

U odeljku o kosmogoniji biće govora i o obrnutom procesu postanka zvezda iz kosmičke međuzvezdane materije, pa je zato izučavanje ove poslednje od izvanredno velikoga značaja.

KOSMOGONIJA I KOSMOLOGIJA

Kosmogonija je astronomska grana koja izučava način postanka i razvoja nebeskih tela i njihovih sistema. Od velikog je značaja za obrazovanje naučnog pogleda na svet, a neki njeni stavovi doprinose rasvetljavanju pitanja strukture Zemlje i drugih nebeskih tela.

Naučna kosmogonija datira od Kantove nebularne hipoteze o postanku Sunčeva sistema sažimanjem gasovite magline pod dejstvom gravitacije i njenim raspadanjem pod dejstvom centrifugalne sile nastale usled njena obrtanja. Tu teoriju je usavršio Laplace, no ona danas ima samo istorijski značaj, kao i mnoge druge teorije novijeg datuma o postanku Sunčeva sistema (Jeans, Jeffreys, Hoyle, Weizsäcker i dr.). Danas se ovo pitanje proučava kao sekundarno, pa se nadovezuje na pitanje postanka zvezda i zvezdanih sistema. Zato ćemo mu i mi prići tim redom.

Još je Herschel vrstao vangelaktičke magline po spljoštenosti, a Jeans je izgradio celovitu teoriju o postanku zvezdanih sistema hlađenjem i zgušnjavanjem lopatstih gasovih vangelaktičkih maglina. Zbog povećanja brzine njena obrtanja koje otud proizilazi, smatrao je on, one se postupno spljoštavaju dok ne dobiju plosnat oblik, kada počinju da se raspadaju u pojedinačne zvezde i da dobivaju svoju spiralsku strukturu. Ovu teoriju bio je potkrepio i ozbiljniji proračunima. No saznanje da se sve vangelaktičke magline sastoje od zvezda (kao što pokazuju njihovi spektri), bez obzira na njihov oblik, u današnje vreme sasvim je potislo ovu teoriju. I sve teorije o jednovremenom postanku zvezda i zvezdanih sistema danas se smatraju za veoma naivne, a ponekad i tendenciozne, inspirisane idealističkim shvatanjima, pa čak i verskim predrasudama.

Velike astrofizičke opservatorije, snabdavene savremenom opremom (Kalifornija, Krim, Alma Ata i dr.) svojim otkrićima su iz osnova revolucionisale kosmogoniju. Proučavajući jednu klasu promenljivih zvezda u sazveždima Bik i Orao, Ambarcumjan je pre dvadesetak godina otkrio da u izvesnim delovima neba postoje grupe fizički srodnih zvezda, koje je nazvao *zvezdanim asociacijama*. Zvezde iz jedne asocijacije karakterišu mnoge zajedničke osobine: isti način kretanja, energijski nivo, spektarski tip, sve imaju veoma brzo obrtno kretanje i okarakterisane su oslobađanjem velikih gasovih masa, jakim tzv. korpuskularnim zračenjem. Sve se one razlaže brzinama od 20...30 km/sek. Pomenute zajedničke osobine dovode do proračuna koji potvrđuje da su to veoma mlade zvezde, mlade od 10 miliona godina, a način njihova kretanja pokazuje ne samo da su skoro postale već i da su postale u neposrednoj blizini mesta na kome se sada nalaze.

Kasnije su otkrivene i takve asocijacije po čijim se osobinama može nesumnjivo zaključiti da nisu starije od 100 hiljada godina, da su postale takoreći juče u kosmičkom smislu. Odatle je Ambarcumjan izveo važan zaključak da nema razloga da pojedine zvezdane asocijacije ne postaju i danas, pred našim očima.

Nepravda proučavanja strukture mnogih difuznih gasovih maglina u našem Zvezdanom sistemu izvršena savremenim instrumentima na Krimskoj opservatoriji i u Alma Ati otkrila su da i ove magline pokazuju izvestan razvojni proces. Dok je npr. poznata velika Orionova maglina sastavljena od gasova i kosmičke prašine u kojoj se tek naziru izvesna vrtložna kretanja i obrazovanje izvesnih pramenova i vlakana, dotle je npr. u lepoj mrežastoj maglini u Labudu ova struktura toliko odmakla u razvoju da se čitava maglina sastoji od mreže vlakana u vrtložnom kretanju. Mestimično se u vlaknima zapaža već i njihovo raspadanje na izdvojene gasovite lopte, a ponegde već i konačno obrazovane zvezde, o čemu nas uveravaju ne samo spektarska analiza već i gustina ovih nebeskih tela i još neka teorijska razmatranja i proračuni.

Sa otkrićem pojave jakog isticanja gasova iz supernovih i novih zvezda, Wolf-Rayetovih zvezda i plavih džinova, pa i iz zvezda nižeg energijskog nivoa kao što je Sunce, gde smo svedoci eruptivnih protuberanca čiji se vrhovi oslobađaju u vasioni prostor, kao i korpuskularnog zračenja sa njegovim posledicama na Zemlji, s jedne strane, i s očigledno pokazanim postankom zvezda iz gasovih maglina i oblaka međuzvezdane prašine, s druge strane, veoma se ubedljivo zatvara krug evolucije materije o kome se već davno pretpostavljalo da postoji. Krug koji nas oslobađa potrebe za pretpostavkom o početku i kraju sveta i o prvom pokretuću. On predstavlja najjaču argumentaciju materijalističkog shvatanja sveta kao razvojnog procesa materije koji je beskrajan i u prostoru i u vremenu.

