

A. S. EDDINGTON

ЗВЕЗДЕ И АТОМИ

ПРЕВЕО
М. Б. ПРОТИЋ

БЕОГРАД
ИЗДАЊЕ АСТРОНОМСКОГ ДРУШТВА
1938

ПРЕДГОВОР ПРВОМ ЕНГЛЕСКОМ ИЗДАЊУ

Августа 1926 године, на скупу Бриџанског Друштва у Оксфорду, одржао сам предавање са шемом: *Звезде и атоми*.

Припремајући овај шекс за објављивање нисам имао да водим рачуна о крајкоби времена једног предавања, па ошуда поново прегледани шекс у овој књизи сачињава предмет трију предавања — трију првих — уместо једног јединог. Исте године, само нешто раније, одржао сам на Краљевском Колеџу у Лондону три предавања; она су присаједињена предавању у Оксфорду и сачињавају графу највећег његова дела.

Испрвна студија предмета, израђена математичком теоријом, налази се у моме опширном делу: **Унутарња грађа звезда** (*The Internal Constitution of the Stars, Camb. Univ. Press, 1926*). У овој књизи, међушим, ограничавам се само на излагање основних идеја и резултата.

Прогрес нашег знања о атомима и зрачењу довео је до многобројних и занимљивих резултата у Астрономији; обрнуто, изучавање материје под нарочитим околностима, какве владају у окриљу звезда и маглина, није било од мањег значаја по развој атомске Физике. Ово би био главни предмет наших предавања. Од новијих открића изабрана су она, која могу да се изложе на релативно елементаран начин; ипак, често ми је неопходно да од читаоца захтевам више духовног напора; али, он ће за то, надам се, бити обилно награђен привлачношћу предмета. У излагању покушао сам да се што је могуће више приближим тону обична говора и да избегнем системат-

ски облик: али дух се шешко ослобађа својих навика, па је нешто систематског излагања ипак успело да се пошкраде у сџраницама које следују. У проблемима где се наша мисао налази у сџалном крешању између бескрајно великог и бескрајно малог, прелазећи са звезда на ашоме, да би се поново враћила к звезди, историја нашег прогреса обилује разноликостима. Ако није много изгубљено у преуричавању, она ће у пошћуности пружићи читлаоцу радости — и шруда — што их изазива научно испраживање у свима својим облицима.

Температуре су свуда изражене у Целзијевим степенима. Називи: билион, трилион и шд. узети су у смислу који им се даје у Енглеској: 10^{12} , 10^{18} и шд.

A. S. Eddington

ПРЕДГОВОР ДРУГОМ ЕНГЛЕСКОМ ИЗДАЊУ

Идентификација небулијума (вид. поглавље: »Неколико новијих испраживања«), коју је извео Dr. J. S. Bowen с јесени 1927, основни је догађај што се десио у Астрофизици од објављивања првог издања ове књиге. Небулијум је кисеоников ашом, коме недостају два електрона. Једанш јонизовани кисеоникови и азосови ашоми производе и друге још не идентификоване јасне црше у сџекшпру маглина. У лабораторијуму се те црше до данас нису могле произвести; али, прорачунаш је да њихове шаласне дужине пошћуно одговарају дирекшним прелазима кисеоникових и азосових ашома из извесних сшања у некаква друга; сшања су експериментално добро познаша, али не и прелази. Мислили смо да шајансшвена материја, што производи свешлосш маглина, треба да нам буде приснија; наше веровање било је ошравдано; ша је материја **ваздух**.

A. S. Eddington

ПРЕДГОВОР ТРЕЋЕМ ЕНГЛЕСКОМ ИЗДАЊУ

Додаш је чланак »Идентификација небулијума«; он почива на новијем развоју предмета, кога смо се само дошакли у шоку предавања. Међуштим, у шекшту нисмо ништа мењали, јер се не указује пошреба за каквим дошком или изменом.

A. S. Eddington

ЗВЕЗДЕ И АТОМИ

УНУТРАШЊОСТ ЈЕДНЕ ЗВЕЗДЕ

Сунце припада систему од неких 3.000 милиона звезда. Звезде су глобови (лопте) приближно истих димензија као и Сунце, тј. у пречнику имају око милион километара. Простор у коме су смештене дат им је широке руке. Замислите тридесет тениских лоптица растурених у унутрашњости Земље; звезде које лутају васионским простором нису ништа збивеније, а крећу се тако исто мало изложене опасности од међусобних судара као и споменуте тениске лопте. Величина звезданог система веома нас је изненадила. Али, сасвим вероватно, то није гранична величина. Из дана у дан множе се докази да су спиралне маглине „васионска острва“ изван граница нашег звезданог система. Потпуно је могуће да оно што наш поглед обухвата, претставља тек један мали део некакве пространије заједнице.

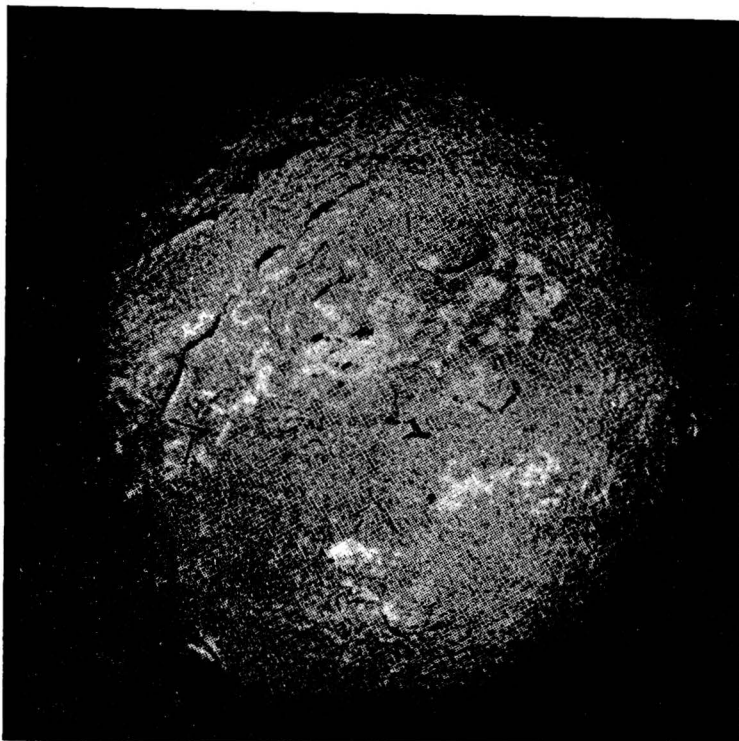
Водена кап садржи више хиљада милиона милиона милиона атома. Сваки атом има у пречнику отприлике један стохиљадити део сантиметра. Пред ванредном финоћом те сићушне творевине застајемо задивљени. Али не налазимо се још на граници малог. У простору који је сразмерно њиховим димензијама исто толико простран као и сунчани систем, круже у атому електрони као планете око Сунца.

Готово на по пута у размери атома и звезде, налази се једна такође чудна заједница: човечије тело. Човек је само нешто ближи атому него звезди. Његово тело образују око 10^{27} атома, а отприлике 10^{28} човечијих тела било би довољно да се изгради једна звезда.

Са свог средишног положаја човек може, као астроном, да посматра и мери најгоростаснија дела Природе, а најси-

ћушнија као физичар. Данас, ја вас молим да посматрате и с једне и с друге стране. Јер пут, који води упознавању звезда, пролази поред атома, а значајни успеси у познавању атома постигнути су благодаречи звездама.

Међу звездама Сунце нам је најприсније. Да се послужимо астрономским језиком, оно нам је на домаку руке. Ње-



Сл. 1. Сунце. Водеников спектрохелиограм.

гове димензије, његову тежину, температуру итд., можемо да меримо много лакше него ма код које друге звезде. Но осим тога његову површину можемо и да фотографишемо, док су друге звезде толико удаљене, да се и у највећем телескопу на свету указују само као обичне светле тачке. Сlike 1 и 2 претстављају фотографије Сунчеве површине (1). Кад би нам

(1) Сл. 1. је копија снимка г. *Evershed*-а са Kodaikanal Опсерваторије у Мадрасу. Сл. 2. је снимљена на Mount-Wilson Опсерваторији у Калифорнији.

биле довољно близу да их можемо испитивати, већина звезда приказале би нам се свакако у сличном облику.

Треба одмах да напоменем да ове слике нису обичне фотографије. Обичне фотографије приказују веома лепо тамне



Сл. 2. Сунчани вртлози. Водеников спектрохелиограм.

пеге, које називамо Сунчевим пегам, али неизразито и незанимљиво. Приложене слике снимљене су помоћу спектрохелиографа, инструмента који је тако подешен да прима само једну једину врсту светлости (једне таласне дужине), а за све

остале је неосетљив. Последица је тог одабирања, да инструмент издваја различите слојеве. Сунчеве атмосфере и омогућује да се види шта се догађа у једном одређеном слоју, уместо да даје само један нејасни утисак свих слојева. Слика 2, која се односи на један од горњих слојева пружа изврсну претставу вртлога и бурних кретњи. Верујем да би метеоролози на Сунцу описали то вртоложно стање речима које нам не би биле стране: „Приближава се велика депресија, праћена секундарним поремећајима. Наступиће вероватно опет променљиво време.“ Али ма како било, на Сунцу увек постоји предвиђање које се не може оповргнути: било да је циклон или антициклон тамо је увек веома топло — отприлике 6.000.

Али засада не желим да се задржим ни на површини ни у атмосфери Сунца. У новије време учињен је у тим областима велики број открића, од којих је знатан број тесно везан за мој предмет „Звезде и атоми“. Али, лично, ја се удобније осећам под површином, па се журим да тамо и уђем. Зато после овог брзог погледа на пејсаже кроз које пролазимо, загнуримо се у дубоке слојеве звезде, у области до којих око не може допрети, али о којима научно расуђивање може дати некакву идеју.

ТЕМПЕРАТУРА У УНУТРАШЊОСТИ СУНЦА

Повећање притиска у колико се дубље спушта у унутрашњост Сунца, као и прираштај који треба дати температури да би уравнотежила његове утицаје, могу се израчунати математичким методама. Јер, као што архитект може да прорачуна унутарње напрезање у стубовима некакве грађевине не бушећи их, тако исто и астроном може да изнађе напоре истезања или притиска у унутрашњости Сунца, а да за то не дуби у њему окна. Изгледа можда чудно да се температура може одредити само рачуном. Природно је што ћете бити скептични пред нашим тврђењем да познајемо степен топлоте која влада у средишту неке звезде — а то би још већма били, ако бих вам одмах саопштио и утврђене бројеве! С тога ћу вам најпре описати начин помоћу кога су они постигнути, приступивши му што је могуће ближе. Нећу покушавати да улазим у појединости, али се надам

да ћу вам показати, како постоји један вођ, који се подесним математичким методима може следити у корак.

Потсетимо се да је топлота некаква гаса у ствари енергија кретања његових честица, које јуре тамо-амо, тежећи да се удаље једна од друге. Та тежња даје гасу еластичност или експанзивну снагу; еластичност гаса свима је позната са своје практичне примене у аутомобилским гумама. Замишлите сада да сте дубоко у унутрашњости звезде, тако да можете посматрати и горе према површини, и доле према њеноме средишту. Ма где да је место на коме се налазите, услов равнотеже мора бити испуњен: с једне стране, постоји тежина свих слојева над вама, који притискују на доле покушавајући да још више збију гас над којим се налазе; с друге стране, опет, постоји еластичност гаса који се налази под вама, а који тежи да се рашири и потисне навише слојеве што га спутавају. Али, како се не дешава ни једно ни друго, и како звезда практично остаје непромењена током стотина година, можемо закључити да се обе ове силе потпуно уравнотежавају. У свакој тачци, еластичност гаса мора бити сасвим довољна за уравнотежење притиска горњих слојева; па како је еластичност продукат топлоте, овај услов одређује и количину топлоте коју гас мора да има. На тај начин изналазимо степен топлоте или температуру у свакој тачци.

Ово се може објаснити и нешто другачије. Као и пре, обратимо пажњу на извесну тачку у звезди, па се упитајмо шта одржава слој материје који се налази изнад ње. Кад га не би ништа одржавало, он би се, под дејством привлачне силе теже, стрпоштао према средишту. Ослонац му, међутим, сачињавају узастопни удари честица које се налазе под њим; видели смо већ да је топлотна енергија тих честица узрок њиховом хаотичном кретању, због чега оне непрестано ударају о слој материје што се налази изнад њих. Сваки од удараца производи мали потисак навише, а њихово брзо смењивање одржава материју у лебдењу онако исто, као лопту тапкање ракетом. (Ова појава није својствена само звездама; и аутомобил нпр. почива исто тако на својим ваздушним гумама). Повећање температуре биће знак повећања активности честица, па дакле и повећања у брзини смењивања (фреквенцији) и снази удараца. Јасно је да температури треба дати такву вредност, да укупна сума удараца износи тачно

онолико, колико је потребно да се горњи слој материје одржи у равнотежи. Ето такав је у основи наш метод прорачуна температуре.

Али, појављује се једна очигледна тешкоћа. Укупна моћ носивости не зависи само од активности честица (температуре), већ такође и од њихова броја (густине). Међутим, густина материје ма у којој тачци у унутрашњости Сунца није нам позната. У претпоставци коју поводом тога поставља, математичар треба да покаже своју оштроумност. Он располаже једном одређеном количином материје, јер му је маса Сунца позната; ако је употреби више у једноме делу глоба, имаће је мање за остале. Али зато може да каже: »Покушаћу да не преувеличам температуру, па ћу видети може ли се подесити тако, да се не прекораче $10.000.000^{\circ}$ «. Овим се ограничава активност сваке честице; зато, кад се математичар буде нашао довољно дубоко испод површине Сунца, и кад због тога има да одржава знатну масу слојева који се налазе над њим, једини му је излаз да употреби велики број честица, да би могао произвести жељени укупни потисак (импулс). Но тада ће утврдити да је сувише брзо потрошио све своје честице и да му за попуњавање средишта није остало ништа. Разумљиво, његова грађевина, која ни на чему не почива, стропоштаће се у празнину. Расуђујући тако може се показати да није могуће изградити звезду Сунчевих димензија без активности или температуре која премаша $10.000.000^{\circ}$. Али математичар може даље да коракне; уместо да просто изнађе најнижу границу, он може приближно да утврди стварну расподелу температура, водећи рачуна о томе да она не чини скокове. Јер, како топлота струји од једног места до другог, сваки нагли скок температуре у окриљу неке звезде веома се брзо изравнава. Оставићу математичару да се бочи са тим размишљањима, чије су тешкоће, уосталом, чисто техничке природе; бићу задовољан ако сам успео да вам покажем, како има могућности да проблем буде решен.

Истраживање овакве врсте, предузето је пре више од 50 година. Постепено оно је усавршавано и дотеривано, тако да данас можемо претпоставити, да су наши резултати скоро сасвим тачни — и да стварно познајемо распоред температура у унутрашњости једне звезде.

Споменуо сам био раније температуру од 6.000° ; то је температура у близини Сунчеве површине — области коју можемо видети. Ту површинску температуру није тешко утврдити непосредним посматрањима; метод, којим се то постиже, истоветан је са методом што се често примењује у индустрији за спољно мерење температуре топионичких пећи. Методи чисто теоретских прорачуна неопходни су само за дубоке пределе, неприступачне нашем погледу. Температура од 6.000° је температура омотача велике сунчане пећи, која не даје никакву идеју о страховитој врелини (јари) унутарње топлоте. Залазећи у унутрашњост наилазимо веома брзо на температуру од око милион степенâ, која непрестано расте, да би у средишту Сунца достигла око $40.000.000^{\circ}$.

Не треба мислити да ових $40.000.000^{\circ}$ претстављају екстремни степен топлоте, тако да температура губи сваки значај. Звездане температуре треба узети у њиховом сасвим буквалном значењу. Топлота је кретање атома или молекула неке материје, а температура, која претставља степен загрејаности, омогућује нам да означимо каквом се брзином крећу ти атоми или молекули. Тако нпр. при температури која влада у овој дворани, молекули ваздуха крећу се средњом брзином од 500 метара у секунди; а ако би ваздух загрејали на $40.000.000^{\circ}$, њихова брзина би за мало премашила 150 км. у секунди. То нас међутим не плаши; астрономи су већ навикнути на такве брзине. Брзине звезда или метеора, кад ови уђу у Земљину атмосферу, крећу се уопште у границама између 15 и 150 км. у секунди. Брзина обртања Земље око Сунца износи око 30 км. у секунди. Зато је за астронома таква брзина нешто сасвим обично, а $40.000.000^{\circ}$ су температура којом је потпуно задовољан. Али, ако се астроном не боји брзине од 150 км. у секунди, физичар експериментатор је сасвим презире; јер, он је навикао да рукује атомима које одбацује радијум и њему сродне материје, брзинама од 15.000 км. у секунди. Навикнут да посматра брзе атоме и њихово дејство, физичар сматра спори кас звезданих атома као нешто потпуно свакодневно.

У унутрашњости звезде, поред атома који се крећу у свим правцима, налазе се и велике количине етерских валова, који такође јуре у свима смеровима. Према својим таласним дужинама, етерски вали имају и различита имена. Нај-

дужи су Hertz-ови таласи, који су примењени у радио-телефонији; затим долазе инфра-црвени топли таласи, па онда таласи обичне, видљиве светлости; иза тога ултра-љубичасти, фотографски или хемијски зраци, онда X-зраци (Röntgen-ови зраци) и гама-зраци, које емитују радио-активне материје. Од свих таласа изгледа да су најкраћи они, што сачињавају веома продорно зрачење откривено у нашој атмосфери, а које према испитивањима Kohlhörster-а и Milikan-а доспева вероватно из међузвездана простора. Сва ова зрачења у суштини су иста, само што одговарају различитим октавама. Око је прилагођено једној јединој октави, тако да је већина радијација за њега невидљива; али у ствари оне су потпуно исте природе као и видљива светлост.

Етерски вали у унутрашњости неке звезде припадају класи X-зрака. Они су дакле као и X-зраци који се вештачки производе у рентгенским цевима. Просечно рачунајући, они су »мекши« (тј. веће су таласне дужине) од X-зракова који се примењују у болницама, али ипак ништа »мекши« од оних који служе при огледима у лабораторијуму. И тако у унутрашњости звезде наилазимо на нешто што нам је блиско и што је у лабораторијуму обилно проучено.

Но поред атома и валова етра, постоји и трећа врста становника што се овде хвата у коло: мноштво слободних електрона. Електрон је најлакша од свих познатих ствари. Његова тежина износи једва $1/1840$ -ти део најлакшег атома. Он је у ствари само слободна количина негативног електрицитета. Атом се састоји из једног тешког језгра, обично окружена прстеном електрона. Он се често упоређује са Сунчевим системом у минијатури; то упоређење заиста даје праву претставу о шупљикавој природи атома. Његово језгро одговара Сунцу, а електрони планетама. Свака врста атома, сваки хемијски елемент, има један потпуно одређени број — различит за сваку врсту — планетарних електрона. Наш сунчани систем са својих осам планета*), могао би се нарочито упоредити са кисеониковим атомом, који има осам електрона. У земаљској физици навикли смо да појас или кринолин електрона сматрамо за основни део атома, јер ретко кад имамо прилику да видимо непотпуно опремљене

*) У време кад је одржано ово предлавање девета планета, Плуту, није још била пронађена.

Прим. прев.

атоме; а ако и наиђемо на какав атом који је изгубио један или два електрона, називамо га »јон«. Међутим, у унутрашњости звезде, у махнитом метежу какав тамо влада, било би бесмислено заустављати се на ускогрудим појмевима о одећи. Сви наши атоми изгубили су знатан део својих планетарних електрона, па су према томе у правом смислу јони.

ЈОНИЗАЦИЈА АТОМА

При високој температури која влада у унутрашњости неке звезде, међусобни судар честица, а нарочито судар етерских таласа — X-зрака — са атомима, разбија их ослобађајући електроне. Ти слободни електрони образују трећу врсту становника што сам их споменуо. За сваку јединку је слобода само привремена, јер ће је брзо затим догратити какав осакаћени атом; али, у међувремену биће негде ослобођен некакав други електрон, и он ће заузети место међу слободним становницима. Ово ослобађање електрона назива се *јонизација*. А како је она веома значајна за изучавање звезда, приказаћу вам је са неколико фотографија.

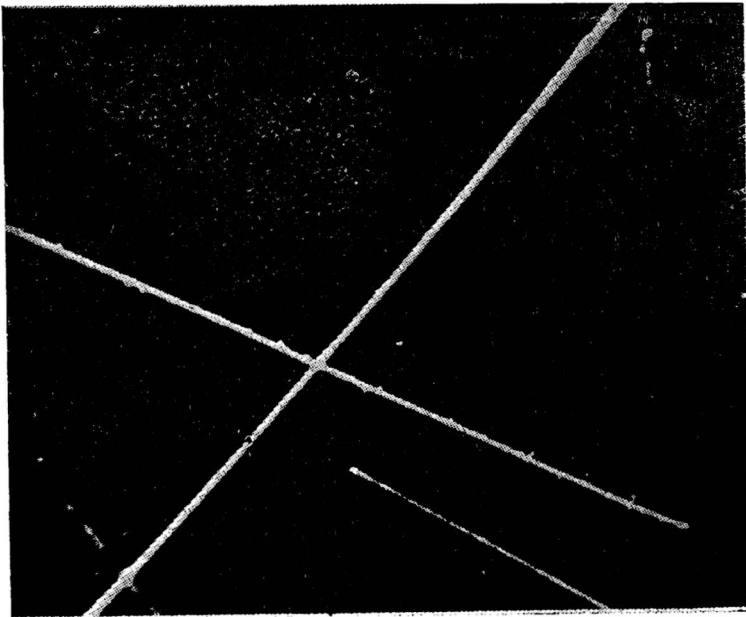
Мој предмет је »Звезде и атоми«; слике звезде већ сам вам показао, па зато треба да вам покажем и фотографије атома. Данас то није тешко учинити. Због тога што у зрнци најређе материје има неколико трилиона атома, слика би била врло нејасна, ако би их фотографија све приказала. Срећом, фотографија прави разлику: она показује само »експрес« атоме који заблистају као метеори; сви други непознати су јој. У пољу мрачне коморе имаћемо јасну њихову слику ако ствар подесимо тако, да радијумова честица отпусти само неколико експресних атома.

Слика 3. је фотографија три или четири атома што су пролетели кроз поље вида, остављајући засобом широке праволинијске трагове (1). То су хелијумови атоми, које је великом брзином избацила нека радио-активна материја.

Не бих се ни мало изненадио ако би се у вама јавила скривена мисао да се иза ове фотографије крије каква подвала. Да ли су то стварно приказани усамљени атоми, те бескрајно мале честице, које, чинило се још до пре неколико година, прет-

(1) За слике 3—6 захваљујем проф. г. С. Т. R. Wilson-у.

стављаху само теоријске појмове, изван сваког практичног домаћаја? Одговорићу вам на ово питање постављајући друго. На слици примећујете некакву мрљу. Је ли то нечији палац? Ако одговорите »да«, уверићу вас без колебања да су и пруге на слици усамљени атоми. Али, ако сте хиперкритичар па кажете: »Не, то није нечији палац, већ отисак нечијег палца«, тада ћу и ја бити обазривији и рећи, како црта показује само да је туда прошао некакав атом. Фотографија, уместо да је утисак атома, утисак је атомова утиска, као што



Сл. 3. Путање α — делића (хелијумових атома).

ни мрља није отисак палца, већ утисак палчева отиска. Не видим шта стварно мари ако је отисак из друге а не из прве руке. А за обману, мислим да нисам већма крив од криминалисте, који прашком посипа отиске прстију да би постали видљиви, или од биолога, који са истим циљем боји свој препарат. Дуж свога пута атом при своме пролазу оставља засобом свој »дах«; захваљујући веома генијалном поступку професора Wilson-а могуће је ту његову путању учинити видљивом. »Meute« проф. Wilson-а састоји се из водене паре,

која се скупља на атомову путу, кондензујући се у ситним воденим капљицама.

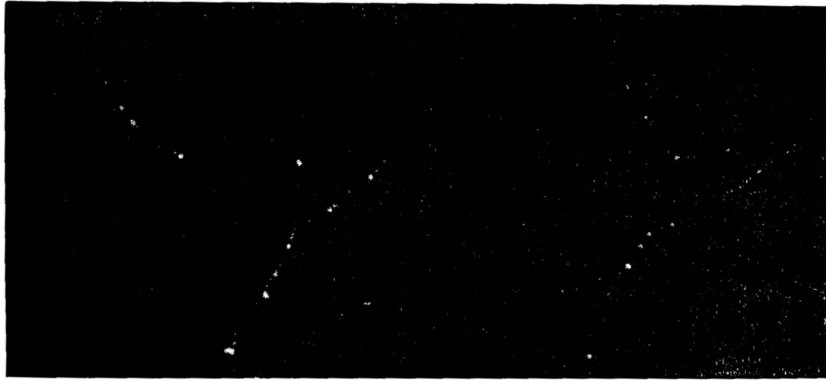
Желећете сада свакако да видите електронову фотографију. И она се може остварити. Изломљени и кривудасти траг на слици 3. је електрон. Због своје мале масе електрон лакше скреће са свог пута него тешки атом, који као јуне јуриша кроз препреку. Слика 4. показује многобројне електроне; један од њих кретао се веома великом брзином, и због тога је засобом оставио праволинијски траг. Случајно, на њој је приказан и поступак помоћу кога се могу видети трагови електрона, јер примећујете засебно ситне водене капи.



Сл. 4. Путање β делића (електрона).

Видесмо слике атома и слободних електрона. Да би употпунили звездано становништво, потребна нам је сада једино још фотографија X-зрака. Снимци помоћу X-зрака прилично су обична ствар, али сасвим другачије стоји са њиховом фотографијом. Већ сам напоменуо да се електрони могу отргнути од атома ударом X-зрака. Приликом тога електрон је обично одбачен великом брзином, тако да постаје експресни атом, који се може снимити. На слици 5. виде се четири тако одбачених електрона. Приметићете да су њихове полазне тачке све на истој линији, па није потребно много маште да би се у мислима видела некаква тајанствена сила која се креће дуж ње изазивајући та распрскавања. Та сила је узани сноп X-зрака, који је био управљен у смеру

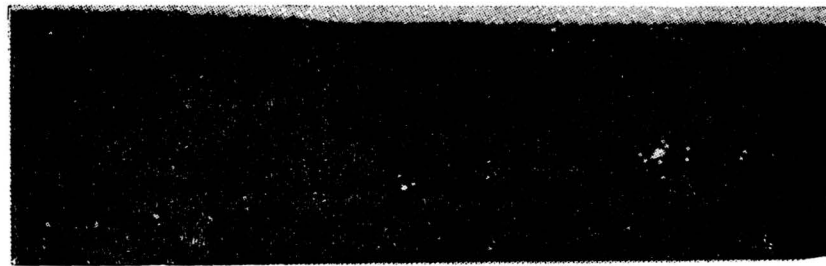
линије — с лева на десно, у тренутку кад је извршено снимање. Иако X-зраке можете само у мислима видети, фотографија бар показује процес јонизације, који је толико значајан у унутрашњости звезде: ослобађање електрона при судару



Сл. 5. Јонизација X-зрацима.

X-зрака са атомима. Примићете да је помало и случај да X-зрак јонизује атом кад га сусретне; атома што лутају има трилионима — па ипак X-зраци дуго путују пре него што наиђу на одговарајући атом.

Хоћу најзад да вам покажем и други метод јонизовања атома, њихово разбијање на један више механички начин — ударцем



Сл. 6. Јонизација произведена сударом са β — делићем.

брзих електрона. На слици 6. брзи електрон кретао се скоро хоризонтално, али су водене капљице, које оцртавају његову путању, толико расејане, да на први поглед не можете уочити њихову узајамну везу. Запазите да водене капљице иду по

пар и пар. Ово је последица тога, што је брзи електрон на своје путу скрхао неколико атома, отргнувши свакоме од њих по један електрон. Све даље и даље дуж трага видите, дакле, један крај другог разбивени атом и слободни електрон. Понегде је почетни брзи електрон био сувише јак, и на тим местима налази се нејасна мрља; али, обично можете јасно да видите два фрагмента, који су настали од »разбијања« (1).

Какав циник могао би приметити, да је унутрашњост звезде предмет о коме се може произвољно говорити, јер нико није у стању да провери шта је стварно. Бранићу се да бар ја ниуколико не злоупотребљавам неограничене могућности остављене машти; тражим само од вас да претпоставите да се у унутрашњости звезда налазе сасвим обичне ствари и појаве које се могу фотографисати. Можда ћете ми се после овога окренути и рећи: »С каквим правом претпостављате, да Природа има тако ограничену машту као што је ваша? Можда је у звезди она скрила нешто непознато, што би испретурало све ваше појмове?« Али, ја мислим да Наука не би никада постигла напредак, да је претпостављала како су иза сваког савијутка скривене непознате ствари. Ако ништа друго, можемо бар да бацимо обазрив поглед иза кривине, па ћемо наћи, можда, да се иза ње не крије ништа страшно. Гњурајући се у унутрашњост, није нам циљ само да се дивимо фантастичноме свету, у коме владају услови што превазилазе свакодневно искуство, већ да нађемо механизам који управља понашањем звезда. Ако, дакле, желимо да разумемо површинске манифестације, ако хоћемо да схватимо зашто се »једна звезда разликује од друге у слави«, треба да се спустимо у дворану где су машине, да би открили порекло топлотног струјања и енергије која се расипа кроз површину. А тада наша ће нас теорија повести ка површини, и, успут, поређењем са посматрањима, моћи ћемо да проверимо нисмо ли ишли погрешним путем. Засада — иако то, разуме се, не можемо сасвим поуздано тврдити — нема разлога да се очекују појаве, на које нисмо наишли при својим огледима у лабораторијуму.

(1) У ствари појаву честица на овим фотографијама не производи велика брзина, већ њихов електрични набој. Али, једна веома брза честица оставља засобом траг од електрично набијених честица — жртва свог обесног трака — тако да се индиректно огледа у низу тих својих жртава.

X-зраци у звезди исти су као и X-зраци испитани у лабораторијуму, само што их на звезди има у необично великој количини. X-зраке сличне зрацима на звезди можемо да произведемо, али ни приближно у оној мери, како се на њој јављају. Снимак (сл. 5) приказује сноп лабораторијумских X-зрака који су од различитих атома отргли четири електрона. Ови ће електрони убрзо бити поново дограбљени. Може се замислити да је на звезди њихов интензитет више милиона пута већи, тако да електрони бивају истовремено отргнути кад и спојени, и да су атоми скоро сасвим наги. При изучавању звезда готово потпуно осакаћење атома важно је из два значајна разлога.

Ево првог. Пре него што донесе свој суд о плановима какве грађевине, архитект жели да сазна да ли је на плану назначени материјал дрво или челик, калај или хартија. Исто тако, пре него што се приступи испитивању појединости о унутрашњости звезда, изгледало би да је најважније сазнати: да ли се звезда састоји од тешке материје као олово, или лаке, као угљеник. Помоћу спектроскопа можемо да откријемо многе ствари о хемијском саставу Сунчеве атмосфере; али погрешно би било ако би те резултате сматрали као пример за састав Сунца у целини. Шта више, било би врло опасно чинити ма какве претпоставке о елементима што преовлађују у његовој унутрашњости. Изгледа нам, дакле, да се налазимо у ћорсокаку. Али, сад знамо да се сви атоми, кад су потпуно разбивени, понашају готово на један исти начин, бар у особинама које су нам потребне у Астрономији. Висока температура, која нас је малочас претрашила, упростила нам је ствари, јер је у великој мери отстранила разлике међу разним врстама материје. Структура звезде је необично прост физички проблем; тек на ниским температурама, на које смо навикли на Земљи, материја почиње да има нејасне и сложене особине. Звездани атоми су наги дивљаци, који не знају за класне разлике наших адићарима украшених земаљских атома. Можемо, дакле, да кренемо напред не задржавајући се на хемијском саставу унутрашњости. Потребно је само учинити једно ограничење, наиме: да нема водоника у претераној сразмери. Јер, водоник се понаша на својствен начин; међутим, ма који од осталих 91 елемената да преовлађује, разлика је веома мала.

О другој тачци рећи ћу више касније; засада треба да замислимо само, да су атоми у звезди осакаћени остаци атома са пространим системом електрона, које познајемо на Земљи; отуда се звездани и земаљски гасови не понашају једнако у особинама које зависе од атомских димензија.

