povoljnih večeri izvode 27. studenog krasnu kišu krijesnica, tako da su te krijesnice vjerojatno ostaci Bieline repatice. Druga, jasno vidljiva jata krijesnica, kreću se također po tragovima repatica. Leonidi, na primjer, koji svake 33-će godine pružaju prekrasni prizor, kreću se tragom repatice 1866 I, Perseidi tragom druge repatice (1862. II), a Akvaridi tragom slavne Halleyeve repatice. Na svaki način ne može biti sumnje, da su krijesnice krhotine repatica. Osim toga postoje razne obitelji repatica koje slijede u istim stazama, kao da su prvotno sačinjavale jednu jedinu masu.

Isto tako mora i oko Jupitera biti Rocheova granica, pa se repatice i druga nebeska tijela razbijaju, kad prođu u opasnu zonu. Jupitrov je najbliži satelit već opasno blizu toj granici. No najzanimljivija je ta osobita

opasna zona zato, jer se pomoću nje može, vjerojatno, razjashiti postojanje asteroida. U ranije doba Sunčeva sistema, dok još planetske staze nisu bile gotovo kružnice kao danas, mogao je planet, koji se prvotno nalazio između Marsa i Jupitera, opisivati tako izduženu stazu, da je više puta prekoračio Jupitrovu opasnu zonu. Ako je tako, onda ne trebamo dalje tražiti porijeklo asteroida. Značajno je da prosječna staza svih asteroida odgovara gotovo točno stazi planeta koji bi, prema Bodeovu zakonu (strana 246), morao postojati između Marsa i Jupitera.

Takva opasna zona mora okruživati i Zemlju. Mjesec je za sada još znatno izvan nje, ali to neće uvijek tako ostati. Kako ćemo neposredno vidjeti (strana 266), posljednji je udes, koji očekuje Mjesec, da će pod utjecajem Zemljine plime biti potjeran natrag k Zemlji iz koje je prvotno proizašao. Kad se on približi do oko 13.000 kilometara Zemljinoj površini, bit će plimom koju će izazvati Zemlja u Mjesečevu čvrstom tijelu, razbijen u krhotine. Dotične će ustrojiti sistem sitnih satelita, koji će se na isti način kretati oko Zemlje kao što se čestice Saturnova prstena kreću oko Saturna ili asteroidi oko Sunca.

Mjesečina će biti nadomještena svjetlom, koje će na Zemlju odražavati satelitski prsten. Ono će biti mnogo svjetlije od današnje mjesečine, i to zbog mnogo veće površine koja će reflektirati Sunčev sjaj.

#### PLIMSKO TRENJE

Kad već planeti jednom postoje kao odijeljena, neovisna, tijela, djelovati će plimsko trenje na način opisan na str. 241. Svaki će planet biti potiskivan od Sunca i nastati će sklonost, da se brzina rotacije svakoga izjednači s brzinom Sunčeve, tako da i planeti nastoje da neprestano pokazuju istu stranu Suncu.

Gotovo je posve sigurno da Merkur okreće uvijek istu stranu Suncu zbog djelovanja plimskog trenja, a da se Venera okreće gotovo istom brzinom kao i Sunce pa mu okreće istu stranu dan za danom, a, vjerojatno,



i tjedan za tjednom. Odmičemo li se dalje u prostor smanjuje se naglo djelovanje plimskog trenja, ali možda je značajno, da bliži planeti, Zemlja i Mars, imaju oba dane od 24 sata, dok dalji planeti Jupiter, Saturn i Uran imaju dane od samo 10 sati. Vrijeme jednog obrta Neptuna i Plutona nije poznato. Izuzevši njih, nalazimo da se planeti kreću sve brže, što su dalje od Sunca, a upravo je plimsko trenje izazvalo tu pojavu.

Isto tako plimsko je trenje vjerojatno odgovorno za sadanji oblik sistema Zemlja-Mjesec, ukoliko je otjeralo Mjesec na sadanju udaljenost od Zemlje i prisililo ga da nam pokazuje uvijek istu stranu. To djelovanje plime mora, naravno, još uvijek biti djelotvorno. Plime, koje proizvodi Mjesec u oceanima na Zemlji, usporavaju brzinu vrtnje Zemlje time što vrše utjecaj na čvrsto tlo pod morima, s rezultatom, da je dan sve dulji i nadalje će se produžavati, sve dok se Zemlja i Mjesec ne budu posve skladno okretali oko sebe i jedno oko drugoga. Bude li ikad nastupilo to vrijeme, pokazivat će Zemlja Mjesecu neprestanu istu stranu, tako da stanovnici one druge polukugle Zemlje neće nikad vidjeti Mjeseca, dočim će on ovu stranu osvijetljivati svake noći. Tada će biti dan i mjesec jednako dugi, svaki oko 47 naših sadašnjih dana.

Nakon toga plimsko trenje neće djelovati u tom smislu, da tjera Mjesec od Zemlje. Ujedinjeno djelovanje plima, koje budu prouzročili Sunce i Mjesec, usporavat će i dalje vrtnju Zemlje, a u isto će vrijeme Mjesec postepeno smanjivati svoju udaljenost od Zemlje, dok ga ne stigne gore opisana (str. 265) sudbina.

Jeffreys je ispitao vrijeme koje je potrebno za sve te događaje. On smatra, kako je već spomenuto (str. 160), da je trebalo oko 4 milijarde godina, dok je sistem Zemlja-Mjesec postigao svoj sadanji poredaj; da će biti potrebno daljih 50 milijarda godina, dok se izjednači dužina dana i mjeseca, tako da će onda Zemlja pokazivati Mjesecu neprestano istu stranu.

## FIZIKALNO STANJE PLANETA

Pretpostavili smo da su planeti otpočeli postojanje kao zgušnjavanja u pramen rijetkog plina; nakon toga oni su se isprva postepeno stezali, zatim postali tekući i očvrslili, dok nisu poprimili sadanje fizikalno stanje. Ispitajmo ta stanja i pogledajmo možemo li podrobno doznati kako su ih postigli. Tu postoje dva glavna pravca proučavanja; prvi je, da se izmjeri cjelokupna količina zračenja, što ga primimo od svakog planeta, a drugi, da se spektroskopski analizira.

### *Temperature planeta*

Planete vidimo po Sunčevu svjetlu koje prema nama odrazuju njihove površine. Osim toga zračenja, njihove površine odašilju također izvjesnu količinu toplinskih zraka — baš kao što to čini svaka druga površina koja nije savršeno hladna (t. j. na temperaturi apsolutne nule). Količina koju emitiraju različiti planeti, može se mjeriti bolometrom; opažanja, koja su vrlo točno izvedena posljednjih godina, pokazala su da svaki planet izdaje upravo toliko energije u obliku svjetla i topline, koliko je prima od Sunca. Zato imaju planeti malo vlastite topline i vrući su toliko, koliko ih Sunce ugrije. Prema tomu, planeti koji su najbliži Suncu, najtopliji su i obrnuto.

No udaljenost od Sunca objašnjava samo prosječnu temperaturu planeta; odstupanja od tog prosjeka ovise o fizikalnom stanju planeta. Na primjer Zemlja i Mjesec su jednako daleko od Sunca, tako da su njihove prosječne temperature otprilike jednake, no njihovi su fizikalni uvjeti daleko različiti. Mjesec je bez atmosfere, bez vode, bez vegetacije ili života bilo kakve vrsti, on je mrtav svijet, na kome se brda i vulkanske stijene uzdižu iz ravnica lave i pepela. S druge strane posjeduje Zemlja atmosferu, puna je vode i obiluje životom. Posljedica je da temperatura Zemlje ostaje gotova stalna i kod promjene dana i noći, dok se Mjesec ruši iz jedne krajnosti u drugu. U malom možemo vidjeti tu pojavu kod pomrčine Mjeseca, kad Zemlja prođe između Sunca i Mje-



seca, tako da zaklanja površinu Mjeseca od Sunčevih zraka. Pettit je našao da točka baš ispod Sunca ima temperaturu oko  $+101^{\circ}\text{C}$ , tako dugo dok na nju padaju neprekidno Sunčeve zrake. U trenutku, kad Zemlja počinje spriječavati dolazak zraka, temperatura počinje naglo padati i padne na  $-73^{\circ}\text{C}$  — dakle pad od 174 stupnja — u vrijeme totaliteta, kad ni jedna zraka ne dolazi na tu točku. Dalji četvrt sata tame smanji ju na  $-91^{\circ}$ , a kad se Sunce počne opet pojavljivati nakon  $4\frac{3}{4}$  sata totaliteta, temperatura je pala na  $-117^{\circ}\text{C}$ . Kako god opet Sunčeve zrake padaju na tu točku, Mjesec se grije istom brzinom kojom se ranije hladio.