Ovakva shvatanja o postanku zvezda smatra se da mogu važiti i za više stupnjeve u organizaciji materije, pa se već traga za postankom i samih zvezdanih sistema iz međugalaktičke tamne kosmičke materije, kojom je ispunjen, prema najnovijim otkrićima, ceo vasioni prostor.

No još jedno nedavno otkriće neočekivano je revolucionisalo naša shvatanja o daljem razvoju nastalih zvezda. Otkrivene su i zvezdane asocijacije čije zvezde nisu plavi džinovi, već žute zvezde Sunčeva tipa, za koje se smatralo da postaju iz plavih džinova tek posle dugog razvojnog procesa. Otkrivene su i asocijacije čiji su članovi crveni patuljci, za koje se donedavno smatralo da su krajnji proizvod u evoluciji zvezda glavnog niza pre no što se sasvim ugase. Time su potpuno uzdrmani temelji teoriji o razvoju zvezda, pa danas ovo pitanje, strogo uzevši, ponovo postaje otvoreno.

Neki astronomi pomišljaju i na to da razlog što neke zvezde postaju kao plavi džinovi, druge kao žute zvezde, a treće već kao crveni patuljci, treba tražiti u tome što se i sama difuzna kosmička materija iz koje zvezde postaju nalazi u različitim fizičkim stanjima, jer ova materija potiče iz erupcija zvezda različitih energijskih nivoa, u kojima je različit i fizičko-hemijski sastav nastao nuklearnim procesima.

Zasada nam ne ostaje ništa drugo no da smatramo da svaka zvezdana asocijacija i zvezde u njoj, počinjući od energijskog nivoa na kome su postale, doživljuju dalji razvoj po shemi koja je i ranije važila, završavajući kao crveni patuljci, a zatim gasoci se potpuno. S obzirom na nezapamćeni tempo razvoja savremene nauke, ipak se čini da ćemo već u skoroj budućnosti moći da damo i u pogledu novog shvatanja zvezdanog razvoja određeniji i bolje argumentovan odgovor.

S druge strane, nastavljajući shvatanje o postanku zvezda raspadanjem vlakana difuznih maglina, već se razrađuje i teorija o daljem postanku višestrukih zvezda i planetarnih sistema iz tako nastalih zvezda okruženih preostalim oblacima magline iz koje su one postale. Pomenimo samo Schimidtovu teoriju, po kojoj su se planete obrazovale iz ovakvog oblaka koji je, prema gornjem, morao pre nekoliko milijardi godina okruživati i Sunce. Kako matematička analiza pokazuje, taj je oblak usled sudara svojih čestica relativno brzo dobio spljošten oblik, posle čega se usled gravitacionog dejstva delića morao raspasti u odvojene zgusnute mase iz kojih su kasnije nastale planete. Ova teorija objašnjava bolje no ijedna dosad mnoge osobine Sunčeva sistema. Prema njoj je i sama Zemlja prvobitno nastala zgušnjavanjem hladne mase, a kasnije se usled raznih fizičkih procesa njeno jezgro zagrejalno do usijanja. Ovo shvatanje objašnjava bolje no ranije mnoge osobine Zemljinih slojeva i njene grade.

Kosmologija je astronomska disciplina koja se bavi izučavanjem zakonitosti kojima se povijuje vasiona kao celina, kao i pojedini njeni delovi. Bavi se pitanjem rasporeda masa i strukture vasiona, uzajamnog njihova dejstva i kretanja, pitanjem pretvaranja energije u vasioni, kao i pitanjem geometrijskih osobina vasionog prostora. Upotrebljava zakone klasične i relativističke fizike, kao i poznavanje strukture materije. Graniči se s kosmogonijom i filozofijom. Poprište je bespoštedne borbe između idealističkog i materijalističkog shvatanja sveta.

Na njenom području vođena je ova borba još u Starom veku, gde se javilo Demokritovo učenje o beskrajnosti vasiona i bezbrojnosti nebeskih tela, Heraklitovo učenje o večnosti vasiona i Aristarhovo tumačenje o kretanju Zemlje oko Sunca, nasuprot idealističkom shvatanju Platona, Aristotela i Ptolemeja o ograničenosti vasiona u prostoru i vremenu, zasnovano na geocentričnom sistemu sveta, koji je bio inspirisan fideističkim učenjem o božanskom poreklu vasiona i njene harmonije sa čovekom u njenom središtu kao slikom i prilikom božjom.

Sa Renesansom, Kopernikovo učenje o heliocentričnom sistemu sveta i Brunoovo učenje o beskrajnosti sunaca i nastanjenih svetova, a zatim radovi Galileja, Keplera, Newtona i drugih klasika mehanike i astronomije zadaju težak udar fideističkom shvatanju. Iz ovih učenja svanula je zora savremenih prirodnih nauka, u kojima trijumfuje materijalističko učenje o prirodi.

Uprkos tome, ova se borba vodi i na poprištu savremene kosmologije, iako sa sve manje izgleda za idealističko shvatanje. Sagledajmo je kroz nekoliko problema.