Да би приказали улогу хемијског састава неке звезде, вратимо се проблему одржавања горњих слојева звезде, гасовима што се налазе испод њих. При једној одређеној температури свака независна честица, ма какве масе или хемијска састава, подједнако доприноси томе одржавању; најлакши атоми изравнавају своју мању масу живљим кретањем. То је добро познати закон, утврђен од стране експерименталне Хемије, али који је сада објашњен и кинетичком теоријом Maxwell-а и Boltzmann-а. Замислимо најпре да смо претпоставили како је Сунце састављено од самих сребрних атома, и да смо своје рачунање температуре извели на основу те претпоставке, а затим променимо хипотезу и узмемо уместо сребра какав лакши елемент, нпр. алуминијум. Атом сребра четири је пута тежи од алуминијева атома. С тога, да не би променили масу Сунца, сваки атом сребра треба да заменимо са четири атома алуминијума. Али, тада ће и носећа сила свуда бити учетворостручена и целокупна спољна маса потиснута у поље, ако не учинимо и друге измене. Да би се очувала равнотежа, активност сваке честице треба свести на једну четвртину. А то значи да Сунцу од алуминијума треба приписати четвртину температуре коју би имало Сунце од сребра. И тако, за потпуне атоме, свака промена у хемијском саставу повлачи засобом велику промену у нашим закључцима о унутарњој температури.

Али ако су отргнути од атома, и електрони постају независне честице, које учествују у одржавању спољних слојева. Слободан електрон носи подједнако као и атом; он има мању масу, али се зато креће сто пута брже. Разбијањем атома сребра ослобађају се 47 електрона, што са преосталим његовим језгром чини укупно 48 честица. Атом алуминијума даје 13 електрона, или 14 честица укупно. Отуда 4 алуминијева атома дају 56 независних честица. Замена распаднутог сребра истом масом распаднута алуминијума изазива замену 48 честица са 56, што, опет, производи смањење температуре за 14%. У нашим процењивањима унутарње темпера-

туре (1) толики степен несигурности можемо да дозволимо; јер, према одговарајућем рачуну за потпуне атоме, где је степен несигурности био фактор 4, то претставља велико побољшање. Поред тога што умањује разлике у резултатима, проистекле услед разноликости хемијских састава, повећавајући број носећих честица, јонизација знатно снижава и израчунате температуре. Мисли се понекад да је претерано висока температура у унутрашњости звезде сензационална новост. То, међутим, није тачно. Ранији истраживачи, занемарујући и јонизацију и притисак радијације у исти мах, приписивали су звездама много веће температуре, него што се данас претпостављају.

ПРИТИСАК РАДИЈАЦИЈЕ И МАСА

Звезде се међусобно разликују по својим масама, тј. по количини материје која их сачињава; али, разлике нису тако велике, као што би се могло очекивати према великој разноликости њихова сјаја. Масу звезде не можемо увек одредити, али постоји знатан број звезда чија је маса одређена астрономским мерењима. Сунчева је маса — написаћу је на табли:

2.000.000.000.000.000.000.000.000 тона.

Надам се да сам тачно одбројао нуле, иако верујем да ништа не бисте приметили ни кад би била једна или две више или мање. Међутим, Природа примећује. Изграђујући звезде она је очевидно придавала много значаја остварењу тачнога броја нула, јер налази да звезда треба да садржи тачно одређену количину материје. Али, разуме се, и она допушта оно, што ковничари називају »ремедијум« (дозвољено отступање). Она ће, дакле, пропустити звезду и са једном нулом више у виду изванредно велике звезде, али и са нулом мање, у облику необично мале звезде. Но ова су отступања веома ретка, а за грешку од двеју нула до сада се уопште није чуло. Обично, она се не удаљава много од свога модела.

(1) Ако се сребро замени другим елементима разлике уопште нису веће, а отступања су вероватно још више ублажена мешавином многобројних елемената. Искључујући водоник, највеће отступање је од 48 честица сребра на 81 честицу хелијума исте масе. За водоник, међутим, промена је са 48 на 216, тако да према осталим елементима, он даје веома различите резултате.

Па како Природа води рачуна о тачноме броју нула? Изгледа очевидно да у унутрашњости звезде нешто бдије, дајући, да тако кажемо, знак за узбуну чим је сакупљена тачна количина материје. Верујемо да нам је познато како се то дешава. Ви се свакако сећате етерских таласа у унутрашњости звезде. Непрекидно покушавајући да продру напоље, они производе извесан притисак на материју што их затвара. О овоме притиску упозле, ако је само довољно снажан у односу на остале силе, треба водити рачуна при сваком изучавању равнотеже или постојаности звезде. У глобу малих димензија та је сила сасвим безначајна; али њен уплив расте са повећањем глобове масе, а рачун показује да баш у близини горње масе она постаје потпуно равноправна осталим силама што управљају равнотежом звезде. Да никада нисмо видели звезде, па да смо само из радозналости покушали да нађемо до које се величине глоба материја може одржати у целини, рачуном би могли утврдити да не постоје никакве тешкоће до отприлике две хиљаде квадриљона тона, али да се изван тога услови потпуно мењају и да нова сила почиње преовлађивати. Овде би се, бојим се, тачан рачун зауставио, јер нико још није био у стању да прорачуна шта би се догодило са звездом, кад уплив те силе постане доминантан. Па ипак, тешко се може претпоставити, да је само случај што све звезде имају масу блиску овој критичној маси; усудујем се с тога да нагађам крај историје. Нова сила *доушића* и већу масу, али је чини трошном. Довољно би било и слабије обртање око сопствене осе, па да се звезда распадне. Према томе, масе много веће од критичне масе могу се само ретко одржати; отуда се највећи број звезда својом масом задржава испод границе за коју нова сила почиње да бива озбиљна претња. Гравитациона сила сакупља небуларну и хаотичну масу, док је сила радијације распарчава на комађе одговарајуће величине.

Притисак радијације многим је познатији под именом „светлосни притисак“. Изразом „радијација“ обухваћене су све врсте етерских таласа, па, дакле, и светлосних, тако да су ова два израза еквивалентни. Да светлост производи слаб притисак на све предмете на које падне било је најпре теоријски откривено, а затим и практично доказано. Теоријски било би могуће обрнути човека просто управљајући на њ.

сноп светлости рефлектора; само, требало би да је пројектор необично снажан, због чега би се, опет, човек вероватно одмах претворио у пару. У многобројним небеским појавама светлосни притисак свакако игра значајну улогу. Један од првих закључака био је: да су ситне честице што образују репове комета одгурнуте упоље баш под притиском Сунчеве светлости; то би било објашњење зашто је реп комета увек окренут на супротну страну од Сунца. Али се ова специјална примена не сме сматрати као поуздана. Живо струјање светлости, или боље X-зрака, у унутрашњости звезде може се упоредити са ветром који дува од средишта ка периферији и надима звезду.

УНУТРАШЊОСТ ЗВЕЗДЕ

Није нам сад тешко да претставимо себи унутрашњост звезде — дар-мар атома, електрона и етрових таласа. Разбарушени атоми, изгубивши у метежу свој обични електронски накит, гмижу са својих 150 километара у секунди, док изгубљени електрони лете 100 пута брже, тражећи нова одморишта. Пођимо за једним од њих. Приближивши се атомском језгру, електрон једва избегне судар наглим заокретом у пуном замаху. Понекад електрон склизне на своје путу, али опет настави свој лет час већом, час мањом енергијом. А кад се окрзнуо о неких хиљаду језгара — за цигло један хиљаду-милионити делић секунде — електрон завршава свој лудачки трк поклизнувши горе него обично: дограбљен је и спојен са неким атомом. Али тек што се смирио, на атом напада некакав X-зрак. Усисавши у себе сву енергију зрака, електрон отскаче од атома и јури у сусрет новим доживљајима.

Бојим се да брутална комедија модерне атомске физике неће најбоље одговарати нашим естетским идеалима. Величанствена драма звездане еволуције наличи пре на филмско „срећно спасен“, а музика сфера готово је у духу... jazz-а.

Па каква је последица свег тог комешања? Готово никаква. И поред све своје журбе атоми и електрони не добијају при томе стварно ништа; они само мењају своја места. Од свег становништва звезде, једино етрови таласи обављају нешто постојано. Иако се привидно расипају без разлике на

све стране, лагано они ипак продиру напред. Атоми и електрони не напредују, јер их у томе спречава гравитација. Притворени етрови таласи, међутим, пробијају се као кроз цевило лагано према површини. Од атома до атома, сад напред, сад назад, час апсорбован, час избачен у извесном новом правцу, етров талас путује, престаје да постоји, да би поново оживео у своје наследнику. Са нешто среће, после краћег времена — од десет хиљада до десет милиона година, већ према маси звезде — он ће се наћи у близини површине. Доспевши у слојеве ниже температуре, он се од X-зрака претвара у светлосни зрак, мењајући се затим по мало при свакоме новом рођењу. Најзад, он је толико близу површине, да се може винути напоље и наставити свој лет у миру током неколико стотина година. Можда ће тада наићи на какав удаљени свет, где га у заседи очекује неки астроном, који ће, ухвативши га у клопку својим телескопом, покушати да му ишчупа тајну његова рођења.

Нас нарочито интересује бекство таласа, па зато једино и испитујемо стрпљиво шта се догађа у вртложноме метежу. Поставимо проблем у другоме облику; градијенат температуре, која влада у унутрашњости звезде, гони таласе да избијају напоље, али их њихови доживљаји са атомима и електронима у томе спречавају и враћају натраг. Задатак је математике, да помоћу закона и теорија утврђених у лабораторији проучавањем тих истих феномена, прорачуна оба чиниоца — фактор који изазива струјање према површини, као и онај што се томе противи — и да на основу тога утврди јачину спољњег зрачења. Природно, израчуната вредност треба да се слаже са астрономским мерењима топлотне и светлосне енергије, што их звезда одашиље (емитује). Тако ће на крају посматрања послужити за проверавање теорија.

НЕПРОЗРАЧНОСТ ЗВЕЗДАНЕ МАТЕРИЈЕ

Претпоставимо чиниоца који се противи бекству етрових таласа напоље — њихово враћање у унутрашњост због судара са атомима и електронима. Да су у питању светлосни таласи, та би се препрека њиховом пролазу назвала »непрозрачност«; но ми можемо удобности ради исти израз да употребимо и за препреку X-зрацима.

Није тешко увидети да звездана материја треба да буде веома непрозрачна. Количина радијације у унутрашњости звезде је толико велика, да би без јаке препреке напоље продро њен много већи део, него што је то посматрањима нађено. Следећи пример даће типичну слику потребног степена непрозрачности, да би зрачење било у сагласности са посматрањима. Уђимо у звезду *Капелу* и потражимо област где је у њој густина иста као атмосфере што нас окружује(1); слој материје од само 5 см. дебљине сачињавао би тада толико непрозрачан заклон, да би тек једна трећина етрових таласа што су пали на једну од његових површина доспела до друге; остатак би заклон апсорбовао. А дебљина од неких пола метра материје била би практично сасвим непрозрачна. Кад би се радило о светлосним таласима, толика непрозрачност материје, која није гушћа од ваздуха, била би заиста чудна; али, не треба заборавити да је у питању непрозрачност у вези са X-зрацима, а експериментатор физичар зна колико је тешко пропустити и најмекше X-зраке кроз свега неколико милиметара ваздуха.

Између прозирности у унутрашњости звезде, која је одређена астрономским мерењима зрачења, и прозирности земаљских материја у погледу X-зрака одговарајуће таласне дужине, постоји као ред величина задовољавајуће подударане. То нам сведочи да је наша теорија на добром путу. Али, пажљиво упоређење показује нам да постоје знатне разлике између звезданих и земаљских прозирности.

У лабораторијуму је нађено да непрозрачност веома брзо расте са таласном дужином примењених X-зрака. Међутим, на звездама не наилазимо на сличну разлику, иако X-зраци на хладним звездама треба да имају знатно веће таласне дужине од зракова на врелим звездама. Ако, дакле, извршимо упоређења према истим таласним дужинама, наћи ћемо да је звездана непрозрачност мања од земаљске. Испитајмо поближе то отступање.

Атом се може на више начина испречити етровим таласима, али изгледа како нема сумње да непрозрачност у погледу X-зрака, и у звезди и у лабораторијуму, највећим делом зависи од процеса јонизације. Кад етерски талас падне

(1) Средња густина Капеле је готово иста као и густина ваздуха.

на какав атом, његову укупну енергију упије у себе један од планетарних електрона, који је затим употреби на то, да се отцепи од атома и одлети великом брзином. Значајна је тачка, да је при сваком апсорбовању апсорбујући механизам скрхан, и да се пре поправке не може поново искористити. А та поправка захтева да атом дограби један од слободних електрона што наилазе са свих страна и да га примора да заузме место изгубљена електрона.

У лабораторијуму можемо да произведемо једино узане струје X-зрака, тако да је свака таласна замка само с времена на време позвана да дела. А пре него што би јој се указала поново прилика да нешто ухвати, она има довољно времена да се припреми, тако да практично ништа није изгубљено за време њена обнављања. Али у звездама је струјање X-зрака необично живо и личи на чопор мишева који промичу кроз какву оставу, хватајући се у мишоловке истом брзином, којом ми ове припремамо за нови лов. Време за наметање клопке — за хватање електрона — изгубљено је, дакле, а број погодака зависи једино од тога.

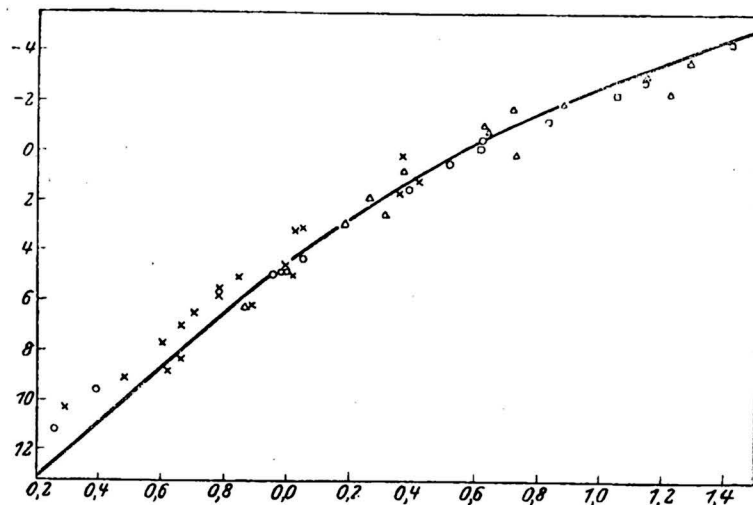
Видели смо раније да су звездани атоми изгубили највећи део својих електрона, а то значи да у сваком тренутку знатнији део клопки очекује своју поправку. Отуда у звездама наилазимо на већу прозирност него код земаљских материја. Повећање прозирности је просто последица претрпаности апсорбујућих механизма — тј. ови треба да приме сувише велики број радијација. Ово нам објашњава зашто су закони звездане и земаљске прозирности нешто различити. Брзина обнављања, која је од највећег значаја у звезданој непрозрачности, повећана је збивеношћу материје, јер атом тада не треба дуго да чека да би наишао и дограбио какав слободни електрон. Звездана непрозрачност расте, дакле, са густином. Под земаљским условима, убрзавање обнављања није ни од какве користи, јер се оно у сваком случају довршава за довољно кратко време; земаљска непрозрачност независна је према томе од густине.

Теорија звездане непрозрачности своди се, дакле, у основи на теорију заробљивања електрона од стране јонизованих атома; па иако ту појаву не мора неминовно да прати апсорпција X-зрака — њу у ствари прати емисија — она је предуслов за апсорпцију. Ма да физичка теорија заробљи-

вања електрона још није дефинитивна, она је довољно напредовала, да би је могли привремено искористити при своме прорачуну чиниоца који се противи спољњем зрачењу звезде.

ОДНОС ИЗМЕЂУ СЈАЈА И МАСЕ

Да не бисмо одмах прешли на веома тежак проблем, сматраћемо да се звезде састоје од идеалних гасова. Ако вам се технички израз „идеални гас“ не допада, можете рећи просто „гас“, јер су сви земаљски гасови, на које сте одмах помислили, без већих недостатака. Земаљски гасови постају



Сл. 7. Крива везе масе и сјаја.

несавршени тек под високим притисцима. Уосталом, треба да напоменем, да су гасовите (1) звезде веома многобројне. На многим звездама материја је толико разређена, да је много финија од ваздуха што нас окружује; тако, на пример, ако би се налазили у унутрашњости *Кајеле*, не бисте запазили њену материју, као што не опажете ни ваздух у овој соби.

За гасовите звезде теорија нам даје обрасце помоћу којих се, ако је позната маса звезде, може израчунати количина топлотне и светлосне енергије што их звезда отпушта

(1) Уколико не буде друкчије назначено „гасовит“ је употребљено као синоним за „састављен од идеална гаса“.

из себе — другим речима, какав ће бити њен *сјај*. На сл. 7 приказана је крива која даје тај теоријски однос између сјаја и масе звезде. Строго узев, на израчунати сјај осим масе и један други чинилац има уплива; иако исте масе, две звезде, од којих је једна гушћа а друга ређа, неће бити сасвим иста сјаја. Али, неочекивано, нађено је да овај други чинилац, густина, изазива веома малу промену у сјају, но само ако материја није толико густа, да се не може сматрати за идеални гас. Отуда у овоме кратком изводу нећу више говорити о густини.

Ево неколико појединости о координатном систему криве. Сјај је изражен *величином*, која је унеколико техничка јединица. Потсетите се само да је звездана величина налик на какав хендикеп голфа — што је већи број перформансе су лошије. Дијаграм обухвата практично све звездане сјајеве. Горе, —4 претставља замало све познате најсјајније звезде; при дну, 12 је готово најнижа граница. Разлика у сјају одозго до доле иста је скоро као и разлика између волтина лука и сјајног црва. Сунце је приближно 5. величине. Природно, ове се величине односе на стварни а не на привидни сјај, који зависи од удаљења; шта више, овде долази у обзир „топлотни сјај“ или топлотни интензитет, који је каткад нешто различит од светлосног интензитета. За непосредно мерење топлоте уместо светлости што је примљена од какве звезде, изграђени су нарочити астрономски инструменти. Успех је савршен, али, имајући у виду велику апсорпцију топлоте у земаљској атмосфери, корекције које треба извршити задају много мука; отуда је у већини случајева много и лакше и сигурније да се топлотни изведе из светлосна сјаја, водећи рачуна о боји звезде. Хоризонтална линија односи се на масу, али је подељена према њеним логаритмима. На левоме крају маса је отприлике шестина Сунчеве масе, док са десне стране износи готово тридесет Сунца; веома је мало звезда чије су масе ван ових граница. Сунчева маса одговара подели која је означена са 0,0.

Кад смо добили своју теоријску криву, потребно је пре свега да се она провери на основу посматрања. Тога ради прикупићемо што можемо више звезда за које су измерене у исти мах и маса и апсолутни сјај. Помоћу подесне хоризонталне и вертикалне поделе унећемо тада у дијаграм одго-

варајуће тачке, па ћемо видети да ли се поклапају са кривом, као што би требало да буде ако је теорија исправна. Тачно одређених звезданих маса нема много. Све што заслужује поверење унето је на сл. 7. Кружићи, крстићи, квадрати и троугли односе се на разне врсте података, међу којима су једни добри, други лоши, или чак веома лоши.

Кружићи претстављају најсигурније податке. Следимо их с десна на лево. Наилазимо најпре на сјајну Капелину компоненту, која лежи чудновато добро на кривој — зато што сам је кроз њу баш и повукао. Као што се види, постоји извесна бројна константа, коју сама теорија, при садањем стању нашег знања о атомима, етровим таласима и т. д. не може да одреди довољно поуздано. Отуда се крива може померати у једноме правцу, тј. може се или подићи или спустити. Ми смо је повукли тако, да пролази кроз сјајну Капелину компоненту, која је, како изгледа, најбоља звезда на коју се при томе може ослонити. После тога крива се више не сме дирати. Настављајући на лево наилазимо на слабију Капелину компоненту; затим на Сириус, па онда начичкане две компоненте звезде α Centauri (најближа звезда некретница) са Сунцем између њих, и, на самој кривој, кружић који претставља средњу вредност шест двојних звезда у Хијадама. Најзад, далеко на лево, налазе се још две компоненте добро познате звезде, зване Kueger 60.

Подаци посматрања који омогућују проверавање криве нису ни тако многобројни, ни толико поуздани као што би се желело, но ипак чини ми се према сл. 7 да је теорија у основи потврђена, и да нам омогућује да предвидимо сјај неке звезде ако нам је позната њена маса, и обрнуто. А то је користан резултат, јер има хиљадама звезда чији апсолутни сјај можемо да измеримо — али не и масу, па затим да масу изведемо са извесном сигурношћу.

Како овде нисам могао да вам изнесем појединости рачуна, треба да вам докажем да је крива на сл. 7 била стварно исцртана на основу чисте теорије и земаљских огледа, изузев константу, коју смо одредили повукавши криву кроз Капелу. Замислимо физичаре који раде на каквој планети што је окружена облацима као Јупитер, и који никада нису видели звезде. Ако изван облака постоји какав свет, на страни 15 изложени метод омогућиће им да закључе, како се овај од

почетка још могао састојати само од скупова маса величине хиљаду квадриљона тона. А тада, могли би предвидети да су ти скупови у ствари глобови што одају светлост и топлоту, и да њихов сјај треба да зависи од масе онако, као што је претстављено кривом на сл. 7. Сва објашњења што смо их употребили да би извели своје рачуне била би им приступачна и испод њихових облака, изузев то наше преимућство, да смо искористили сјајну Капелину компоненту. Но садање физичке теорије омогућиле би им и поред тога да невидљивој звезданој гомили припишу сјајеве, који нимало не би били бесмислени. Ако само нису обазривији од нас, они би вероватно свим звездама придали отприлике десет пута већи сјај(1) — нимало претерана грешка за први покушај решавања једног толико трансцендентног проблема. Надамо се да ћемо чинилац 10 објаснити бољим познавањем атомских процеса; а дотле, одстранимо га одређујући непознату константу астрономским мерењима.

ЗВЕЗДЕ ВЕЛИКЕ ГУСТИНЕ

Кад се зна колико су мерења груба, слагање посматраних тачака са кривом необично је добро и изгледа да оно пружа теорији довољно сигурну потврду. Али, морамо да признамо једну страшну ствар: *теорију смо ујоредили са лошим звездама*. Но кад је 1924 године први пут било извршено упоређење, нико није мислио да су оне лоше.

Треба да потсетимо да је теорија изведена за звезде образоване од идеалног гаса. Све звезде претстављене на десној половини слике 7. дифузне су; Капела, својом средњом густином

(1) При овоме предвиђању није потребно да се познаје хемијски састав звезда, само ако су искључени екстремна случајеви — као напр. претерана сразмера водоника. Претпоставимо на пример да је Капела најпре састављена од гвожђа, а затим од злата. У сагласности са теоријом, непрозрачност звезде састављене од тежег елемента биће два и по пута већа од непрозрачности звезде исте масе, али од гвожђа. И сама ова чињеница довољна је да се звезди од злата припише два и по пута мања величина. Али промена ће поред тога изазвати и повећање температуре; па иако промена, као што смо објаснили на страни 16, није сувише велика, спољно зрачење топлоте опашће за око $2^{1/2}$ пута. За сјај, резултујућа последица биће практично нула. Али, ако је независност у погледу хемијска састава за дозвољавајућа, уколико повлачи за собом несумњиву одређеност резултата, ова нарочито отежава објашњење чиниоца 10.

која је готово равна густини ваздуха у овој соби, може се сматрати за типичну. Материја на томе ступњу финоће очигледно је прави гас, па уколико се такве звезде поклапају са кривом, теорија је потврђена. Али, на левој половини дијаграма имамо Сунце, чија је материја гушћа од воде, Krueger 60, гушћу од гвожђа, и много других звезда густине, која је обично везана за материју у чврстом или течном стању. Па шта оне траже на кривој која је намењена идеалним гасовима? Кад су ове звезде уношене у дијаграм, није се ни најмање очекивало да ће се покlopити са кривом; подударане, доиста, није било ни мало пријатна ствар, јер је том приликом сасвим нешто друго тражено. С обзиром на потврду што су је већ биле пружиле дифузне звезде, мислило се с правом да се може веровати вредностима теорије; отуда је и очекивано да ће се изположаја што их испод криве заузимају густе звезде, моћи да изведе величина отступања у односу на закон идеалних гасова. Према тадашњим схватањима очекивало се да ће Сунце пасти за три или четири величине испод криве, а још гушћа звезда, Krueger 60, скоро за десет величина(1). Видимо колико је погрешно било то очекивање.

Но разочарење било је још много веће, него што бих вам га могао описати; знатно опадање сјаја код звезда које су сувише густе да би се понашале као прави гас, било је основна догма нашег схватања звездане еволуције. За владе ове догме звезде су биле подељене у две групе: џиновске и патуљке, и то прве као гасовите, а друге као звезде велике густине.

Пред нама се сада, дакле, налази следећа могућност. Или претпоставити да нам је у нашој теорији промакла каква грешка: да је стварна крива за гасовите звезде друкчија него што смо је повукли, тј. да се пење на левој страни

(1) Посматрања показују да је Сунце отприлике за 4 величине слабије од средње дифузне звезде исте спектралне класе, а Krueger 60 за 10 величина слабије од дифузне звезде своје класе. Ова су опадања сјаја била у целости приписана отступању у односу на закон за идеалне гасове, а није се нимало водило рачуна о могућој разлици маса. Крива, међутим, омогућује упоређење густе са дифузном звездом *исте масе*; при томе, дакле, ишчезава свака разлика. Отуда је — ако само није било грешке — густа звезда, гасовита, а горе наведене разлике сасвим су последица разлика маса.

дијаграма тако, да се Сунце, Krueger 60, итд. налазе испод ње на жељеним отстојањима. Једном речи, да је малопређашњи имагинарни критичар имао права; Природа је у звездама скрила нешто неочекивано, и тако квари све наше рачуне. Али ако је и тако, и овај резултат наших истраживања претставља извесну ствар.

Други део могућности претстављало би следеће питање: може ли идеални гас да има густину гвожђа? Одговор је унеколико чудан. Не постоје земаљски разлози који би се противили томе, да некакав идеалан гас има много већу густину од густине гвожђа. Или, шта више, било би тачније рећи: разлог због кога он не може да има такву густину је сасвим *земаљски* разлог, па се према томе не може применити и на звезде.

Иако је гушћа од воде, Сунчева материја је у ствари идеалан гас. Изгледа невероватно, али је тако. Особина је правога гаса да између његових различитих честица има много простора — гас садржи веома малу количину материје, а много празнине. Због тога се приликом његова сабијања не збија материја, већ само нешто мало смањује простор између честица. Али, ако се сабијање настави, наступиће тренутак кад је сва празнина попуњена: атоми су тада пригњечени једни уз друге, а свако касније сабијање повлачи за собом сабијање саме материје, а то је нешто сасвим друго. Отуда у близини такве густине карактеристична стишљивост гаса ишчезава и материја није више гас. У течностима атоми се готово додирују, и то вам даје идеју о густини при којој гас губи своју карактеристичну стишљивост.

Крупни земаљски атоми, који су пригњечени једни уз друге већ при густини што одговара течном стању, на звездама не постоје. Отргнућем спољних електрона звездани атоми су постали мање или више голи. Најлакши атоми су потпуно наги и сведени су на само језгро, чија је величина сасвим безначајна. Тежи су атоми сачували неколико најближих електрона, али немају више од стотог дела пречника потпуно опремљена атома. Због тога се сабијање може још дуго наставити, пре но што дође до међусобна додира између тих сићушних атома, или тих јона. При густини воде, или чак и платине, између оголелих атома има још места —

постоји, дакле, међупростор који се, као код идеалних гасова, сабијањем може смањити.

Процењујући величину гужве у звезданој балској дворици заборавили смо били да кринолини нису више модерни, и у томе је била наша грешка.

Били смо, мора се признати, сасвим слепи, кад нисмо предвидели тај резултат после толико пажње што смо је обратили на осакаћење атома у другим гранама наших истраживања. Заобилазним путем дошли смо до закључка, који је у ствари био сасвим очигледан. Тако ћемо, најзад, увидети да звезде на левој страни дијаграма нису »лоше« звезде. Сунце и остале звезде велике густине налазе се на кривој идеалних гасова зато, што је и њихова материја стварно идеални гас. Веома прецизна испитивања показала су да код ситних звезда на левоме крају сл. 7, електрични набоји атома и електрона повлаче засобом мало отступање у односу на обичне законе гаса; R. H. Fowler је показао да они не чине гас *несавршеним*, већ *пресавршеним*, тј. да постаје стишљивији од обична гаса. Примићете, можда, да просечно више звезда леже изнад криве на левој страни сл. 7. Вероватно је да је то скретање стварно и да делимично произлази од пресавршености гаса; видели смо горе да би се због несавршености гаса звезде налазиле испод криве.

И при густини платине има још међупростора, тако да се материја у звездама може сабијати до густине, која у многоме превазилази све на Земљи познате густине. Али то је сасвим друга приповетка, а њу ћу вам испричати касније.

Опште подударање између посматрана и предвиђена сјаја за звезде различитих маса, основни је доказ исправности наших теорија о унутарњем саставу звезда. Чињеница, да све звездане масе падају у област која је нарочито критична у погледу притиска радијације, такође је значајна потврда. Било би претерано сматрати, како је овај ограничени успех доказ да смо сазнали истину која се односи на унутрашњост звезда. Он није доказ, већ само охрабрење да наставимо рад у правцу што смо га до сада следили. Чвор се почиње дрешити. Оптимистички дух могао би претпоставити да је сад кривина исправљена; обазривији, међутим, биће приправан за следећи чвор. Прави разлог због кога се може сматрати да истина није далеко, био би: да је само у уну-

трашњости звезде проблем материје највише упрошћен. Астроном се, дакле, бави проблемом који у својој суштини није нимало амбициознији од проблема што се поставља физичару на Земљи, коме се материја увек јавља у облику електронских система најсложенијег састава.

Испитали смо садање физичке теорије и истакли њихове најдаље закључке не из догматског интереса, већ зато што је то најподесније сретство што га имамо, да бисмо их испробали и уочили њихове слабости, ако их имају.

У прастара времена два ваздухопловца начинише себи крила. Дедал је летео ниско и без опасности се спустио. Икар, међутим, подигао се према Сунцу, које истопа восак што привршћиваше његова крила, и он се стропшта доле. Ако се ујоређују њихова дела, треба рећи нешто у Икареву корист; касични ауторитети говоре нам да је он хтео „да задиви галејију“; ја радије мислим да је то био човек који је указао на озбиљан недостатак тадањих направа за летење. Иста је ствар у Науци. Мудри Дедал примењује своје теорије само онде где је готово сигуран да ће оне проћи без опасности: али због претеране мудрости, њихове скривене слабости остају чепознате. Икар напиње своје до те мере, док слабе везе не точну попуштати. Само ради доживљаја? Делимично, можда, јер је то у човечијој природи. Али, ако још није суђено да се допре до Сунца и реши загонетка његова састава, можда се бар надати да ћемо из његова пуга извући извесне пимедбе, које ће нам корисно послужити при изграђивању чкве боље направе.

Друго предвање

НЕКОЛИКО НОВИЈИХ ИСТРАЖИВАЊА

Да бисмо боље проценили значај по Астрономију свега што смо научили на прошлome предавању, преи ћемо са општих на посебне случајеве, па ћемо видети како се те чињенице могу применити на појединачно посматране звезде. Узећу две звезде, чије су историје нарочити привлачне, и испричаћу оно што о њима знамо.

ПРИЧА О АЛГОЛУ

Ово је криминални роман, који бусе могао назвати: »Непозната реч и лажни траг«.

Астрономија се од многих друге наука разликује по томе, што су нам предмети наших истраживања неприступачни и што се не могу подврћи експерименталном испитивању; принуђени смо пасивно да слушамо, примамо и дешифрираемо поруке што нам их они шаљују. Све што знамо о звездама доспева нам путем њихових светлосних зракова; ми, дакле, вребамо и покушавамо да разумемо њихове сигнале. Има звезда које нам, изгледајући правилан низ тачака и потеза, као повремене светлости, какве куле светиље. Да бисмо разумели ове поруке очевидно не можемо се послужити Морзовим знацима; па ипак тачним мерењима можемо отуда извући многа обавештења. Алгол је најпознатија међу тим »променљивим звездама«. Његови нам сигнали показују да су то у ствари две звезде које се обрћу једна око друге. Час је сјајнија од њихове, а час скривена, што даје потпуно по-мрачење или »потез« а час опет слабија и тада имамо »тачку«.

Ово се периодично понавља свака два дана и 21 час — и то је време обилажења двеју звезда.