Na površini Zemlje su nepoznate takve strahovite promjene temperature, pa bilo to u minutama pomrčine Sunca ili u satovima noći. Kad su isključene Sunčeve zrake, Zemlja iskorišćuje spremište topline svoje atmosfere i tla. Mjesec nema takvih spremišta, da se njima posluži; nema atmosfere, a njegova je površina gotovo savršeno slabi vodič topline; račun je pokazao da toplina, koju Mjesec izdaje za vrijeme pomrčine, dolazi iz sloja tanjeg od dva centimetra.

#### *Atmosfera planeta*

Vidjeli smo već (s. 219) kako okolnost Mjesečeve atmosfere proizlazi neposredno iz male mase Mjeseca; njegovo je gravitaciono privlačenje nedovoljno, da zadrži atmosferu protiv nastojanja njezinih molekula da odu u prostor.

Na Zemlji projuri molekula na površini mora tek jednu 160.000-inku centimetra, a da se ne sudari s drugom molekulom i započne novu stazu. U višim slojevima atmosfere, gdje ima manje molekula, produžuje se za odgovarajuću dužinu njezina staza, a na kraju atmosfere moguće je da molekula prođe mnogo kilometara, pa čak i na hiljade kilometara prije nego susretne drugu molekulu. U tim predjelima može molekula, krećući se pravim smjerom i pravim brzinama — od 7,9 do 11,2 kilometara u sekundi — nesmetano proputovati nekoliko puta oko Zemlje, predočujući u stvari minijaturnog pratioca Ze-

mlje — nalik Mjesecu, izuzevši razliku u veličini (str. 45.). Kreći li se brzinom većom od 11,2 kilometara u sekundi, ona će posve nestati sa Zemlje i postati putnik u prostoru.

Kao što molekule, koje sačinjavaju Zemljinu atmosferu, imaju prosječnu brzinu samo 530 metara u sekundi tako ih može biti nekoliko s brzinom koja premašuje 11,2 kilometara u sekundi. Ali uvijek ima nekolicina molekula koje zauvijek nestaju iz Zemljine atmosfere i izgubljene su za nju do vijeka. Molekule, koje nestaju, nisu ipak neki pravi uzorak cjeline atmosfere. Vidjeli smo već (str. 112) kako laganije molekule u mješavini plinova jure većim brzinama, dok teže masivne molekule jure manjim brzinama. Zato je daleko vjerojatnije da laganije molekule poprime brzine koje premašuju 11,2 kilometara u sekundi, i plin, koji se gubi, sastoji se većim dijelom, ili sasvim, od molekula laganije vrsti.

Jednostavni račun pokazuje da u sadašnjim okolnostima ne bi odlazio iz Zemljine atmosfere ni jedan plin u znatnijoj mjeri. S druge strane Mjesec zadržava molekule na svojoj površini tako nezatnom snagom, da već molekule s brzinom većom od  $2\frac{1}{2}$  kilometara mogu izaći izvan njegova gravitacionog polja. Podrobniji račun pokazuje da bi vodik, helij, vodena para, dušik i argon brzo nestali u prostor. U prošlosti, kad je Mjesec bio topliji nego što je danas, i još u stanju oblikovanja, nestali bi i teži plinovi, tako da lako razumijemo kako je bilo kakva atmosfera, koju je Mjesec onda posjedovao, već davno iščezla.

Mjesec ima, dakle, tako slabu gravitacionu silu, da molekule običnijih vrsta brzo nestaju s njega; Zemlja naprotiv ima dovoljno gravitacione moći, da ih sve zadrži veoma dugo vrijeme. Mogu se desiti i srednji slučajevi, pa planet može zadržati teže vrsti molekula, ali ne laganije. Takav je slučaj na Marsu, koji je veći od Mjeseca, ali manji od Zemlje. Računi pokazuju da bi vodik nestao u velikoj mjeri s Marsa, helij mnogo polaganije, a svi teži plinovi u mjeri koja je posve nezatna. Za svaki planet možemo izračunati koji plinovi zbog svoje male težine ne mogu postojati u njegovoj



atmosfera, premda znanje, da li se neki plin stvarno nalazi u atmosferi, dobivamo samo s pomoću opažanja.

Mnogi od manjih članova Sunčeva sistema — Merkur, Mars i naročito Mjesec — pokazuju stalno jasne obrise koji očevidno pripadaju čvrstoj površini tijela. Veći planeti ne pokazuju takve obrise; ono, što vidimo, nije ni jasno ni stalno i čini se da se sastoji od debelih oblaka. Bila njihova priroda koja mu drago, moraju, naravno, ti oblaci imati neku atmosferu koja će ih podržavati.

Da otkrijemo sastav te atmosfere, moramo se poslužiti drugim načinom proučavanja, spektroskopskim.

Budući da planeti ne svijetle svojim vlastitim svijetlom, mogu se proučavati samo posredstvom Sunčeva svijetla koje odražuju. Kad bi planet imao atmosferu, onda bi svijetlo prošlo dva puta kroz nju prije nego što stigne u naš instrument — jednom dolazeći, a drugi put odlazeći s njega. To prolazanje ne može naravno ništa dodati Sunčevu svijetlu, ali mu može nešto oduzeti. Taj manjak može se otkriti pojavom absorpcionih linija u spektru svijetla; identificiramo li ih, onda možemo znati koje su tvari u atmosferi planeta smetale prolazu svijetla, te možemo zaključiti sastav atmosfere, pa makar i samo djelomično. Ako je atmosfera tako savršeno prozirna, da vidimo do površine planeta, mora ipak biti neki gubitak svijetla zbog refleksije na površini, jer ni jedna tvar ne reflektira svijetlo u potpunosti. Postotak izgubljenog svijetla različit je za razne boje, pa uspoređujući moć refleksije površine, redom za sve boje, s postocima poznatih zemaljskih tvari, mogu se identificirati sastavine od kojih se sastoji površina. Lyot je nedavno našao da je moć refleksije površine Merkura, Marsa i Mjeseca potpuno istovjetna s moću refleksije lave i vulkanskog pepela.

Kad se svijetlo odražuje od čvrste površine, ne gubi samo na količini, nego se mijenja u kakvoći. Govorimo da je svijetlo »polarizirano« kada nema ista svojstva u svim pravcima koji su okomiti na njegov smjer rasprostiranja. Refleksija obično mijenja način polarizacije

svijetla, a veličina promjene ovisi o boji svijetla, a također o prirodi površine od koje se reflektira.

Tri gore spomenute površine pokazuju ne samo jednaku moć refleksije, redom za sve boje kao i lava i vulkanski pepeo, nego također i isti iznos promjene u polarizaciji, pa jedva možemo i posumnjati u to, da se površina tih svih triju planeta sastoji od produkata vulkanskih erupcija u ovom ili onom obliku.

To su metode kojima astronom ispituje fizikalne uvjete planeta. Razmotrimo sada redom različite planete, počevši od najbližeg Suncu.

### MERKUR

Merkur je najbliži Suncu i zato najtopliji od svih planeta. Baš kao što Mjesec pokazuje neprestano istu stranu Zemlji, tako pokazuje Merkur uvijek isto lice Suncu. Zato je na jednoj hemisferi Merkura vječni dan — i to vrlo vrući dan — dok je na drugoj hemisferi neprestano noć. Za onu točku, neposredno ispod Sunca, gdje je neprekidno podne, nađeno je da ima temperaturu od 343° C, temperaturu pri kojoj su olovo i kalaj (kositar) tekući. Zamislimo li da postoje Merkurijanci, možemo biti sigurni da ne nastavaju taj dio površine planeta. Oni bi radije živjeli u zoni sumraka oko 90° daleko, gdje je Sunce uvijek blizu horizonta, i gdje je temperatura umjerenija. Pa čak i ovdje oni bi jedva mogli živjeti u kućama građenim nad zemljom, jer bi Sunce neposredno ugrijalo svaku sunčanu stijenu do temperature kojih 343° C, a stanovnici bi bili isprženi kao u peći. Zamislimo ih radije kako žive u ulicama jaraka iskopanih u zemlji i kako su podigli, ovdje ondje, na maloj visini iznad zemlje, željezne cijevi, da u njima zavrije voda i tjera njihove strojeve. No astronomija ne zna ni najnesigurniji dokaz, koji bi tvrdio da na Merкуру postoji bio kakav život.