Formalnom primenom drugog zakona termodinamike Clausius je izveo zaključak o težnji vasiona za termičkom ravnotežom (*toplotna smrt prirode*), koja je logički dopunjena zaključkom o početku vasiona delovanjem natprirodnih sila. Međutim Boltzmannovo statističko tumačenje termodinamičkih pojava pokazalo je granice primenljivosti termodinamičkih zakona i oborilo Clausiusov zaključak.

Formalni račun ukupnog zračenja zvezda, ako se pretpostavi da ih je beskonačan broj, doveo je do zaključka da čitavo nebo treba da ima sjaj Sunca (*foto-metrijski paradoks*). Blizim izučavanjem apsorpcije svetlosti u tamnoj kosmičkoj materiji Fesenkov je otklonio ovaj paradoks.

Formalna primena zakona gravitacije na čitavu vasionu s beskrajinim brojem nebeskih tela dovela je, na sličan način, do zaključka da on ne daje određene i konačne vrednosti za silu gravitacije (*gravitacioni paradoks*). Charlier je međutim pokazao da ovaj paradoks ne protivreči ideji o beskrajnosti vasiona, ako se uzme u obzir njena stepenasta struktura, a najnovija posmatranja su ovu strukturu potvrdila, jer je nađeno da se zvezde grupišu u jata, ova u populacije, ove u galaksije, galaksije u galaktička jata, a ova u Metagalaksiju...

Dalje je Einstein, polazeći od ideje relativnosti ubrzanja, došao do modela konačne vasiona. No Fock je pokazao neodrživost ideje relativnosti ubrzanja sa gledišta nove teorije gravitacije. Zaključak o konačnosti vasiona i materije u njoj opovrgao je i fizičar Friedmann, i pokazao da vasioni prostor nije euklidovski, već da ima osobine beskonačnog prostora Lobachevskog.

Najzad, otkriće pomeranja spektralnih linija u spektrima galaksija ka crvenom delu spektra za koje je Hubble našao da je utoliko veće ukoliko su one dalje, dovelo je bilo jednostranom primenom nekih fizičkih zakona i nedopuštenim njihovim uopštavanjem do zaključka o širenju vasiona, odakle je pogrešno izveden zaključak da je ona morala postati odjednom i ni iz čega, i to samo pre nekoliko milijardi godina. Ovaj zaključak je međutim opovrgnut mnogim nalazima o starosti nebeskih tela, a pogotovu otkrićem zvezdanih asocijacija.

Sve ovo pokazuje sa kolikom se opreznosti mora pristupiti uopštavanju prirodnih zakona kada se prelazi s konačnih oblasti vasiona i materije na vasionu kao celinu. No već pri današnjem stanju njena ispitivanja jasno se ističu preimущества materijalističkog shvatanja o beskrajnosti vasiona i materije u prostoru i vremenu i o stepenastosti strukturi njenoj.

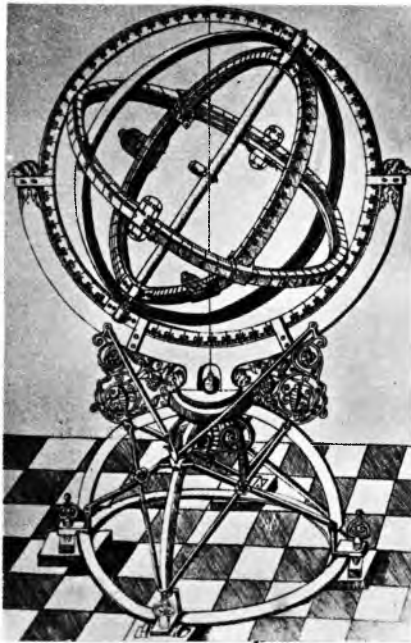
LIT.: A. Eddington, The internal constitution of the stars, Cambridge 1926. — M. Milanković, Nebeska mehanika, Beograd 1935. — S. Rosseland, Theoretical Astrophysics, Oxford 1936. — A. Unsöld, Physik der Sternatmosphären, Berlin 1938. — S. Chandrasekhar, Stellar structure, Chicago 1939. — M. Ф. Свободин, Курс небесной механики, Москва-Ленинград 1941. — П. П. Парензо, Курс звездной астрономии, Москва-Ленинград 1946. — Б. А. Воронцов-Вельяминов, Курс практической астрофизики, Москва-Ленинград 1952. — О. Струве, Stellar evolution, Princeton 1950. — С. Н. Блажко, Курс общей астрономии, Москва-Ленинград 1950. — В. А. Амбарцумян и др., Теоретическая астрофизика, Москва-Ленинград 1952. — А. Данжон, Astronomie générale, Paris 1959. — J. S. Pecker i E. Schatzman, Astrophysique générale, Paris 1959. B. Sev.

ASTRONOMSKI INSTRUMENTI služe za određivanje položaja nebeskih tela na nebeskoj sferi u cilju izučavanja njihovih kretanja (*astrometrijski instrumenti*) i za merenje zračenja nebeskih tela u cilju izučavanja njihova fizičkog stanja i hemijskog sastava (*astrofizički instrumenti*).