Порука садржи и многа друга обавештења, али нам задаје Танталове муке. Има, да тако кажемо, само једна непозната реч. Кад бисмо могли некако да сазнамо ту реч, порука би нам пружила занимљива обавештења о стању система — о пречницима и масама двеју компонената, њиховом апсолутном сјају, њиховом међусобном растојању, њиховом удаљењу од Сунца. Али уколико нам та реч недостаје, порука нам не пружа ништа сасвим одређено у погледу свих тих појединости.

При таквим околностима астрономи не би били људи, ако не би покушали да нађу реч што им недостаје. Јер та би нам реч нарочито показала колико је сјајнија звезда крупнија од слабије, тј. какав је однос њихових маса. Неколико међу мање познатим променљивим звездама шаљу нам потпуне поруке (оне се према томе могу искористити за проверавање односа између масе и сјаја, и ми смо их на сл. 7 приказали троуглима). Што се тиче Алгола, тешкоћа произлази од знатна сјаја сјајне компоненте, који пригушује и чини нечитким деликатније сигнале слабије компоненте. Благодаря другим системима двојних звезда могли смо да утврдимо најчешћу вредност односа маса, па на основу тога да проценимо највероватнију вредност за Алгол. Различити ауторитети били су наклоњенији нешто другачијим процењивањима, али је општи закључак да у системима као што је Алгол, сјајна компонента има два пута већу масу од друге. Претпоставило се с тога да је непозната реч била »два«; ова је претпоставка омогућила да се израчунају различите димензије система, димензије за које се сматрало да су блиске стварности. Све ово изведено је пре шеснаестак година (1).

Дешифровање поруке овом методом дало је за сјајнију звезду полупречник од 1.100.000 километара (један и по пута полупречник Сунца), половину Сунчеве масе, тридесет пута већу моћ зрачења, итд. Види се на први поглед да се ово не слаже са нашом кривом на сл. 7; звезда чија је маса упола мања од Сунчеве масе, треба да је много слабија сјаја него Сунце. Шта више, проналазак звезде која је у толиком не-

(1) Грубља процењивања извршена су још много раније.

сладу са теоријом изазвао је праву пометњу; али опет, ако теорију треба проверити, то проверавање треба извршити на основу стварних чињеница, а не претпоставки, па је сасвим могуће да су теоријине основе поузданије од хипотезе о непознатој речи. Осим тога, спектрални тип Алгола припада оној врсти, која обично одговара већим масама, па и то унеколико изазива сумњу о вредности постигнутих резултата.

Ако хоћемо да верујемо теорији што је изложена у току прошлог предавања, треба да се прођемо непознате речи. Или, да се друкчије изразимо, претпоставку »два« треба да заменимо једно за другим различитим хипотезама, док међу овима не наиђемо на ону, која ће сјајној компоненти дати масу и сјај у сагласности са кривом на сл. 7. Претпоставка »два« даје, као што смо видели, тачку која је веома далеко од криве. Узмимо »три« као нову претпоставку и израчунајмо изнова масу и сјај; одговарајућа тачка је тада знатно ближа кривој. Наставимо са »четири«, »пет« и тако даље; ако тачка прекорачи криву, знамо одмах да смо се сувише удаљили и да треба да узмемо међувредност, да бисмо постигли жељено слагање. Тако је поступљено било и новембра 1925, па је нађено да непозната реч треба да буде »пет« а не »два«, — мало чудновата промена.

Порука је тако постала:

Полупречник сјајне компоненте: 2.140.000 километара.

Маса сјајне компоненте: 4,3 пута Сунчева маса.

Ако упоредите ове податке са првобитним бројевима, приметите да су веома различити. Звезди сад приписујемо знатну масу, која одговара много боље звезди *B* типа. За Алгол смо тако нашли да је 100 пута сјајнији од Сунца, и да је његова паралакса $0'',028$ — два пута веће одстојање него што се најпре претпостављало.

Кад су објављени ови закључци било је мало изгледа да ће се они икада моћи да провере на основу посматрања. Могло се бар надати да ће предвиђање у вези са паралаксом бити или потврђено или оборено тригонометријским одређивањем, али је она толико мала, да је готово ван граница тачних и прихватљивих мерења. Можемо, дакле, само заузети став: усвојити или не. »Ако усвојите теорију, Алгол од-

говара горњем моделу; одбаците ли је, ови вас резултати не интересују«.

Међутим, два астронома са опсерваторије Ann Arbor покушали су да непознату реч утврде помоћу нарочитог новог метода. Стварно они су реч били нашли и објавили је годину дана раније, али се за њихов рад није много знало. Ако се каква звезда обрће око себе, један нам се њен руб или »лимб« приближује, док се други удаљава. Брзине приближавања или удаљавања могу се мерити помоћу Доплерова ефекта у спектру, који даје потпуно одређен резултат у километрима за секунду. Тако можемо да меримо и меримо стварно екваторску брзину Сунчева обртања, посматрајући најпре источни, па затим западни његов руб и узимајући разлику посматраних брзина. Све је то веома лепо за Сунце, чији котур можемо да заклонимо, а да откријемо само мали део што хоћемо да га посматрамо; али како ћете да заклоните један део звезде, кад је она само обична светла тачка? Ви, разуме се, не можете; али на Алголу се то чини уместо вас. Ваш заклон је слаба Алголова компонента. При њеном пролазу испред сјајне звезде наступа један тренутак кад се од ове види само танани срп на истоку, и тренутак кад се такав исти сјајни срп види на западу. Природно, звезда је веома далеко од вас да бисте стварно могли видети облик сјајна српа, али у тим тренутцима светлост примате само од њих, јер је остали део звезде заклоњен. Хватајући ове тренутке можете, дакле, да извршите мерења, баш као да сте звезду сами заклањали. Срећом, брзина Алголове ротације је велика, па се према томе може мерити уз релативно малу грешку. Помножите затим екваторијалну брзину трајањем обртања (1) и добићете Алголов обим. Поделите га са 6,28 па ћете имати полупречник.

У томе се састојао метод што су га искористили Rossiter и Mc Laughlin. Применивши га на Алгол овај последњи је за полупречник сјајне компоненте нашао 2.180.000 километара. Уколико се може ценити, овај је резултат необично тачан; вероватно је чак, да је овај полупречник сад боље познат од

(1) Посматрано трајање је трајање Алголова обилажења а не обртања. Али су компоненте веома близу једна другој, па је вероватно да би им због велике снаге плиме и осеке увек исте стране биле окренуте једна према другој, тј. да су им трајања и обртања и обилажења иста.

полупречника ма које друге звезде, изузев Сунца. Ако погледате стр. 32 и упоредите ову вредност са вредношћу што је изведена на основу чисте теорије, приметите колико је слагање задовољавајуће. Ms Laughlin је извео и остале константе и димензије система; оне се такође поклапају, али то је само по себи јасно, јер нам је недостајала једна једина реч. Одређујући на два начина, утврђено је да је непозната реч или однос маса: 5,0.

Али ово није у исто време и крај приче. Зашто је прва претпоставка о односу маса била толико погрешна? Познато нам је сада, да је неједнакост маса тесно везана за неједнакост сјајева двеју звезда. Однос сјајева био је дат у првобитној Алголовој поруци; она нас је обавестила, да слаба компонента даје отприлике $\frac{1}{30}$ светлости сјајне компоненте (бар смо ми то тако тумачили). Према нашој кривој то би одговарало односу маса $2\frac{1}{2}$, што не претставља неко нарочито побољшање према првобитној претпоставци 2. Да би однос маса био 5, требало би да је пратилац још много слабији: његова светлост, дакле, била би неприметна. Иако оваква гледишта немају великог утицаја на основну претпоставку, она нам изгледа бар потврђују, да та претпоставка није била баш сасвим погрешна.

Назовимо сјајнију компоненту Алгол А, а слабију Алгол В. Пре неколико година откривен је и Алгол С. За Алгол А и В је утврђено да заједно описују путању око треће звезде за нешто мање од две године — круже бар са том периодом, па се мора претпоставити да постоји нешто, око чега оне круже. До сада смо сматрали, да је за време скоро потпуна помрачења Алгола А, све остало светло потицало од Алгола В; али сад нам је јасно, да оно произлази од Алгола С, који непрекидно сија истим сјајем. Отуда је $2\frac{1}{2}$ однос маса Алгола А и Алгола С. Светлост што потиче од Алгола В неприметна је, као што и одговара односу маса 5 (1).

Порука Агола А и В била је нејасна не само због непознате речи, већ и отуда што су се у њој биле омакле једна или две речи из поруке Агола С, тако да и поред тога што је било утврђено да је непозната реч »пет« и што је

(1) Биће занимљиво да се дола, како се, и поред тога што је сопствено светло Агола В неприметно, може посматрати рефлекс (или рерадијација) светлости Алгола А од Агола В. Ово се одбивено светло мења као и светлост Месеца, према томе да ли је Агол В „млад“ или „пун“.

потврђена на два начина, порука ипак није била сасвим повезана. На другоме месту она је изгледала несигурна и означавала »два и по«. Последњи корак у проналажењу био је: да се нађе, како »два и по« припадају засебној поруци првобитно непознате звезде, Алгола С. Тако се све свршило срећно.

Ни највештији детектив није непогрешив. У овој приповетци наш детектив-астроном је поставио логичну али још од почетка погрешну хипотезу. Он је на време могао да увиди своју грешку, да није било лажног трага што га је припремио трећи саучесник у злочину, а који, изгледало је, потврђиваше претпоставку. Била је то велика несрећа, али по томе ова прича и јесте најлепша детективска прича.

ПРИЧА О СИРИЈУСОВУ ПРАТИОЦУ

Наслов је овог криминалног романа: »Безумна порука«.

Сиријус је најсјајнија звезда на небу. Природно она је некада била веома често посматрана и астрономи су је заједно са осталим сјајним звездама, дуго употребљавали за одређивање тачног времена и дотеривање часовника. Била је, како се то каже, *часовна звезда*. Али, увидело се да није била сасвим добар часовник; током неколико година она је редовно предњачила, да би затим почела заостајати. 1844, Bessel је нашао узрок те неправилности: Сиријус описује елиптичну путању. Очеvidно, мора да постоји нешто око чега он кружи; с тога се закључило, да је то каква тамна звезда, коју никада нико није видео; а, бесумње, нико није ни очекивао, да ће се икада видети. Сиријусов пратилац био је, мислим, прва невидљива звезда за коју се стварно сазнало. За такву једну звезду не може се рећи да је »хипотетичка«. Механичка су својства материје светија од случајне особине да је видљива; за прозирно стаклено окно не кажемо да је »хипотетичко«. У близини Сиријуса постоји нешто што претставља најуниверзалнију особину материје — особину да по закону гравитације делује на материју што је окружује. А то је бољи доказ постојања материјалне масе од окуларне извесности.

Међутим, осамнаест година касније Alvan Clark је стварно приметио Сиријусова пратиоца. Откриће је једино своје врсте; Clark није посматрао Сиријус због њега сама, већ зато што је он био идеална светла тачка за проверавање оптичког

савршенства једног новог великог објектива, што га је његова фирма израдила. Clark се бесумње нешто мало разочарао, кад је сасвим уз Сиријуса приметио малу сјајну тачку и покушао да је отстрани још бољим глачањем свог сочива. Али тачка је и даље постојала, па се морало претпоставити, да је то добро већ познати Сиријусов пратилац, кога још нико никада није био видео.

Велики модерни телескопи лако показују ту звезду и то унеколико квари роман; али ако се губи роман, наша наука добива, јер сад знамо да је пратилац звезда, која је исто толико масивна као и Сунце. Њена је маса $4/5$ Сунчеве масе, али је њено светлосно зрачење једва $1/360$ део Сунчева зрачења. Али нас толико слаби њен сјај није нарочито изненадио (1). Јер, сматрало се да треба да има врелих, бело усијаних и веома сјајних звезда и звезда црвена усијања и веома слабог зрачења, као и других међуврста сјаја. Претпостављало се да пратилац спада међу слабе црвено усијане звезде.

1914, професор Adams, са Mount Wilson Опсерваторије, нашао је да пратилац није црвена звезда. Она је бела — бело усијана. Па зашто онда не блиста? Очигледно, једини је вероватни одговор: да је веома ситна звезда. Према природи и боји њене светлости требало би да јој површна интензивније сија од Сунчеве; али је укупна емитована светлост једва $1/360$ део Сунчеве светлости; површина, према томе, треба да буде мања од $1/360$ дела Сунчеве површине. А то за полупречник звезде даје мање од $1/19$ Сунчева пречника, па се тако овај глоб своди на димензије које би се пре приписале планетама, него звездама. Тачнијим рачуном налази се, да је Сиријусов пратилац глоб чије су димензије у границама између Земљиних и димензија велике планете Урана. Али, да би се у глобу, који је нешто већи од Земље, сместила маса нешто мања од Сунчеве, потребно је произвести веома снажно сабијање. Стварна густина достиже 60.000 пута густину воде: отприлике једна тона на кубни цол (2).

Наше знање о звездама произлази из тумачења порука што нам их доноси њихова светлост. Дешифрована, порука Сиријусова пратиоца ево шта је дала: »Изграђен сам од

(1) У време о коме говорим за однос између масе и сјаја није се још знало.

(2) Око 60 kg/cm^3 . Прим. прев.

материје 3.000 пута гушће од свега што сте икада могли наићи; тона те материје сачињавала би зрнце, које бисте могли сместити у кутију од жижица«. Шта се може одговорити на такву поруку? Оно, што су многи између нас казали 1914: »Ћути. Не говори глупости!«

Међутим, 1924 године, теорија која је изложена на прошлом предавању била је развијена; а ви се сећате да је она на крају показала, како се звездана материја може сабити до густине која знатно превазилази густине што их познајемо из наших огледа. Ова је последица потсетила на чудну поруку Сиријусова пратиоца, која се више није могла одбацити као очигледна бесмисленост. Али то не значи да смо је одмах могли сматрати за истиниту; требало ју је одмерити и озриво испитати, ако се жели да се не губи време на празним речима.

Треба напоменути да је веома тешко било одбацити првобитну поруку, сматрајући је за погрешну. Да је маса $4/5$ Сунчеве масе, о томе не може бити никакве сумње. То је најбоље одређена звездана маса. Осим тога, очигледно је да та маса мора да буде велика, да би скренула Сиријуса са његова пута и пореметила његову правилност као часовника. Одређивање полупречника није толико непосредно, али је изведено методом, који у своју активу убраја значајне успехе што су постигнути његовом применом на другим звездама. Полупречник огромне звезде Бетелгезе, на пример, био је најпре израчунат на основу тог начина, после чега је нађена могућност да се и директно измери помоћу интерферометра што га је пронашао Michelson; директно мерење је потврдило израчунату вредност. Поред тога, Сиријусов пратилац није једини своје врсте. Недавно су нам две друге звезде послале поруке, наговештавајући невероватно велике густине; ако водимо рачуна о томе, колико су наша средства за откривање ове врсте звезда ограничена, више је него вероватно да су ови »бели патуљци«, како се зову, релативно многобројни у звезданој васиони.

Међутим, не треба се сасвим ослонити на једнога вођу, из бојазни да нам у каквој непредвиђеној прилици не би био при руци. Због тога се и професор Adams, 1924, бацио на посао и предузео да подробно испита поруку. Einstein-ова теорија гравитације показује, како све спектралне црте неке

звезде треба да буду нешто мало померене према црвеном делу спектра, у односу на одговарајуће црте земаљског спектра. На Сунцу је, међутим, ефекат веома слаб, да би се могао запазити, с обзиром на различите узроке малих померања, које би требало издвојити. Према моме личном убеђењу, Einstein-ова теорија пружа много већу сигурност за стварно постојање ефекта, него експериментални докази што нам у овоме тренутку стоје на расположењу. Али, изненађујућа је чињеница да су сада сви истраживачи једнодушни у томе, да ефекат за Сунце стварно постоји, ма да су неки између њих мислили најпре да га огледи сасвим искључују. До сада су нарочито астрономи опсерватори сматрали Einstein-ову теорију као нешто што треба проверити; но овога пута је теорија у могућности да докаже своју вредност тиме, што ће нам помоћи да проверимо нешто још несигурније него ли она сама. Einstein-ов ефекат је сразмеран маси звезде, подељеној њеним полупречником; а како је полупречник Сиријусова пратиоца веома мали (ако порука говори истину), ефекат треба да буде веома наглашен. Стварно, он треба да је тридесет пута већи него за Сунце. А то оставља далеко засобом секундарне узроке померања црта, која чинетолито неизвесним доказ његова постојања за Сунце.

Посматрање је веома тешко, јер је Сиријусов пратилац слаб за такву врсту истраживања и што дифузовано светло, које потиче од његова изванредно бљештава суседа, изазива огромне сметње. Међутим, после једногодишњих напора професор Adams је успео да изврши задовољавајућа мерења, па је нашао знатно померање, као што је било и предвиђено. Изразивши резултате помоћу уобичајене јединице: километар за секунду, средња вредност ових мерења је изнела 19, док је предвиђено померање било 20.

Професор Adams је тако успео да једним ударцем учини два поготка. Утврдио је, наиме, нови доказ Einstein-ове опште теорије релативитета, и показао да материја бар 2.000 пута гушћа од платине (1) не само може да постоји, већ и постоји

(1) Моји изрази „идеални гас густине платине“ и „материја 2.000 пута гушћа од платине“ репортери често стапају у једну једину, облика „идеални гас 2.000 пута гушћи од платине“. Тешко би било да се израчуна какво може да буде стање материје у Сиријусову пратиоцу, али не верујем да би то могао бити идеални гас.

стварно у звезданој васиони. То је најбољи доказ што смо га могли наћи за нашу идеју: да је густина Сунца, једнака 1,4 пута густини воде, још увек веома далеко од највеће густине звездане материје; према томе, сасвим је логично што смо нашли да се Сунце понаша као да је образовано од идеална гаса.

Рекао сам да је посматрање било крајње тешко. Ма колико да је увежбан посматрач, не верујем да можемо слепо веровати резултату који се ослања на граничне напоре, пре него што овај буде проверен и од других независних истраживача. За сада, дакле, ове ћете закључке примити са резервом. Али, Наука није само каталог извесних чињеница што се односе на васиону; она је средство прогреса, често скривено, понекад неизвесно. А наше интересовање за Науку није само жеља да се обавестимо о последњим чињеницама, придодатим збирци; ми волимо да расправљамо о својим надама и својим зебњама, о ономе што је вероватно и о ономе што нас очекује. Испричао сам ову полициску причу све до оног места, где се сада налази. Не знам да ли смо доспели до њена последњег поглавља.

НЕПОЗНАТИ АТОМИ И ТУМАЧЕЊЕ СПЕКТРА

Сасвим је разумљиво да материју тако велике густине не треба сматрати за непознату — један или више нових хемијских елемената. Она је у ствари обична материја, скрхана готово сасвим високом температуром и припремљена да буде снажније сабивена — онако, као што би се у какву одају могло натрпати много људи, ако би им се поломило неколико костију. Карактеристика је астрофизике да нам на земљи обичне елементе покаже у изванредном стању — скрхане или јонизоване до степена какав се никада није постигао у лабораторијуму, или је постигнут, али уз крајње напоре. Само у недостижној унутрашњости звезда, материју налазимо у стању које је различито од стања наших земаљских експеримената.

Ево фотографске репродукције прстенасте маглине у Лири (сл. 8) (1). Она је снимљена кроз призму, тако да уместо

(1) Снимио Dr. W. H. Wright са Lick-ове Опсерваторије (Калифорнија).

једног имамо читав низ прстенова, који одговарају различитим спектралним цртама и претстављају разноврсне атоме што производе светло маглине. Најмањи, а осим тога слаби прстен (означен стрелицом) потиче од светлости што је производе хелијумови атоми у маглини: али, не обични, већ скрхани хелијумови атоми. Највећи лабораторијумски успех последњег времена био је, кад је, 1912, професор А. Fowler успео да у безваздушној цеви (вакууму) довољно разбије хелијумове атоме и произведе такву врсту светлости, која нам је већ добро позната на звездама. Два друга прстена потичу од водоника. Изузев та три прстена ниједан се од осталих још није могао произвести у лабораторијуму. Не знамо, на пример, од којих елемената потичу два сјајна прстена на десноме и левоме крају.



Сл. 8. Прстенаста маглина у Лири.

Пита се понекад: не постоје ли, можда, на звездама нови елементи, којих нема или још нису пронађени на Земљи? На то можемо одлучно и убедљиво да одговоримо: Не. Овакав одговор, међутим, не значи да је све што се опажа на звездама могло бити идентификовано са познатим земаљским елементима. Одговор, стварно, не даје астроном, већ физичар. Овај последњи успео је да установи правилну класификацију елемената, и нашао да нема празнина, које би означавале места нових елемената, све док се не дође до елемената веома велике атомске тежине, што се вероватно не могу наћи у атмосфери звезда, нити се јавити при астрономским посматрањима. Свакоме елементу одговара извесан број, почев од бр. 1, који се односи на водоник, па до бр. 92, што одговара уранијуму. Шта више, елементи носе свој број толико очевидно, да га физичар

лако може прочитати. Он може, на пример, да види да је гвожђе бр. 26, не водећи рачуна о броју елемената што му претходе. Прозвани према редноме броју сви су елементи, чак до бр. 84, одговорили: „Ту сам“ (1).

Елеменат хелијум (бр. 2) открио је Lockyer најпре на Сунцу, а тек много касније нађен је и на Земљи. Од астрофизичара се не може захтевати да понове такав проналазак; они не могу да открију нове елементе ако их нема. Непознати извор двају прстенова што су један крај другог на десној страни фотографије (један сјајан, други слаб) назван је *небулијум*. Али, *небулијум* није нови елеменат. Он је неки од приснијих нам елемената, кога не можемо да препознамо зато што је изгубио више својих електрона. Атом што је изгубио један електрон личи на пријатеља који је обријао своје бркове: ни најближи га познаници не могу препознати. Пре или после препознаћемо *небулијум*. Теоретичари физичари покушавају да нађу законе који тачно одређују природу светлости што је отпуштају (емитују) атоми у различитим стадијумима осакаћености — чиме би се омогућило да се чистим рачуном одреди врста атома, према светлости што је одаје. Што се тиче експерименталних физичара, они раде на истраживању све моћнијих сретстава за разбијање атома, па је вероватно да ће се једнога дана какав земаљски атом моћи тако ексцитовати, да произведе *небулијумово* светло. То је трка великога стила, и ја не знам на шта да се кладим. Астроном не може много да помогне у решењу проблема што га је поставио. Верујем, међутим, да би веома брижљивим мерењима односа интензитета двеју *небулијумових* црта, физичарима он могао пружити драгоцену помоћ. Он им указује на разлику величина прстенова на слици — знак разноврсног распореда емитијућих атома — ма да се одатле тешко шта може искористити. Очеvidно, *небулијум* је наклоњенији спољним деловима маглине, а хелијум средишту; али, не види се јасно шта би се могло закључити на основу те разлике темперамената.

Атоми различитих елемената, као и атоми једног истог

(1) Бројеви 43, 61, 75 су нови проналасци које треба тек потврдити. Остају за сада само две празнине (85 и 87), изузев могуће елементе после уранијума.

елемента, али при различитим степенима јонизованости, имају сви низове карактеристичних црта, које се виде приликом посматрања њихове светлости у спектроскопу. При извесним условима (који се сусрећу на маглинама) оне се јављају у виду сјајних црта; али, најчешће се оцртавају као тамне пруге на уједначеној основи. И у једном и у другом случају црте нам омогућују да препознамо елемент, сем ако не одговарају атому у стању које нам је непознато на Земљи. Смело пророчанство, да ће састав небеских тела остати заувек ван граница нашег сазнања, било је већ оповргнуто; присни нам елементи: водоник, угљеник, калцијум, титан, гвожђе, као и многи други, наилазе се и у најудаљенијим регионима Вационе. Узбуђење, проузроковано тим већ старим открићем, прошло је. Звездана је спектроскопија од тада знатно проширила поље свога деловања; оно се више не ограничава само на хемијску, већ обухвата такође и физичку анализу. Кад наиђемо на какво старо схватање, најпре се упознајемо, а затим питамо: „Како сте?“ Упознавши се са звезданим атомом постављамо му исто питање, а он одговара: „Сасвим добро“ или „јакно скрхан“, према прилици. Његов нам одговор даје идеју о околини што га окружује — о суровости поступка коме је изложен — и доводи нас тако до сазнања услова температуре и притиска у посматраној тачци.

Испитујући низ звезда, од најхладнијих до највреднијих, у стању смо да пратимо еволуцију калцијумових атома; они су најпре потпуни, затим једанпут, па двапут јонизовани, што потврђује да је бомбардовање коме су изложени све јаче и јаче у колико се температура повећава. (Последњи стадијум је обележен ишчезавањем свих видљивих знакова калцијума, јер јон без два електрона не даје црте у видљивоме делу спектра). Слична прогресивна промена утврђена је и код других елемената. Велики напредак у томе правцу постигао је 1920 професор M. N. Saha, који је први применио квантитативне физичке законе што одређују степен јонизованости при датој температури и притиску. Тиме је дао нови правац астрофизичком истраживању, који се од тада веома користио. С тога, ако у низу звезданих спектра означимо места што их потпуни калцијумови атоми уступају атомима који су изгубили један електрон, фи-

зичка је теорија у могућности да одреди температуру и одговарајући притисак (1). Методе Saha-а усавршили су R. H. Fowler и E. A. Milne. Значајна примена састојала се у одређивању површинских температура најтоплијих звезда (12.000° до 25.000°), јер други методи, који вреде за хладније звезде, при тако високим температурама не дају задовољавајуће резултате. Други прилично чудан резултат било је откриће, да је притисак у звездама (бар на нивоу који је испитан помоћу спектроскопа) само 1/10.000 део атмосфере (2); раније се, међутим, претпостављало, ма да нејасно, да је он скоро исти као и притисак наше атмосфере.

Спектралну анализу обично искоришћујемо кад желимо да сазнамо који се елементи налазе у извесном земаљском минералу. Али се она исто тако може применити и на изучавање звезда, јер не разликује светло што потиче од тела на домаку нам руке од светлости која до нас доспева после стотина година путовања кроз простор. Треба се, међутим, увек сетити, да звездана изучавања повлаче за собом извесно ограничење. Истражујући, на пример, азот у каквоме минералу, хемичар се труди да испуни услове који су према његовом мишљењу потребни, да би се произвео азотов спектар. На звездама, међутим, принуђени смо да усвојимо услове онако, како их нађемо. Ако се азот не покаже, то ипак није доказ да га стварно нема; вероватније је да то потиче отуда, што звездана атмосфера нема повољних услова за његову појаву. У Сиријусову спектру су водоникове црте необично истакнуте и пригушују све остале. Али, то не значи да је Сиријус састављен углавном од водоника, већ да је температура на његовој површини око 10.000°, јер се рачуном може показати, да су на тој температури апсорпционе водоникове црте нарочито интензивне. На Сунцу је најистакнутији спектар гвожђа. Из тога се не изводи закључак да је Сунце нарочито богато гвожђем, већ да се налази на релативно ниској температури, око 6.000°, која је погодна за произвођење спектра гвожђа. Мислило

(1) Она не даје једновремено и температуру и притисак, већ само једно од њих двоје, ако је друго познато. А то је корисан податак за познавање услова на површини звезда.

(2) Јединица за мерење притиска, тј. притисак од 10.000 кг. на 1 м². Прим. прев.

се једно време да преовлађивање водоника на Сиријусу, а метала на Сунцу, означава еволуцију елемената, тј. да се водоник претвара у теже елементе уколико се звезда хлади и прелази из Сиријусова стадијума у стадијум Сунца. Такво тумачење чињеница не почива ни на чему; ишчезавање водоникова спектра и јављање спектра гвожђа неизбежни су, јер потичу од опадања температуре; а онда, сличне привидне појаве еволуције елемената могу се произвести и у лабораторијуму.

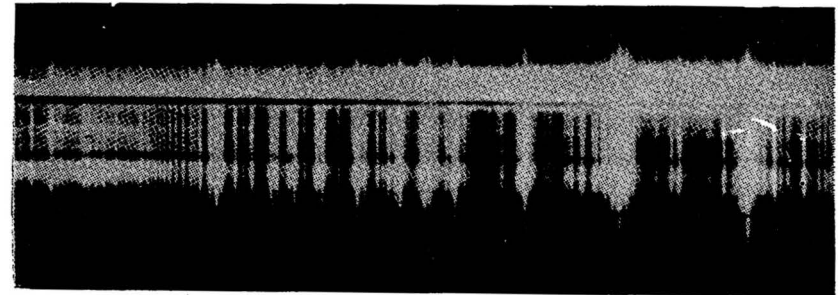
Врло је вероватно да је релативна расподела хемијских елемената на звездама скоро сасвим иста као и на Земљи. Све се изгледа слаже са тим гледиштем; а за неколико најраспрострањенијих елемената има чак и веома позитивних доказа. Али, наше су могућности за оцењивање елемената ограничене на спољни слој звезда, онако исто, као што су ограничене и на земаљску кору: непосредно у близини површине. Било би, дакле, погрешно наш сасвим привремени закључак даље развијати.

СПЕКТРАЛНИ НИЗОВИ

Да бисмо боље приказали ову врсту размишљања, узмемо спектар што је дат на слици 9, па погледајмо чему нас може научити. И без великог труда можемо у њему да издвојимо нарочито правилан низ сјајних црта. Ознаке на слици олакшаће вам да распознате неколико првих црта низа међу многобројним другим спектрима што су овде измешани. Ако приметите да растојање црта опада с десна на лево, увидећете да се низ продужује на лево за још најмање петнаест црта од последње што је означена, тако да се последње међу њима стапају у једну, образујући „главу“ низа. То је чувени Balmer-ов водоников низ; препознавши га, утврђујемо да је водоник један од елемената што се налазе у светлосноме извору. Али, то је тек први корак, па треба да пређемо и на друге закључке.

Теорија професора Bohr-а о водоникову атому показује нам да сваку црту у низу атом емитује у друкчијем стању. Ова „стања екситације“ могу се обележити редом, почев од обична водоникова стања, коме припада бр. 1. Радијације, емитоване у свим првим стањима, на слици нису приказане; прва црта наше слике одговара стању бр. 8. О-

датле, рачунајући на лево, разликују се без великих тешкоћа једна за другом црте све до стања бр. 30. Та узастопна стања одговарају све пространијим атомима, тј. планетарни електрон (1) описује све већу и већу путању. Полупречник (или тачније велика полуоса) његове путање сразмеран је квадрату броја који карактерише стање, тако да је путања што одговара стању бр. 30, 900 пута већа од путање у нормалном атому бр. 1. Полупречник путање у стању број 30 износи приближно један десетхиљадити део милиметра. Отуда се намеће непосредно закључак: спектар на сл. 9 није произведен у лабораторијуму на Земљи. И у најразређенијем простору (вакууму) којим се располаже у земаљској спектроскопији, атоми су још увек толико пригњечени јед-



Сл. 9. Водоников спектар. Balmer-ов низ.

ни уз друге, да нема места за тако велике путање. Светлосни извор, према томе, треба да је образован од веома разређене материје, да би електрон без опасности од судара, или просто да буде узнемираван од других атома, могао описати толико велики круг. Не улазећи у веће појединости можемо да закључимо, како је сл. 9 спектар неке разређеније материје него што је највећи на Земљи познати празни простор (вакуум) (2).

Занимљиво је приметити да је на левоме крају спектра основа сјајна, ма да се на највећем његовом делу црте јављају на тамној основи; промена наступа баш тамо, где се завршава Balmer-ов низ. Та сјајна основа такође потиче од

(1) Водоник (као елемент бр. 1) има само један планетарни електрон.

(2) Слика 9. је фотографија „муња - спектра“ (flash - spectrum) Сунчеве хромосфере, а снимко је на Суматри М. Davidson за време помрачења од 14. јануара 1926.

водоника, а произведена је на следећи начин. Раширени атоми што се налазе у стању бр. 30, или недалеко од њега, у опасној су близини свога распрснућа, па је природно да међу њима има и атома који су премашили ту границу и распрсли се. Они су изгубили своје планетарне електроне и покушавају да се поново дочепују других. Па као што треба утрошити енергију да би се од каква атома отргнуо један електрон, тако се исто, кад атом савлада какав дивљи електрон, енергија ослобађа. А та слободна, израчена енергија образује светлу основу о којој смо говорили. Не улазећи у техничке појединости теорије, није тешко увидети да је сасвим природно што се та светлост, пореклом од распрснутих атома, јавља у спектру непосредно после црта што их емитују најпространији атоми, јер је распрскавање последица претераног удаљавања електрона.