Još se uvijek može raspravljati da li Merkur ima atmosferu ili ne. On je planet najmanje mase, s manje od jedne dvadesetine Zemljine mase, tako da je njegova moć zadržavanja atmosfere malena. U sadašnjim uvje-



tima zadržao bi kisik i teže plinove; ali u prošlosti, kad je bio vjerojatno čak topliji nego sada, svi bi se plinovi, izuzev onih najtežih, izgubili u prostor. Na cijeloj njevoj površini detalji su tako stalni i jasni, pa uvjeravaju da ne postoji nikakva znatnija atmosfera. Ipak je Schiaparelli opazio, prije pedeset godina, da neki detalji na površini izgledaju povremeno zamagljeni ili čak potamnjeni, kao kakvim oblacima, a ta je njegova opažanja potvrdio i proširio Antoniadi. Budući da planet ne može zadržati molekule vodene pare, bilo je zamišljeno da se oblaci sastoje od čestica prašine, koje se, vjerojatno, dižu pri padu stijena, ali čak i u tom slučaju mora biti neke vrsti atmosfere, da sprečava čestice prašine od neposrednog pada natrag na površinu planeta.

### VENERA

Iza Merkura dolazi Venera, sestra blizanka Zemlje. Ta dva planeta nisu posve slična, jer Zemlja ima oko 3% veći promjer i oko 23% više mase od svoje manje sestre. Ta mala razlika ne izaziva nikakve znatne razlike u snazi zadržavanja atmosfere tih dvaju planeta, tako da Venera, kao i Zemlja, može zadržati sve plinove, uključivši i vodik. Zato, ako izučavamo problem samo u uvjetima sadanjeg stanja planeta, razumljivo je da možemo očekivati od Venere atmosferu sličnu Zemljinoj, premda, možda, u nešto manjoj količini.

Doista se pronašlo da su obje atmosfere vrlo različite. Nešto se od te razlike već predmnijeva zbog općeg izgleda Venere. Astronom, koji bi opažao Zemlju s Venere, vidio bi blistave bijele oblake gdje pokrivaju oko polovine površine Zemlje, dok bi pukotine u oblacima otkrивale stalne obrise mora, pustinjâ i plodnog kopna. No astronom, koji ispituje Veneru sa Zemlje, ne može otkriti uopće nikakvih stalnih obrisa već samo neprekidnu površinu, sličnu oblacima. Gerasimović je proučavao sjaj toga oblačnog omotača i način, kako se on mijenja s fazama planeta, pa je pokazao da omotač ne može biti plinovit, već se mora sastojati od većih raspršenih čestica — vjerojatno produkata kondenzacije, na-

lik ledenim kristalicima koji stvaraju cirusne oblake u našoj atmosferi. Nemamo nikakvog načina, da istražimo kakva može biti atmosfera ispod tog sloja oblaka; ali, naravno, možemo spektroskopski istražiti »gornju atmosferu« iznad njega.

Na taj se način potvrđuje da je ona u mnogom pogledu oprečna Zemljinoj atmosferi. Vodik, dušik i neaktivni jednoatomni plinovi ne mogu se ni u kojem slučaju otkriti spektroskopski, tako da bi proučavanje Zemljine atmosfere s Venere pokazalo velike količine kisika, znatne količine vodene pare i male količine ugljičnog dioksida. Proučavanje gornje atmosfere Venere sa Zemlje ne otkrивa ni kisika ni vodene pare, već obilje ugljičnog dioksida. To ne znači da tamo uopće nema kisika i vodene pare, jer spektroskopski dokaz nije vanredno osjetljiv, već to znači da se količine kisika i vodene pare moraju kretati unutar određenih označenih granica. Kad bi sav kisik u Zemljinoj atmosferi bio skupljen i raspoređen u jednom sloju pri atmosferskom pritisku, taj bi sloj bio znatno deblji od kilometra i pol, dok bi ugljični dioksid, kad bi se s njime postupilo na isti način, zapremao sličan sloj, debeo tek nekoliko decimetara. Za gornju atmosferu Venere bila bi odgovarajuća debljina kisika manja od jednog metra, a oko 800 metara debljina sloja ugljičnog dioksida. Ukratko, pređemo li sa Zemlje na Veneru, ugljični dioksid i kisik zamijene mjesto. Dalje je St John našao da je cjelokupna količina vodene pare u gornjoj atmosferi Venere sigurno manja od količine iznad najviših oblaka na Zemlji; kad bi se sva staložila u obliku kiše, bilo bi te oborine manje od jednog milimetra.

Možda malo iznenađuje što bi dva tako slična planeta bila okružena tako različitim atmosferama. No što bi nas moralo iznenaditi, to je prije Zemlja nego Venera. Kisik se vrlo rado spaja s drugim tvarima pa je posve razumljivo ako očekujemo da je preostalo malo slobodnog kisika na jednom i drugom planetu. Slobodni kisik u atmosferi Zemlje često se pripisuje vegetaciji na Zemljinoj površini; rastvarajući spojeve kisika, naročito ugljičnog dioksida, ona slobodni kisik pušta u



zrak. Ali to jedva može biti potpuna pripovijest jer premda neki biolozi zamišljaju, da se život mogao javiti spontano na Zemlji pod anerobnim utjecajem, ipak većma izgleda da je bilo potrebno nešto slobodnog kisika, kad se život pojavio na Zemlji. Tamman je pokazao da bi se potrebni slobodni kisik mogao osloboditi prvotnom toplinom Zemlje, koja je cijepala molekule vodene pare u njezine sastavne atome kisika i vodik. Vodik bi se gubio u svemirskom prostoru, jer je Zemljina gravitaciona sila bila nedovoljna, da ga zadrži, i nesumnjivo bi se nešto kisika spajalo s očvrslim stijenama Zemljine kore, ali bi vegetacija brzo uspostavila ravnotežu. Tako dugo, dok možemo pretpostaviti prisutnost obojega: vodene pare i vegetacije, nema nikakve potreke, da se objasni prisutnost slobodnog kisika.

Ako dakle u Venerinoj atmosferi nema slobodnog kisika, tome može biti razlog odsutnost vegetacije, ili vodene pare, ili, naravno, manjak jednog i drugog. Počnimo s ispitivanjem prve mogućnosti — oskudice ili potpune odsutnosti vegetacije. Pretpostavka, da se život nije pojavio na Veneri, objasnila bi cijelu situaciju — bilo kakva količina slobodnog kisika, što ga je Venera mogla nekad imati, odavno se već spojila sa stijenama i naslagama, a nije bilo vegetacije, da ga nadomjesti. No također je shvatljivo da se život neizostavno pojavljuje, kad su fizikalni uvjeti povoljni, ali ti se povoljni uvjeti još nisu pojavili na Veneri. Doista ima razloga pretpostaviti da je Venera uvijek bila pretopla za život. Mala količina ugljičnog dioksida u Zemljinoj atmosferi već proizvodi snažan efekat »prekrivanja«, zadržavajući zračenje, koje bi se inače gubilo sa Zemljine površine, i tako održava Zemlju bitno toplijom nego što bi inače bila. Hiljadu puta veća količina ugljičnog dioksida na Veneri oblikuje daleko moćniji prekrivač, tako da proračuni za temperaturu na površini Venere sežu od  $+80^{\circ}\text{C}$  do  $+130^{\circ}\text{C}$ . Atmosferski pritisak je vjerojatno manji nego na površini Zemlje, voda može tamo postojati samo u obliku pare. Ako je tako, mora da je Venera izvanredno nezgodna za život sada, a u prošlosti je morala biti još mnogo nezgodnija.

Druga je mogućnost, koju je pretpostavio Wildt, a to je da Venera od uvijek oskudijeva na vodi. Budući da je Venera, gotovo sasvim sigurno, nastala od iste zalihe materije kao i Zemlja — naime od one od koje je bio sastavljen vanjski sloj Sunca, kad je nastajao sistem planeta — imamo razloga očekivati da je ona počela s istim razmjerom vodene pare kao i Zemlja. No na kasnijem se stupnju manja masa i viša temperatura Venere očitovala u tome, što je većina molekula vode nestala s Venere, premda je slične molekule Zemlja bila zadržala.