Naučno posmatranje nebeskih tela i pojava počinje tri hiljade godina pre n. e. kada se prelazi sa kvalitativnog praćenja položaja i kretanja Sunca, Meseca, 5 planeta i zvezda na merenje i zapisivanje njihovih prividnih položaja. Prvi astronomski instrument, ponikao u Mesopotamiji, bio je *gnomon* — vertikalna šiljast prut pobijen u ravnu podlogu. Najkraća njegova senka određivala je pravac meridijana, a uglavnom odstojanje senke od meridijana davalo je u svakom trenutku azimut nebeskog tela. Razmera između visine gnomona i dužine njegove senke davala je uglavnu visinu Sunca nad horizontom. Tako je još u Mesopotamiji u pomenutoj epohi bilo izučeno prividno godišnje kretanje Sunca iz svakodnevnog merenih njegovih položaja.

Gnomon je naročito postao poznat u Srednjem veku, kada je primenljiv kao *sunčani časovnik*. No on je doživio svoju preobražaj još u II v. pod Hiparhom. Postavljen u metalnu poluploču izdvojenu koncentričnim krugovima, služio je kao prenosni instrument — *skafion* — za određivanje geografskih koordinata iz merene visine Sunca. Eratosten je premerio njime Zemljine dimenzije, a njime određene geografske koordinate mesta poslužile su nešto kasnije za izradu prvih geografskih karata.

Horizontske koordinate — azimut i visina — a naročito uglavni razmaci među nebeskim telima mereni su kasnije krugom sa uglavnom podelom duž čijeg se jednog prečnika nalazio *dioptra* — običan nišan, kao na pušci. Prema njemu je čitana kružna podela pri viziranju na jedno, a zatim na drugo nebesko telo, i razlika dva čitanja davala je njihovo uglavno rastojanje. U nešto savršenoj obliku *armile* (sl. 1) — sistema krugova — ovaj se instrument zadržao sve do u Novi vek. S druge strane, zapaženo je da je za merenje uglova na nebeskoj sferi dovoljan samo jedan kružni sektor, pa se tako došlo do novih instrumenata — *seksantia* i naročito *kvadranta*, koji se sve više usavršavaju i grade u sve većim dimenzijama u cilju povišenja tačnosti merenja. Njima su se naročito uspešno služili Arabljani u Srednjem veku. Ostala su čuvena dva džinovska kvadranta; Ulug-Bekov na opservatoriji u Samarkandu i Tycho de Braheov na Uranienborgu (sl. 2). Ovaj poslednji imao je poluprečnik od 10 stopa i davao tačnost od 1''-2''. Njime merene koordinate planete Marsa poslužile su Kepleru za otkriće znamenitih zakona planetenskog kretanja.



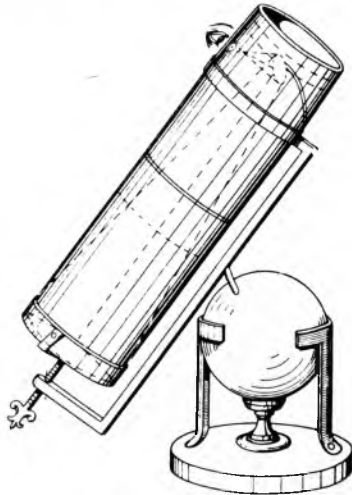
Sl. 1. Tycho de Braheova armila



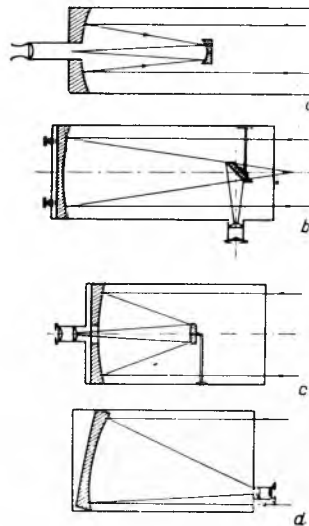
Sl. 2. Tycho de Braheov veliki kvadrant (opseratorija Uranienborg, 1587)



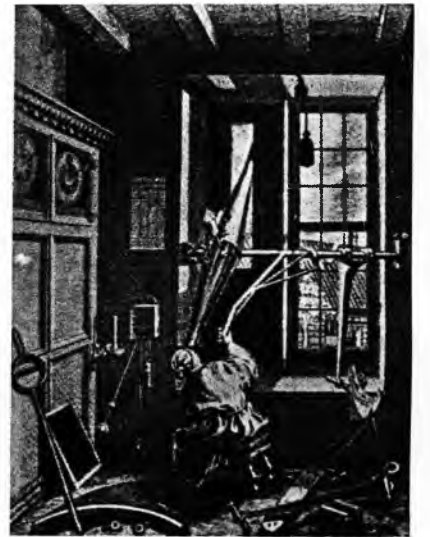
Sl. 3. Dva Galilejeva durbina (1609, Firentinski muzej)



Sl. 4. Newtonov reflektor (1672)



Sl. 5. Sheme raznih reflektora. a Gregoryjev (1663), b Newtonov, c Cassegrainov, d Herschelov reflektor



Sl. 6. Roemerova 'Machina domestica' (1690)

Della Porta pronalazi 1580 durbina sa sočivom — *refraktor*; Galilei 1609 konstruiše svoj primerak (sl. 3) i njime vrši prva otkrića koja su zadala osuđan udarac geocentričnom sistemu sveta (v. *Astronomija*). Već 1616 Scheiner zamjenjuje njime dioptrar na svom *kružnom sektoru*, no istovremeno dolazi i na ideju da mu vertikalu osovinu nagne u pravac nebeskog pola i tako dolazi do prvog *ekvatorijala*, kojim se mere ekvatorske koordinate: časovni ugao ili uglovno odstojanje od meridijana mereno po ekvatoru i deklinacija ili uglovna visina nebeskog tela nad nebeskim ekvatorom. 1669 Picard stavlja durbina mesto dioptra na svoj kvadrant kojim vrši čuveni premer Zemlje. 1640 Gascoigne pronalazi *mikrometar* za precizno merenje malih uglovnih razmaka među nebeskim telima u vidnom polju instrumenta. 1666 usavršava ga Auzoūt i 1672 Roemer. 1660 Thévenot pronalazi *libelu*. Sa ova dva važna merna organa i sa durbinom, krug sa uglovnom podcelom prerasta u oblike današnjih astronomskih instrumenata.