Искористићу прилику док вам је пред очима фотографија Balmer-ова низа, да бих вам испричао приповетку о једном такође чувеном низу. Међу некојим од јако врелих звезда откривен је 1896 низ сличан претходноме, а познат под именом Pickering-ова низа. Његове су црте распоређене на потпуно исти правилан начин, само што падају на половину растојања црта Balmer-ова низа — не баш сасвим тачно на половину, због постепена опадања размака с десна на лево — већ тамо где би природно требало уметнути нове црте, ако би се хтео подвостручити број првобитних црта, водећи рачуна о правилности њихова размештаја. Насупрот Balmer-ову низу, Pickering-ов се низ никако није могао произвести у лабораторијуму. Који га елемент производи? Изгледало је да се одговор сам намеће; сигурно да ова два сродна низа, од којих један пада на по растојања другог, треба да одговарају различитим начинима треперења једног истог атома, водоника. У оно време чинило се да је то једини могући одговор; али, од тада смо много сазнали о атому. С правом можемо тврдити да савршена једноставност тих двају низова означава, да потичу од најпростијег могућег атомског система, наиме од атома са једним планетарним електроном; али, треба се сетити да нам тај услов показује само како је атом одевен, а не и шта је. Хелијумов атом (или, у овоме случају, чак атом уранијума) може се понекад приказати у облику нешто простија водоникова атома.

Нормално хелијум има два планетарна електрона; али, ако се један од њих изгуби, он постаје сличан водоникову атому и даје копију овог простог система у другој сразмери. Значајно је да се Pickering-ов низ јавља само код веома врелих звезда — под условима који могу да изазову губитак једног од електрона. Разлика између водоника и водонику слична хелијума је на првоме месту у разлици атомских тежина; хелијумово језгро је четири пута теже. Али, то веома мало утиче на спектар, јер су оба језгра толико крупна, да их електронева игра једва заноси. Осим тога, хелијумово језгро има двоструко већи електрични набој, што је исто тако, као кад би се у каквом еластичном систему поставила двапута јача опруга. Има ли чега природнијег од двоструке опругине снаге, што би могло да подвостручи број црта у низу, не мењајући нимало његов састав? Расматрањима те врсте успео је професор Bohr да открије право порекло Pickering-ова низа; он потиче од јонизована хелијума, а не од водоника (1).

Тешко језгро, и код водоника и код хелијума, остаје при атомском треперењу скоро у миру — скоро, али не сасвим. Касније је професор A. Fowler успео да Pickering-ов низ произведе у лабораторијуму и да положи црта измери много тачније, него што се то могло постићи у звезданој спектроскопији; на основу тих својих мерења он је показао да језгро није сасвим инертно. Тако се у унутрашњости атома појавио деликатни проблем двојне звезде; добра аналогија за то било би, можда, узајамно дејство Сунца и Јупитера, јер Јупитер, чија је маса хиљадити део Сунчеве масе, изазива поремећаје Сунца готово у истој мери, као и лаки електрон поремећаје водоникова језгра. Јонизовани хелијум је верна копија водоникова атома (у измењеној размери) у свему, изузев занешење, јер је хелијумово језгро теже, па се и теже заноси. Разлика у занешењу између хелијума и водоника изазива мало узајамно померање Pickering-ова и Balmer-ова низа. Мерењем те разлике професор Fowler је успео да веома тачно одреди померање језгра, а на

(1) Хелијумова црта, о којој смо већ говорили у прстенастој маглини, није члан Pickering-ова низа, али има сличну историју. Она је најпре приписивана водонику; доцније (1912) произвео је Fowler у лабораторијуму, у смеси водоника и хелијума; и, најзад, Bohr је утврдио да припада хелијуму.

основу тога и електрону масу. Тим путем он је нашао да електронска маса износи $1/1844$ масе водоникова језгра; ова се вредност добро слаже са вредностима масе које су нађене другим методима, а одређивање је вероватно исто толико тачно као и остала.

Тако је нит, ухваћена на звездама што су од нас далеко 500 светлосних година, и праћена наизменице од теоретичара и експерименталног физичара, довела најзад до најмање од свих познатих ствари.

ОБЛАЧНОСТ ПРОСТОРА

Пошто смо се упознали са најгушћом материјом у Васиони, пређимо сада на проучавање најређе.

И поред великог напретка што је постигнут у изради разређених простора, још увек смо далеко од способности за справљање стварног празног простора (вакуума). Атоми што се налазе у каквој цеви пре њена испражњења претстављају огроман број од неких двадесет цифара. Велики вакуум означава смањење тога броја тек за пет или шест нула, а највећи напори да би се одстранила једна нула изгледају смешно узалудни — глодање огромног броја који остаје и даље.

Неке међу звездама веома су разређене. Бетелгеа, на пример, има скоро хиљаду пута мању густину од ваздуха. Таква би се густина убројала зато у вакуум, кад се не би јако разликовала од још већег вакуума околног простора. Физичарима наших дана није тешко да произведу разређеност већу од Бетелгезине; некада, међутим, ова је звезда сматрана као пример нарочито велике разређености.

Спољни делови звезда, а нарочито њихови лаки огранци, као на пример хромосфера и Сунчева корона, имају још много мање густине. И гасовите маглине, као што то њихов изглед наговештава, веома су разређене. Кад између два суседна атома има довољно места да би се поставила куглица укоснице, може се проговорити о „стварном вакууму“. У средишту Орионове маглине овај је степен разређености вероватно достигнут, па чак и премашен.

Маглина нема одређених граница и њена густина постепено опада. С разлогом се може претпоставити да опадање густине бива спорије на великим растојањима. Отуда се,

пре потпуна изласка из области уплива једне маглине улази у област друге, тако да свуда у међузвездану простору постоји извесна резидуална густина.

Даље од огранака маглина, верујем, размишљањем можемо проценити количину преостале у простору растурене материје. Ма која област где нема приметне облачности претставља највећи постојећи празни простор, бар у границама звездана система; али и ту још остаје готово један атом на кубни сантиметар. Зависи од нашег гледишта: хоћемо ли ту количину материје сматрати као изванредну попуњеност простора, или као исто толико изванредно празни простор. Попуњеност можда оставља на нас већи утисак. У границама звезданог система атом нигде не може да нађе место стварне усамљености; ма где да оде, он се може обратити своме суседу, који је од њега удаљен пар сантиметара.

Приступимо овоме предмету са друге стране.

У „Причи о Алголу“ говорио сам о методу којим меримо брзину Сунчева обртања. Спектроскоп се најпре управи према једноме, па затим другоме Сунчеву рубу. Ако се изабере и посматра нека од тамних спектралних црта, приметитиће се да је она у оба посматрања нешто померена. То нам показује да се материја од које потиче црта помера у правцу нас, или на супротну страну, различитом брзином при свакоме од ових посматрања. А то смо баш и мислили да нађемо: Сунчево обртање чини да нам се његова материја на једноме рубу приближава, док се на другом удаљује. Али, има неколико тамних црта код којих нема те промене. Оне су увек на истоме месту, па било да посматрамо источно или западно од Сунца. Очигледно, порекло ових црта није на Сунцу. Оне су утиснуте у светлост после њена одласка са Сунца, а пре приспећа у наш телескоп. Тако смо открили средину која се налази негде између Сунца и нашег телескопа, а како је примећено да извесне црте припадају кисеонику, можемо закључити да та средина садржи кисеоник.

Изгледало је да у овоме лежи почетак каквог великог открића, али се све веома смешно завршило. Стварно, такву једну средину, која садржи кисеоник и која се налази негде између нашег телескопа и Сунца, познајемо већ из раније. Та је средина неопходна за наше постојање. Земаљска

атмосфера је одговорна за „непомичне“ црте што су примењене у Сунчеву спектру.

Као што нам показује да се Сунце обрће око себе (чињеница која нам је већ позната из посматрања пега на његовој површини), спектроскоп нам може тако исто показати и да извесне звезде описују путање, па према томе да су подложне утицају друге звезде, која се или може, или не може видети. Али, и овде по некад наиђемо на „непокретне“ црте, које се не померају са осталим цртама. Између звезде и телескопа постоји негде извесна непокретна средина која те црте утискује у светлост. Али, сад то више није земаљска атмосфера. Црте припадају елементима калцијуму и натријуму, којих нема у нашој атмосфери. Шта више, калцијум је у скрханом стању: изгубио је један од својих електрона, а наша атмосфера не пружа услове који би омогућили да до тога дође. Изгледа како нема сумње да је средина што садржи натријум и јонизовани калцијум — а без сумње и многе друге елементе који се не показују — независна од Земље и звезде. То је већ нагвештена „попуњеност“ међузвездана простора. Дуж целог свог пута од звезде до Земље светлост мора да наилази један атом на кубни сантиметар, а на свом путу од више стотина билиона километара сусрешће их веома много, да би се те црте утиснуле у њен спектар.

У почетку је постојало још једно објашњење. Мислило се, наиме, да се те црте јављају у маглини што обавија звезду, образујући око ње неку врсту ореола. Обе звездине компоненте описују своје путање једна око друге, али њихово обртно кретање нема утицаја на дифузну средину у коју је утонуо двојни систем. Претпоставка је била веома оправдана, али се могла и експериментално испитати. Покушај је опет био *брзина*. Иако се свака компонента може периодично померати напред и назад у маглини калцијума и натријума што их обмотава, јасно је да се њихова средња брзина приближавања и удаљавања у односу на нас, изведена из довољно дуга времена, треба да слаже са брзином калцијума и натријума, ако звезда свој ореол не оставља за собом. Тај покушај извео је професор Plaskett телескопом од 1,80 метра на Dominion Опсерваторији у британској Колумбији. Он је нашао да је секуларна или

просечна брзина приближавања звезде (1) уопште била сасвим различита од брзине при непомичним калцијумовим и натријумовим цртама. Разумљиво, материја која производи непомичне црте не може зависити од звезде, јер се није кретала као она. Plaskett је отишао и даље и показао да и поред тога што звезде имају најразноврсније брзине, материја која производи непомичне црте има у свим деловима неба исту или готово исту брзину, као да у целом међузвезданом простору постоји каква континуална средина. Мислим да се више не може сумњати, да ово истраживање потпуно открива постојање једног космичког облака у који је утонуо цели наш звездани систем. Попуњеност међузвездана простора постаје посматрачка чињеница, а није више теоријаска претпоставка.

Систем звезда плови океаном — али не само океаном простора, не само океаном етра, већ материјалним океаном, у коме на сваки кубни сантиметар долази по један атом. То је миран океан, без осетних релативних кретања; у њему вероватно постоје струјања, али су она од веома малог значаја и не достижу велике брзине што их обично имају звезде.

Постављају се многа интересантна питања, али ћу ја приступити само једном или двама. Зашто су калцијумови атоми јонизовани? У тишини међузвездана простора изгледа да смо сасвим далеко од гужве која крха калцијумове атоме у унутрашњости звезде; зато је скоро тешко разумети да су атоми у облаку непотпуни. Али, чак и у дубинама простора, постоји крхање атома; јер увек има звездане светлости која пролази кроз простор, а међу светлосним таласима увек је довољно снажних, да од калцијумова атома отргну један, или чак два електрона. Једно од најчуднијих открића модерне физике је, да светлосни талас приликом слабљења услед свог ширења више трпи због своје *лењости*, него због стварног губитка снаге. Не слаби моћ, већ вероватноћа да ће се енергија предати. Светлосни талас, који је у стању да скрха какав атом, задржава ту своју способност и даље, иако је милион пута слабији због свога

(1) Ова је, разуме се, била израчуната помоћу других спектралних црта, које сасвим припадају звезди и трпе периодична померања с десна на лево за време док звезда описује своју путању.

ширења, само што ту своју моћ милион пута ређе искоришћује. Другим речима, атом изложен ослабљеним таласима мора да чека просечно милион пута дуже, да би га какав талас разбио; али, кад се распрскавање догоди, ма како да је талас ослабљен, исте је јачине. А то је сасвим различито од онога што наступа код водених таласа; талас који је на почетку довољно снажан да би преврнуо какав чамац, после свог ширења нема више те моћи. Боља је аналогија са митраљеском паљбом, која ће извесан дати објекат у толико пре промаштити, што је удаљење веће; али чије је разорно дејство исто, кад је објекат погођен. Особина о којој је овде реч (особина кванта) сачињава највећу тајну светлости.

Тако су у међузвездану простору атоми ипак отргнути од калцијумових атома, ма да много ређе. Друга страна питања је брзина обнављања атома, а у томе је одлучујући чинилац слаба густина космичког облака. Атом је веома ретко у могућности да се обнови. Лутајући простором атом наилази на електрон отприлике једанпут у месец дана, али то не значи да он успева да дограби први на кога наиђе. Отуда ће и веома ретка разбијања бити потпуно довољна да се јонизује највећи број атома. Величина скрханости атома у унутрашњости звезда може се упоредити са опустошењем какве куће после ордана; скрханост у међузвездану простору је похабаност услед употребе и обична пропадања, као и изванредне немарљивости да се поправка изврши.

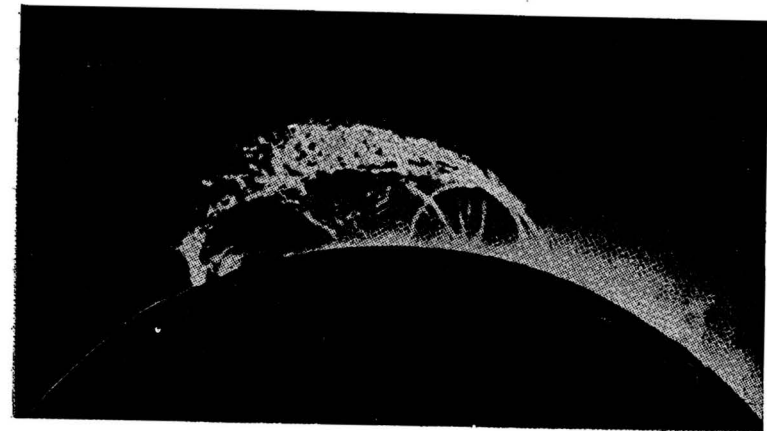
Рачун показује да је већина калцијумових атома у међузвездану простору изгубила два електрона; ти атоми немају уплива на светлост и не дају видљиви спектар. „Непомичне црте“ потичу од атома тренутно у бољем стању обнове, којима недостаје, дакле, само један електрон; у сваком тренутку њих је мање од хиљадита дела укупна броја атома, али ипак довољно, да би произвели посматрану апсорпцију.

Обично се мисли да је међузвездани простор изванредно хладан. Сасвим је тачно да би тамо постављени термометар показивао само око 3° изнад апсолутне нуле — ако би толико ниско читање могли извршити. Чврста материја као што је материја термометра, или чак материја која је са обична гледишта веома густа, достигла би ту, тако ниску температуру. Али се то правило не може применити на

материју која је толико разређена као међузвездани облак. Његова је температура одређена другим чиниоцима и вероватно није далеко од површинске температуре веома топлих звезда, наиме 15.000° . Међузвездани простор је у исто време и изванредно хладан и изванредно топао (1).

СУНЧЕВА ХРОМОСФЕРА

Још једном мењамо декор и ево нас опет у спољним деловима Сунца. Слика 10 (2) приказује једну од огромних протуберанаца, пламенова који с времена на време избијају



Сл. 10. Сунчеве протуберанце.

из Сунца. На слици приказани пламен имао је отприлике 200.000 километара висине, а ишчезао је за мање од 24 часа, пролазиви кроз најразноврсније облике. Оваква је појава прилично ретка. Мањи су пламенови, међутим, доста чести, и вероватно је чак, да су нарочите тамне мрље на сл. 1, често у облику пукотина, у ствари протуберанце, које се у виду сенке пројектују на сјајну Сунчеву површину. Пламенови се састоје од калцијума, водоника и неких других елемената.

Протуберанце нас овде мање интересују од слоја из ко-

(1) Како је реч „температура“ често употребљена у новом значењу, додаћу да су 15.000° температура што одговара појединачним брзинама атома и електрона — тј. температура гаса према ранијем значењу.

(2) Фотографија што су је снимиле Е. Т. Cottingham и писац са острва Prince, за време потпуна помрачења Сунца 29 маја 1919.

га избијају. Сунчева се атмосфера веома нагло завршава, али се изнад ње налази широки, иако веома разређени слој, назван хромосфера, састављен од извесног мањег броја елемената што су у стању да лебде — али не поврх Сунчеве атмосфере, већ сврх сунчевих зракова. Способност јахања на каквом сунчевом зраку очигледно претставља извесне тешкоће, јер само неки од елемената имају потребну окретност. Најспособнији између њих је калцијум. И водоников лаки и хитри атом је добар, али је бољи тешки атом калцијума.

Калцијумов слој што лебди изнад сунчане светлости дебео је најмање 8.000 км. Најлакше га можемо посматрати за време Сунчева помрачења, кад Месец закљони највећи део Сунца; спектрохелиограф нам, међутим, омогућује да га до извесна степена посматрамо и ван помрачења. У целини тај је слој миран и непокретан, ма да га, као што то показују протуберантни пламенови, снажне ерупције могу потиснути далеко у вис. Резултати што ћу вам их изложити поводом калцијумске хромосфере потичу из низа значајних истраживања професора Milne-a.

Како атом може да лебди поврх Сунчева зрака? Ова могућност зависи од светлосна притиска о коме смо већ говорили. Удаљујући се од Сунца светлост носи собом извесан импулс који је управљен напоље; ако атом упије светлост, он апсорбује и импулс, и тако добива извесан мали потисак упоље. Благодарјећи, дакле, томе импулсу атом опет доспева на тле што га је изгубио при паду на Сунце. Атоми се у хромосфери одржавају у лебдењу као паперје које лагано пада, а затим поново диже под утицајем светлости. Успешно да лебде способни су једино атоми који у односу на своју тежину могу да упију велике количине сунчеве светлости. Ако желимо да сазнамо зашто је калцијум способнији од других елемената, треба да изблиза погледамо његов апсорпциони механизам.

Обични калцијумов атом има у своје систему два доста слободна електрона; на основу тога хемичари га називају довавалентним елементом. Оба су ова електрона нарочито значајна по томе што одређују хемијске особине. Сваки од њих има сопствени механизам за упијање светлости. Али, под условима у којима се налази хромосфера, један

је од електрона отргнут, а калцијумови су атоми у истом непотпуном стању као што је оно, које у међузвездану облаку проузрокује „непомичне црте“. Хромосферски калцијум мора да осигура своје одржавање помоћу једног слободног електрона што му остаје. За њега би било кобно ако би се одвојио од тог електрона: атом више не би могао да упија сунчеву светлост, па би се стрпоштао као камен. Истина је да после губитка два електрона атому остају још осамнаест, али су они толико збивени уз језгро, да сунчева светлост на њих не делује, јер упијају само најкраће таласе, које, опет, Сунце не отпушта у потребној количини. Атом се, дакле, може спасти једино ако обнови свој апсорпциони механизам заробљавањем каквог лутајућег електрона; али, у разређеној хромосфери мало је изгледа да ће наићи на електрон; по свему судећи, он ће се зато без задржавања стрпоштати на саму Сунчеву површину.

Светлост се може упијати на два различита начина. По првом, атом је упија толико жудно да се распрсне, а електрон отскочи далеко са остатком енергије. То је процес јонизације, приказан на слици 5. Али, очигледно, на такав се начин упијања не може наићи у хромосфери, јер, као што смо видели, атом не може да изгуби електрон. У другом начину упијања атом није толико жељан. Он се не распрскава, али се видно надима. Да би се употребила енергија што је пала на атом, електрон бива одбачен на даљу путању. Тај се процес назива екситација (исп. стр. 44). После кратког времена атом се са екситирање спонтано враћа на своју првобитну путању. Такав се начин упијања мора одиграти 20.000 пута у секунди, да би се атом у хромосфери могао одржати у равнотежи.

Хоћемо да објаснимо следеће: Зашто је калцијум способнији да лебди од осталих елемената? Одувек је изгледало чудно, да се један прилично тежак елемент (бр. 20 у реду атомских тежина) налази у највишим слојевима, где би се очекивало да се наиђе само на најлакше елементе. Видели смо мало пре, да је захтевана нарочита окретност у ствари способност да се електрон одбаци 20.000 пута у секунди, а да се никад не учини кобна грешка да он побег-

не. А то није лако, па чак ни за атом. Калцијум(1) у томе успева јер му је ексцитациона путања нешто изван обичне, тако да се између тих путања може играти са електроном. За многе друге елементе одговарајућа путања је релативно много удаљенија; енергија, потребна да би се доспело до те путање, није као код калцијума много мања од оне која би била потребна да се електрон сасвим одвоји; тако да се готово не може имати извор континуалне светлости, који би био способан да произведе скокове с путање на путању, а да повремено не дејствује сувише јако и изазове губитак електрона. Код калцијума погодна је велика енергетска разлика између ексцитације и јонизације; Сунце је веома богато етровим таласима који су у стању да произведу прву, али готово уопште нема оних, који би могли да произведу последњу.

Просечно време потребно за сваку перформансу је $1/20.000$ део секунде. Оно се дели на два дела. У првом, атом стрпљиво чека да га нападне какав светлосни талас и одбаци електрон; за време другог дела, електрон кружи мирно на спољној путањи пре него што се одлучи на повратак. Професор Milne је показао како се на основу посматрања хромосфере може израчунати трајање тих двеју фаза. Прва фаза, очекивања, зависи од јачине Сунчевог зрачења. Али обратимо нарочито своју пажњу на други период, који је за нас значајнији јер је одређен особиним калцијевог атома, што са месним односима нема никакве везе. Иако га меримо за јоне у Сунчевој хромосфери, исти се резултат може применити и на јоне калцијума ма где било. Резултат професора Milne-а је, да електрон, одбачен на далеку ексцитациону путању, остаје на њој просечно један сто милионити део секунде, пре него што спонтано падне на почетну путању. Треба да додам, да за тако кратко време он опише нешто око милион обртаја на спољној путањи.

Можда не горите од нестрпљења за тим обавештењем. Верујем да се оно може сматрати занимљивим само за оне, који лакрдијаше са атомом. Али чини ми се да је занимљиво то, што треба да управимо телескоп и спектроскоп према Сунцу, да бисмо открили ту просту особину материје са ко-

(1) Реч је о калцијуму онаквом, какав се налази у хромосфери, т.ј. са једним електроном мање.

јом свакодневно деламо. Та врста мерења је од огромног значаја у физици. Теорија атомских скокова произлази из теорије кванта, која је још увек највећа загонетка физике, и којој је веома потребно да буде тачно вођена посматрањима ове врсте. Може се замислити колико би сензационалан био догађај, кад би после милион револуција око Сунца, једна планета начинила сличан скок. Каквом би грозничавошћу тада тражили да утврдимо просечни интервал времена између тих скокова! Атом је налик на сунчани систем, а финоћа његове величине не чини га мање занимљивим.

За сада нема у изгледу никакве друге методе за мерење времена стишавања ексцитованог калцијумовог атома. Међутим, могло се одредити одговарајуће време за једну или две врсте атома помоћу огледа у лабораторијуму. Ништа се не противи томе, да оно буде готово исто за разне елементе; мерења за водоник, извршена у лабораторијуму, дају такође трајање стотинионитог дела секунде; не може се, дакле, ништа приговорити астрономском одређивању у вези са калцијумом.

Ексцитација калцијумова атома потиче од радијација двеју нарочитих таласних дужина; хромосферски атоми се одржавају у равнотежи краћом тих двају чинилаца од Сунчеве светлости. Тачно је да после стотинионитог дела секунде наступа падање, а атом мора да врати оно што је прогутао; али отпуштајући светло, он га подједнако шаље и према Сунцу и напоље, тако да флуks отпуштене светлости напоље губи више него што добија. Отуда, кад се Сунце посматра кроз његов калцијумов омотач, спектар показује шупљине или тамне црте на двама таласним дужинама о којима је реч. Ове су црте означене словима Н и К. Оне нису сасвим тамне, па је значајно да се резидуална светлост мери у њиховом средишту, јер знамо да она треба да буде довољно јака да би се калцијумови атоми одржали у лебдењу у пркос Сунчеве гравитације; чим је напоље управљена светлост толико ослабила да више не може да одржава атоме, она даље не трпи деградацију и избија у спољни простор са том граничном јачином. Мерења дају бројне податке за израчунавање констаната калцијумова атома, подразумевајући ту и горе споменуто време за стишавање.

Атоми у горњем слоју хромосфере почивају на ослабљеној светлости која је прошла кроз заклон што се налази доле; непосредна сунчева светлост одбацила би их далеко. Milne је из тога извео један закључак, који је, може бити, и практично примењен у експлозијама „нових звезда“ или „нова“, и који је у сваком случају и редак и занимљив. Према Doppler-ову ефекту, атом у кретању апсорбује нешто другачију таласну дужину од атома у миру; отуда, ако се атом ма из ког разлога удаљује од Сунца, он ће се ослонити на светлост чија је таласна дужина најближа оној што је највише апсорбована. А ова светлост, као јача од светлости што одржава равнотежу, гониће атом још брже. Сопствена атомова апсорпција разликоваће се све више од апсорпције заклона што је испод њега. Сливовито речено, атом је у несигурној равнотежи на врху апсорпционе црте и може лако с једне њене стране да се стропошта у пуно Сунчево светло. Изгледа да атомова брзина треба стално да расте док се он не успуже на какву блиску апсорпциону црту (која можда одговара каквом другом елементу); ако је црта сувише јака да би је прекорачио, атом остаје на пута, а брзина има одређену вредност. Последњи су закључци, може бити, мало претерани, али у сваком случају ово размишљање показује да вероватно постоји бежање калцијума у околни простор.

Milne-ова теорија омогућује да се израчуна укупна тежина калцијумске хромосфере. Њена је маса отприлике 300 милиона тона. Ретко се очекује да се у Астрономији наиђе на тако мали број. Он је мањи од годишње тонаже што је превезу енглеске железнице. Мислим да се посматрачи Сунца сматрају прилично обманутим кад претпоставе колико рада треба да утроше на то неопипљиво Ништа. Али Наука не треба ништа да занемари. А Астрономија нас може много чему научити, па чак ако се једанпут случајно спусти и добројева на које смо навикли.

ПРИЧА О БЕТЕЛГЕЗИ

Ова прича нема велике везе са атомима и прилично тешко улази под наслов овог поглавља; али, даје нам се

прилика да се осврнемо на Бетелгезу, да би смо пружили изванредан пример звезде великих димензија и слабе густине, а њена прича је у тесној вези са некојим разматрањима којима се бавимо.

Ни једна од звезда нема довољно велики котур да би се могао посматрати у нашим садањим телескопима. Може се израчунати да би требало сочиво или огледало отприлике 6 метара пречника, да би тек показало само трагове котура највећих звезда. Замислимо за тренутак да смо изградиле инструменат тих димензија. Која би звезда тада била најповољнија за такав покушај?

Можда је Сиријус прва звезда што долази на памет, јер је најсјајнија на небу. Али Сиријус има бљештаву површину, па тај сјај не мора неминовно да значи и да је звезда велика. Очигледно мора се изабрати звезда која, иако сјајна, има слабије светлу површину; њен јаки привидни сјај потицаће тада од велике површине зрачења. Треба нам дакле звезда у исто време и црвена и сјајна. Изгледа да Бетелгеза најбоље испуњава те услове. Од двеју звезда што образују Орионова рамена, Бетелгеза је она сјајнија — једина црвена јасна звезда у сазвежђу. Она има једног или два такмаца, Антареса нарочито, који би је, строго узев, могли заменити; али нећемо много погрешити, ако у жељи да нађемо један од највећих звезданих котурова, или приближно највећи, управимо наш нови инструменат баш на Бетелгезу.

Приметићете да нисам ни мало водио рачуна о даљинама тих звезда. Али удаљење стварно не улази у обзир. Оно би имало утицаја кад бисмо тражили звезду стварно највећих димензија; овде, међутим, замишљамо звезду која показује највећи привидни (1) котур, тј. који покрива највећу површину неба. Ако бисмо се налазили на двапуту већем удаљењу од Сунца него сада, добивали би четири пута мање светлости него што је примамо; али би Сунчеве линеарне димензије биле двапута мање, а његова привидна површина сведена на четвртину. Отуда, количина светлости

(1) Неумесно би било да се израз „привидни“ (apparent) примени на нешто што је толико мало, да се не може видети; али, сетимо се да располажемо имагинарним телескопом, који је способан да нам покаже котур; значење израза постаје тада јасно.

коју оно зрачи по јединици привидне површине котура остаје непромењена због промене удаљења. Ако би се Сунце све више и више удаљавало, његов привидни котур постајао би све мањи и мањи, али му сјај не би опадао, па чак и кад би било толико далеко, да му се ни облик више не би могао разликовати.

Спектроскопско испитивање показује нам да је површинска температура Бетелгезе око 3.000° . Та је температура доступна и у лабораторијуму, па нам је зато познато, и теоријски и експериментално, каква је зрачна моћ површине која се налази у таквом стању. Није тада тешко утврдити колику површину неба мора Бетелгеза да покрива, да би производ те површине и зрачне моћи дао посматрани њен сјај. Површина је веома мала. Бетелгезине димензије одговарају димензијама петпарца, који би од нас био удаљен стотину километара. Употребимо ли научнију меру, рачуном предвиђени пречник Бетелгезе износи $0,051$.

Ни један од садањих телескопа не може да нам покаже тако мали котур. Али, погледајмо укратко начин којим телескоп образује слику, а нарочито како репродукује појединости и светлосне контрасте који означају да се ради о котуру или о двојној звезди, а не о мрљи што потиче од обичне светле тачке. Ова се оптичка особина назива моћ раздвајања (раздвојна моћ); она зависи у првом реду од отвора а не од повећања, а граница раздвајања одређена је димензијама објектива инструмента — сочива, или огледала.

Да би образовао јасно одређену слику, телескоп треба не само да даје светлост тамо где треба да има светла, већ и таму на оним местима где треба да је буде. Последње је најтеже. Светлосни таласи теже да се растуре на све стране, па телескоп није у стању да спречи појединачне таласе да лутају и деловима слике, где немају никаква посла. Он може једино да учини то, да за сваким залуталим таласићем пошаље други, путем једва нешто дужим или краћим, да би доспео са фазом која је супротна фази првог, и тако уништи његово дејство. У овоме се огледа преимућство великог отвора: он појединим таласима даје веће разлике путева, тако да се таласи што потичу од извесног дела отвора, могу успорити у односу на оне што доспевају од каквог другог дела, а ове се две групе узајамно могу интерференцијом поништити. Мали објектив може да да светло; али, потребан

је велики, да би произвео таму онде, где на слици треба да је има.

Можемо се сад упитати, да ли је обични кружни пресек неминовно најбољи, да би таласима дао потребне разлике путева. Свако отступање од симетричног облика квари дефиницију слике, јер производи крилца и ресе. Слика не би била слична са посматраним предметом. Али, с друге стране, тако можемо да истакнемо занимљиве особине. Ништа не смета што се слика јако разликује од предмета, само ако можемо да схватимо њено значење. Ако не можемо да произведемо звездани котур, погледајмо можемо ли остварити нешто, што би окарактерисало један такав котур.

Нешто размишљања показује нам, да се заклањањем средишта објектива и искоришћавањем само периферних делова може много постићи. Разлика у ходу таласа највећа је за те делове; они су најпогоднији да нам пруже жељени тамни контраст за образовање јасних обриса слике.

Али, ако средиште објектива не служи ничему, зашто чинити издатке за његову обраду? Дошли смо тако на мисао да искористимо два веома растављена објектива, од којих сваки садржи релативно мање сочиво, или огледало. Доспели смо, дакле, до инструмента који је изграђен по моделу телеметра.

Овај нам инструменат не би показао котур звезде. Посматрамо ли кроз њега, први утисак, што га на нас оставља слика звезде, не би се разликовао од утиска који би имали да смо посматрали само кроз један од објектива: „лажни — котур” окружен дифракционим прстеновима. Али, посматрајући пажљивије, видимо да се на слици наизменице мењају тамне и светле траке, проузроковане интерференцијом светлосних таласа што долазе од оба објектива. У средишту слике, таласи од објектива доспевају једновремено, јер су следили симетричне, дакле једнаке путеве, па отуда на томе месту имамо само једну светлу траку. Нешто са стране, несиметричност проузрокује да испупчење једног таласа пада заједно са улегнућем другог, тако да се узајамно поништавају, па се зато на томе месту јавља тамна трака. Ширина ових трака опада уколико се повећава растојање двају објектива, а за једно дато удаљење лако се може израчунати одговарајућа ширина.