Osim obilja kisika Zemljina atmosfera stvara sloj ozona koji njezine donje dijelove štiti od razornog djelovanja ultra-ljubičastih zraka, koje emitira Sunce. Ako Venerina atmosfera ne sadrži toliko obilje kisika, onda tamo ne može biti nikakve zaštite od ultraljubičastih zraka; one onda prelaze kroz cijelu atmosferu i nazaraju njezine molekule fotokemijskim djelovanjem (str. 141). Pri podesnim uvjetima atom, koji je prvotno sačinjavao molekulu ugljičnog dioksida ( $\text{CO}_2$ ) i, bilo koliko mu drago, vodene pare ( $\text{H}_2\text{O}$ ), prespojio bi se, da se stvore molekule slobodnog kisika ( $\text{O}_2$ ) i formaldehida ( $\text{CH}_2\text{O}$ ). Kisik bi opet absorpirale stijene dok bi formaldehid ostao u atmosferi. Wildt je onda mislio da bi se zagonetni bijeli oblaci Venerine atmosfere mogli sastojati od kemijske veze formaldehida s vodom, ali je kasnije (1942). pronašao da je ta pretpostavka neodrživa. Uvidio je da spektroskopski ne može otkriti nikakav trag formaldehida u Venerinoj atmosferi.

Započela ona kako mu drago, za sadašnju Veneru možemo kazati da ima toplu suhu površinu, bez vegetacije a, vjerojatno, bez ikakva života koji bi bio nalik na život na Zemlji; ona je okružena atmosferom u kojoj lebdi sloj neprozirnih oblaka. Osim tih oblaka, atmosfera sadrži veliku količinu ugljičnog dioksida, nepoznatu količinu dušika i malu količinu, ukoliko je uopće ima, vodene pare i slobodnog kisika.



## MARS

Napredujući stalno sve dalje od Sunca došli bi najprije do Zemlje, a onda do planeta koji su hladniji od nje. Mars, koji dolazi prvi, nije toliko mnogo hladniji. Zračenje, što ga prima od Sunca, daje mu prosječnu temperaturu 0,81 puta manju od naše Zemlje, a to znači oko  $-40^{\circ}$  C. Stvarno opažene temperature sežu daleko od tog prosjeka, dostižući  $+10^{\circ}$  C. na ekvatoru za vrijeme Marsova ljeta popodne, i  $-70^{\circ}$  C blizu polova za vrijeme duge Marsove zime.

Pa ipak, razlike temperature bile bi mnogo veće, ako Mars ne bi bio okružen određenom stvarnom atmosferom, a opažanja potvrđuju da takva atmosfera postoji. W. H. Wright fotografirao je, na Lickovoj zvjezdarnici, planet s pomoću infra-crvenog svijetla, što prodire kroz svaku atmosferu, koja bi mogla postojati, i na taj je način fotografirao čvrsto tlo planeta; onda je fotografirao i ultra-ljubičastim svijetlom, koje može vrlo slabo prodirati, pa je tako fotografirao površinu, ne planeta, nego njegove atmosfere. Našao je da je ultra-ljubičasta slika mjerljivo veća od infra-crvene slike, pa je dobio jasan dokaz, da Mars ima atmosferu, za koju on smatra da seže 80 do 100 kilometara visoko.

Još uvijek znamo vrlo malo o ustrojstvu te atmosfere. Spektroskopska analiza do danas nije našla uvjerljive dokaze, da postoji kisik, ili ugljični dioksid, ili vodena para. Opažanja su W. S. Adamsa pokazala (1941), da tamo ne može biti ni desetina one količine vodene pare po kvadratnom metru kao ovdje u našoj atmosferi. Kad bi se sva staložila u obliku kiše, sva bi oborina bila manja od pola milimetra.

Dva su Marsova pola okružena bijelim površinama, općenito poznatim pod imenom »ledene polarne kape«, koje se smanjuju za toplog vremena a ljeti gotovo iščezavaju. Ime su dobile prema analogiji s ledenim kapama našeg planeta; ali, ako se one sastoje od leda, taj led mora biti vrlo tanak, jer slabašno sunce Marsova ljeta ne daje dovoljno žara, da se rastopi debeli pokrov leda. Proračunano je da bilo kakav led, koji bi tamo

postojao, ne može biti deblji od nekoliko centimetara, izuzev možda neposredno pored samih polova. Prava je priroda polarnih kapica vjerojatno otkrivena već spomenutim fotografijama W. H. Wrighta. Našlo se da su kapice vrlo jasne u ultra-ljubičastom svijetlu, dok su gotovo posve nevidljive u infra-crvenom svijetlu. Sloj bi se leda naravno pojavljivao baš na obrnuti način. Jedini bi mogući zaključak bio da kapice postoje u atmosferi, a ne na površini planeta. One se mogu sastojati od oblaka sitnih čvrstih čestica i tako naliče cirusima, oblacima u našoj atmosferi, kakvi su možda i oblaci koji zaklanjaju površinu Venere.

Oskudica kisika i ugljičnog dioksida u Marsovoj atmosferi znak je da ni taj planet, kao ni Venera, ne posjeduje vegetacije one vrsti, kakvu poznajemo na Zemlji. Ima tamo ipak izvjesnih tamnih predjela površine planeta, za koje je nesumnjivo opaženo da se mijenjaju kako se god izmjenjuju godišnja doba, i to i u boji i u prostranstvu. Ranije su te promjene bile često pripisivane prisutnosti ove ili one vrsti vegetacije, no u svjetlosti našeg današnjeg znanja izgleda prihvatljivijim da se te promjene protumače kao meteorološke pojave — posljedice možda strujanja vode, koje slijedi topljenje tankih polarnih kapica ili, još vjerojatnije, padanja kiše na pustinju litica ili pepela. Vidjeli smo da moć refleksije i polarizacije površine Marsa za svijetlo različitih boja pokazuje da se površina Marsa, slično onoj Mjeseca, sastoji od vulkanskog pepela i lave. Marsova je površina nekakve crvenkaste nijanse, pa to može značiti da ima izvjesni stepen oksidacije stijena i minerala, što su absorpirali sav slobodni kisik koji je bilo kad postojao. Zato je općenita slika, što ju stvaramo o Marsu, slika većeg i hladnijeg Mjeseca koji je, zahvaljujući svojoj nešto većoj veličini i masi, zadržao malo atmosfere, pa zato još uvijek ima kiše, oblaka i magle, da mu izmjenjuju izgled.

Čuveni »kanali« na Marsovoj površini još su uvijek predmet raspravljanja, premda manje sada nego u nedavnoj prošlosti. Neki opažači vjeruju da su vidjeli ravne crte na površini planeta; te crte izgledaju, opće-



nito, kao da spajaju ocrtane obrise u obojenom crtežu površine, pa se nastojalo da se protumače kao djelo inteligentnih bića, koja bilo sada nastavaju planet, ili su živjela nekoć u vjerojatno toplijoj epohi. Mnoga se zaključivanja slažu da je opravdano sumnjati u to tumačenje. Ističe se da su slične linije opažene na površini Merkura i na satelitima Jupitera, gdje je sasvim nevjerojatno da su djelovala inteligentna bića, ili čak i na Veneri, gdje ni na koji način ne možemo vidjeti takva djelovanja kroz oblake, koji potpuno zakrivaju površinu planeta. Jedan je slavan opažatelj tvrdio da vidi dvostruke kanale na Marsu, koji su očito bili preblizu, da bi se okom mogli vidjeti razdvojeni na teleskop što ga je upotrebljavao. Izgleda da nema razloga sumnjati da ljudsko oko naprežući se, kako bi vidjelo neki objekt pri nedovoljnom svijetlu, teži spajanju upadljivih istaknutih točaka ravnim linijama — baš kao što se našlo da čine školska djeca, ako se zahtijeva da crtaju udaljenju mapu pri lošem svijetlu. Može se činiti jednostavnim da se upotrijebi fotografska kamera koja nema takvih slabosti, ali na žalost kamera nije posve prikladna, da riješi to pitanje. Krupnoća zrna fotografske ploče određuje granicu u veličini detalja, koje kamera može vidjeti, baš kao što i određena valna dužina svijetla postavlja granicu do koje može oko vidjeti. Navedeni su Marsovi kanali sigurno tako tanki, da ih kamera ne može zamijetiti; ona može zapaziti izvjesne oznake, ali te se obično ne poklapaju s kanalima koje vide vizualni opažatelji. Zbog tih razloga mnogi su astronomi poklanjali malo vjere realnosti kanala i bili su skloni da ih smatraju za subjektivne iluzije presavjesnog entuzijazma, da se vidi sve što se hoće vidjeti.