1632 Cavalieri dolazi na ideju da se objektiv u durbinu može zameniti izdubljenim ogledalom. Međutim, prvi takav teleskop — *reflektor* sa sfernim bronzanim ogledalom — ostvario je tek 1652 Zucchi. Mersenne dolazi odmah zatim na ideju da ogledalu dá paraboloidni oblik, koji pruža savršenije likove. Reflektor u današnjem obliku prvi daju Gregory 1663 i Newton 1672 (sl. 4), a znatno kasnije nove tipove Cassegrain i Herschel, odn. Lomonosov (sl. 5). Već prvi reflektori donose niz novih otkrića manjih tela u Sunčevu sistemu.

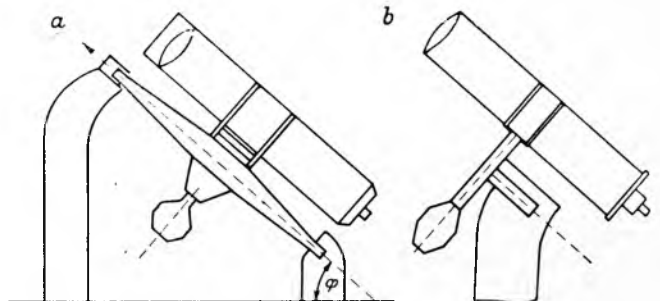
Huyghens pokazuje da se nedostaci sočiva smanjuju sa njegovom krivinom, tj. s povećavanjem njegove žižne daljine, zato u XVII v. nastaje trka za sve dužim refraktorima. Jedan od najdužih refraktora ovoga vremena bio je Heveliusov u Gdansku; imao je 49 stopa, i na njemu je cev bila zamenjena šinom s dijagramama. 1669 Huyghens otkriva način otklanjanja sferne aberacije kombinovanjem sočiva, pa se posle toga ponovo javljaju kraći, ali optički korigovani refraktori. Prečnik im sa vremenom sve više raste, kako bi se sakupilo što više svetlosti i tako omogućilo posmatranje sve slabijih i daljih nebeskih tela.

Huyghens je 1656 obogatio praktičnu astronomiju i svojim otkrićem preciznog *časovnika s klatnom*, koji se otada neprekidno usavršava i koji se gdegdje i danas zadržao, pored *kvarcnog* i *atomskog časovnika*, kao važan pomoćni instrument za astronomske radove.

U to vreme izrađuju se prvi specijalizovani refraktori: *zidni sektori* i *kružni* (La Hire, Flamsteed). 1690 Roemer stvara prvi meridijanski instrument, zvan *Machina Domestica* (sl. 6), a J. D. Cassini i Roemer *prve ekvatorijale*

preciznim krugovima i automatskim praćenjem nebeskih tela na njihovu prividnom dnevnom kretanju. 1704 Roemer konstruiše svoj meridijanski krug *Rota Meridiana* i veliki pasažni instrument u prvom vertikalu, koji se po svojoj konstrukciji približuju današnjim, a krajem XVIII v. počinju se već javljati instrumenti današnjeg tipa. Graham konstruiše *zenitski sektor*, preteču današnjeg *zeni-teleskopa*, i njime Brandley otkriva 1729 aberaciju svetlosti. Tačnost merenja, po Besselu, tada već dostiže 4". Ramsden daje i novu *englesku montažu* (sl. 7a), koja je za sve veće i teže instrumente podesnija od *nemačke* (sl. 7b).

U prošlom veku, sa primenom fotografije na refraktor, počinju da se grade fotografski refraktori ili *astrografi*, naročito podesni za izradu detaljnih zvezdanih karata i kataloga, kao i za određivanje položaja malih planeta, kometa i maglina. Najveći refraktor na svetu je refraktor s otvorom od 102 cm na Yerkes opseratoriji u USA, podignut 1895. Među najveće spada i refraktor s otvorom od 65 cm Beogradske opseratorije (sl. 8), podignut 1932.



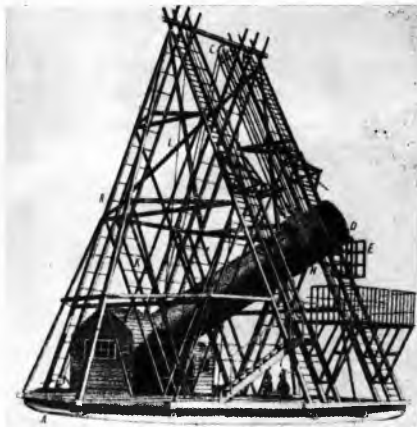
Sl. 7. Montaže refraktora i reflektora. a engleska, b nemačka montaža

Niz velikih Herschelovih reflektora, koje je on sam izradio (sl. 9), doveo je do mnogih otkrića u Zvezdanom sistemu i van njega. Tako je započela nova slavna današnja era astronomije usmerene ka zvezdanoj astronomiji i astrofizici.