Свака тачка звездана котура производи дифракциону

слику са сличним системом трака, и ове док је котур у односу на fine појединости дифракционе слике мали, ови су системи јасни. Ако постепено повећавамо растојање објектива, и тако смањујемо ширину трака, наступиће тренутак кад ће се светле траке једног дела котура покlopити са тамним тракама другог, а то ће проузроковати замагљивање резултујућег система трака. Системи се трака различитих делова котура слажу, а одређивање уплива који из тога проистиче само је питање математичког израчунавања. Може се показати, да за једно извесно удаљење објектива све траке скупа ишчезавају; затим, уколико се растојање повећава, оне се понова јављају, али немају своју првобитну финоћу. Потпуно ишчезавање наступа кад је пречник звезданог котура једнак $1 \frac{1}{5}$ пута ширина траке (рачунајући од средишта једне сјајне до средишта следеће сјајне траке). Као што је мало пре речено, ширина се траке може израчунати, кад је познато растојање објектива.

Посматрање се састоји у томе, да се објективи удаљују један од другог док траке не ишчезну. Пречник се одређује непосредно, из растојања при коме је то ишчезавање наступило. На такав се, ето, начин мере димензије котура, иако он стварно никада није био виђен.

Принцип метода можемо укратко изложити на следећи начин. Слика неке светлосне тачке што је даје телескоп или дурбин није тачка, већ дифракциона мрља. Ако, дакле, посматрамо неки пространији предмет, на пример Марс, дифракција ће замаглити најфиније појединости планете. У супротном случају, где се посматра звезда готово у облику тачке, простије је размишљати обрнуто; како предмет није идеална тачка, појединости дифракционе слике биће нешто мало нејасне. Нејасност ћемо приметити само ако дифракциона слика има довољно fine појединости, које би томе биле изложене. С обзиром на своје коначне димензије, Бетелгеца теоријски треба да да нејасну дифракциону слику; али, округла мрља и обични дифракциони прстенови, произведени и у највећим телескопима што сада постоје, још увек су претерано груби, да би показали то стање. Дифракциону слику са финијим појединостима постижемо помоћу два објектива. Принципијелно могуће је произвести толико fine појединости колико се хоће, просто повећавањем растојања

двају објектива. Метод би се, дакле, састојао у томе, да се растојање објектива повећава све докле, док дифракциона слика не буде имала тако fine појединости, да их Бетелгеца сама од себе приметно квари. За мањи звездани котур, утицај нејасноће показао би се тек кад би повећањем растојања објектива, појединости постале још финије.

Овај је метод професор Michelson већ одавно био замислио, али га је тек 1920 покушао да изведе у великој размери, са 20 стопа дугим светлосним путем, на телескопу од 2,5 метра Mount-Wilson Опсерваторије. После многих покушаја Pease и Anderson су могли показати да сјајне и тамне траке, што их је произвела Бетелгеца, ишчезавају кад су отвори на 10 стопа један од другог. Из тога се изводи да је привидни пречник звезде $0'',045$ — број који се добро слаже са предвиђеном вредношћу (в. стр. 60). Али само пет или шест звезда имају довољно велике привидне пречнике, да би се могли измерити помоћу овога инструмента. Познато је да постоји пројекат конструкције интерферометра од 50 стопа, али и овај ће за највећи број звезда бити недовољан. Имамо пуно поверење у горе изложене рачунске методе с обзиром на тачност звезданих пречника, али је ипак за жељу, да они буду потврђени много непосреднијим Michelson-овим методом.

Да би се из привидних могле израчунати стварне димензије неке звезде, потребно је знати њено удаљење. Бетелгеца је прилично далека звезда, па се њена даљина не може сасвим тачно измерити; али неизвесност не може да измени ред величина резултата. Пречник звезде је око 500 милиона километара. Бетелгеца је довољно пространа да би обухватила Земљину, па, можда, чак и Марсову путању. Њена је запремина скоро педесет милиона пута већа од Сунчеве.

Нема директна пута да би се наша маса Бетелгеце, јер ова звезда нема крај себе пратиоца, на чије би кретање она имала утицаја. Међутим, вредност масе можемо извести на основу односа маса — сјај, који је приказан на слици 7. Тако добивена маса је 35 пута већа од Сунчеве масе. Ако је овај резултат тачан, Бетелгеца је једна од најмасивнијих звезда — ма да јој маса није у сразмери са запремином. Средња је густина њена скоро један милионити део густине

воде, што не чини више од једног хиљадитог дела густине ваздуха (1).

Постоји један метод који би нам могао показати да је Бетелгеца мање густа од Сунца, и кад не бисмо располагали никаквом теоријском основом или аналогијом за оцењивање њене масе. Према модерној теорији гравитације, звезда Бетелгезине величине и средње густине једнаке Сунчевој, имала би извесна нарочита својства:

Прво, због велике јачине њена гравитационог поља, светлост се не би могла од ње одвојити; сваки зрак што га звезда израчи, под утицајем своје сопствене тежине пао би опет на звезду.

На другом месту, Einstein-ов ефекат спектралног померања (искоришћен за изналажење густине Сиријусова прагнота) био би толико велики, да би читав спектар био одгурнут ван области свога постојања.

Треће, маса производи кривину простора, а у овоме случају кривина би била толико велика, да би се простор свео на саму звезду, оставивши нас изван ње — другим речима — *нигде*.

Без обзира на последње расуђивање, прилично је жалосно што је Бетелгезина густина тако мала.

Сасвим је сад јасно: зашто звезде претстављају једну од најзначајнијих допуна физичког лабораторијума — неку врсту одељка за високе температуре, где се својства материје могу изучавати под веома различитим условима. Као астроном, ја, природно, морам тај однос нешто другачије да посматрам, и да у физичком лабораторијуму видим станицу за ниске температуре, прикључену звездама. А за неправилне, бићу приморан да сматрам услове у лабораторијуму. Изузев међузвездани облак, који је на умереној температури од око 15.000° , ценим да је девет десетина васионске материје на температури већој од $1.000.000^{\circ}$. Под *обичним* условима — ви ћете разумети значење које придајем овој речи — материја има прилично просте особине. Али, у Васиони има изузетних области, где је температура блиска апсолутној нули; тамо физичка својства материје постају веома сложе-

(1) Густине много мање од густине ваздуха нађене су код неких променљивих звезда Алголова типа на сасвим другачији начин, а такође и код неких Цефеида, али још другачијим методом. Постоје исто тако и многи други примери крупних звезда, димензија сличних димензијама Бетелгезе.

на: јони се окружују потпуним системом електрона и постају атоми наших земаљских огледа. Наша је Земља једно од тих ледених места, где се могу остварити најчудноватије компликације. Можда је најчудноватије од свега то, што се неки од тих сложених састава могу спојити уједно, да би размишљали о значају читаве заједнице.

СТАРОСТ ЗВЕЗДА

Видели смо да се према својим димензијама, човек налази готово на по пута између атома и звезде. Покушаћу да начиним слично упоређење и с обзиром на време. Човечији живот је, може бити, у размери између живота ексцитована атома (в. стр. 57) и живота звезде, на једнаком отстојању од оба краја. За оне који би желели нешто већу тачност — од садањих процењивања трајања живота једне звезде не могу ипак да захтевам сувише тачности — изменићу нешто упоређење. У погледу масе човек је нешто ближи атому, а право на средњи положај има више хипопотам. С обзиром на време, 70 година човечија живота ближи су животу звезде; било би боље да се овде човек замени лептиром.

Ова прича има озбиљан морал. Имаћемо да посматрамо временске размаке који застрашују нашу машту. Плашимо се да толико засецамо у вечност. Па ипак, неизмерност трајања једне звездане еволуције мање је далеко од размере човечанских трајања, него сићушност временских размака што се сусрећу при проучавању атомских феномена.

Пут који ће нас довести до „старости звезда“ биће препун савијутака, а узгред наићи ћемо на проблеме, што ће нас заустављати у нашем напредовању.

ПУЛЗИРАЈУЋЕ ЗВЕЗДЕ

Звезда δ у сазвезђу Цефеја припада класи променљивих звезда. Њено променљиво светло, као и код Алгола, шаље нам поруку. Али, дешифрована, порука није ни најмање налик на Алоголову.

Напоменућу одмах да стручњаци нису сагласни у погледу тумачења поруке δ Цефеја. Овде није место да се рас-

правља или да се објасни питање, зашто верујем да се друга тумачења не могу прихватити. Испричаћу вам само оно, што је по моме мишљењу права прича. Тумачење што ћу вам га изнети потиче од Plummer-а и Shapley-а. Последњи, нарочито, дао га је толико убедљиво, а каснији развој, мислим, само га је ојачао. Ипак не тврдим, да је свака сумња искључена.

Видели смо да Алгол сачињавају две веома блиске звезде, које се с времена на време узајамно помрачују; δ Цефеја је проста звезда, подложна пулзирању. То је глоб, који се у правилном размаку од $5 \frac{1}{3}$ дана симетрично надима и скупља. Истовремено са надимањем и скупљањем глоба, што изазива велике промене температуре и притиска у унутрашњости, и отпуштени светлосни флуks најпре расте, па затим опада у својој јачини, а мењају се исто тако и његова врста или боја.

Питање помрачења уопште се не поставља: светлосни сигнали нису састављени од „тачака“ и „потеза“: у сваком случају, промена боје показује да у физичким условима светлосна извора постоје стварне промене. Па ипак прва објашњења усвајала су увек две звезде; њихов је циљ био да се физичке промене вежу за кружење путањом. Тако се, на пример, мислило, да се главна компонента при описивању своје путање, креће кроз какву отпорну средину која јој загрева предњу страну, и да се сјај звезде мења према томе, да ли нам је звезда окренута том својом предњом загрејаном, или задњом, хладнијом страном. Ово је објашњење на основу кружења звезде данас одбачено, јер је нађено да стварно нема места за две звезде. Претпостављена путања била је одређена уобичајеним методом, помоћу спектроскопских мерења брзине приближавања и удаљавања; касније, наше се знање о стварним димензијама звезда проширило, и то најпре захваљујући рачуну, а затим (за неколико звезда) и непосредном мерењу. Из тога је произишло, да главна компонента треба да буде веома крупна, а путања мала, тако да би друга звезда, ако постоји, требало да се налази у унутрашњости главне звезде. Ово прекривање звездâ било је апсурдни приказ погрешности бинарне претпоставке, па је требало потражити какво друго објашњење.

Оно што је сматрано за приближавање и удаљавање целе звезде, било је у ствари приближавање и повлачење

њене површине, услед подизања а затим спуштања при свакој пулзацији. Звезде које се мењају као δ Цефеја, дифузне су звезде, неизмерно веће од Сунца, а укупно мерено померање тек је део пречника звезде. Није, дакле, потребно да се замисли померање целе звезде (кретање дуж путање); из мерења се добива осцилирање звездине површине која нам је окренута.

Резултат: да је δ Цефеја обична, а не двојна звезда, има непосредну последицу: период од $5\frac{1}{3}$ дана је унутарње својство звезде, и зато нас може одвести до објашњења њеног физичког стања. То је слободан, а не присилни период. Важно је да се ова разлика правилно схвати. Број Сунчевих пега је променљив; он се од максимума спушта до минимума, па опет расте до максимума у периоду од око $11\frac{1}{2}$ година; иако нам је узрок те промене још увек непознат, ипак схватамо да је тај временски размак извесна Сунчева карактеристика у салањем његовом стању и да би се променио, ако би се на Сунцу догодила каква значајна измена. У једно време се било мислило, да је периодичност Сунчевих пега проузрокована револуцијом планете Јупитера, чије се време обилажења око Сунца не разликује много; да се ово објашњење одржало, период од $11\frac{1}{2}$ година био би Сунцу наметнут спољним узроком, па нас не би ничим могао обавестити о својствима самога Сунца. Стекавши убеђење да је светлосни период звезде δ Цефеја слободни период једне простице звезде, који одговара тој звезди као што каквом дијапазону одговара одређени тон, можемо га сматрати за драгоценог показивача сталности (или какве друге особине) физичког стања звезде.

У стеларној Астрономији обично смо веома задовољни кад своје податке — паралаксу, пречник, масу, апсолутни сјај, и т. д. — можемо одредити на око 5% тачности; међутим, мерење трајања једног периода ставља у изглед много већу тачност. Мислим да је најтачније позната количина у целој Науци (изузев чисту Математику) средње време Месечева обилажења око Земље, које се обично даје на дванаест цифара. Период δ Цефеја може се одредити бар на шест цифара тачно. Резивањем периода, који се може посматрати, за унутарње стање звезде, обезбедили смо себи веома осетљиво сретство, помоћу кога се могу запазити и веома слабе промене. Схватићете сада зашто се при-

ближава „старости звезда“ пролазећи крај променљивих типа Цефеида. За сада су то једине познате звезде које располажу осетљивим показивачем, помоћу кога се можемо надати да ћемо одредити брзину звездане еволуције. Мислимо да је δ Цефеја, као и остале звезде, настала згушњавањем какве маглине, и да се згушњавање и скупљање још наставља. Нико не очекује да се згушњавање одреди на основу наших грубих одређивања пречника, па чак ни за сто година унапред; а еволуција мора да је стварно веома спора, кад период, који се мери на један десетомилонити део тачности, ни после једног столећа не показује никакву промену.

Није од великог значаја да ли ћемо разумети природу тог унутарњег периода, или не. Ако се једна звезда скупља, период пулзирања, период обртања, или сваки други независни период који је за њу везан, мора се променити. Свиђа ли вам се више да пратите некакво друго тумачење поруке δ Цефеја, свеједно је; имаћете само да складно измените изразе мојих доказивања, али општи резултат, који се тиче брзине еволуције, неће се променити. Резоновање ће се срушити једино ако период одвојите од саме звезде, па се вратите на стару претпоставку о двојној звезди; али, верујем да то ни један од осталих истраживача не предлаже.

Није чудо што су ове пулзирајуће звезде предмет нарочитог интересовања. Обичне се звезде могу смерно сматрати као предмети изложени у музејским орманима, а нас нешто боцка у прстима да их се дотакнемо, да бисмо видели колико су чврсти. Пулзирајуће звезде сличне су дивним моделима из Музеја за природне науке, снабденим дугмадима која само треба притиснути, да би се механизам ставио у покрет. Ништа није поучније, нити корисније по развој нашег знања, од посматрања механизма звезде која трепти жарким откуцајима.

Теорија непроменљиве звезде што смо је изложили у току првог предавања, може се протегнути и на пулзирајуће звезде; слободни се период пулзирања неке звезде, да те масе и густине, може израчунати. Сетићете се да смо већ били израчунали отпуштање (емисију) светлости или сјај, и да смо упоређењем са посматрањем добили задовољавајућу потврду тачности теорије; израчунаћемо сада

период пулзирања и, обративши се посматрањима, постићи нови доказ. Празнина у нашим обавештењима, која се оснива на извесној константи звездане материје, повлачи засобом неодређеност у рачуну у виду чиниоца 2; тј. ми израчунавамо два периода, један је двоструко већи од другог, између којих, срећом, мора да лежи стварни период. Посматрање пружа изврсну потврду. Постоје шеснаест променљивих Цефеида које су се могле подврћи испитивању; њихови се периоди крећу између 13 часова и 35 дана, а сви се слажу са израчунатим вредностима у границама предвиђене тачности. Мање непосреднијим начином, иста се потврда налази на слици 7., где се квадратићи, који претстављају Цефеиде, добро слажу са теоријском кривом.

ЦЕФЕИДИ, СВЕТЛОСНИ ЕТАЛОН

Променљиве Цефеиди са истим периодом међусобно су веома слични. Цефеид са периодом од $5\frac{1}{3}$ дана, откривен ма у коме региону неба, биће практично одјек δ Цефеја; у првоме реду он ће бити звезда истог апсолутног сјаја. Ова је чињеница утврђена на основу посматрања, а теорија је до данас још није предвидела. Сјај, као што смо видели, зависи у основи од масе; период, с друге стране, зависи углавном од густине; посматрани однос између сјаја и периода повлачи, дакле, засобом однос између масе и густине. Вероватно је да овај однос означава, како једној одређеној маси одговара једна, и само једна густина — један стадиј у току згушњавања звезде — при којој може наступити појава пулзирања; при другим густинама звезда само може да сија једноликим сјајем.

Ово својство чини Цефеиде нарочито корисним по астрономе. Они служе као светлосни еталон — као светлосни извор одређене јачине.

Обично се простим посматрањем не може одлучити какав је прави сјај неке светлости. Ако изгледа слаба, то је или знак њене стварне слабости, или њена великог удаљења. Ноћу, на мору, приметите многебројне светлости, али нећете моћи да процените ни њихову даљину, нити њихов стварни сјај; ваша процена може да буде погрешна за скоро један квинтилион у чиниоцу, ако вам дође на памет да Арктурусов сјај упоредите са сјајем каквог брода.

Али, међу овим светлостима приметите, можда, неко, које се у одређеном броју секунда правилно мења; то ће вас обавестити да пред собом имате извесну кулу светиљу, која даје светлосни снап од толико и толико хиљада свећа. А тада ћете са сигурношћу моћи оценити њено удаљење — само, разуме се, ако нема магле.

Исто је тако и кад посматрамо небо; већина светлости што их запажамо, могу бити на ма каквим даљинама, а исто тако имати и ма какве стварне сјајеве. И најделикатнија мерења паралаксе омогућују да се одреде даљине само ограниченог броја најближих светлости. Али, ако приметимо да једна светлост жмирка као Цефеид у периоду од $5\frac{1}{3}$ дана, знамо одмах да је то копија δ Цефеја, па према томе и светлосни извор 700 пута јачи од Сунца. Ако је тај период некакав други број дана, светлосна јачина звезде, изражена у јединицама Сунчеве, може се такође одредити. А на основу тога можемо проценити и даљину. Привидни сјај, који је одређен удаљењем и правим сјајем, мери се непосредно; према томе, треба само израчунати, па одговорити на питање: На коме се удаљењу мора налазити светлосни извор 700 пута јачи од Сунца, да би дао посматрани привидни сјај? Колика је приближно количина светлости коју је магла задржала? Брижљивим испитивањима утврђено је да и поред постојања космичких облака у међузвездану простору, светлост са звезда на путу к нама уопште не трпи приметно ни апсорпцију (упијање), ни дисперзију.

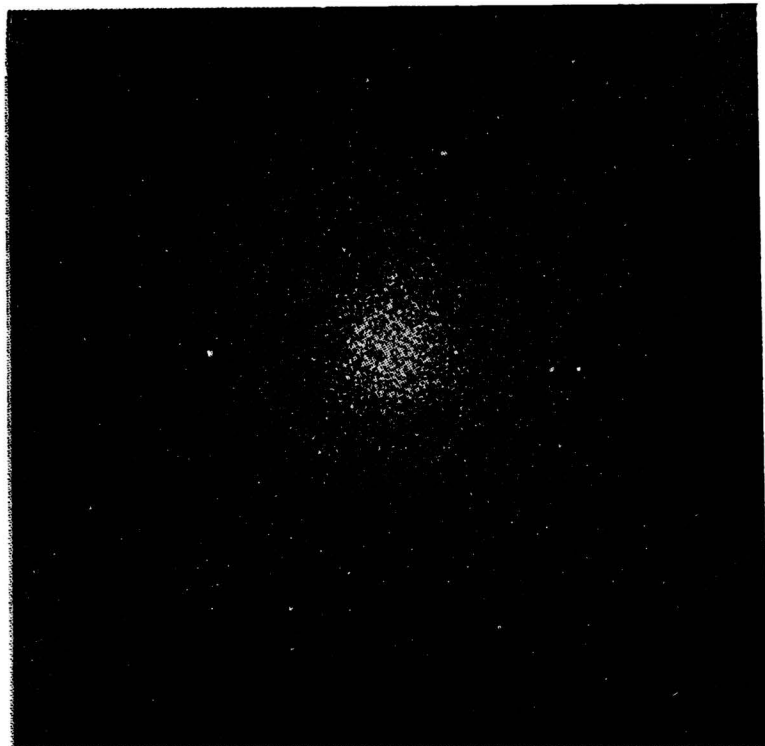
Усвајањем Цефеида за светлосно-изворне еталоне, могле су се у звезданој васиони измерити даљине, које веома надмашују оне, што су их омогућили ранији методи. Да су у питању само Цефеиди, ово откриће не би било толико значајно, али се из њега могу извући и многа друга обавештења.

На слици 11 (1) приказано је добро познато звездано јато, звано ω Centauri. Међу хиљадама звезда у јату откривено је не мање од 76 Цефеида. Сваки од њих је светлосни еталон, који омогућује, најпре, да се одреди његово сопствено удаљење, а на основу тога и даљина великог јата коме он припада. 76 мерења се међусобно невероватно слажу: сред-

(1) Према фотографији снимљеној на Краљевској Опсерваторији Cape of Good Hope (Pt Добре Наде).

ње релативно отступање мање је од 5%. Shapley је тако нашао, да је удаљеност јата 20.000 светлосних година. Светлосне поруке што их данас примамо послало је јато још пре 20.000 година (1).

Више но и један трудбеник Науке, астроном уме да оцени корист тога, што се не налази сувише близу објеката које проучава. Најближе су звезде на знатним даљинама, али је ипак прилично досадно налазити се баш између њих. Јер, сваку од њих треба појединачно узети и одредити јој даљину помоћу мучних мерења; напредак је отуда много напорнији. Напротив, одређујући удаљеност каквог дале-



Сл. 11. Звездано јато ω Centauri.

ког јата, ми у исти мах добивамо и даљине више хиљада звезда. А кад је позната удаљеност, привидне се величине

(1) Примера ради, најближа звезда некретница далеко је 4 светлосне године. Изузев јата, ретко имамо прилике да радимо са даљинама већим од 2.000 светлосних година.

могу претворити у апсолутне, а такође установити и статистике и односи између апсолутна сјаја и боје. Звезде у јатима, и кад нам је непозната њихова даљина, могу нас научити многим стварима, што нам ближе звезде нису у стању да открију. Може се приметити да Цефеиди имају много већи звездани сјај, и да их у томе превазилазе само релативно мало звезда. Може се исто тако утврдити, да је период једног Цефеида у толико дужи, уколико је он сјајнији. Откривено је да су најсјајније звезде све црвене (1). И тако даље. Али, слика има и наличје; све сићушне светлосне тачке неког далеког јата нису нарочито повољни објекти за мерење и анализу, па се отуда морамо обратити ближим звездама; у сваком случају остаје чињеница, да у стеларној астрономији постоје извесни правци истраживања, за које је даљина стварна предност, и ми ћемо се са најближих звезда вратити на објекте, што су од нас удаљени 50.000 светлосних година.

Познато је око 80 глобуларних звезданих јата, чије се даљине крећу између 20.000 и 200.000 светлосних година. Постоји ли нешто, што би било још даље? Одавна се наслућивало да су спиралне маглине (2), које су изгледа веома многобројне, ван граница нашег звезданог система и да образују „васионска-острва“. Доказ је постепено бивао све јачи и сад се мисли да је коначно утврђен. 1924 године Hubble је у Великој Андромединој Маглини, која је највећа спирална маглина и, вероватно, једна од најближих, открио извесан број Цефеида. Чим су им одређени периоди, ове су звезде могле послужити као светлосни еталони за одређивање маглинине даљине. Њихова привидна величина била је много слабија од величине Цефеида са истим периодом што припадају глобуларним звезданим јатима, а то је значило да они морају бити још много даље. Од тада је Hubble нашао на исти начин и даљине једне или двеју других спиралних маглина.

(1) Не може се сасвим тврдити да оно што је стварно за звезде у јату, мора бити и за све звезде уопште; наше знање о најближим звездама, иако у великом закашњењу у односу на звезде у јатима, не слаже се сасвим са тим односом између боје и сјаја.

(2) Израз маглина примењује се на мноштво објеката, али је само класа спиралних маглина ван граница нашег звезданог система.

Простим оком велику Андромедину маглину можете приметити као бледу светлу мрљу. Посматрајући је, ви видите стварно прошлост од пре 900.000 година.

ПРЕТПОСТАВКА О СКУПЉАЊУ ЗВЕЗДЕ

Обезбедити Сунцу довољну количину енергије, да би се одржало његово светлосно и топлотно зрачење, проблем је коме су врло често приступали астрономи и други научници. Helmholtz и Kelvin нашли су тако, да би Сунце веома дуго могло одржати своју температуру прогресивним скупљањем. Скупљање проузрокује приближавање или пад сунчане материје према средишту звезде; потенцијална се енергија гравитације претвара тада у топлоту и у томе енергетском облику постаје расположива. Сматрало се да је то једини извор, јер се није знало ни за какву другу појаву која би била у стању да ослободи толико велике количине енергије. Али, та енергија није неограничена, па, према претпоставци, ни од постанка Сунчева не може бити више од 20 милиона година. Већ у доба о коме вам говорим, сматрало се да је ово трајање прекратко; али Kelvin је убеђивао геологе и биологе да своју историју Земље треба да ограниче на тај период.

Почетком овога столећа претпоставка о скупљању налазила се у нарочитој положају: опште призната, о њој се готово није водило никаква рачуна. Иако се мало ко од научника усуђивао да претпоставку иобија, нико се изгледа није устручавао, ако је то било потребно, да историју Земље или Месеца помери у доба, које је много раније од претпостављене ере. Лорд Kelvin-ов дан стварања света истиса је толико цењен као и датум архиепископа Ussher-a.

Тешкоћа последица ове претпоставке бива нарочито истакнута при разматрању дифузних звезда велике зрачне моћи; оне су раскошне у својој енергији и расипају је сто или хиљаду пута брже од Сунца. Штедиша, Сунце се својом енергијом могло одржати у животу 20 милиона година, али се за звезде великог зрачења граница спушта на 100.000 година. Овај би се резултат односно на већину голим оком видљивих звезда. Усуђујемо ли се да верујемо, да су оне створене у току последњих 100.000 година? Да ли је старост човечанства већа од старости звезда што сада сјаје? За-

врше ли звезде у Андромединој маглини своју еволуцију пре него што њихово светло доспе до нас?

Тешко је наћи се у неприлици због ограничења у временској размери, ограничења које искључује вероватне и дивне мисли и објашњења; али, још је много теже наћи одређен доказ противу таквог ограничења. Не верујем да би астрономи у свом сопственом делокругу могли наћи оруђе којим би непосредно насрнули на Helmholtz-Kelvin-ову претпоставку, да им га нису Цефеиди једног дана пружили. Али, пређимо на бројке; δ Цефеја отпушта бар 700 пута више топлоте него Сунце. Како су нам њена маса и њен пречник познати, лако можемо да израчунамо којом се брзином полупречник мора скраћивати, да би се произвела та топлота. Будући је δ Цефеја први пут тачно била посматрана 1875 године, до данас је њен полупречник, према претпоставци о скупљању, требало да се скрати за 1/300 део своје вредности. Ви се свакако сећате да код δ Цефеја имамо веома осетљиви индикатор сваке промене која се на њој догоди: период пулзирања; очевидно, толико велике промене као ова о којој је реч, морају изазвати поремећај тога индикатора. Показује ли период такву промену? Веома сумњиво; извесно је само да постоји врло лака промена, али она не прелази 1/200 део промене што је захтева претпоставка о скупљању.

Под претпоставком теорије пулзирања, период би услед скупљања требало да се скраћује за 17 секунда годишње, вредност коју није тешко измерити. Посматрана промена, међутим, не прелази 1/10 секунде годишње. Бар за трајања фазе Цефеида, звезда се мора одржавати у животу другачијим извором енергије него што је скупљање.

У једном толико значајном питању није подесно слепо поверовати једном једином аргументу; обратимо се зато сродним наукама, да бисмо у њима потражили друге, можда сигурније доказе. Физичка и геолошка испитивања утврђују на један изгледа неоспоран начин, да старост Земље — рачуната од извесне епохе, која ни у коме случају не допире до њена постанка као планете — веома премаша старост што је Helmholtz и Kelvin приписују Сунчеву систему. Највеће се поверење обично поклања одређивању старости стена на основу односа маса уранијума и олова што се у њима налазе. Уранијум се познатом брзином распада на олово и хелијум. А како олово и уранијум имају различита хемијска свој-

ства, нису се могли независно наслагати један крај другог; отуда олово, што се налази у заједници са уранијумом, врло вероватно потиче од његова распадања (1). Мерењем количине олова која прати уранијум може се одредити доба кад је он наслаган. Тако се налази, да је старост најстаријих стена отприлике 1.200 милиона година; некоји су истраживачи дали ниже вредности, али ниједна од њих није таква, да би спасла претпоставку о скупљању. Сунце, разуме се, треба да буде много старије од Земље и њених стена.

Неопходно је, изгледа, да се у размери временског трајања, старост Сунца повећа бар на 10.000.000.000 година; а ван сваке је сумње да своје захтеве не можемо спустити испод 1.000.000.000. Потребно је, дакле, потражити какав обилнији извор енергије за одржавање топлоте Сунца и звезда у току толико дуга времена. Поље свога истраживања можемо одмах ограничити. Никакав нам извор енергије не може бити од користи, ако топлоту не ослобађа дубоко у унутрашњости звезде. Тешкоћа проблема не лежи само у одржавању зрачења, већ и у обезбеђењу унутарње топлоте која се противи општем рушењу масе, подложне упливу гравитације. Сетите се како смо, у току првог предавања, били принуђени да свакој тачци у унутрашњости звезде припишемо извесан степен топлоте, да би обезбедили равнотежу звезде. Али, унутарња топлота стално струји према хладнијим површинским слојевима, да би се одатле отиснула у простор у виду звездана зрачења. Зрачење мора звезде да буде надокнађивано, ако она остаје непромењена, ако, дакле, не мора да се скупља или еволуише према Kelvin-овој претпоставци. Оно се не може надокнадити на површини — на пример осипањем звезде метеорима, јер не може да струји на супрот топлотну паду, већ би првом приликом умакло у облику допунског зрачења. Градијенат се температуре не може одржати саопштавањем топлоте најнижој тачци пада. Топлоту треба додавати горњем крају, тј. дубоко у унутрашњости звезде.

Како је немогуће замислити спољни топлотни извор који би био у стању да своју топлоту пренесе у средиште звезде, идеја, да звезда сакупља енергију уколико напредује мо-

(1) Ово се може проверити, јер уранијумово олово нема исту атомску тежину са другачије насталим оловом. Обично је олово мешавина више врста атома (изотопи).

ра се, изгледа, сасвим одбацити. Из тога излази: да звезда у себи скрива енергију, која треба да јој обезбеди остатак њена живота.

Енергија има масу. Многи радије кажу: енергија је маса; али, за нас је некорисно да о томе расправљамо. Значајна је чињеница, да један ерг енергије ма у каквом облику има масу од $1,1 \cdot 10^{-21}$ грама. Ерг је обична научна јединица за енергију; али ми енергију можемо да меримо такође грамима или тонама, као што то чинимо за све оно што има масу. Ништа вас не спречава да купите фунту (1) светлости од каквог друштва за електрично осветлење — само ако то не би било више него што вам је потребно, и стајало вас, према садашњим ценама, преко 22.000.000.000 динара. Ако би целокупну ту светлост (етрове таласе) могли да сачувате међу огледаластим зидовима какве затворене посуде, и ако би суд измерили, нашли би тежину, која је једнака нормалној тежини посуде више једна фунта, што претставља тежину светлости. Очеvidно је да предмет који тежи једну тону, не може садржати више од једне тоне енергије; Сунце, чија је маса 2.000 квадриона тона (стр. 16), може садржати највише 2.000 квадрилона тона енергије.

Енергија од $1,8 \cdot 10^{34}$ ерга има масу од $2 \cdot 10^{13}$ грама; а то је маса Сунца. Према томе, Сунце садржи укупно толико енергије — енергије, која треба да му буде довољна за остатак његова живота (2). Не знамо колико се од ње може претворити у топлоту или зрачење; ако би се могла сва претворити, била би довољна да одржи Сунчево зрачење у садањем његовом обиму за време од 15 билиона година. Изложимо то у друкчијем облику; топлота што је Сунце отпусти за годину дана има масу од 120 билиона тона; ако би годишњи губитак масе остао исти, после 15 билиона година Сунце је уопште не би више имало.

(1) 1 фунта (енгл.) = 453,6 грама. Пр. прев.

(2) Чудиће се што сад претпостављам да Сунце има тачно 2.000 квадрилона енергије, кад сам раније рекао да оно садржи највише толику количину. Али, овде је стварно у питању само начин изражавања, који зависи од научне дефиниције енергије. Свака је маса маса нечега, а то „нешто“ називамо сад енергија, па било да је она у једном од познатих нам облика или не. Као што ћете у следећој реченици видети, ми не претпостављамо да се енергија може претварати у познате облике, па нам зато овакво означавање ништа не смета.

УНУТАРЊА АТОМСКА ЕНЕРГИЈА

Ова је залиха енергије, са безначајним изузетком, енергија образовања атома и електрона; друкчије речено, то је интра-атомска енергија. Највећим својим делом она је нераздвојно везана за састав електрона и протона — елементарни негативни и позитивни електрични набоји — од којих је изграђена материја; она се, дакле, може једино ослободити кад се они разруше. Највећи део звездане енергије може се појавити у облику зрачења тек кад је уништена материја што сачињава звезду.