Ipak su 1941. godine, kad se Mars mogao opažati pod vanredno povoljnim okolnostima, Lyot i Gentili uzeli teleskop od 38 cm otvora, na opservatoriju na Pic du Midi, i izvršili serije opažanja, vizuelnih i fotografskih, u bistroj planinskoj atmosferi. Crteži, kojima su oni zabilježili svoja vizuelna opažanja, pokazuju obrise vrlo slične onima što su ih označili prijašnji opažatelji, a naročito linije koje su izgledale vrlo slične navedenim

kanalima. Ali ima jedna bitna novost u njihovu postupku s fotografskim negativima. Ujedinjujući stotine ploča u serije od jedanaest složenih fotografija, Lyot je bio kadar ukloniti slučajne efekte koje je u prošlosti unosila krupnoća zrna fotografskih ploča. Opažatelji smatraju da te složene fotografije potvrđuju detalje, koje su vizuelno vidjeli i unijeli u svoje crteže, pa po tim opažanjima problem Marsa ulazi očividno u novu fazu.

## JUPITER I SATURN

Mars je posljednji planet na kojem se može vidjeti čvrsta površina, ne obazirući se pri tom na to, da ne znamo što gledamo kod slabe svjetlosne točke koju zovemo Pluton. Izuzimajući i nadalje Pluton, svi su planeti, dalji od Marsa, mnogo masivniji od Zemlje; jer su također mnogo hladniji od Zemlje, možemo očekivati da su zadržali gustu atmosferu; podrobna ispitivanja jasno potvrđuju da je tako.

Vidjeli smo kako različite boje svijetla imaju različite prodorne moći kroz atmosferske oblake i prašinu, a infra-crvene zrake imaju od svih najjaču moć. Atmosfere Jupitera i Saturna pokazuju da su tako neprozirne, da čak ni infra-crvene zrake ne mogu prodrijeti kroz njih; fotografije, izvedene u različitim bojama svijetla, uključivši infra-crvenu, ne otkrivaju uopće nikakav stalan obris — već samo izmjenjivanje neprestano promjenljivih izgleda, koji su čisto atmosferskog porijekla. Jupiter ima prosječnu gustoću tek 1,34 puta veću nego voda, a Saturn ima još manju gustoću od 0,71. Neznatnost tih gustoća znači da plinovita atmosfera zaprema veliki dio obujma obaju planeta.

Dalja saznanja možemo polučiti istražujući oblike planeta, kako ih vidimo u dalekozoru. Oba planeta izgledaju mnogo splošteniji — sličniji naranči — nego Zemlja. No stepen sploštenosti tijela, koje rotira, ovisi o dva faktora — o periodu rotacije tijela i o načinu kako je raspodijeljena njegova masa u unutrašnjosti; stepen sploštenosti ne ovisi uopće o veličini tijela. Pretpostavimo li da dva tijela, bilo koje veličine, A i B rotiraju



jednakom brzinom, ali da je masa tijela *A* mnogo više u jednakoj mjeri raspoređena u njegovoj unutrašnjosti, dok je masa tijela *B* mnogo više usredotočena oko njegova središta. Tada će tijelo *B* postati mnogo sploštenijeg oblika nego *A*. Zbog toga se mogu opažati periodi rotacije planeta i stupanj sploštenosti njegova oblika, kako bi se saznalo unutrašnje ustrojstvo planeta.

Periodi rotacije i Jupitera i Saturna lako se izmjere, jer svaki pokazuje na površini biljege koji, makar nisu trajni, ipak traju za vrijeme velikog broja rotacija. Našlo se da Jupiter izvrši potpunu rotaciju u malo kraćem vremenu od 10 sati, a Saturn za kojih 10½ sati. Proračuni pokazuju da Zemlja ne bi bila tako sploštena, kao što se to vidi kod Jupitera i Saturna, kad bi, rotirala tom brzinom. Zaključujemo, dakle, da oba planeta moraju imati svoju masu mnogo više usredotočenu oko središta nego Zemlja — kako bi to bilo u slučaju, da se sastoje od male čvrste jezgre okružene vrlo rasprostranjenom atmosferom.

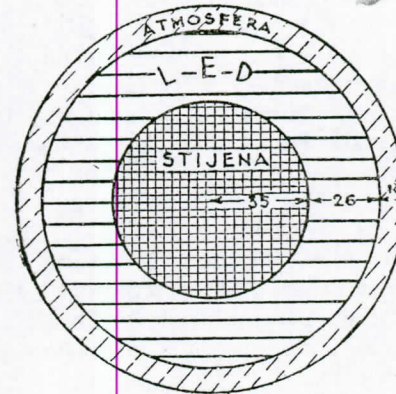
Jeffreys zamišlja da se svaki planet sastoji u prvom redu od unutarnje jezgre stijena, omotane debelim slojem leda, a sve je obavijeno vrlo gustom atmosferom. Ako je tako, Wildt je izračunao da bi stjenovita jezgra imala polumjer oko 35.000 kilometara, ledeni omotač debljinu oko 26.000 kilometara, a atmosfera visinu kojih 10.000 kilometara, s prosječnom gustoćom 0,78. Taj raspored prikazan je na slici 23.

Brojevi za Saturn još su značajniji, što se može predvidjeti i po njegovoj manjoj prosječnoj gustoći od 0,71. Stjenovita jezgra mora imati polumjer oko 22.500 kilometara, ledeni omotač debljinu 10.000 kilometara, a atmosfera prosječnu gustoću 0,41. To znači da stijene i led zajedno zauzimlju manje od jedne petine cijelog obujma Saturna; sve je ostalo atmosfera (slika 24).

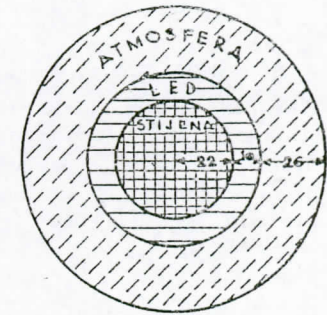
Sudeći prema Zemaljskom uzorku, obje su te atmosfere izvanredno masivne, pa moraju vršiti strahovite pritiske. Na Saturnu je masa atmosfere po kvadratnom metru oko 1.000.000 puta veća od one na Zemlji, a na Jupiteru oko 700.000. puta. Na oba je planeta gravitaciona sila veća nego na Zemlji, a posljedica je da veći

dio obiju atmosfera mora biti pod pritiskom od najmanje milijun zemaljskih atmosfera.

Pritisци toga reda zbijaju većinu tvari na gustoću veću od vode, ali ima nekih izuzetaka. Glavni izuzetci su dva elementa: vodik i helij — najlakši od svih elemenata — i sastavljene tvari: metan, etan i amonijak. Svi ti spojevi imaju vodik kao svoj bitni sastojak, pa to, naravno, objašnjava njihovu malu gustoću pod pri-



Slika 23. Jupiter.  
Srednja gustoća 1,34. Gustoća atmosfere 0,78



Slika 24. Saturn.  
Srednja gustoća 0,71. Gustoća atmosfere 0,41

tiskom. Neznatnost gustoće atmosfera Jupitera i Saturna znači da se one moraju sastojati, barem velikim dijelom, od tih pet tvari.

Izgleda da vodika i helija ima u izobilju, jer znamo da njima obiluje vanjski sloj Sunca, a oba su planeta dovoljno masivna, da ih lakoćom zadrže, čak i pri vrlo visokoj temperaturi. Nažalost, ne može se provjeriti spektroskopski prisutnost tih elemenata. Spektroskopsko ispitivanje otkriva samo metan i amonijak — neprijatna i smrdljiva mješavina para. Amonijak nije pronađen u velikim količinama, ali metana ima u izobilju. Značajno je da ta dva plina prouzrokuju sami svu onu absorp-



ciju u atmosferama Jupitera i Saturna. Svaka druga sastojina, koja bi tamo mogla biti, ili je premalene količine, da bi se opazila, ili nalik vodik i helij ne izazivlje nikakve spektroskopske utiske na svijetlo koje prolazi kroz nju.