Sl. 8. Veliki refraktor Beogradske opservatorije (otvor 65 cm)

Razvoj Herschelova reflektora završava se u naše vreme konstrukcijom džinovskog reflektora s otvorom od 2,5 m na opservatoriji Mount Wilson i reflektora s otvorom od 5 m na opservatoriji Mt Palomar u USA, koji je montiran 1948, kao i konstrukcijom reflektora s otvorom 2 m za opservatoriju St. Michel u Gornjoj Provansi i Newtonova memorijalnog teleskopa s otvorom od 3 m u Engleskoj. Danas se nalazi u izgradnji, u SSSR, najveći savremeni reflektor s otvorom od 6 m, namenjen astrofizičkoj opservatoriji na Kavkazu.



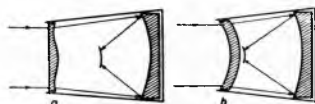
Sl. 9. Herschelov reflektor (1789)

Refraktori su i danas takoreći nezamenjivi za mnoge radove, posebno za

merjenja tzv. relativnih položaja nebeskih tela, dvojnih zvezda i satelita, za merenje zvezdanih daljina i dr. Međutim, za astrofizičke radove pokazao se bolji reflektor, jer se u njemu gubi najmanje od svetlosti koja nam stiže od posmatranih nebeskih tela.

U naše vreme ponikle su dve najsavršenije konstrukcije refrakto-reflektora, Schmidtova i Maksutovljeva. Princip tih instrumenata vidi se na sl. 10.

Pored refraktora i reflektora s ekvatorskom montažom, koji služe kao osnovni instru-



Sl. 10. Sheme refrakto-reflektora. a Schmidtov, b Maksutovljev refrakto-reflektor

menti za opšte ciljeve astrometrijskih i astrofizičkih merjenja, postoji niz važnih astronomskih instrumenata kojima se mere horizontske koordinate nebeskih tela, tzv. *azimutnih instrumenata* za specijalne namene. Oni se dele na *astrogeodetske instrumente* i na *instrumente za meridijansku ili fundamentalnu astrometriju*. Na tim instrumentima ćemo se posebno zadržati zbog njihove važnosti i velike upotrebe u radovima koji se izvode ili neposredno predstoje u našoj zemlji.

Astrogeodetski instrumenti. Tipičan predstavnik ove vrste je *univerzalni instrument* (sl. 11) snabdeven preciznim horizontalnim i vertikalnim krugom, okularnim mikrometrom i finim libelama. Njime se mogu meriti s visokom tačnošću horizontalni i vertikalni uglovi, azimuti i zenitne daljine nebeskih tela, odakle se računski izvode geografske koordinate i azimut pravca u triangulaciji. Njegove dve varijante su *altazimut* s preciznim horizontalnim i približnim vertikalnim krugom, namenjen merenju horizontalnih uglova, i *prenosni vertikalni krug* s preciznim vertikalnim i približnim horizontalnim krugom, za merenje vertikalnih uglova.

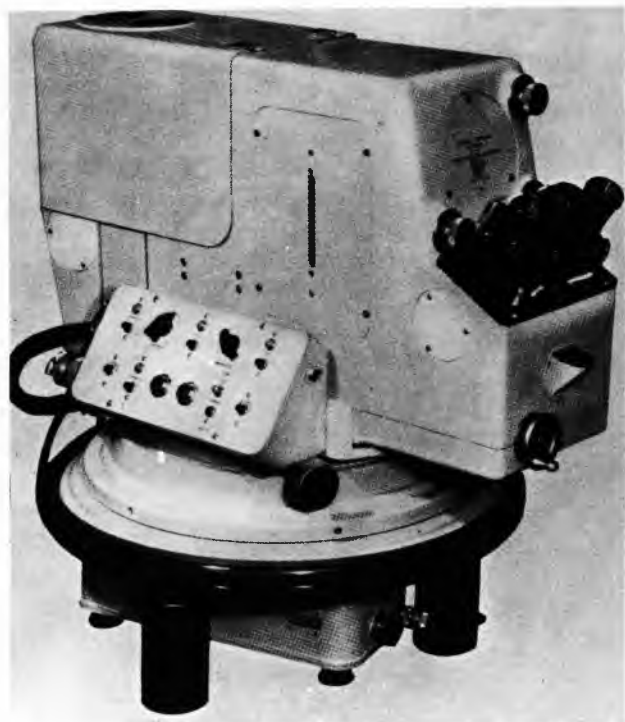
U zapadnim zemljama je za iste potrebe naročito odomaćen *astrolab s prizmom* kojim se iz trenutka kada zvezde dostižu