Звезда би могла дуго да живи и не трошећи главни део залихе своје енергије. Мањи се део те залихе може ослободити и поступком који није толико суров као уништење материје, а био би довољан да омогући Сунцу да сија за око 10.000.000.000 година, време које је несумњиво довољно дуго, да би задовољило све наше разумне захтеве. Тај мање сурови поступак је претварање (трансмутација) елемената. Тако смо доспели до тачке, одакле нам је слободан избор: можемо или веровати претварању елемената, задовољивши се тако нешто краћим трајањем, или, опет, претпоставити уништење материје, што би дало веома широку размеру трајања. За сада не видим могућност никаквог трећег избора. Али, вратимо се нашем размишљању. Најпре смо нашли да је енергија скупљања очајно недовољна; затим смо утврдили да се енергија мора ослобађати у унутрашњости звезде, тако да она потиче од унутарња а не спољна извора; сад процењујемо укупну залиху унутарње енергије. Док се не узму у обзир електрони и атомска језгра, не наилази се ни на какав значајан извор; спајањем протона и електрона са атомским језгрима (претварање елемената) може се ослободити знатна количина енергије, али још много већа њиховим уништавањем.

Претварање елемената, које је толико дуго било сан алхемичара, остварено је при трансформацији радио-активних материја. Уранијум се лагано претвара у мешавину олова и хелиума. Али, ни једна од познатих радио-активних појава не ослобађа довољно енергије, да би се одржала Сунчева топлота. Једино значајно отпуштање услед претварања, постоји само сасвим на почетку еволуције елемената.

Почнимо од водоника. Водоников атом се састоји само од једног позитивног и једног негативног набоја: протона,

као језгра, и једног планетарног електрона. Његову масу узмемо за јединицу. Четири водоникова атома образоваће један атом хелијума. Да је маса хелијумова атома тачно четири, то би потврдило како је сва енергија водоникова атома прешла у хелијумов атом. Али, у ствари, његова је маса 3,97, тако да се енергија масе 0,03 изгубила у току стварања хелијума од водоника. Уништавањем 4 грама водоника ослободили бисмо 4 грама енергије; претварајући их у хелијум ослободићемо 0,03 грама. Да би се објаснило стварање Сунчеве топлоте, може се позвати на један или други од ових начина, ма да је, као што смо горе видели, други пружа у много мањој количини од првога.

Ослобађање енергије јавља се отуда, што у атому хелијума остају као планетарни само два електрона, јер су се остала два везала са четири чврсто спојених протона у хелијумову језгру. Приближујући једне другим позитивне и негативне набоје изазива се промена електричног поља и тако ослобађа електрична енергија, која се распростире у виду етрових таласа. На такав су се начин изгубила 0,03 грама енергије. Те етрове таласе звезда може да упије и да их употреби као топлоту.

Са хелијума можемо да пређемо на следеће елементе, али нећемо добити ништа више слободне енергије. Кисеоников атом, на пример, може да буде образован било од 16 водоникових атома, било од 4 атома хелијума; али, уколико се то може тачно тврдити, његова је тежина баш једнака тежини 4 атома хелијума, тако да је ослобођена енергија готово иста при прелазу водоника у кисеоник, као и при прелазу у хелијум (1). Биће јасније ако усвојимо да је водоникова маса једнака 1,008; хелијумова је маса тада тачно 4, а кисеоникова 16; истраживања Dr. Aston-а помоћу спектрографа за масе показала су осим тога, да су масе атома других елемената готово сасвим цели бројеви. Губитак од 0,008 грама на водоникову атому наилази се веома приближно ма код којег образованог елемента.

Идеја, да звездана енергија потиче од изградње елемената на основу водоника има то преимућство, што се у могућност те појаве не може посумњати; напротив, нема ника-

(1) Aston је у својим најновијим истраживањима утврдио да је кисеоников атом сасвим приметно лакши од четири хелијумових атома.

ква доказа да би у Природи могло постојати уништење материје. Покушано је у лабораторијуму да се водоник претвори у хелијум, али радије нећу говорити о тим огледима, јер нису убедили ни оне, на чији се ауторитет ослањам у томе питању. По моме мишљењу, већ само *постојање* хелијума најбољи је доказ да се тај елеменат може *начинити*. Четири протона и два електрона што образују његово језгро могла су се спојити ма где и било кад; па зашто не на звездама? Чим се изврши то спајање, мора се такође ослободити и вишак енергије и на тај начин произвести обилна количина топлоте. А то у првоме реду показује, да претварање елемената у унутрашњости звезде вероватно наступа само, јер се у њој, несумњиво, налази у пуном дејству снажан извор топлоте. Знам да многи критичари сматрају услове што владају у звездама као недовољно претеране, да би проузроковали претварање елемената — да звезде нису довољно топле! Тим критичарима можемо са своје стране очевидно одговорити: нека потраже неко *топлије место!*

Међутим, предност се изгледа овде зауставља. Постоје многи астрономски знаци, да претпоставка о звезданој енергији, која потиче од претварања елемената, није задовољавајућа. Брзо ослобађање енергије у свима првим стањима еволуције (фаза циновске звезде), кад је звезда огромно и дифузно тело које обилно зрачи топлоту, могло би се приписати томе претварању; али у каснијим фазама, енергија мора потицати од извора који се управља према друкчијим законима емисије. Веома је вероватно да старењем звезда треба да изгуби велики део почетне материје, а то се једино може постићи њеним уништењем. Докази, истина, нису сасвим подударни, а не верујем да ћемо још бити у стању да поставимо коначни закључак. Па ипак, претпоставка о уништењу материје обећава, изгледа, највише, и ја ћу се у краткој расправи о еволуцији звезда што ћу вам је изнети, одлучити за њу.

Израз „уништење материје“ звучи прилично фантастично. Иако нам је још непознато да ли се у Природи ова појава стварно догађа или не, ипак не постоји никакав очигледни разлог против тога. Последњи су делићи материје сићушни позитивни и негативни набоји, које можемо замислити у етру као напонска средишта супротних врста. Кад би се допустило да се стопе у једно, поништили би се узајамно,

оставивши за собом само узнемирење у етру, које би се распрострло у виду електромагнетског таласа, носећи собом енергију, ослобођену поништењем напона. Ова је енергија необично велика; уништење обичне водене капи омогућило би нам да располажемо моћи од 200 коњских снага у току године дана. Веома појудно гледамо ту огромну залиху енергије, иако без много наде да ћемо икада открити тајну за њено ослобађање. Али, ако би се показало да су звезде откриле ту тајну, и да се служе том залихом у циљу одржања своје топлоте, перспектива нашег коначног успеха била би нам знатно ближа.

Верујем да ће изучавање унутарње атомске енергије многи физичари сматрати као област узалудних спекулација. Астроному, међутим, она изгледа друкчије. Ако се претпостави да се звезде развијају много спорије него што то допушта хипотеза о скупљању, мерење је издашности на унутарњој атомској енергији једно од најобичнијих астрономских мерења — мерење топлоте или светлости звезда (1). Збирка података посматрања о активности ослобађања унутарње атомске енергије, део је искуства практичне астрономије; потребно је само уобичајеним методима пратити њихово груписање према извесном одговарајућем реду, да би се утврдила веза између те издашности и температуре, густине или старости материје која је одржава — једном речи, да би се нашли закони емисије. Одатле па даље, дискусија ће постати више или мање хипотетичка, према темпераменту истраживача; и доиста, напредак и овде, као и у осталим гранама Науке, вероватно долази од тачне употребе научне маште. Празна спекулација и овде, као и у сваком другом предмету, треба да буде искључена јер нам не може ни мало користити; ради се само о индукцији на основу посматрања, али при томе не смемо да изгубимо из вида наша теоријска знања о могућностима што леже у атомској грађи.

Пре него што напустим овај предмет, треба да споме-

(1) Мерење топлотног струјања извесног непрекидног извора топлоте мерење је издашности извора, ако не постоји нагомилавање енергије између места њеног правога врела и места њена истицања. Потпуна пропаст Kelvin-ове размере трајања означава да је то нагомилавање енергије (позитивно или негативно) у звездама, а с тим и ширење или скупљање, занемарљиво у поређењу са издашношћу зрачења.

нем продорно зрачење за које се одавно зна да постоји у нашој атмосфери, и које нам према истраживањима Kohlhörster'a и Millikan'a, доспева из спољна простора. Велика продорна моћ овог зрачења знак је кратке дужине таласа и снажне концентрације енергије. Пре тога су највећу продорну моћ показивали гама-зраци, произведени феноменима у унутрашњости атома радио-активних материја. Космичко је зрачење још продорније, па је изгледа разложно да буде приписано енергичнијим интра-атомским процесима, који су слични процесима што су извори енергије звезда. Millikan је извео брижљива мерења и на основу њих закључио, да особине тога зрачења одговарају особинама које треба да има зрачење ослобођено при трансмутацији водоника; оно није толико продорно да би се могло приписати снажноме процесу уништења протона и електрона.

Нема сумње, изгледа, да нам то зрачење доспева са неба; ово је утврђено на основу мерења његове јачине на различитим висинама у атмосфери и дубинама у планинским језерима; зрачење слаби сразмерно количини ваздуха или воде што треба да је прође. Претпоставља се да његов извор мора бити изван Земље. Његова се јачина не мења са висином Сунца, оно, дакле, не потиче од Сунца. Постоје докази да се мења са положајем Млечна пута; максимум зрачења је добивен кад је изнад нас најгушћи део звездана система(1). Зрачење не може потицати ни из унутрашњости звезда, јер му је продорна моћ ипак врло слаба; најтоплија и најгушћа васионска материја заклоњена нам је непробојним зидовима. Оно би најпре могло потицати од спољне коре звезда, где је температура умерена, а густина слаба; али је највероватније да се његов главни извор налази у дифузним маглинама или, можда, у материји која образује општу облачност простора(2).

Треба да сачекамо даљи развој питања, да интра-атомско порекло тога зрачења не бисмо сматрали као чисту претпоставку; овде је наводимо само зато, што може да буде

(1) Најновија истраживања нису потврдила ово гледиште.

(2) Све скупа, звезде покривају мању површину неба него што је заклања привидни Сунчани котур, тако да би им се постојање тог зрачења могло приписати само ако га њихови површински слојеви производе у много већој мери него Сунце.

пут прогреса. Било би занимљиво ако би се много непосредније знање о процесу, што га сматрамо за извор звездане енергије, могло стећи на такав начин; поруке што нам их доносе космички зраци, који су изгледа у вези са тим процесом, заслужују нашу најозбиљнију пажњу. Наша схватања о звезданој енергији зависе нарочито од једне одлучне тачке. Обично смо до сада претпостављали, да је веома висока температура у унутрашњости неке звезде један од основних услова за ослобађање унутарње атомске енергије, а да разложно велика густина такође игра значајну улогу. Теоријски изгледало би готово невероватно, да се образовање виших елемената или уништење протона и електрона може произвести у већој количини у областима где су међусобни судари ретки, и где су висока температура или снажно зрачење недовољни, да би отргли атоме из њихове равнодушности; али уколико више упознајемо тешкоће различитих теорија о ослобађању унутарње атомске енергије, тим мање смо склони да ма коју могућност одбацимо као невероватну. Присуство натријума и калцијума у космичким облацима, хелијума и небулијума у дифузним маглинама, титана и цирконијума у великим количинама у атмосферама најмлађих звезда, уверава нас да је еволуција елемената већ врло напредовала у току дифузног предзвезданог стадијума — истина, само ако наша Васиона није образована од остатака какве раније творевине. Према овоме гледишту било би правилно, да у слободном простору наиђемо на знаке унутарњо- атомске активности. Али, при таквом једном проблему, физичар потпуно може да заврти главом. Како се четири протона и два електрона могу спојити и образовати једно хелиумово језгро, кад је средина толико разређена, да слободно путовање траје данима? Једина нам је утеха што је начин те појаве (при садањем стању нашег знања) толико несхватљив ма за какве услове густине и температуре, да га можемо поставити и у маглинама — према начелу: да се о конопцу може висити за крађу јагњета, као и за крађу овце.

ЕВОЛУЦИЈА ЗВЕЗДА

Пре двадесет година звездана је еволуција изгледала веома једноставно. У почетку су звезде јако вреле, затим се постепено хладе, док се потпуно не угасе.

Тако посматрано, температура звезде означавала је и достигнути стадијум звездане еволуције. Еволутивни ред био је доста јасно оцртан grubим посматрањем боје: бело усијана, жуто усијана, црвено усијана звезда; тачније одређивање реда температура постигнуто је испитивањем светлости у спектроскопу. Црвене су звезде, природно, биле на крају. Norman Lockyer жестоко је напао ову схему и унапред одлучно усвојио новије идеје; али јој је већина астронома остала верна до око 1913 године.

Пре десет година наше се знање о густини звезда веома проширило. Чинило се вероватно, како густина треба да буде директнији критериј еволутивног стања од температуре. Ако се претпостави да звезда настаје згушњавањем небуларне материје, у својој младости она треба да је веома дифузна; почев од тога стадијума она се скупља, а њена густина стално повећава.

Али то захтева потпуно преуређење еволутивне схеме, јер ред заснован на густинама не одговара ни најмање реду који је добивен на основу површинских температура. Према првом становишту, црвене и хладне звезде биле би све и на самрти. Сад се, међутим, зна, да су многе међу њима веома дифузне звезде — као на пример Бетелгеа. Њих треба сматрати за најмлађе звезде; према томе природно је да звезда, која се тек почиње згушњавати из небуларне материје, полази са најнижег нивоа температуре. Али све црвене звезде нису дифузне; многе од њих, као на пример Kueger 60, имају велику густину, и ми их не дирамо са њихова места, где означавају последњи стадијум еволуције. И почетни, и последњи период живота звезда окарактерисан је ниском температуром; у међувремену се температура мора повећати до максимума, да би затим опет опала.

„Теорија циновских звезда и звезда патуљака“, што су је поставили Hertzsprung и Russell изврсно је уредила ове закључке. Према њој, постоји низ сразмерно дифузних *циновских* звезда са растућом температуром, и низ *патуљака* или *густих* звезда, са температуром која опада. Оба се низа

спајају на највишим температурама. Свака се звезда у току свога постојања пење низом циновских звезда до своје највише температуре, а затим спушта низом патуљака. Сјај остаје за све време циновског стадијума прилично непромењен, јер је постепено повећање температуре уравнотежено смањењем звездане површине; у стадијуму патуљака, опадање температуре и скупљање површине проузрокују нагло опадање сјаја уколико се звезда спушта на ниже. Ово се добро слагало са посматрањима. Теорија је доминирала свима најновијим астрофизичким испитивањима и допринела да се расветле многе значајне чињенице. Биће довољан један пример. Иако циновска звезда и звезда патуљак могу имати сасвим исту површинску температуру, па дакле показивати и сасвим сличне спектре, пажљиво спектроскопско испитивање ипак открива знатне разлике, тако да на основу спектра није тешко утврдити да ли је нека звезда дифузни цин или густу патуљак.

Привлачност теорије циновских звезда и звезда патуљака лежи у простоме објашњењу повећања и пада температуре. Претпостављало се да прелаз са низа цинова на низ патуљака наступа онда, кад густина достигне извесну вредност (око четвртине густине воде), тако да отступања материје у односу на идеални гас почињу бивати знатна. Lane је педесет година пре тога био утврдио, да се температура неке лопте образоване од идеална гаса мора повећавати уколико се она скупља; метод што га је искористио за налажење унутарње температуре изложили смо на стр. 5; повећање је температуре у стадијуму цина било, дакле, предвиђено. Али, оно у главном зависи од лаке стишљивости гаса; кад се при великим густинама стишљивост изгуби, може се очекивати да ће повећање уступити место опадању температуре, и да ће се звезда хладити, као што то бива код течности и чврстог тела. У томе је, мислило се, кључ за објашњење стадијума патуљака.

Покушао сам да се осврнем на идеје од пре двадесет и десет година, али не треба да мислите, да бих са гледишта данашњег нашег знања, могао упртити на леђа све што је било изложено. Намерно сам пропустио да објасним: да ли под температуром неке звезде подразумевам унутарњу температуру, или температуру површине, јер су схватања о то-

ме раније била веома неодређена; нисам водио рачуна о белим патуљцима, за које се сад сматра да су најгушће звезде и вероватно од свих најстарије. Али је нарочито последњи параграф у супротности са нашим најновијим закључцима, јер даље не можемо претпостављати да се материја, при густини која је четвртина густине воде, понаша као идеални гас. Наш резултат (стр. 26/27): да је материја у густим патуљцима још увек идеални гас, фатални је ударац за тај део теорије патуљака и циновских звезда.

Тешко би било рећи која је данас призната теорија еволуције. Теорија се сад налази у лонцу за топљење, а ми још чекамо да отуда изиђе нешто задовољавајуће. Читава је ствар сумњива, и ми смо сасвим спремни да је размотримо готово тачку по тачку. Привремено, међутим, претпоставићу да је ранија теорија у праву кад сматра, да еволутивни низ иде од дифузнијих ка гушћим звездама. Иако усвајам ову претпоставку, ипак нисам сигуран да ће бити дозвољена. Ранија теорија је имала јаким разлога за њено постављање, али ти разлози сад више не вреде. Док се веровало да је контракција извор звездане топлоте, скупљање и повећање густине били су од великог значаја током цела звездина живота; усвоји ли се претпоставка у унутарњој атомској енергији, скупљање престаје да игра основну улогу.

Желим да вам обратим пажњу на звезде патуљке(1), јер се баш међу њима одиграо преврат. Оне образују сасвим сдређени низ, који се простире од високих до ниских површинских температура, од јаким до слабих сјајева, док густина правилно расте током цела низа. Тај низ називамо сада „главним низом“. Он обухвата највећи број звезда. Да бисмо имали јаснију претставу, узећемо из низа три типичне звезде: Алгол, сасвим на почетку, Сунце у близини средишта и Krueger 60, сасвим на крају низа. У доњем прегледу сакупљени су о њима бројни подаци:

Звезда	Маса (Сунце=1)	Средња густина (вода=1)	Средиш- на темпе- ратура (у милиони- ма степ.)	Површин- ска тем- пература (у степ.)	Боја	Сјај (Сунце=1)
Алгол	4,3	0,15	40	12.000	бела	150
Сунце	1	1,4	40	6.000	жута	1
Krueger 60	0,27	9,1	35	3.000	црвена	0,01

(1) Израз „звезде-патуљци“ не односи се на беле патуљке.

Еволуција се може схватити, ако се замисли да једна једина звезда у току свога постојања пролази кроз горње стадијуме(1). Треба подвући повећање густине у трећем ступцу; према усвојеном критеријуму, оно показује да је еволутивни ред: Алгол → Сунце → Krueger 60.

Збрка између унутарње и површинске температуре узрок је некојих грешака ранијих теорија. Споља посматрана, звезда се при проживљавању низа хлади од 12.000° до 3.000°, али се температура у њеној унутрашњости не мења тако. Температура средишта остаје невероватно стална. (Не треба много веровати малом опадању, које се изгледа јавља код звезде Krueger 60). Веома је значајно што је средишна температура свих звезда главног низа око 40 милиона степени, бар у границама тачности наших рачуна. Тешко је отети се утиску, да постоји неко нарочито својство у вези са њом, иако нам наш физикални осећај говори да је такво схватање бесмислено.

Али је витална тачка опадање масе, што га показује други стубац. *Пролазећи ма кроз који део главна низа, звезда мора да губи на маси.* Овај се закључак може уопштити. Јер, кад се зна да сјајност зависи у основи од масе, значајнији развој од сјајних звезда ка звездама слаба сјаја, може наступити једино уз знатан губитак њихове масе.

Овај резултат је и дао повода живахном испитивању претпоставке о уништењу материје. Одлуку о тој претпоставци очекује сваки напредак у теорији звездане еволуције. Ако се она усвоји, све се промене могу лако објаснити. Прошавши кроз стадијум цина, звезда мора да доспе у стадијум Алгола; затим, постепеним уништавањем њене материје, да пређе главни низ, док не постане слаба црвена звезда, слична звезди Krueger 60, кад јој се маса смањи на

(1) Тешко се може претпоставити да све звезде, доспевши до главног низа, пролазе кроз сасвим исте стадијуме. Алгол, на пример, кад му маса буде сведена на Сунчеву масу, може у односу на Сунце да има нешто различиту густину и температуру; али посматрања показују, да су та индивидуална отступања мала. Главни низ је скоро праволинијски; он има извесну дужину, па треба такође да има и нешто „ширине“; но изгледа за сада, да дисперзија појединих звезда од средње линије тога низа потиче услед грешака међу подацима посматрања, а права ширина није била одређена.

шеснаестину своје првобитне вредности. Али, ако уништење материје не постоји, доспевши у стадијум патуљка звезда се даље не помера; она остаје у оној тачци низа, која одговара сталној вредности њене масе.

Треба правилно схватити спорну тачку. Да звезде губе своју масу зрачењем несумњиво је. Сунце годишње губи 120 билиона тона, па било да његово зрачење потиче од уништења материје, или од каквог другог унутарњег извора. Питање је само: Колико ће трајати такав губитак масе? Ако нема уништења материје, сва маса што се може изгубити у виду зрачења, нестаће релативно брзо: Сунце ће се тада угасити, његова маса неће даље опадати и ту ће бити крај његовог развоја. Али, ако уништење постоји, живот Сунца и његов губитак масе наставиће се још много дуже; пред њим ће бити још дуг пут развоја: ослободивши се за три четвртине своје садање масе, оно ће постати слаба звезда, слична звезди Krueger 60.

Наш избор међу могућим теоријама унутарње атомске енергије погађа звездану еволуцију само у једној тачци, али је то витална тачка. Одбацимо ли уништење материје, скратићемо живот звезда толико, да за некакав значајнији развој уопште неће остати времена.

Осећам, као што то свако мора осетити, колико је за критику претерано изграђивање на основи једног претпостављеног феномена, без икаква непосредна доказа да закони Природе допуштају његово постојање. Али, у противном случају били бисмо приморани да пустимо, нека звезде дремају у својој једноликости, без имало изгледа на развој или промену до краја њихова живота. Потребно је, међутим, нешто, што би оживело призор, па било да је напредак или назадовање, у шта смо толико дуго веровали. Прилично очајни одлучујемо се за последњу видљиву могућност. Окамењени систем оживљује. Најмањи делићи предају једни другима своју енергију и престају да постоје. Њихова жртва је животна снага звезда, које затим одлазе у сусрет својој великој пустиловини:

Атоми и системи се руше,

Час прсне мехур, час настане свет(1).

(1) Alexander Pope, Essai on Man (1733).

ЗРАЧЕЊЕ МАСЕ

Прву потврду о величини временске размере у звезданој еволуцији пружила нам је сталност физичког стања δ Цефеја, а допунила је очигледност огромног трајања геолошких периода на Земљи. При томе, били смо у стању само да утврдимо горњу границу за брзину еволуције звезда и доњу границу њихове старости. Но и ова последња била је довољна да нас примора да одбацимо претпоставку о скупљању, и да нас наведе да узмемо у обзир залиху унутарње атомске енергије.

Извршићемо сад један нов покушај, ослањајући се на убеђење: да брзину еволуције одређује брзина, којом се звезда ослобађа своје масе. При томе ћемо узети у обзир само еволуцију слабих звезда на основу сјајних, а оставити по страни развоје што се односе на стадиј цинова, на који се наша размишљања не могу непосредно применити. Ако би се искључила свака мисао о еволутивној вези између сјајних и слабих звезда, морало би се претпоставити да се звезде међусобно разликују по сјају зато, што су биле различите још од почетка. То може да буде истина, али ми немамо права да без битке напустимо пространо поље звездане еволуције.

Овај нови покушај омогућује нам да тачно одредимо трајање еволуције, а не само доњу границу. Познато нам је за сваки стадијум, којом брзином звезде зрачењем губе своју масу; можемо, дакле, да нађемо време потребно да би се изгубила извесна маса, па отуда и за прелаз на стадиј мање масе. Еволуција од Алгола до Сунца траје пет билиона година, а еволуција од Сунца до звезде Krueger 60:500 билиона година. Занимљиво је напоменути да има много више звезда у стадијуму између Сунца и Krueger 60, него између Алгола и Сунца — чињеница, која у неколико потврђује наше рачуне о трајањима тих двају стадијума. Број слабих звезда не расте онако брзо као што захтева израчунато трајање; можда звездани систем не постоји већ толико дуго, да би остареле звезде биле претстављене у своме потпуном броју.

Звезда много веће масе него што је Алгол расипа своју масу необично брзо, тако да Сунчеву старост не бисмо знатно повећали ни кад би претпоставили да је у по-

четку имало много већу масу од Алгола. Горња граница садање Сунчеве старости је 5,2 билиона година, па ма каква била величина његове почетне масе.

Али, поставља се питање: зар звезда не може да повећа брзину своје еволуције ослобађајући се своје супстанце некако друкчије, а не зрачењем? Зар атоми не могу да беже са њене површине? Ако је тако, губитак би се масе убрзао па, дакле, и еволуција, а време које је потребно за еволуцију било би исто као и време супарничке теорије о претварању елемената. Међутим, врло је вероватно да је маса, која се губи у виду материјалних атома, занемарљива у односу на масу што неприметно одлази у облику зрачења.

Можда ћете се упитати: да ли су (астрономски говорећи) 120 билиона тона што их Сунце сваке године изгуби зрачењем, велика или мала количина. Са извесног гледишта то је велика количина. Она износи више од 100.000 пута маса калцијумове хромосфере. Сунце би требало да потисне своју хромосферу и да је замени потпуно новом сваких пет минута, да би се тако ослободило масе, која је једнака маси што је губи зрачењем. Према посматрањима Сунца, такво одбацивање масе очигледно не постоји. Другим речима, да би се напред наведено трајање еволуције svelo на половину, требало би да се у свакој секунди по сантиметру квадратном са Сунчеве површине одвоје билион атома. Можемо закључити, мислим, да не постоји краћи пут за стварање мање масе, и да се практично сав губитак масе мора приписати зрачењу.

Напоменули смо раније (стр. 16) да Природа изграђује звезде дајући им веома блиске масе, али да допушта и извесна отстапања према своме моделу, у виду грешке од једне нуле. Верујем да смо још учинили неправду, и да је она много пажљивија у своме раду, него што смо претпостављали. Трбало је испитивати комаде који су тек испали испод пресе, јер је погрешно узети оне, чији је знатни број био у промету већ стотинама билиона година, и који су се због употребе прилично излизали. Ако се посматрају звезде скоријег порекла, тј. дифузне звезде, налази се да 90% међу њима имају масу у границама између 2,5 и 5,5 пута Сунчеве масе — што показује да су звезде

у почетку биле изграђене према њиховом моделу са истом тачношћу као и људски створови. У томе се размаку масе притисак радијације повећава за 17 до 35% од укупног притиска. С обзиром на све већи значај што га притисак радијације (1) тежи да заузме, може се очекивати, мислим, да баш овај интервал образује одлучни стадијум. По нашем мишљењу, све су звездане масе у почетку скоро сасвим једнолике (што не искључује могућност постојања малог броја изузетних звезда ван горњих граница); зрачењем масе из тих једноликих маса током времена настају слабије масе.

Сунце се сада налази тренутно у стању мира, јер му се израчена количина енергије изравнава унутарњим ослобађањем интра-атомске енергије. Али, коначно, оно ће се изменити. Промена, или еволуција, биће непрекидна, но у циљу бољег објашњења говорићемо о њој као да се дешава у скоковима. Разлог промене могао би се двојачко замислити: прво, износ унутарње атомске енергије може да опадне услед исцрпљења, те није даље у стању да уравни тежава зрачење; друго, Сунце мало по мало постаје звезда слабије масе. Раније теорије прихватиле су уопште први узрок, а ми можемо претпоставити, да је он од уплива у току циновског стадијума звезде; јасно је, међутим, да разлог спуштању главног низа треба да буде у губитку масе (2). Разлика између циновских звезда и звезда патуљака лежи, изгледа, у томе, што обилна, али брзо исцрпљена сретства унутарње атомске енергије за време стадијума цинова, ишчезавају и уступају место много скромнијим могућностима у току стадијума патуљака.

Кад Сунце буде постало звезда слабије масе, мораће да обнови своје унутарње услове. Претпоставимо да оно најпре покуша да одржи своју садашњу густину. Као што смо објаснили на стр. 5, његову унутарњу температуру можемо да израчунамо, па налазимо да смањење масе, при сталној густини, повлачи за собом опадање температуре. А то ће нешто мало смањити и губитак на унутарњој атом-

(1) Види стр. 17.

(2) Исцрпљење залихе енергије без промене масе повукло би за собом скупљање звезде, па, дакле, и повећање густине; постојао би тако извесан однос између густине и масе, што посматрања познатих звезда ниуколико не потврђују.

ској енергији, јер се не може сумњати да се при вишим температурама ослобађа и већа количина интра-атомске енергије. Тако смањена издашност неће бити довољна да уравнотежи израчену енергију; звезда ће се тада скупљати и то баш онако, као што је претпостављала стара хипотеза о скупљању, која је сасвим одбацивала трошење унутарње атомске енергије. Узрок промене је у губитку масе, а прво што отуда наступа је повећање густине, која је друга карактеристика напредовања у главном низу.

Пођимо за последицама нешто даље; повећање густине изазива повећање температуре, која, опет, са своје стране отвара славину за унутарњу атомску енергију. Чим је славина толико отворена, да се губитци енергије изравнавају зрачењем звезде, скупљање се прекида и звезда је у равнотежи, али са мањом масом а већом густином.

Видећете да се треба позвати на законе према којима се управља ослобађање унутарње атомске енергије, да би се квантитативно објаснило: зашто при прелазу главног низа једној одређеној маси одговара одређена густина. Скупљање мора да траје све до онога тренутка, док унутарњи услови не омогуће ослобађање унутарње атомске енергије у толикој мери, колико је потребно за изравнавање зрачења.

Бојим се да све ово не изгледа сувише сложено, јер желим да покажем како се звезда после промене масе аутоматски враћа у стање равнотеже. Променивши масу, звезда има поново да реши проблем унутарњих услова што су потребни за њено уравнотежење. Уколико су у питању само механички услови (одржавање горњих слојева), она може да изабере неко ма које стање из низа стања различитих густина, под условом само да њена унутарња температура одговара усвојеној густини. Али, таква је равнотежа само привремена, и звезда се може примирити тек кад славина за унутарњу атомску енергију буде толико отворена, колико је потребно за уравнотежење зрачења, које је, као што смо видели, практично одређено масом. Звезда, дакле, одврће славину све док јој она не обезбеди равнотежу.

Професор Russell је додао један важан закључак. Отварајући славину звезда не поступа *разборито*; један покушај треба аутоматски да повуче следећи, па је веома зна-

чајно да се овај последњи сам по себи приближава, а не удаљује од праве вредности. Услов је за приближавање тој вредности, да ослобађање унутарње атомске енергије расте са температуром или густином (1). Ако онда опада, или је у застоју, покушаји ће бити све даљи и даљи од тражене вредности, тако да звезда неће моћи да доспе у стање стабилне равнотеже, иако је она могућа.

Неопходно је потребно да се као један од закона за ослобађање унутарње атомске енергије усвоји, да његова брзина расте са температуром или густином, или са обема једновремено; у противном случају, интра-атомска енергија не би испунила улогу због које је уведена, тј. да звезду одржи дуго у равнотежи.

Необично је, међутим, то, што је услов равнотеже испуњен кад је средишна температура око 40 милиона степени, па било да је звезда на почетку, у средини, или на крају главна низа. Звезде на почетку ослобађају 700 ерга енергије у секунди по граму материје; Сунце ослобађа само 2 ерга, а Krueger 60 : 0,08 ерга у секунди. Чудновато је што звезде за обезбеђење тако различитих издатака енергије, треба да доспеју до истих температура. Изгледа као да при температурама нижим од ове границе, нема слободних ни 0,08 ерга енергије, али чим је та температура постигнута, извор практично постаје неограничено издашан. Могло би се готово веровати да постоји нека врста тачке кључања (независне од притиска), при којој материја почиње да превире, како би се претворила у енергију. Читава је појава свакако веома изненађујућа.

Додаћу да је температура циновских звезда знатно нижа од 40 милиона степени. Изгледало би као да се оне ослањају на нарочите залихе унутарње атомске енергије, које се ослобађају при нижим температурама. Кад звезда утроши ту залиху прелази у главни низ, и ту почиње да исцрпљује своју главну залиху. Потребно је уз то, изгледа, претпоставити, да та њена главна залиха не траје неограничено, тако да звезда (или оно што од ње преостане), напуштајући главни низ, прелази најзад у стадиј белог патуљка

(1) То је повећање усвојено у нашем опису аутоматског поправљања звезде, а видеће се неопходност његова усвајања.