#### URAN I NEPTUN

Još dalje od Sunca dolaze Uran i Neptun koji su, čini se, samo hladnije minijature Jupitera i Saturna. Opažena temperatura Jupitera je  $-138^{\circ}$  C, a Saturna  $-153^{\circ}$  C; temperatura Urana je sigurno niža od  $-183^{\circ}$  C, a ona Neptuna, vjerojatno, još niža, možda oko  $-210^{\circ}$  C. Ledeni sloj može biti na oba planeta debeo oko 10.000 kilometara, dok ih prekriva atmosfera debljine oko 5.000 kilometara na Uranu i oko 3.000 kilometara na Neptunu. Tako su ta dva planeta slična Jupiteru i Saturnu u svojem općem ustrojstvu. Spektri njihovih atmosfera također su iste općenite prirode kao oni Jupitera i Saturna; oba pokazuju veliko obilje metana, premda amonijak do sada još nije otkriven. Ali zbog izvanredne hladnoće, izgleda, amonijak se smrznuo iz atmosfere obaju planeta. Pluton, jedini planet koji još preostaje, predaleko je, da bi bila moguća ikakva spektroskopska analiza njegova svijetla.

Sada možemo pokušati da stvorimo fizikalnu sliku sistema planeta kao cjeline. Izostavivši Plutona, jer ne znamo ništa o njemu, i ostavljajući Veneru i Zemlju za kasniju raspravu, vidimo niz planeta — Merkur, Mars, Jupiter, Saturn, Uran i Neptun — u kojem se fizikalni uvjeti neprestano mijenjaju, kako prolazimo duž niza. Nalazimo da žar ustupa mjesto hladnoći, savršena suhoća obilju vode i leda, dok atmosfera raste u visinu i prostranost, a količina vodika, vjerojatno, raste od ništice do velike količine, postojeći u obliku slobodnog vodika ili u obliku njegovih spojeva, osobito metana.

Poznati su razlozi za sve te promjene. Planeti bliži Suncu najtopliji su jednostavno zato, jer toplina planeta ovisi samo o Suncu; oni su suhi, jer su premali i previše topli — ili su bili prevrući u prošlosti — da zadrže vodenu paru, a zbog istog razloga lišeni su i vodika.

Planeti blizanci, Venera i Zemlja, ne odgovaraju posve tome nizu. To je djelomice zato, jer su oni masivniji nego njihovi neposredni susjedi Merkur i Mars, i tako pridržavaju više atmosfere. Izuzimajući to, Venera se prilagođuje dosta dobro nizu, ali Zemlja ostaje izuzetak imajući previše kisika i vodene pare u svojoj atmosferi. To je, kako smo već spomenuli, vjerojatno posljedica što je ona pokrivena vegetacijom. Život se pojavio na Zemlji i izbacio ju s njezina redovitog mjesta.

Još nedavno se mislilo da se Sunce neprestano hladi pa s njim i planeti. Kakva je sada Zemlja, takav je morao je biti Mars u ne baš davnoj prošlosti, a Venera će biti u ne baš dalekoj budućnosti; Zemlja može biti jedini planet na kome život sada postoji, pri tome Mars može biti planet na kom je život nestao, a Venera planet života što dolazi. Može biti tako; ali sigurno je da mi danas nemamo dosta znanja, da riješimo to pitanje. Naziranja, upravo opisana, potječu od onih teorija evolucije zvijezda koje se danas odbacuju, a naše novo znanje pokazuje drugi prilaz problemu.

Sada smo uvjereni da Sunce dobiva energiju za svoje zračenje od sub-atomarnog preuređivanja svoje tvari te se laganiji elementi kombiniraju da sagrade teže, pa je kemijski sastav u neprekidnom mijenjanju, ali bez neke bitne promjene njegove ogromne mase. Znamo da zvijezde *glavnog niza*, koje imaju jednaku masu kao i Sunce, emitiraju otprilike jednaku količinu zračenja kao i Sunce. To znači da zvijezda Sunčeve mase može samo beznačajno mijenjati količinu svoga zračenja tako dugo dok ostaje zvijezda *glavnog niza*. Ako je tako, onda se i temperature planeta također vrlo malo mijenjaju; Mars bi imao svoju sadanju nisku temperaturu još od onih davnih dana, kad se grijao toplinom koju je donio sa Sunca, a Veneri će ostati njezina sadašnja vrućina sve dok Sunce bude iskorištavalo svoju zalihu lakih elemenata i ne bude se počelo stezati u hladnijeg i manjeg »bijelog patuljka«. Ako je tako, onda je iluzorna ideja da život može napredovati duž planetarnog slijeda. Zemlja je planet života,



jer je ona na prikladnoj daljini od Sunca, no nemamo nikakvog razloga da smatramo da je život ove vrsti, koji poznajemo na Zemlji — život, koji zahtijeva stotine milijuna godina za svoj razvoj — prešao s Marsa ili će se u svoje vrijeme pojaviti na Veneri; ti su planeti na nepovoljnoj daljini od Sunca.

## SEDMO POGLAVLJE

### POČETAK I KRAJ

Vidjeli smo već kako se čvrsta tvar materijalnog svemira neprestano pretvara u zračenje. Sunce je jučer težilo 360 milijardâ tona više nego danas; razlika predstavlja težinu zračenja kroz 24 sata, koje putuje kroz prostor, a to će se putovanje, koliko to mogu ustanoviti neposredna opažanja, nastaviti do prestanka vremena. Manje od grama toga zračenja sadrži dovoljno energije, da tjera prekooceanski brod preko Atlantika, dok bi pola kilograma toga bilo dovoljno, da izdržava cijelu Englesku kroz 14 dana — vatre u kućama, električne stanice, tvornice, vlakove, brodove i sve. Ista pretvorba tvari u zračenje dešava se po svim zvijezdama, a u manjem stupnju i na Zemlji, dok se može smatrati da kozmičko zračenje (str. 129) pruža dokaz, kako se to pretvaranje vrši u mnogo većoj mjeri posvuda u dubinama međuzvjezdanog prostora.

### ŽIVOT I SVEMIR

Pogledajmo sad za časak na odnos života prema tom svemiru.

Stari nazor, da svaka svijetla točka na nebu može pružati utočište životu, sasvim je stran modernoj astronomiji. Zvijezde imaju površinske temperature od 1650° do 60.000° ili više, a njihova unutrašnja temperatura je naravno, mnogo veća. Pretežni dio materije svemira sastoji se od zvjezdane tvari s temperaturom od nekoliko milijuna stupnjeva, tako da su molekule razložene u atome, a atomi barem od česti ili potpuno u svoje sastavne dijelove.



Ostatak se sastoji najvećim dijelom od nebularnog plina ili prašine. No već sam pojam života uključuje vremensko trajanje; nemoguć je svaki život — ili barem svaki život, koji bar donekle slični ovome, što ga poznamo na Zemlji — gdje atomi na milijune puta u jednoj sekundi mijenjaju svoj sastav i ni jedan par atoma ne ostaje zajedno. Život uključuje i izvjesnu pokretljivost u prostoru, a oba ta uvjeta, koji leže u pojmu života, ograničavaju život na ono usko područje fizikalnih uvjeta u kojem je moguće tekuće stanje. Naš pregled svemira pokazao nam je kako je malo to područje, uspoređi li se s onim što ga zaprema cijeli svemir. Takvo se stanje ne nalazi na zvijezdama, niti u maglicama od kojih su nastale zvijezde. Doista, vjerojatno je tek sasvim neznatni dio svemirske tvari u tekućem stanju.

Stvarno ne poznajemo ni jednu vrstu astronomskih tijela na kojima bi uvjeti za život bili tako povoljni, izuzevši planete, slične našem, koji se kreću oko Sunca. No čak i oni mogu biti ili prevrući ili prehladni, pa sprečavaju razvoj života. U Sunčevu sistemu, na primjer, teško je zamisliti život koji bi postojao na Merkuru ili Neptunu, budući da tekućine na prvom ključaju, a na posljednjem se čvrsto smrzavaju.