Sl. 11. Univerzalni instrument

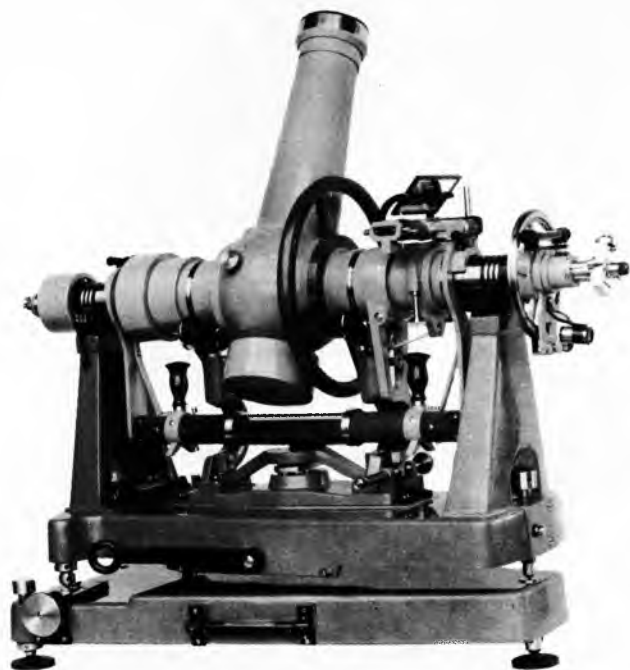
određenu visinu mogu lako, brzo i dovoljno tačno odrediti obe geografske koordinate i tačno vreme. S nedavno konstruisanim *Danjonovim astrolabom* (sl. 12) ovaj je instrument dostigao vrlo veliku tačnost, pa se danas počinje da upotrebljava i za određivanje zvezdanih koordinata.

Za potrebe određivanja tačnog vremena i geografske dužine najveće tačnosti i danas se najčešće upotrebljava *prenosni pasažni instrument* (sl. 13) u meridijanu, kojim se određuje trenutak prolaza nebeskog tela kroz meridijan. Za određivanje geografske širine on se postavlja upravno na meridijan, a primenjuje se i u proizvoljnoj vertikalnoj ravni, samo rede. To je veoma stabilan instrument koji se može okretati samo oko horizontalne osovine, a snabdeven je preciznim okularnim mikrometrom, tzv. *bezličnim mikrometrom*, i preciznim libelama. Zvezda se prati kroz vidno polje pokretnim koncem koji se pokreće mikrometerskim zavrtanjem. Za vreme obrtanja zavrtanja automatski se naizmenično zatvara i otvara kolo struje koja na *hronografu* — aparatu za beleženje trenutaka posmatranja — privlači i otpušta kotvu jednog elektro-

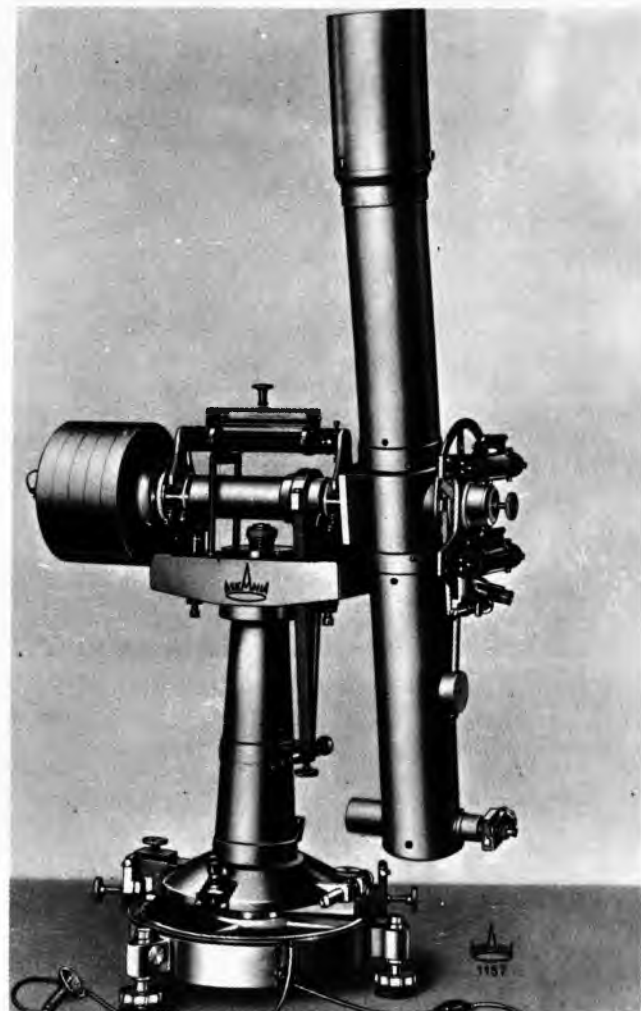


Sl. 12. Danjonov astrolab

magneta i tako registruje trenutke kada se zvezda nalazila na određenim položajima u vidnom polju. Iz ovih trenutaka računski se dobiva trenutak njena prolaza kroz meridijan. U poslednje vreme sa uspehom primenjuje sve više *fotoelektrično registrovanje prolaza* (Pavlov), kojim se postiže veća tačnost, a elektromagnetni hronograf zamenjuje se sve više elektronskim *tipohronografima* i *elektronskim brojačima*, kojima se vreme posmatranja registruje prema kvarcnom časovniku čije periode oscilovanja ovaj brojač odbrojava. Pasažni instrument je i danas osnov posmatračkog pribora na svima opservatorijama i u Međunarodnoj časovnoj službi.