У стању смо сад да одговоримо на питање што сте ми га желели поставити, можда, још и раније. Зашто пулзира звезда δ Цефеја? Могло би се одговорити, да је осцилација потекла од каквог случајног догађаја. Уколико можемо да прорачунамо, једном започета осцилација траје нешто око 10.000 година, пре него што се сасвим умири. Али су 10.000 година време које се у односу на трајање живота звезде сад може занемарити, па ако се замисли бројност Цефеида, ово објашњење не изгледа тачно, чак и ако бисмо могли утврдити природу претпостављеног случаја. Много је вероватније да пулзирање наступа само од себе. У звезди се ослобађају огромне количине топлотне енергије — много више него што је потребно за изазивање и одржавање пулзирања — а најмање су два различита начина, према којима се може претставити да појаву пулзирања проузрокује топлота.

Ево првог. Претпоставимо да постоји веома слабо пулзирање. При сабијању звезде, њена је температура и густина већа него обично, славина за унутарњу атомску енергију више је отворена. Звезда се загрева и тај топлотни вишак ствара експанзивну силу, која се противставља сабијању. У тренутку највећег ширења, напротив, славина се мало притвара, услед чега наступа губитак топлоте, што, опет, смањује отпор према следећем сабијању. Наизменична ширења и сабијања постају, дакле, све снажнија и снажнија, и тако од малог почетног поремећаја настаје јако пулзирање. Види се да звезда поступа са славином за унутарњу атомску енергију као парна машина са упусним вентилем на својој стублини, тако да пулзације звезде настају као и пулзирања машине.

Једина замерка што могу да је нађем овом објашњењу је то, што је веома успело. Оно показује зашто се може очекивати пулзирање звезде; но, незгодно је по томе, што звезде у опште не пулзирају — тако се понашају само ретки изузетци. Цефеиди се сад могу лако објаснити отуда, што треба да начинимо само полуобрт, па да се нађемо лице у лице са много тежим проблемом, проблемом непроменљивости обичних звезда. Пулзирање се може јавити једино ако је механизам за пулзирање довољно снажан да савлада силу која тежи да пригуши и отклони осцилације. Ника-

ква нам постављена теорија не допушта да предвидимо постоји ли она у извесној звезди или не; шта више, треба се тек промучити да би се нашли закони ослобађања унутарње атомске енергије, који би били у сагласности са утврђеном чињеницом да је већина звезда непроменљива, али да има услова масе и густине што омогућују превласт сила пулзирања.

Цефеидна пулзација је једна врста болести од које пате звезде у извесном добу своје младости; пребродивши је, оне затим мирно сагоревају. Али, касније у животу звезде, може да наиђе и други напад, у доба кад она буде подложна катастрофалним експлозијама које проузрокују „нове звезде“ или „нове“. О условима који их проузрокују зна се, међутим, веома мало; непознато је чак и то, да ли те експлозије наступају саме од себе, или су изазване споља.

Док су у питању опште ствари, теорија унутарње атомске енергије, а нарочито теорија уништења материје, испуњава све наде. Тек кад зађемо у техничке појединости, јављају се сумње и настају пометње. Тешкоће наступају од једновремена присуства и циновских звезда и звезда патуљака у звезданим јатима (где су све звезде исте старости) и поред великих разноликости међу њиховим брзинама еволуције. Има такође тешкоћа и у изналажењу закона ослобађања унутарње атомске енергије који би сачували стабилност звезде, не допустивши пулзирање свакој од њих. Тешкоће наступају још и отуда, што је, према општем правилу у стадијуму цинова, ослобађање енергије утолико брже, уколико су нижа температура и густина; па иако, у опште, ту чињеницу објашњавамо на тај начин, што претпостављамо да постоје обилнији извори енергије, све се чињенице не могу обухватити том претпоставком. Велике тешкоће наступају, најзад, и при покушајима да се закони ослобађања унутарње атомске енергије, изведени на основу астрономских посматрања, прилагоде свакој теоријској претстави коју треба створити о процесу уништења материје, дејствима између атома, електрона и зрачења.

Предмет је од необичног значаја, али га у току овога предавања не можемо даље пратити. Док нас теорија отворено води, наша се пажња задржава на основним принци-

пима; напротив, кад је теорија непотпуна, пажња нам се зауставља на техничким појединостима које испитујемо са нешто зебње, јер говоре час у прилог једне, час у прилог друге претпоставке. Ја сам се нарочито бавио двема изузетним тачкама: проблемом порекла звездане енергије и променом масе, што мора постојати, ако звездана еволуција иде од сјајних ка slabим звездама. Показао сам како се ове тачке могу повезати у претпоставци о уништењу материје. Не сматрам, ипак, да је то поуздан закључак. Устручавам се чак да се позивам и на њену вероватност, јер је многе појединости доводе у приличну сумњу, и имам снажан утисак да постоји још нека основа коју превиђамо. Описао сам вам је само као пут што га тренутно следимо, и не знајући да ли је он прави или погрешни пут.

Волео бих да сам на крају ових предавања доспео до какве значајне тачке. Но можда је у већој сагласности са правим условима научног прогреса, што се завршавају скривеним погледом на таму која обележава границу нашег садањег знања. Не извињавам се због слаба завршетка, јер то и није завршетак. Желео бих чак да будете убеђени, како смо тек на почетку нових истраживања.

Четврто предавање

МАТЕРИЈА У МЕЂУЗВЕЗДАНУ ПРОСТОРУ

Хоћу да вам говорим о веома разређеном гасовитом облаку који испуњава простор међу звездама. Али, претходно треба да вас потсетим колико је огроман тај простор и како су усамљене звезде што се у њему налазе. И поред свога циновског стаса, оне су само сићушне оазе материје у пустоши празнине. Најбржи путници те пустиње су светлосни зраци. Њихово путовање од једне оазе до најближе друге — од најближе нам звезде па до Сунца — траје око четири године, док им за читаво пространство нашег сунчаног система треба само осам часова; њихово се путовање наставља затим за око шест година кроз пустињску празнину до следеће оазе, коју опет прелазе за неколико часова. Да би доспела са звезде на звезду претпоставља се да светлост иде цик-цак; разуме се, ако би наш путник, не обазирући се ни на шта, стално ишао у једном правцу кроз пустињу, могло би се уопште десити да не наиђе на оазе, једну за другом.

Међутим, простор што се налази међу звездама, а који сам ја назвао пустош празнине, није сасвим празан, и у њему се свуда примећују трагови материје. Има делова неба где се стварно примећује разређени облак што се распростире између звезда. Снимци на сликама 12. и 13. су два таква примера (1). На једноме од њих небуларна је материја сјајна — светли, веома fino испреплетани гасовити праменови. На другоме она је у облику тамна и страшна облака, који скрива све што се налази иза њега. Једино у неколико изузетних области она се види тако јасно; али је сад извесно

(1) Фотографије снимљене на Mount-Wilson Опсерваторији.

да такав исти, ма да разређени космички облак, постоји свуда. Привидни облаци са наших снимака су згушњавања те космичке магле — места где је материја понекад хиљаду или десет хиљада пута гушћа него обично. Ја ћу го-



Слика 12. Маглина у сазвежђу Лабуда.

ворити нарочито о тим обичним регионима, тј. о оним што су далеко од тих места згушњавања, и где, према томе, фотографије не дају никаква знака о присуству материје. Ту невидљиву материју називају у даљем: „међузвездани облак“ или „космички облак“. Он је свуда око нас, — наше Сунце и наша Земља налазе се у једној од нормалних области без згушњавања.

До пре шест година, отприлике, астрономи нису имали задовољавајућег доказа за постојање међузвездана облака,

а, међутим, о њему су говорили много пута за последњих четрдесет година. Сећате ли се одговора госта који се двоумио да ноћи у зачараној соби? — „Мислио сам, господине, да не верујете у духове. — Не верујем, али ме је страх“.



Слика 13. „Коњска глава“ у великој Орионовој маглини.

— Ево како је међузвездани облак походио астрономе. Несумњиво, мало их је веровало да он постоји, али су га се многи плашили. Астрономи би могли да израчунају стварни сјај звезда, али ако би били сигурни да оне нису замрачене каквом маглом испред себе. Они би могли извести занимљиве закључке из динамичких изучавања звезданих кретања, под условом само да та кретања не кочи некаква међузвездана отпорна средина. Они би могли да изграде прецизну теорију о еволуцији звезда, али ако звезде не пове-

ћавају потајно своју масу на рачун међузвездане материје која је распрострајена свуда око њих. Космички се облак тако јавља у облику некаква баука, који прети спокојству теорија што се брзо развијају о структури и механизму небеских тела. О њему се није расправљало као о предмету испитивања, већ као о предострожности о којој треба повести рачуна. Баук се сад уобличио, а настајући изгубио је највећи део свог застрашујућег карактера. Како је наше познавање космичког облака сад одређеније, налазимо да је он толико разређен, да не може бити озбиљна препрека у проблемима на које сам се горе осврнуо.

Претпостављам као сасвим невероватно, да је међузвездани простор потпуно празан. Верујемо да су звезде постале згушњавањем примитивне маглине која је обухватала цели наш звездани систем, па је природно да још постоје трагови почетне дифузне деобе. Природа се боји празнине, па треба очекивати, да се атоми одвајају од звезда и маглина и склањају у релативно празним просторима, као што се прашина скупља у одаји која се никад не чисти. Истина упливом се гравитације простор унеколико чисти — звезде привлаче к себи материју што их окружује, тако да њиховим померањем кроз простор бивају метене одаје налик на тунеле. Али су чистачи малобројни и сасвим недовољни с обзиром на простор који треба очистити, па се рачуна да би потпуно небеско чишћење трајало најмање 10.000 билиона година.

ДОКАЗИ НА ОСНОВУ ПОСМАТРАЊА

Прелазим одмах на непосредни доказ о постојању космичког облака. Добро је познато да при пролазу светлости кроз какав гас, атоми остављају у њој карактеристични отисак: спектар кроз призму пропуштене светлости показује извештај број финих тамних црта. Ове нас црте не обавештавају само о хемијском саставу гаса, већ и о његову кретању, — каквом се брзином приближава или удаљује од нас. Ако, на пример, посматрамо један од Сунчевих рубова, примећујемо отиске гаса који нам се приближава; други руб, напротив, показује отиске гаса који се удаљује. Појава приближавања једног, а удаљавања другог руба, означава да се Сунце обрће — што нам је познато већ из по-

сматрања померања Сунчевих пега. Али у спектру осим тога има и неколико тамних црта, које не одају никакву ротацију; оне су непроменљиве, па било да посматрамо источни, или западни руб Сунца. Очевидно, оне нису могле настати у обртној Сунчевој атмосфери, већ су се у светлост утиснуле приликом њена пролаза кроз какву гасовиту средину, која се испречила између Сунца и нашег телескопа. Изгледа да ће у томе бити некакво занимљиво откриће. Пронашли смо гас који се налази негде између Сунца и нашег телескопа, и који је непокретан у односу на нас. Ах! Наше је откриће закаснило; јер те потказивачке спектралне црте припадају кисеонику и азоту. Нешто заобилазним путем само смо препознали нашу сопствену атмосферу!

Међутим, примењен на звезде исти је метод дао значајније резултате. Ефекат је први пут био посматран код звезде δ Ориона, једне од трију звезда Орионова појаса. То је двојна звезда, састављена од двеју компоненти које се брзо обрћу једна око друге. Посматрањем спектра можемо да пратимо сјајнију компоненту при описивању њене путање: у току три дана она нам се приближава, затим у три следећа удаљава, онда поново приближава, па удаљује, и тако даље. Готово све тамне спектралне црте одају нам то кретање: померају се наизменице на десно и на лево, кадгод се промени смер кретања. Али постоје и две јаке, непомичне црте које припадају калцијуму. Порекло им је, очигледно, другачије од осталих. Оне су се у светлост утиснуле после њена одласка са звезде, а њихово нам присуство показује да између звезде и нашег телескопа постоји некаква средина. Но овога пута то није наша атмосфера, јер она не садржи калцијумову пару, а померање што га показују калцијумове црте свакако се разликује од померања у нашој атмосфери (1).

Ово откриће потиче из 1904 године, а од тада су непомичне калцијумове црте биле посматране у спектрима многих других звезда. Посматрана је такође, иако ређе, и непомична црта пореклом од натријума. Али је садашње тумачење било прихваћено већ неколико година пре тога; сма-

(1) Црте о којима је реч, иако непокретне, стварно су нешто померене и односу на положај што би га заузимале да су пореклом из наше атмосфере.

трало се, наиме, да ове непомичне црте производи космички облак, — тј. да нам се све звезде показују кроз рећи или гушћи међузвездани облак, тако да њихова светлост не носи само обележја њихових сопствених атома, већ и ознаке атома облака кроз који је прошла. Из данас несхватљивих разлога владало је мишљење, да калцијум и натријум образују некакав дифузни хало, који обавија целу двојну звезду. У унутрашњости тога халоа обе се компоненте наизменице померају у једном и другом смеру, боље речено, спектралне црте показују кружење путањом; али, калцијумове и натријумове црте што припадају халоу, не учествују ни најмање у томе кружењу. Теорија се могла подврћи испитивању; стварно, ако калцијумски омотач не учествује у кретању обавијене звезде тамо-амо, његово кретање, посматрано у току дугог временског периода, треба ипак да се слаже са кретањем звезде, иначе би неизбежно постојало постепено раздвајање звезде и њена хипотетичка омотача.

Веома исцрпним истраживањем што га је 1923 године извршио Др. Plaskett на телескопу британске Колумбије 1,80 м пречника (највећи телескоп британског царства, а други на свету са гледишта његове моћи), све су сумње биле отклоњене. Посматрањем неких четрдесет звезда, чији је спектар показивао те непомичне црте, он је нашао знатне (често веома велике) разлике између средње брзине звезде и брзине калцијума. У складу са до тада усвојеним тумачењем, то је значило да звезде остављају за собом свој хало. Сасвим очигледно, из тога је произашло: да средина, чије су нам присуство одавале непомичне црте, никако није везана за звезде. Исто толико значајна чињеница је, што калцијум, и поред сопствених кретања звезда, од којих су нека брза, а друга спора, готово увек остаје у миру у простору, — у миру, али не у односу на Сунчев систем, јер и Сунце као и остале звезде има своје сопствено кретање, већ у односу на основнији еталон непокретности, образован „средњом вредности звезда“. Чињеница да калцијум у различитим регионима неба показује само релативно слабо или никакво кретање, наводи нас веома на то, да он мора образовати један исти непрекидни облак.

Ово би, једном речи, био посматрачки доказ који нас је навео на мисао о скоро непомичном материјалном облаку,

што испуњава читави наш систем, и у чијем се окриљу звезде котрљају у свима правцима. Светлост полази са неке удаљене звезде и путујући према нама преваљује 300.000 километара у секунди. Она иде непрестано у истом правцу током многих година; тек с времена на време сусретне или наиђе на ретке атоме космичког облака. Она лута око две хиљаде година пре него што доспе до Земље. Ту и тамо опљачка је какав калцијумов или натријумов атом. Светлост најзад доспева до нас, без саставних делова које су јој при сусрету одузели атоми, показујући, дакле, у своје спектру тамне празнине, које су астрономима означиле пут.

Што је дужи пут светлости, то је већа опљачка коју она претрпи. Отуда јачина (степен црнила) непомичних калцијумових црта треба да буде мерило удаљења звезда. У томе се састојао други доказ што га је требало испитати. Извео га је у потпуности Др. Otto Struve, нашавши да јачина знатно расте са даљином. Но дебљина облака, кад је звезда на мање од 500 светлосних година, уопште није довољна да остави приметне трагове. То је главни разлог што се непомичне калцијумове црте прилично ретко сусрећу; већина звезда, довољно приметних за детаљније изучавање, одвише су близу да би их показале. Али, стварно сјајне звезде, које се могу приметити веома далеко у простору, на даљинама, на пример, између 1.000 и 20.000 светлосних година, показују апсорпцију што потиче од калцијума у облаку, те се налази да најинтензивније црте одговарају и највећим даљинама. Постоји чак и извесна нада, да ће нам облак пружити ново сретство за мерење звезданих даљина; јер црnilo пруга означава дебљину међу-облака, па, према томе, и колико је удаљена посматрана звезда. Не треба, међутим, очекивати неко сувише велико поклапање, јер облак не мора да има равномерну густину; маглине су, на пример, области јаке кондензације. Стварно, био сам нешто мало изненађен, готово неспокојан, што видим толико изразиту корелацију између јачине и даљине.

Један нарочити пример те корелације начиниће, свакако, већи утисак него општа потврда статистичког реда. Пре 18 година примећено је да се звезде високе температуре (великог апсолутног сјаја) које припадају сазвезђу Персеја, или њему блиским, према својим привидним кретањима деле

у две сасвим различите групе. У првом је реду јато, чије се све звезде померају на један исти начин брзином која зависи од класе звезда; друге показују тек слаба или никаква сопствена кретања и образују далеки задњи ред. Ове нам околности пружају изврсну потврду, јер посматрајући једновремено предњи и задњи ред ми гледамо кроз космички облак у истоме правцу, па смо према томе мање изложени грешци услед неравномерности његове густине. Непомичне су црте калцијума, наине, много интензивније код звезда задњег реда, него код оних из првог — што стварно и треба да буде.

А зашто калцијума и натријума? Претпоставимо за тренутак да космички облак није образован потпуно или бар највећим делом од тих двају елемената. Могли би тада очекивати да у њему нађемо све обичне елементе, готово у истој сразмери као и на Земљи. Сви су елементи ту, али су једино калцијум и натријум у витрини. Иако можемо сакупити многа обавештења о хемији небеских тела, треба се сетити да у астрономији немамо исте предности као хемичар који анализира у лабораторијуму. Ако у каквој проби жели да испита присуство некаквог нарочитог елемента, он ће се побринути да оствари температурне и проузрокујуће услове који одговарају извођењу спектра траженог елемента. У астрономији се, међутим, морају усвојити нађени услови, па ако они нису погодни за развијање спектра неког елемента, он се при испитивању неће ни јавити. Ако погледамо списак елемената, брзо ћемо се уверити да су калцијум и натријум једини довољно обилати елементи, који при условима оствареним у међузвездану простору, могу дати приметан спектар. Космички се облак није случајно одао трима нарочитим спектралним цртама; материја, која има исти састав као и Земља, при условима што владају у окриљу дифузног облака, може да покаже једино те, а не друге црте. Астронома највише онемогућује то, што се сви небески спектри нагло заустављају код таласне дужине 3.000 — код тачке, за коју би лабораторијски физичар, претпотављам, рекао, да баш она претставља почетак занимљивог и поучног дела спектра. Узрок је тој несрећи слој озона у високим областима наше атмосфере. Познато је да Heaviside-ов слој спречава дугим радио-таласима излаз из наше атмосфере; сасвим слично (само за велики број октава више у

размери таласних дужина), озонов слој спречава продирање у њу кратких ултра-љубичастих таласа што су их емитовале (пустиле) звезде. Астрономи су у истом положају као слушалац који хоће да прати какав музички комад, помоћу звучника што даје само ниске тонове; ми губимо све високе гласове песме звезданих атома. Што се тиче натријума и калцијума, они имају дубоке гласове који им омогућују да се чују.

ГУСТИНА КОСМИЧКОГ ОБЛАКА

Осврнимо се сада на разматрања која нису толико подложна посматрањима. Покушајмо да добијемо идеју о густини космичког облака. Чињенице различите природе показују како он треба да буде веома разређен — могло би се рећи, несхватљиве финоће. Једна од потврда почива на Einstein-овој теорији. Димензије су глоба, изграђена од материје одређене густине, ограничене. Глоб воде, на пример, не може да буде већег пречника од 650.000.000 километара. Било би боље да објасним зашто. Али је незгода објашњења у томе, што оно изазива више питања, него што даје одговора; не бих се, дакле, изненадио ако би сте нашли да је моје објашњење неразумљивије од претходног тврђења. Ма како да изгледа чудно, оно ипак одговара простом теоријском рачуну. Према Einstein-овом закону гравитације, материја проузрокује кривину околног простора. Отуда, ако покушате да сувише материје спојите уједно, простор што га обухвата биће око ње прилично савијен. То исто наступа и код огромног воденог глоба; кад му пречник буде 650.000.000 километара, простор је око њега јако затворен. Његове се димензије даље неће моћи да повећавају, јер нема више места за још воде. Цели је простор сферна облика; ван њега је: *ништа*. Схватити га само је губљење времена, јер наш дух није довољно способан за то; сигурно је једино, да је стварно тако. Од материје слабије густине може се изградити много већи глоб; очигледно је тада, да космички гас треба да буде веома мале густине, како би образовао бар толики глоб, који би обухватио целокупни звездани систем што га он по претпоставци испуњава. Овај услов захтева да густина буде мања од 10⁻¹⁸, тј. милион милиона милионити део густине воде.

Ако се узму у обзир подаци посматрања што се односе на звездане брзине, налази се још нижа граница. Што је више гравитационе материје у звезданом систему, тим ће веће бити привлачне силе које делују на звезде; исто тако биће већа и средња вредност звезданих брзина. Овај нас критериј наводи на претпоставку, да густина космичког облака не може никако прећи 10⁻²³,

Постоје и више границе, али број што смо га дали вероватно није много далеко од стварне густине. Тачну вредност добивамо на основу чињенице, да се посматране маглине, које су његова згуснута места, треба неосетно да стопе са општим космичким облаком. Рачун зависи од температуре облака (температуре која се одређује методом што ћу га изложити нешто даље) и од средњег растојања тих згушњавања — маглина; резултат нам изгледа разложно достојан поверења, јер није одвише окрњен неизвесношћу наших података. Резултат је близак вредности 10⁻²⁴, тј., друкчије речено, густина космичког облака износи један квадрилонити део густине воде.

Услед огромног пространства, и поред своје крајње разређености, космички облак сачињава озбиљан додаток маси Васионе. Укупна је маса облака скоро половина масе звезда скупа. А то значи, да су скоро две трећине целокупне васионске материје згуснуте у облику звезда, док је остали део растурен у простору. Теорија згушњавања првобитне маглине стварно потврђује вероватност те пропорције.

Још више ћемо се зачудити, ако нађену густину изразимо бројем атома; густина 10⁻²⁴ значи да у простору има готово један атом на кубни сантиметар. Тешко је схватити, мислим, да су чак и у најдубљој усамљености међузвездана облака, далеко од сваке материјалне оазе, атоми расути на једва пар сантиметара једни од других. Желео сам да вас убедим у необичну разређеност облака, али је вероватније да ће моја последња реченица оставити на вас сасвим супротан утисак, тј. утисак атомског роја, сличног облаку мушица. Слика је доста тачна, али се треба сетити да је атом најзначајнија количина материје што постоји. Замислите да сте у шољи пуној течности обележили у циљу препознавања све атоме што се у њој налазе, да сте затим течност просули у море и сачекали да се њени атоми равномерно поделе на све океане што прекривају Земљу. Напуните ли по-

сле тога своју шољу морском водом ма са којег места, утврдићете да она садржи само неких дванаестак обележених атома. Макбетови стихови:

Може ли сав океан великог Нептуна опрати ову крв,
Уклонити је са моје руке? Не, јер ће она пре,
Својом румени обојити небројена мора;
дословно су тачни.

Потребно је да се колут дима из ваше луле разиђе и испуни коцку петнаест километара дужине, ширине и висине, па да му густина буде једнака густини међузвездана облака. Део космичка облака Земљине величине могао би се стрпати у ручни ковчег и без по муке носити једном руком. Атоми се облака насумице ваљају напред, играјући неку врсту скривалица — жмура; али, због своје сићушности, веома ретко налете један на другога. Просечно, атом путује по годину дана, пре него што наиђе на какав други, а за то време превали раздаљину од Сунца до Земље. Али, у облаку има осим тога и слободних електрона, који јуре за авантурама; судари се са њима дешавају отприлике сваких пет дана; но, електрони су безначајне масе, па не изазивају осетне поремећеје у атомову трку.

ТЕМПЕРАТУРА ОБЛАКА

Најпарадоксалнија је ствар код космичког облака то, што је он у суштини топао. Често чујемо да се говори о необичној хладноћи међузвездана простора. То није претерано. Далеко од Сунца и околине му, температура ма којег чврстог или течног тела спушта се на —270°С, тј. само на три степена изнад апсолутне нуле. Такву би температуру показивао термометар, такав је степен хладноће што би га осетило човечије тело, ако би се при таквим условима осетљивост уопште још могла замислити. Али, дифузни облак, и због своје дифузне природе, успева да при истим условима очува своју топлоту.

Пролазећи простором наилази се на извесну количину топлоте што су је отпустиле звезде. Данас су апарати за мерење топлоте толико осетљиви, да се без икакве тешкоће може запазити топлота што нам доспева са Сиријуса или Арктура, или чак и са звезда много слабија сјаја. Све звезде скупа (изузев Сунца, разуме се) шаљу нам исто толико топлоте, као свећа стотину метара далеко од нас. Да ли ћете ово сматрати као малу количину, не знам; мени се чини не-

очекивано великом, кад помислим на неизмерне даљине звезда што нам је шаљу. Али, без обзира на то, очигледно је да таква количина топлоте ни у колико не може ублажити горњу хладноћу; замислите ли да се налазите у простору ван нашег сунчаног система и да вас греје само једна свећа са 100 метара даљине, без муке ћете схватити зашто је тамо толико ледено. Разумљиво, ако би тело могло нагомилавати енергију што је сваке минуте прима од свеће, оно би се на крају и могло загрејати; међутим, материја је у чврстом стању тако изграђена, да необично брзо расипа своју топлоту — да поново зрачи, — а кад доспе на 3° апсолутне температуре, губитак је толико брз, да сасвим неутралише добит.

Разлог због кога космички гас доспева до више температуре је у томе, што он пре може да прими топлоту, него да је изгуби. Топлота је кинетичка енергија атома и молекула материје који се крећу у свима правцима. А енергија се кретања може изгубити само у тренутцима њихових судара, и тада бива далеко отпуштена. У чврстој се материји атоми готово непрестано сударају; но и у гасу са обичном, земаљском густини, у свакој секунди атоми претрпе милионе удараца. Али у космичком облаку, где се судари дешавају отприлике једанпут годишње, овакав је начин губљења енергије практично неизводљив.

Међутим, тајна високе облакове температуре није само у томе. Искључивање могућности судара је стварно околност, због које нам је у објашњењу затворен пут са обеју страна. Процеси услед којих неко тело губи топлоту увек су тесно везани за оне, због којих је оно и прима; узрок расипању топлоте тела у чврстој стању, судари су у исто време и корисни, јер јој омогућују да упија топлоту што је потекла од звезда.

Ако се замисли да се на 100 метара од неке свеће налазе чврсти метеорит и делић космичког облака, па желе да се загреју, очевидно је тешко рећи, који ће од њих двају пре у томе успети. Метеорит упија сву топлоту што одозго на њ падне, али је одмах и распе; дифузни облак би је потпуно сачувао, али нема потребни уређај који би му омогућио да је ухвати: за највећи део топлоте он је стварно прозрачан. Преимућства и незгоде се изједначају ако и метеорит, и облак доспеју до исте температуре од 3° изнад апсолутне нуле, но ипак уз једно ограничење. Кад би се могао неометано развити, један би процес повећао температуру до вред-

ности блиске површинској температури највредијих звезда. Њега обично пригушују много брже измене топлоте што се дешавају приликом атомских судара. Напротив, у космичком облаку, где су судари готово занемарљиви, он може да преовлада и преузме старање о температури.

Високу температуру космичког облака проузрокује процес јонизације, тј. процес откидања неколико спољних атомских електрона. Пратимо атом на његову путу кроз међузвездани простор. Највећим делом времена он се мирно креће, не базирајући се на отпуштене звездане светлосне и топлотне таласе што их сусреће, или који га сустижу. С времена на време само — вероватно једанпут у месец дана — атом сурово шчепа таласе, који су га свакако погодили на какво осетљивије место, и прождере један део њихове енергије. Познато је да атом при томе може узети само одређени комад енергије, звани *квантум* — хоћу да кажем, одређен за таласе извесне, опредељене фреквенције. Квантум је пропорционалан фреквенцији, тако да је, на пример, квантум плаве светлости крупнији комад енергије, него квантум црвене. Слушаоцима радија, који свакако умеју да прозру тајну килоцикла, може се пружити приснија слика, кад се каже да је квантум електричних таласа емисионе станице 2LO крупнији од квантума таласа што их емитује 5XX, јер 2LO искоришћује много већу фреквенцију.

Међузвездани простор је испресецан таласима различите фреквенције. Ако атом узме квантум умерено ниске учестности (фреквенције), његова се енергија може доста лако сачувати. У овоме случају не наступа ништа нарочито: атом задржи енергију један делић милионита дела секунде, а затим је поново одбаци у етер. Напротив, други пут, атом зграби и упије квантум високе фреквенције, који је за њ сувише крупан, услед чега наступа експлозија. Атом се распрсне и један од његових ободних (периферних) електрона умакне од осталих са вишком енергије, који се није могао сместити у атомовој унутрашњости. Слободни електрон бежи све даље и даље напред, очешавши се с времена на време о атоме, расуте дуж његова пута. После просечно вишемесечна живота, он пада у клопку некаква другог атома (који нема све своје електроне), слобода и трк му завршавају се.

Тако се у космичком облаку непрекидно ствара и стално апсорбује (упија) електронски гас. Треба истаћи да он настаје при високој температури, као последица велике жести-

не којом атоми избацују електроне. Ако ма какав узрок тежи да одузме топлоту слободних електрона, изгледни су му за успех ограничени, јер електроне, који претрпе такав губитак, атоми стално каптирају (грабе), а њихово место заузимају други, ново одбачени електрони. Ако је космички гас у почетку хладан, електрони покушавају да му температуру повисе на своју, док атоми, са своје стране, теже да електронски гас сведу на своју температуру. Но, у томе су натицању победници електрони, јер стално налазе нове количине топлоте, док атоми, видели смо већ, лишени својих обичних сретстава, остају хладни, јер су судари веома ретки.

Карактеристика је овога процеса, да загревање ни најмање не зависи од даљине извора. Нарочито је експериментално својство светлости (или електромагнетских таласа) то, што она проузрокује атомске експлозије исте јачине, ма како била ослабљена због даљине. Свака експлозија одговара једном квантуму енергије — количини која зависи од боје или фреквенције светлости, а не од њене јачине. Ако је светлост ослабљена, не опада жестина експлозија, већ само њихов број. Зато се електронски гас јавља на истој температури и у дубинама простора, и у непосредној близини звезда. Температура космичког гаса је, дакле, блиска температури што влада на површини звезда. Треба осим тога додати, да у одређивању температуре облака главну реч имају најтоплије звезде. У непосредној близини Сунца облак је изузетно хладан, јер Сунце и није нека од веома врелих звезда; његови зраци производе мноштво слабих експлозија, плавећи околну средину релативно спорим електронима. Чудновато је што сунчани зраци, који предају топлоту чврстој материји, продиру кроз дифузну материју космичког облака као какав ледени ветар.

ДОКАЗИ ТЕОРИЈЕ

Изложимо укратко до сада утврђене резултате. Пошли смо од непосредна доказа, заснована на посматрању међузвездана гаса, одговорна за присуство калцијумових и натријумових црта у спектрима далеких звезда, и нашли да се те црте не могу приписати самим звездама. Приступили смо, затим, проблему на други начин и закључили, благодарећи једном потпуно независном теоријском аргументу, како нормална густина међузвездане материје треба да буде: један атом, отприлике, на кубни сантиметар, док јој је температура

око 15.000°. Остаје да се та два гледишта повежу, а нарочито, да се испита: да ли су природа и интензитет посматраних калцијумових и натријумових црта онакви, као што би се очекивало код црта које такав облак производи. А та веза захтева да испитамо стање калцијумових атома у облаку. Показао сам да атоми стално одбацују слободне електроне, па иако се њихово кружење неизбежно завршава каптуром, извесан њихов број је увек на одмору. Колики је обично број отсутних? Како је калцијум двовалентан елемент, он у своје саставу има два електрона који су за њ везани лабавије од осталих. Може се сматрати, да су под међузвезданим условима, та два електрона уопште отсутна.

Но калцијумов атом без два електрона не показује приметну апсорпцију. Посматрање његова спектра, који је померен далеко у ултра-љубичасти део, спречава озонски слој наше атмосфере. Отуда највећи број облакових калцијумових атома не може учествовати у произвођењу непомичних калцијумових црта. Али, на 800 калцијумових атома долази и један са само једним електроном мање. Непомичне црте што их запажамо, потичу од ових атома. Потпуни су калцијумови атоми у облаку веома ретки, отприлике један на педесет милиона. Тиме је сасвим објашњено, зашто у спектру облака не примећујемо црте које потичу од потпуна калцијума.