Ali čak kad bi i bili ispunjeni svi potrebni uvjeti, da li bi se pojavio život ili ne? Vjerojatno moramo odbaciti ono mišljenje, neko vrijeme silno rasprostranjeno, da bi se život, kad je jednom nastao u svemiru, bez obzira na koji način ubrzo rasprostro od planeta do planeta i s jednog planetarnog sistema na drugi, dok ne bi cijeli svemir bujao životom; prostor nam sad izgleda prehladan, a planetarni sistemi predaleko jedan od drugoga. Naš zemaljski život morao je, kako po svemu izgleda, nastati na samoj Zemlji. Željeli bismo znati da li je život nastao kao posljedica čudnog slučaja, ili nizom podudarnosti, ili je redovita pojava nežive tvari, da stvara život onda, kad je pogodna fizikalna okolina. Tražimo odgovor u biologa, ali ga on za sad još ne može dati.

Astronom bi možda mogao dati djelomičan odgovor kad bi na nekom drugom planetu otkrio tragove života, jer onda bismo barem znali da se nije samo jednom pojavio život u povijesti svemira; no do sada ne posjedujemo uvjerljive činjenice.

Očitog dokaza života nema nigdje u svemiru, osim na našem planetu.

Izuzevši sigurno znanje, da na Zemlji postoji život, znamo sigurno samo još to da je život ograničen tek na neznatni dio svemira. Postoje bilijuni zvijezda koje nemaju nikakvog života, na kojima nikad nije bilo života i na kojima ga nikad neće biti. Od rijetkih planet-skih sistema na nebu mnogi moraju biti bez života, a na drugima život, ako uopće postoji, ograničen je na nekolicinu planeta.

Tri stoljeća i više, koliko je prošlo vremena otkako je Giordano Bruno izrazio svoje uvjerenje u beskonačni broj svijetova, izmijenila su gotovo neopisivo, naš nazor o svemiru, ali nas nisu znatno približili razumijevanju odnosa života prema svemiru. Možemo još uvijek samo nagađati o značenju života koji je, kako po svemu izgleda, vrlo rijedak.

#### *ZEMLJA I NJEZINI IZGLEDI U BUDUĆNOSTI*

Ostaviti ćemo te prilično apstraktne predjele misli i opet se vratiti na Zemlju. Osjećamo čvrstu Zemlju pod nogama i sunčane zrake nad glavom. Nekako, ali ne znamo kako ni zašto, tu je i život; sami smo njegov dio. Sasvim je prirodno da se zapitamo što kaže astronomija o budućim izgledima.

Zemlja, koja je život počela kao vruća plinovita masa, lagano se ohlađivala, dok sada nije dostigla gotovo kraj toga ohlađivanja i gotovo da nema više topline osim one koju primi od Sunca. Ta je otprilike jednaka količini koju zrači u prostor, tako da bi za uvijek ostala pri sadašnjoj temperaturi kad se vanjski odnosi ne bi mijenjali, kad joj ne bi bile nametnute promjene u njezinu stanju promjenama vani u prostoru. Te vanjske promjene mogu biti neprekidne ili iznenadne katastrofe.



Najneposrednija neprekidna promjena jest opadanje količina svijetla i topline, što je prima od Sunca.

Kad bi se Sunce sastojalo od čistog vodika, vidjeli smo da bi izgubilo jednu stopedesetinu čitave mase pretvaranjem vodika u helij. Na taj način oslobođena energija nadoknađivala bi zračenje pri sadašnjoj brzini emitiranja kroz vrijeme od 100 milijardâ godina.

No Sunce se ne sastoji i nikad se nije sastojalo od čistog vodika, ali vodik je, vjerojatno, veliki dio njegove sadanje tvari, te on treba da nadoknadi zračenje barem za nekoliko milijardâ godina pri sadašnjoj brzini zračenja. Nakon što se iscrpu sve iskoristive zalihe vodika, Sunce će, ukoliko možemo nagađati, produžiti da se steže do stanja *bijelog patuljka*, vjerojatno do stanja sličnog slabom pratiocu Siriusa. Skupljanje Sunca u to stanje pretvorilo bi naše oceane u led, a našu atmosferu u tekući zrak; izgleda nemoguće da bi naš zemaljski život mogao preživjeti. Prostrani muzej neba sadrži posve sigurno primjerke smanjenih sunaca te vrsti, a poneko će imati planete nalik Zemlji, koji se okreću oko njega. Da li ti planeti nose na sebi smrznute ostatke života, koji je jednom bio aktivan kao naš sadanji život na Zemlji, to jedva možemo i nagađati.

Takav bi, u najmanju ruku, bio tok događaja, a tragedija, koju smo opisali, desila bi se poslije dugog vremena, možda 10 milijardâ godina. No razni slučajevi mogu međutim prouzročiti kraj ljudskom rodu mnogo prije isteka tog vremena. Da spomenemo samo moguće astronomske događaje: Sunce se može sukobiti s nekom drugom zvijezdom; neki se asteroid može sudariti s drugim i tako skrenuti svoju stazu, da bi udario u Zemlju; bilo koja zvijezda u prostoru može prodrijeti u Sunčev sistem i tako utjecati na staze planeta da bi život na Zemlji izgubio svoje prebivalište. Teško je ocijeniti vjerojatnost, da se dese takvi događaji. No grubi račun vodi do nagađanja, da se ni jedan od njih ne bi zbilo kroz slijedećih 10 milijardâ godina. Još ozbiljnija opasnost sastoji se u tome, da bi svijetlo i žar Sunca mogli toliko narasti, da bi uništili sav život na Zemlji. Vidjeli smo kako se povremeno pojavljuju na nebu

»*novae*«, koje privremeno emitiraju oko 25.000 puta više zračenja od Sunca. Kad bi naše Sunce iznenada postalo *nova*, izgleda gotovo sigurno da bi njegov sjaj i žar toliko porasli, da bi spržili sav život na Zemlji, no mi smo u potpunom neznanju, da li postoji opasnost za naše Sunce da dođe u stanje *nove*. Ako postoji, to je vjerojatno najveća opasnost od svih kojima je izvrgnut život na Zemlji.

U mnogim se slučajevima ustanovilo da je *nova* obična zvijezda koja se, davno prije nego li se pojavila, vidjela kao slaba zvijezda, kroz kratko vrijeme zasjala velikim sjajem i onda pala opet u staru prosječnost, a može se smatrati za prilično sigurno da su sve *nove* te vrsti, premda se zvijezda ne primijeti ranije nego što se pojavi u svom novom sjajnom stanju. Te pojave nisu ni u kom slučaju rijetke; samo u galaktičkom sistemu primijeti ih se svake godine šest. Pretpostavimo da ih je daljih šest bljesnulo neopaženo. Tada slijedi, ako galaktički sistem sadrži oko 300 milijardi zvijezda, da prosječna zvijezda postane *nova* jedamput u 24 milijarde godina. Taj potpuno statistički zaključak znači da postoji opasnost, te će i naše Sunce postati *nova* prije nego prođe 10 milijardâ godina.

Željeli bismo dakle znati da li je naše Sunce u opasnosti, da sada postane *nova* — koliko se može zaključiti iz geoloških podataka, čini se, da ono nije bilo u tom stanju za proteklih milijardu godina. Do sada nema slaganja astronoma u tome, koji su to fizikalni uzroci što pretvaraju običnu zvijezdu u *novu*, kao ni u tome, koji fizikalni uvjeti prevladavaju u *novima*. Iznose se različita mišljenja, ali ni jedno od njih nije općenito prihvaćeno. No, čini se potpuno vjerojatnim da je stanje *nove* ono stanje, kad se obična zvijezda *glavnog niza* počinje stezati u *bijelog patuljka* — ako je tako, ne traba da precjenjujemo opasnost.

Izuzevši neočekivane slučajeve, izgleda, ako se Sunčani sistem prepusti prirodnom toku razvoja, da će Zemlja ostati povoljno tijelo za život kroz milijarde slijedećih godina.



Ako je tako, možda možemo biti veseli, što je naš život pao na početak, a ne na kraj, toga dugog razmaka vremena. Ako čovjek doživi kraj toga razmaka, možemo zamisliti da će imati beskonačno više znanja nego sada, ali jednu stvar već davno ne bi poznavao — uzbuđljivo zadovoljstvo pionira koji otvara nova područja znanja. Bolest, možda čak i smrt, bit će svladane, a život će bez sumnje biti sigurniji i neusporedivo bolje uređen nego sada. Izgledat će nevjerojatno da je postojalo vrijeme, kad su ljudi izlagali opasnosti i gubitku svoje živote prolazeći neispitanim krajevima, penjući se na dotad nedostupne vrhunce i loveći divlje životinje. Život će biti većma sređen a ne tako pustolovan kao sada.

10 milijardâ godina, koliko izgleda da je još moguća budućnost postojanja života na Zemlji, više nego tri puta je duže vrijeme od starosti Zemlje, a više od 10.000 puta duže od vremena koliko već postoji ljudski rod na Zemlji.

Pokušat ćemo predočiti zorno to vrijeme u pravom odnosu s pomoću jednostavnog modela. Uzme se poštanska marka i prilijepi se na kovani dinar. Tada se popnemo na Kleopatrinu iglu i položi se na vršak tog obeliska novac s markom prema gore. Visina svega toga neka nam predstavlja vrijeme od postanka Zemlje. Prema tome mjerilu, predstavlja debljina novca i marke zajedno vrijeme koliko već čovjek živi na Zemlji. Debljina marke predstavlja vrijeme otkako je civiliziran, a debljina novca vrijeme što ga je proveo u neciviliziranom stanju. Prilijepi se onda na prvu marku još jedna, da označi slijedećih 10.000 godina civilizacije, i tako se lijepe marke redom jedna na drugu, dok se ne nalijepi toranj visok kao tornjevi Westminsterske opatije. Pa čak ni tada ne daje taj toranj točnu predodžbu o duljini budućnosti koja se, koliko astronom može predvidjeti, pruža još pred civiliziranim ljudstvom, ako ga ne uništi iznenada neka katastrofa. Prva marka bila je prošla civilizacija, a toranj viši od Westminsterske opatije je buduća. Ili, drukčije rečeno, prva marka predstavlja što je čovjek već do sada postigao, a toranj,

koji bi nadmašio Westminstersku opatiju, ono što bi on postigao, kad bi njegovi budući uspjesi bili srazmjerni vremenu koje još treba proboraviti na Zemlji.

Do sada, znamo, njegov uspjeh nije bio jednostavno srazmjernan vremenu. Barem u nekom pogledu — mehaničkom umijeću, na primjer — napredujemo u neprestano sve bržem tempu. Prilozi uzastopnih generacija nisu jednaki, već neprestano rastu u geometrijskoj progresiji, tako da materijalna civilizacija napreduje sada više u jednoj generaciji nego što je ranije, kad je bila na svom početku napredovala za hiljadu godina. Ako se nastavi to neprekidno ubrzanje kroz cijelu astronomsku budućnost Zemlje, nemoguće je zamisliti koju će brzinu postići napredak prije nego što iščezne život sa Zemlje. No možemo misliti i na one mnoge činioce koji su skloni da primoraju na usporavanje.

No vidjeli smo da ne možemo sigurno računati na tako dugu budućnost. Za ljudski rod, kao i za pojedinca, mogu nastupiti katastrofe. Mogu se desiti sudari u svemiru; ako se Sunce stegne u *bijelog patuljka*, život na Zemlji prisiljen je da se smrzne; ako zasja kao *nova*, onda ljudski rod može sasvim izgorjeti. Takvom katastrofom može naš toranj od maraka postati osakaćeni stup, koji je visok tek dio visine prije toga. Čak i tada leže pred čovječanstvom, najmanje, milijarde godina. A ljudski razum, koji nije uvijek razum matematičara, jedva to može jasno shvatiti. Doista praktičnog značenja može imati za nas samo zaključak, da ljudski rod može očekivati da će nastanjivati Zemlju neusporedivo više vremena nego što možemo uopće predočiti, i postići neusporedivo više nego što možemo zamisliti.

Promatra li se pouka, koju nam je astronomija dala u prostornoj predodžbi, onda nam ona, u najboljem slučaju, može pokazati melankoličnu veličajnost i teobnu prostranost. Gledajući u vremenskim predodžbama otvara nam ipak gotovo neizmjerne mogućnosti i nade. Kao stanovnici civilizirane Zemlje živimo tek na početku vremena. Stupili smo u život u svježem sjaju praskozorja, a dan gotovo neshvatljive dužine sa skoro nezamišljivim mogućnostima leži pred nama. Naši će



daleki potomci, kad budu promatrali to vrijeme s one druge strane, smatrati naše sadanje doba za magleno jutro svjetske povijesti; naši će im današnji suvremenici izgledati kao nejasni herojski likovi koji su krčili svoj put kroz gustiš neznanja, pogrešaka i praznovjerja da otkriju istinu, da nauče svladavati prirodne sile i da stvore svijet koji će biti doličan da čovjek u njemu živi. Previše još lutamo u sivim jutarnjim maglama, da makar i nejasno sebi predočimo kako će izgledati taj naš svijet onima koji će doći poslije nas i gledati ga u punom svijetlu dana. U sadanjem još sumraku čini se, da spoznajemo da je glavna poruka astronomije ljudskom rodu, da se može nadati; a pojedincu da bude odgovoran, jer mi crtamo nacрте i polažemo temelje za budućnost dužu nego li to sebi možemo predočiti.

S A D R Ž A J

Uvod — Studij astronomije . . . . .	7
Prvo poglavlje — Istraživanje neba . . . . .	19
Drugo poglavlje — Istraživanje atoma . . . . .	104
Treće poglavlje — Istraživanje vremena . . . . .	155
Četvrto poglavlje — Zvijezde . . . . .	166
Peto poglavlje — Oblikovanje svemira . . . . .	217
Šesto poglavlje — Sunčev sistem . . . . .	245
Sedmo poglavlje — Početak i kraj . . . . .	285

T A B L E

I Otkriće Plutona . . . . .	16
II Kumovska Slama u blizini Južnog Križa . . . . .	17
III Kumovska Slama u području Ophiucha . . . . .	32
IV Zvezdani oblak u Strijelcu . . . . .	33
V Dio vanjskih predjela Velike maglice M 31 u Andromedi . . . . .	48
VI Planetarne maglice:	
1. N. G. C. 2022	
2. N. G. C. 6720 (Prstenasta maglica)	
3. N. G. C. 1501	
4. N. G. C. 7662 . . . . .	49
VII Maglica u Labudu . . . . .	64
VIII Trifid maglica M 20 u Strijelcu . . . . .	65
IX »Konjska glava« u maglici u Orionu . . . . .	80
X Velika maglica M 31 u Andromedi . . . . .	81
XI Maglica N. G. C. 891 u Andromedi gledana s ruba . . . . .	96
XII Maglica N. G. C. 7217 . . . . .	97



XIII	Mali i Veliki Magellanov oblak . . . . .	112
XIV	Kuglasti skup M 13 u Herkulu . . . . .	113
XV	Zvezdani spektri . . . . .	128
XVI	Dopplerov efekt u zvjezdanim spektrima . . . . .	129
XVII	Središnji pređio Velike maglice M 31 u Andromedi . . . . .	144
XVIII	Maglica M 33 u Trokutu . . . . .	145
XIX	Maglica N. G. C. 7331 u Pegazu i daleki skup slabih maglica . . . . .	160
XX	Spektri maglica . . . . .	161
XXI	Maglica N. G. C. 4594 u Djevici . . . . .	176
XXII	Zbijeni skup slabih maglica u Pegazu . . . . .	177
XXIII	Dvojna maglica N. G. C. 4567 — 8 . . . . .	192
XXIV	Maglica M. 81 u Velikom Medvjedu . . . . .	193
XXV	Tragovi $\alpha$ - i $\beta$ -čestica . . . . .	208
XXVI	Sudar $\alpha$ -čestice s atomom . . . . .	209
XXVII	»Vrtlog« maglica M 51 u Lovačkim Psima . . . . .	224
XXVIII	Niz izgleda maglica:	
	1. N. G. C. 3379 . . . . .	
	2. N. G. C. 4621 . . . . .	
	3. N. G. C. 3115 . . . . .	
	4. N. G. C. 4594 u Djevici . . . . .	
	5. N. G. C. 4565 u Kosi Berenice . . . . .	225
XXIX	Dvije maglice (N. G. C. 4395, 4401) ukazuju na plimsko djelovanje . . . . .	240
XXX	Maglica N. G. C. 7479 . . . . .	241
XXXI	Maglica M 101 u Velikom Medvjedu . . . . .	256
XXXII	Saturn i njegov sistem prstena . . . . .	257

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
МАТЕМАТИЧКИ ФАКУЛТЕТ  
ИЗБ. Бр. 30 633  
БИБЛИОТЕКА