Калцијум је уопште веома распрострањен елемент и образује нешто више од 1% целокупне Земљине масе. Ако претпоставимо да се он у истој сразмери тј. као 1% налази и у облаку, и да само 1/800 део калцијума активно учествује у примећеној апсорпцији, налазимо да ће на кубни метар међузвездана простора доћи само један активни атом калцијума. Тако долазимо до доказа. Посматрајући некакву звезду, ми је видимо кроз заклон који садржи један активни атом по кубном метру, и чија је дебљина једнака удаљењу звезде, на пример 1.000 светлосних година. Колика је апсорпција коју такав заклон може да произведе? Садања физичка теорија атома верује да може одговорити на то питање, предвиђајући сасвим одређен интензитет тамних спектралних црта. Посматрањем звезда за које знамо да су далеко око 1.000 светлосних година, у могућности смо да проверимо вредност тога предвиђања. Испит је строг, јер је тешко оценити густину и степен јонизације, па се не бисмо ни мало изненадили, ако би наша оцењивања била за 10 или више пута

несигурна; но, срећом, подударање између предвиђања и посматрања је много боље, готово онако као што би се желело.

Тешко објашњива отступања код натријумових црта, међутим, умањују нам нешто успех са калцијумом. У поређењу са калцијумом, посматране натријумове црте су много интензивније него што би се очекивало, па се готово не може одупрети утиску, да у космичком облаку има релативно више натријума, него калцијума. А то је, можда, отуда, што је натријум простији елеменат од калцијума, и што развој од простијих ка сложенијим облицима материје није могао много напредовати под првобитним условима у међузвезданом облаку. Али, то је сасвим друга ствар, а ја уопште немам намеру да вас наведем, да резултате о којима сам говорио, сматрате за коначне. Циљ ми је више био да вам покажем врсту пута којим се служи научно испитивање за постигнуће прогреса, корист што се може извући из једва приметних стаза, као и линије заобилазног напада, обруч који се стеже, да би дао јасну идеју о стању и саставу космичког облака.

ПРИРАШТАЈИ ЗВЕЗДАНЕ МАТЕРИЈЕ

Напредујући кроз космички облак, звезда треба гравитационим привлачењем да скупља честице што их наилази на своје путу и у својој непосредној близини. Питање је само, да ли из тога проистиче за њу какво значајније повећање. Ако наступа, наше теорије звездане еволуције треба да претрпе велике измене, јер ће, услед постепена повећања масе, а с обзиром на потпуно утврђени однос између масе и сјаја, звезде бивати све сјајније и сјајније. На супрот овог повећања треба да поставимо листу свих губитака масе. Превазишав све остале, на првоме је месту губитак масе услед зрачења, јер светлост и топлота што их звезда одаје имају масу; емисија, дакле, проузрокује споро, али непрестано испаравање звездине масе. Ако тај губитак надмаши оно што је добивено, еволуција ће ићи обрнутим правцем: звезде ће током времена имати све мању и мању масу, и сијаће све слабије и слабије.

Обично губитак масе услед зрачења јако превазилази прираштај на рачун космичког облака. Космички је облак сувише разређен, да би могао обрнути ток еволуције, а уколико се и радило о томе проблему, дискусија је уништила страшило које је, изгледа, могло претити безбедности при-

хваћених закључака. Па ипак треба погледати изблиза случај звезда, чији изузетни положај повлачи за собом изванредно велико повећање. Највећи су изгледи да се наиђе на такве звезде, очигледно, у најгушћим деловима облака, тј. у оним згушњавањима што нам се указују у виду маглина. Осим тога, најзначајнији прираштај имаће оне звезде, које у односу на маглине буду готово сасвим у миру, јер: „Маховина не приања за камен који се рони.“ Ако звезда жели да привуче к себи материју са велике даљине, природно би било да сачека њен долазак; није довољно да је само повуче, па затим откочи далеко у какав други део Васионе, и не сачекавши њен одговор. Верујем да много зависи и од тога, да ли је брзина звезде мања или не од брзине звука. Изгледа, можда, чудно што се у маглини говори о брзини звука; али, ако се таласи згушњавања и ширења распростиру, уобичајени се израз може с правом употребити. Звезде које се стално задрже у окриљу маглина, описиваће под упливом привлачности небуларне материје своје путање, а, уколико се не би удаљиле од средишта маглине, може се покзати да им је брзина на путањи мања од брзине звука. Звезде које се налазе у пределима средишта какве маглине, биће, дакле, у изузетно повољним околностима за сакупљање космичке материје и вероватно је да ће, бар код најситнијих звезда, резултујуће повећање масе надмашити губитке услед зрачења. Такве ће звезде имати, дакле, растућу масу, на супрот обичном еволутивном реду. Али, ако се маса повећава, и губитци због зрачења бивају све већи и већи, па се може претпоставити да ће се повећавање звезде зауставити, кад њена маса достигне вредност која ће потпуно изједначити добитке са губитцима. Увиђам да је то сасвим хипотетичка спекулација, па се нећу много за њу залагати. Но, ипак, можда је значајно што су нам посматрања указала на једну класу веома масивних звезда, са необично slabим брзинама, као и то да су оне нарочито честе у сјајним маглинама. А то наводи на мисао, да су оне могле повећати, или бар сачувати своју значајну масу на рачун космичког облака.

Већ је више од једног столећа, како су велики телескопи Sir William Herschel-а почели да нам откривају величину маглина и да се играју са нашим чуђењем. Вероватно су та открића и инспирисала ове Keats-ове стихове:

Кад на озвездану лицу ноћи видим,
Неизмерне и магличасте знаке грандиозна романа,

Осетим да никад нећу толико живети да схватим,
Њихове тајанствене сени, вођене чаробном руком случаја.

Утврђено је да су некоје од ових маглина васионска - острва, образована од миријада звезда што их видимо кроз бездан и простора, и времена, јер је светлост, која нам сад прича њихову историју, путовала милионима година, пре него што је доспела до нас. За друге се сазнало да су огромна гасовита поља, разасртра у окриљу нашег звезданог система. Потстакнуте зрачењем звезда што се у њима налазе, те области сјаје светлошћу која се никако није могла произвести на земљи, но за коју ипак знамо да је зрачење што га отпуштају кисеоникови и азотови атоми — баш као обичан ваздух — претрпевши бомбардовања и сударе из наших земаљских огледа, и загнутив се нагло у самоћу простора. Нисмо рачунали са тим тумачењем романа. Али смо прозрели тајанствене сени, fine и тамне црте које прекривају спектар звезда, посматраних кроз небуларни вео. Путем тога увидели смо, да се маглине распростиру далеко изван својих привидних граница и стапају у суптилну маглу која испуњава целокупно наше васионско - острво. У мислима видимо како атоми као рој мушица врве оним, што је некада сматрано за потпуно празни простор. И док тако посматрамо, пада нам на ум мисао, да је тај облак неискоришћени остатак хаоса првих часова, из кога су, дотерани руком Времена, потекли: звезде, Сунце, Земља, жива бића и сва материја којом смо данас окружени.

ДОДАТАК А

Напомене о Сиријусову пратиоцу.

Желео сам да причу о Сиријусову пратиоцу не компликујем техничким појединоцима; но, ипак, неколико допунских објашњења добро ће доћи радозналим читаоцима који би хтели да о тој реткој звезди сазнају нешто више. У могућности сам, осим тога, да „детективској причи“ додам једну нову чињеницу, која је тек сад објављена; ухода је овога пута био M. R. H. Fowler.

Звезда је између 8. и 9-те величине; она, дакле, није превише слаба: тешко се види једино због заслепљујуће светлости њена суседа. У повољним тренутцима, међутим, она се може лако приметити и у дурбину од 20 см. Време њена оптицања (револуције) је 49 година.

Растојање између Сиријуса и његова пратиоца готово је једнако даљини Урана од Сунца, тј. око двадесет пута веће него што је растојање Земља—Сунце. Могло би се помислити да је пратиочева светлост у ствари одбивено Сиријусово светло. Тако би се објаснила њена бела боја, али не и спектар, који се осетно разликује од Сиријусова. Да би одбио (рефлектовао) само 1/10.000 део Сиријусове светлости — што би одговарало његовом стварном сјају — пратилац би требало да има у пречнику 118 милиона километара. Његов би котур тада био 0",3 привидна пречника, па је лако увидети да би, и поред веома неповољних услова, тешко могао измаћи посматрањима. Али, највећа је замерка претпоставки о одбивеном светлу то, што се она може применити само на ову звезду. Друге две звезде, за које се утврдило да су бели патуљци, немају сјајну звезду у својој непосредној близини, тако да им сјај не може потицати од одбивене светлости. Зато и није потребно да се за једно од тих ретких тела тражи неко напорно решење, које стварно не би одговарало осталим двама.

За потврду велике густине обраћамо се Einstein-ову ефекту, који се састоји у повећању таласне дужине и одговарајућем опадању фреквенције (броја трептаја) светлости, што их проузрокује јако гравитационо поље, кроз које зраци треба да прођу. Тамне спектралне црте јављају се, дакле, на већим таласним дужинама, тј. померене су према црвеноме делу спектра у односу на одговарајуће земаљске црте. Ефекат се може извести: било из релативистичке теорије гравитације, или из теорије кванта; онима, који унеколико познају последњу теорију, следеће образложење ће, несумњиво, бити простије. Звездани атом емитује исти квантум енергије $h\nu$ као и земаљски, али се од његове енергије мора утрошити један део за ослобађање од звездане привлачности; енергија је ослобађања једнака маси $h\nu/c^2$, умноженој гравитационим потенцијалом Φ на површини звезде. Према томе, енергија се после ослобађања своди на $h\nu(1 - \Phi/c^2)$; а како она опет треба да образује један квант $h\nu'$, фреквенција се мења у $\nu' = \nu(1 - \Phi/c^2)$. Померање $\nu' - \nu$ је, дакле, пропорционално са Φ , тј. количнику масе и полупречника звезде.

Овај је спектрални ефекат сличан Doppler-ову ефекту услед брзине узмицања, па се, према томе, може издвојити једино ако нам је по-

зната брзина звезде у визирном правцу. Код двојних звезда та се брзина одређује посматрањем једне од компонената система, тако да је део, који се приписује Doppler-ову ефекту, познат. Услед кружења путањом, брзине се Сиријуса и његова пратиоца разликују сада за 4,3 км/сек, и о томе је вођено рачуна; посматрана разлика у полојима спектралних црта Сиријуса и његова пратиоца одговара брзини од 23 км/сек, од којих се 4 км/сек приписују кружењу путањом; осталих 19 км/сек треба да се сматрају као последица Einstein-ова ефекта. Овај се резултат заснива само на релативним мерењима спектралне црте H γ . Остале погодне црте се налазе у плавоме делу спектра, а како атмосферско расипање расте према плавоме, дифузовано Сиријусово светло има прилично уплива. Но, ипак, те црте дају у извесној мери корисну потврду.

Међу белим патуљцима O $_2$ у сазвежђу Еридана је двојна звезда, чији је пратилац црвени патуљак, много слабији од ње. Померање према црвеноме делу спектра мање је него код Сиријусова пратиоца, па се не би могло лако издвојити од различитих извора могућих грешака. Перспектива ипак није обеспокојавајућа. Други познати бели патуљак је неименована звезда коју је открио Van Maanen; она је усамљена звезда, те се Einstein-ов ефекат не може разликовати од Doppler-ова. Наслућује се да су и многе друге звезде у овоме стању, а међу овима Прокионов пратилац, звезда 85 у сазвежђу Пегаза и Мира-Цети (звезда O у сазвежђу Кита).

Да је Сиријусов пратилац образован од идеална гаса, његова би средишна температура износила око 1.000.000.000 $^{\circ}$, а централни би део звезде био милион пута гушћи од воде. Али је мало вероватно да би се при таквим условима још могло говорити о идеалну гасу. У сваком случају јасно је, да густина постепено опада уколико се од средишта приближава површини звезде, и да су области што их посматрамо сасвим нормалне. Густа се материја налази под високим унутарњим притиском. Но, најчудноватије је, можда, то, што се развоји Сиријуса и његова пратиоца необично разликују, иако би требало да постоје од истога тренутка. Према зрачењу масе Сиријус треба да буде млађи од билион година; ма како била велика, почетна маса, која би зрачила већ билион година, постала би до данас мања него што је садашња Сиријусова маса. Али, у еволуцији мале звезде, чије је зрачење много спорије, такав је период незнатан, па се отуда тешко види, зашто је Сиријусов пратилац већ напустио главни низ и доспео до онога, што је — вероватно — последњи стадиј. Ова појава спада међу остале тешкоће проблема звездане еволуције, па сам убеђен да постоји још каква значајна ствар, коју тек треба открити.

До скоро још, мислио сам да у коначној судби белих патуљака лежи озбиљна (или, ако хоћете, смешна) тешкоћа. Њихова је велика густина могућа само уз разбијање атома, које, опет, зависи од високе температуре. Не сме се, изгледа, претпоставити, да материја може остати у тако збивеном стању ако температура опада. Унапред се може предвидети тренутак потпуна исцрпљења залихе интра-атомске енергије, тренутак, кад неће бити ничега што би могло одржати високу температуру; хладећи се, материја ће се тада вратити обичној густини чврстих тела на Земљи. Звезда ће се због тога ширити, а да би доспела до хиљаду пута мање густине, њен полупречник треба да се повећа десетоструко. Да би савладала гравитацију, материји је потребна енергија. Откуда јој она? У окриљу обичне звезде нема довољно топлотне енергије, која би јој омогућила да се толико рашири, а тешко је претпоставити толику обзирност белих патуљака, да су припремили нарочиту залиху енергије, одређену за то далеко време. Тако се звезда може наћи у тешкој ситуацији: стално да губи топлоту, али да нема довољно енергије за хлађење.

Да би се ублажила ова тешкоћа, постоји једно решење; оно је слично поступку писца, који се из веома заплетене ситуације у своме роману извлачи на тај начин, што све личности у њему редом поубија. Могли бисмо претпоставити да ослобођење унутарње атомске енергије траје све док сва маса не буде расута, — или бар, док звезда не изађе из

стања белог патуљка. Али се то једва дотиче тешкоће; теорија треба увек да се чува немогућих ситуација, а не да се ослања на нарочите особине материје, како би стварне звезде удаљила из нереда.

Нова испитивања R. H. Fowler-а отклонила су, изгледа, потпуно тешкоћу. Он је закључио, иако се то не би ни мало очекивало, да густа материја Сиријусова пратиоца располаже великим залихама енергије за своје ширење. Занимљиво је, да се то решење заснива на некојим од најновијих развоја теорије кванта — на Einstein-ову и Bose-ову „нову статистику“, и на Schrödinger-ову ондулаторну механику. Необична је подударност, да су готово у време кад је та материја огромне густине привукла пажњу астронома, физичари баш развијали нову теорију у вези са великим густинама. Према тој теорији, материја има извесна ондулаторна својства, која се једва запајају при земаљским густинама, али која су веома значајна кад су густине личне густини Сиријусова пратиоца. Fowler је решио тешкоћу баш расматрањем тих особина; класичној теорији материје оне су потпуно непознате. Бели патуљци постају тако изврсно ловиште најбунтовнијих развоја теоријске физике.

Да бисмо дошли до извесне идеје о новој теорији густе материје, вратимо се фотографији Balmer-ова низа (сл. 9). Она нам показује светлост што су је емитовали многобројни водоникови атоми у свима могућим стањима, све до бр. 30, природно у сразмери каква се наилази у Сунчевој хромосфери. Електромагнетска теорија старог стаила претпостављала је да електрони, који се крећу криволинијским путањама, одају непрекидну светлост; а стара статистичка теорија предвиђала је релативно изобиље путања различитих величина, тако да се могла израчунати расподела светлосне јачине дуж континуалног спектра. Али су та предвиђања погрешна и не дају расподелу светлости што је показује фотографија; **но она бивају тачнија уколико се приближавамо глави низа.** Крајње се црте низа тискају једне уз друге и убрзо постају толико блиске, да се практично више не могу разликовати од континуалне светлости. Зато је класично предвиђање непрекидна спектра приближно и тачно; но, једновремено, истини се приближава и класично предвиђање у вези са његовом јачином. Према чувеноме Bohr-овом „принципу кореспонденције“, нови се закони кванта стапају са старим, класичним законима код стања веома високог ранга. Ако се разматрају само она, свеједно је да ли се зрачење или статистике одређују према старим, или на основу нових закона.

У стањима високог реда, електрон се највећим делом времена налази далеко од језгра. Стална близина језгра одаје стање нискога броја. Не треба ли, зато, очекивати, да ће стална близина честица у необично густој материји, изазивати карактеристичне појаве стања ниских вредности? Нема никаква стварна прекида у организацији атома и организацији звезде; везе, које међусобно спајају основне атомове честице, везују такође и најпространије групе честица, а, можда, и целокупну звезду. И доклегод те везе имају високи квантни број, старо схватање, које приказује међусобна дејства као силе на класичан начин, и коме су непозната „стања“, није далеко од истине. Но, за веома велике густине, оно нема никаква смисла, те не смемо даље да размишљамо са силама, брзинама и расподелом независних честица, већ са стањима.

Дејство слома класичног схватања може се боље уочити, ако се пређе непосредно на коначну границу, где звезда постаје једноставни систем или молекула у стању бр. 1. Као и ексцитовани атом, који постепено слаби због испрекиданих скокова, сличних онима што дају Balmer-ов низ, и звезда ће после неколико задњих трзаја зрачења, доспети у стање ван кога нема где. Али то не значи, да згњеченост елементарних честица једних уз друге искључује свако касније скупљање, јер ни крхање водоникова атома није спречено, будуће се електрон сасвим прибија уз протон; но сваки се даљи развој зауставља, јер се звезда враћа у прво од читавог низа стања, могућих за један материјални систем. Атом водоника у стању бр. 1 не може да зрачи; па ипак се његов електрон креће знатном кинетичком енергијом. Исто тако, звезда која доспе

у стање бр 1. не зрачи више, а, међутим, њене се честице крећу веома великом кинетичком енергијом. Каква је њена температура? Ако се температура мери према моћи зрачења, она је тада апсолутна нула, јер је и зрачење нула. Али ако се мери средњом брзином молекула, температура је звезде највише што је материја може достићи. Коначни је удес белих патуљака: да постају и најтоплија и најхладнија материја Вассионе у исти мах. Наша је тешкоћа тако двоструко решена. Како је звезда изванредно топла, стоји јој на расположењу довољно енергије за хлађење, ако она то хоће; а, како је истовремено она и врло хладна, престала је даље да зрачи, и нема никакве потребе да постаје још хладнија.

Описали смо оно што се сматра да је коначно стање белих патуљака, а, можда, и сваке друге звезде. Сиријусов пратилац није још доспео у то стање, али је већ одавно кренуо тим путем, те се класично разматрање више не може применити. Кад звезде дођу у стање бр. 1 постају невидљиве; као и атом у обичном стању (најнижем), оне не емитују светлост. Врста везе која влада у атому и која изазива класични појам силе, проширена је на читаву звезду. Предузимајући овај излет у царство звезда и атома, нисам ни најмање претпостављао да ће се он завршити скривеним погледом на звезду-атом.

ДОДАТАК В

Идентификација небулијума

Најзанимљивији је догађај у астрофизици од дана објављивања првог издања овога дела: идентификација небулијума, коју је извео I. S. Bowen током јесени 1927. На стр. 41 навели смо: „Небулијум није нов елемент. Он је неки од приснијих нам елемената, кога не можемо да препознамо, зато што је изгубио више својих електрона“. Утврђено је сада: да је небулијум кисеоник, који је изгубио два електрона. У, ипак има непредвиђених околности у вези са том идентификацијом. У лабораторијуму можемо доста лако да од кисеоникова атома одвојимо два електрона и тако добијемо атом небулијума; али, тако измењени атом у лабораторијуму не производи небулијумово светло. Наш неуспех у вештачком произвођењу небулијумове светлости не лежи у недовољној снази наших бомбардовања атома; он настапа отуда, што нисмо у стању да те атоме оставимо довољно у миру.

У једноме од наших предавања начинили смо алузију на трку којој су се предали експериментални и теоријски физичари, да би открили тајну небулијума; у ствари успех је постигнут благодарем сарадњи ових двеју супарничких група. Да би се ствар правилно схватила, напоменимо одмах да се на основу простог и тачног правила, кад су експериментално одређени положаји мањег броја спектралних црта, могу израчунати и положаји већег броја осталих црта. Претпоставимо, на пример, три стања некаква атома; према наведеном правилу, фреквенција спектралне црте, емитоване при прелазу из стања 3 у стање 1, збир је фреквенција (учестаности) црта емитованих при прелазу из стања 3 у стање 2, и из стања 2 у стање 1. Исто тако, ако атом има 10 стања, довољно је да се експериментално одреде фреквенце 9 спектралних црта; примењујући узастопно споменуто теоријско правило, можемо затим израчунати цели спектар, кога образују 45 црта што одговарају истом толиком броју пари могућих стања, између којих се може догодити прелаз. Теоријска физика тежи да омогући израчунавање спектра једино на основу познавања електронске атомове структуре, не позивајући се на посматрања; до данас у томе се успело само за најпростије атоме; било би, међутим, скромније да се узме и рачуном употпуни спектар, делимично одређен посматрањима. Светлост која нам долази од јонизована кисеоника далеких маглина, не припада ни једној области кисе-

оникова спектра што нам га дају огледи; не може се, ипак, сумњати да је извор те светлости кисеоник, јер је она део спектра тога елемента, теоријски допуњена на описани начин.

Коња можете одвести до појила, али га не можете приморати да пије. У лабораторијуму знамо да произведемо двапута јонизоване кисеоникове атоме, али не и да их принудимо да непосредно пређу у стање бр. 1. Помоћу теорије можемо тачно утврдити каква се светлост емитује при таквом прелазу; сазнајемо тако да атоми слободно отпуштају светлост маглина, ма да се томе одупиру кад им заповедамо. Код нас атоми никако неће да пређу из стања 2 у стање 1, већ се увек враћају у стање 3 и 4. Постоји извесан број правилно допуњених спектралних црта које огледи не дају, јер се атом одупири да учини одговарајући скок; но помоћу једног селекционог правила можемо предвидети какве би биле изостале или „забрањене“ црте. Изгледа, међутим, да забрана није општа, већ се односи само на услове земаљских огледа.

Електрон ексцитована атома можемо да замислимо као путника, који се налази на последњем спрату једног од оних старинских хотела, са мноштвом испреплетених степеништа, па хоће да се снађе и сиђе у предворје хотела — у обично, не ексцитовано стање. На расположењу су му за силажење многобројни и различити путеви, али се ни са једног степеништа не може прећи непосредно на друго. Понекад ће наш путник залутати, наћи се у „ћорбуцаку“, одакле никакав пут не води наниже, па му једино преостаје да се врати на виши спрат, и да потражи нов силаз. Ћорбуцак не одговара најнижем стању атома, већ стању из кога је забрањено спуштање на нижи спрат. Такво се стање назива метастабилним. Има мноштво слободних пролаза за пењање, али да би се могао послужити ма којим од њих, атом треба да прими извесан додатак енергије; сам од себе он би једино могао да се спусти ниже, а из метастабилна стања сваки је даљи силазак забрањен. Три су могућности да атом изађе из ћорбуцака. Прво, апсорпцијом светлости он може да стекне потребну енергију за успињање на виши ниво, одакле ће покушати поново да сиђе, и срећа ће му се можда више осмехнути. Затим, кад наступи судар са каквим другим атомом или слободним електроном, при чему су искључена уобичајена правила: наш путник би се као земљотресом одбачен стрмоглавио чак у приземље. Али, у томе се случају не емитује (отпушта) светлост која би одговарала прелазу — атом се друкчије ослободи своје енергије. Најзад, ако се после дуга очекивања, ослобађање не наступи ни преко једног од ових двају начина, електрон ће покушати да се пробаци једним од забрањених пролаза, емитујући при томе забрањену спектралну црту. „Излаз у случају несреће“ био би можда по деснији назив него „Забрањен пролаз“.

У земаљским се огледима атом не може оставити у миру дуже од 1/1000 дела секунде. А за то време он ће се сударити са другим атомима гаса или зидовима вакуумске цеви. Сви атоми који се налазе у метастабилну стању имају изгледа да се ослободе пре 1/1000 дела секунде, те немају прилике да се користе излазом у случају несреће. У разређеној материји која окружује Сунце — хромосфери и корони — судари су ретки, али снажно Сунчево зрачење ексцитује атоме више хиљада пута у секунди, ослобађајући их брзо њихове метастабилности прелазом на вишта стања. Но у усамљености некакве маглине, атом може да скита по годину и више дана не сударивши се ни са чим, а светлост која пролази кроз маглину толико је слаба, да се ексцитација дешава отприлике само једном у столећу. Атом који је (после своје задње ексцитације) запао у метастабилно стање, дуго се колеба; али, увидевши да му ништа неће помоћи да се ослободи, одлучује се најзад на забрањени пролаз. Отуда у тишини маглине примећујемо светлост која се не јавља у граји вакуумске цеви.

Не треба изгубити из вида, да огромно пространство маглина игра значајну улогу у појави забрањених црта. Не знамо колико траје атомско очекивање у његову метастабилну стању — минуту, месец, столеће? А немогуће је присилити га да се пожури; јер, ако му се не дозволи

тај одмор, атом неће емитовати забрањену црту. Зрачење небулијума, према томе, треба да буде веома слабо у поређењу, на пример, са светлошћу што је емитује калцијум Сунчеве хромосфере, где сваки атом обави свој мали рад 20.000 пута у секунди (стр. 55). Лењост појединачних атома у маглини изравнава се њиховом бројношћу. Ако је количина кисеоника у маглини једнака Сунчевој маси — разложна процена за дифузне мглине — и ако свака његова честица емитује **једанпут у столећу** небулијумово светло, укупна јачина небулијумове светлости биће 100 пута већа од светлосне јачине Сунца.

Идентификацију небулијума потврђује чињеница, да су и у другим значајним, а непознатим цртама спектра маглина, препознате забрањене црте. Некоје од њих припадају једном јонизовану кисеонику, друге, опет, једанпут јонизовану азоту. Али, мешавина кисеоника и азота носи име које нам је присно. Природа, тај вечити шаливац, још једном нам се наругала! Она је украсила небеса маглинама што сјаје „светлошћу невиђеном на земљи или мору“, а ми смо у мислима видели, па чак и крстили непознате елементе из којих су састављене. Светлосни флуид, који нам се толико дуго потсмевао, јесте **ваздух!**

ПОГОВОР

Име професора господина А. С. Едингтон-а, једног од најпознатијих поборника Теорије релативности, мало је познато нашој широј јавности. Научник светскога гласа, он је истовремено и изврсан популаризатор науке, па је разумљиво што су његова дела, и стручна и популарна, веома цењена међу читаоцима који се интересују за проблеме у вези са науком о Васиони.

Уверени да и у нашем народу има читалаца који би желели да сазнају нешто више о савременим тековинама у тој научној области, али на доступан им начин, покушали смо да преведемо на наш језик познато његово дело: „Звезде и атоми“, објављено готово на свим страним језицима. Господин професор Едингтон је необично љубазно дао ауторизацију за то, изјавивши у своме писму, упућену на Југословенско астрономско друштво, у чијем издању и излази ова књига: како му је необично драго, што ће његово дело „Звезде и атоми“ бити приступачно и југословенској читалачкој публици.

При превођењу тежили смо за тим, да сачувамо смисао оригинала, но ипак да изражавање буде јасно и у духу народна језика. Ако нам је то пошло за руком, и ако би ова књижица успела да у нашем народу пробуди више интересовања за највеличанственију и најпривлачнију међу свим наукама — за науку о Свемиру, науку о Васиони, труд око тога био би потпуно награђен.

Децембра, 1938
Београд

Преводилац.

Садржај

Прво предавање УНУТРАШЊОСТ ЈЕДНЕ ЗВЕЗДЕ

	Страна
Увод — — — — —	1
Температура у унутрашњости Сунца — — — — —	4
Јонизација атома — — — — —	9
Притисак радијације и маса — — — — —	16
Унутрашњост звезде — — — — —	18
Непрозрачност звездане материје — — — — —	19
Однос између сјаја и масе — — — — —	22
Звезде велике густине — — — — —	25

Друго предавање НЕКОЛИКО НОВИЈИХ ИСТРАЖИВАЊА

Увод — — — — —	30
Прича о Алголу — — — — —	30
Прича о Сиријусову пратиоцу — — — — —	35
Непознати атоми и тумачење спектра — — — — —	39
Спектрални низови — — — — —	44
Облачност простора — — — — —	48
Сунчева хромосфера — — — — —	53
Прича о Бетелгези — — — — —	58

Треће предавање СТАРОСТ ЗВЕЗДА

Увод — — — — —	66
Пулзирајуће звезде — — — — —	66
Цефеиди, светлосни еталон — — — — —	70
Претпоставка о скупљању звезде — — — — —	74
Унутрашња атомска енергија — — — — —	78
Еволуција звезда — — — — —	84
Зрачење масе — — — — —	89

Четврто предавање МАТЕРИЈА У МЕЂУЗВЕЗДАНОМ ПРОСТОРУ

Увод — — — — —	97
Докази на основу посматрања — — — — —	100
Густина космичког облака — — — — —	105
Температура облака — — — — —	107
Докази теорије — — — — —	110
Прираштај звездане материје — — — — —	112

Додатак А

Напомена о Сиријусову пратиоцу — — — — —	115
--	-----

Додатак В

Идентификација небулијума — — — — —	118
Поговор — — — — —	121

ЈУГОСЛОВЕНСКО АСТРОНОМСКО ДРУШТВО

Југословенско астрономско друштво основано је 1936 године са циљем да окупи око себе све љубитеље науке о небу и да ради на њеној популаризацији код нас. **О Астрономији се не само у нашем народу већ и у целом свету не зна много**, само, док се у другим земљама радило и ради на популаризацији ове лепе и корисне науке, код нас, до појаве Астрономског друштва, радило се врло мало. И наше Друштво није урадило много; али и оно што је урађено превазилази средства којима Друштво располаже. Похвално би било, да се и званични заинтересују радом Астрономског друштва и помогну га у његовим настојањима.

Да би што успешније приказало лепоте неба и изнело користи које нам даје Астрономија, Југословенско астрономско друштво преузело је од Академског астрономског друштва часопис „Сатурн“ и продужило да га издаје уз огромне материјалне жртве. Не треба пропустити прилику а не одати признање нашој академској омладини која је прва, још почетком 1935, почела материјално незаинтересована да ради на ширењу ове корисне и лепе науке. „Сатурн“ излази већ пуне четири године једанпут месечно. Часопис доноси популарне чланке из области Астрономије, Метеорологије и Геофизике који су приступачни сваком. Захваљујући својим вредним сарадницима а у првом реду члановима уређивачког одбора, „Сатурн“, једини астрономски часопис у нашој земљи, успешно врши постављени му задатак.

Посматрачком раду такође је обраћена пажња, уколико је то било могуће. Чланови Друштва који располажу инструментима ревносно врше свакодневна посматрања, док је Посматрачка секција снимала помрачења Сунца и Месеца, веће комете и друге објекте.

Ове године Друштво је почело приређивати у својим просторијама популарна предавања — реферате за своје чланове и за све оне који се интересују науком. Приступ је бесплатан и слободан свима.

Управа на челу са својим претседником г. В. Ђуричићем, министром финансија продужиће и даље да ради на овом подједнако корисном и лепом послу. Разумљиво је да ће Друштво успешније вршити свој задатак у колико је број његових чланова већи.

Пријаве за упис у чланство Југословенског астрономског друштва треба слати на адресу: Скадарска 33 — Београд. Чланарина је дин. 20.— годишње, уписнина дин. 10.— једном за свагда. Претплата за „Сатурн“ је дин. 60.— и дин. 40.— за чланове. Плаћање се може вршити у три рате по дин. 20.—. Новац слати преко чековног рачуна бр. 57011.

КОМПЛЕТИ „САТУРНА“

за 1935, 1936, 1937 и 1938 годину

Могу се добити у уредништву — Скадарска 33 или за унапред послат новац преко чековног рачуна код поштанске штедионице бр. 57011, без наплате поштарине

СВА ЧЕТИРИ КОМПЛЕТА

ДИН. 160

За чланове Астрономског друштва дин. 130

ДВА КОМПЛЕТА

ДИН. 90

За чланове Астрономског друштва дин. 70

ЈЕДАН КОМПЛЕТ

ДИН. 50

За чланове Астрономског друштва дин. 35