Sl. 13. Pasažni instrument



Sl. 14. Zenit-teleskop

zvezdanih koordinata u cilju izrade raznih zvezdanih kataloga. Tu spadaju *veliki pasažni instrument* za određivanje rektascenzije iz registrovanog trenutka prolaza zvezde kroz meridijan, *veliki vertikalni krug* za određivanje deklinacije iz merene zenitne daljine zvezde na krugu i *veliki meridijanski krug* (sl. 15) za određivanje obe ove koordinate. On je zato snabdeven i preciznim vertikalnim krugom sa više mikroskopa za njegovo čitanje i preciznim bezličnim mikrometrom za određivanje trenutaka prolaza nebeskih tela kroz meridijan. Za povećanje tačnosti merenja upotrebljavaju se bezlični mikrometri čiji se konac pokreće sinhronim motorom.

Instrumenti s nepokretnim cevima takođe tvore važnu grupu instrumenata za specijalne namene. Tu spadaju: fotografski zenit-teleskop, horizontalni pasažni instrument, horizontalni meridijanski krug, toranjski teleskop, horizontalni sunčani teleskop, koronograf i dr.

Fotografski zenit-teleskop je veliki refraktor utvrđen u vertikalnom položaju za snimanje zenitske zone neba. U podnožju

njegovu nalazi se živino ogledalo od koga se svetlost odbija i pada na malu fotoploču ispod samog objektiva. Kada se snime zvezdani tragovi iz dva položaja instrumenta, merenjem njihovih rastojanja pod mikroskopom dobivaju se elementi za određivanje tačnog vremena, odn. geografske dužine, i za određivanje geografske širine vrlo velike tačnosti. Fotografski zenit-teleskop sve više istiskuje klasični zenit-teleskop na stanicama za ispitivanje promena geografskih širina.

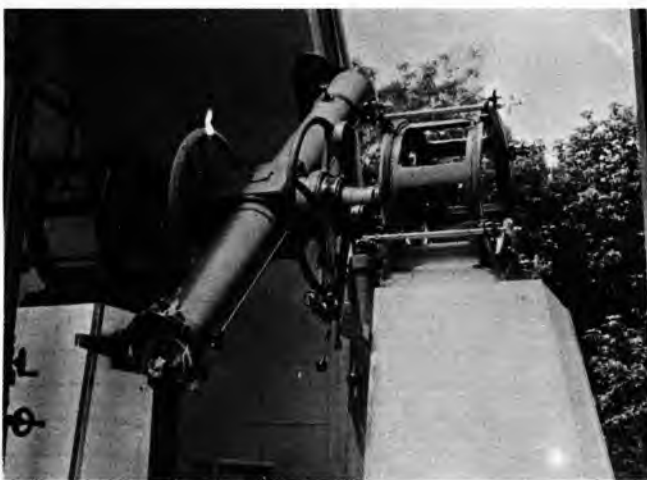
Horizontalni pasažni instrument je veliki pasažni instrument u koji se lik zvezde u meridijanu dovodi sistemom prizama. Veliku tačnost postiže baš svojom stabilnošću i nepokretnošću. U poslednje vreme postoji u izgradnji više tipova takvog instrumenta. Njemu je sličan instrument takođe *horizontalni meridijanski krug*.

Toranjski teleskop služi za ispitivanje Sunca. Na vrhu tornja visokog kojih 40 m nalazi se objektiv s vertikalnom optičkom osom i *celostatom* — sistemom pokretnih ogledala koji neprekidno dovodi u instrument Sunčev lik. Sunčev lik dobiva se u podzemnoj prostoriji, obično sa stalnom temperaturom, gde se on može snimati ili podvrgavati spektarskoj analizi raznovrsnom astrofizičkom aparaturom, često veoma specijalizovanom.

Horizontalni sunčani teleskop je optički sistem sličan toranjskom, samo raspoređen u specijalnom dugačkom paviljonu u horizontalnom položaju. Najčešće se upotrebljava za posmatranje i snimanje Sunca spektrohelijskopom i spektroheliografom u cilju spektarske analize njegovih slojeva u hromosferi i ispitivanja stanja i rasporeda hemijskih elemenata u ovim slojevima.

Koronograf je nov, složen instrument, kojim se u principu Sunčev lik zaklanja, a snima se samo njegova korona. Postavlja se na visinskim stanicama za ispitivanja Sunca, gde je minimalan uticaj Zemljine atmosfere i njene difuzne svetlosti koja smeta da se dobije jasan snimak slabe Sunčeve korone.

Astrofizičke aparature. Pored osnovnih astrometrijskih instrumenata o kojima je gore bila reč, već smo pomenuli da se upotrebljavaju pomoćni instrumenti: precizne libele, mikrometri, časovnici i hronografi. Za astrofizička posmatranja, tj. za merenje raznih vrsta zračenja nebeskih tela, osnovni je instrument reflektor. Na okularni njegov deo stavlja se za raznovrsna merenja i raznovrsna astrofizička aparatura, koja se uglavnom deli na *fotometre* za merenje jačine sjaja nebeskih tela, *spektarske aparate* za spektarsku analizu njihove svetlosti i *aparate za merenje ukupna njihova zračenja* — da se zadržimo samo na osnovnim. Teleskopi za radio-talase predstavljaju antene u obliku paraboloidnih ili parabolocilindarskih reflektora velikog prečnika.



Sl. 15. Veliki meridijanski krug (Beogradska opservatorija)

Fotometara ima *vizualnih, fotoelektričnih i fotografskih*. Vizualnih ima više vrsta. Najpoznatiji je *fotometar s klinom* (Pickering). U njegovom vidnom polju nalazi se mala sijalica koja služi kao poredna veštačka zvezda. Kad se fotometar stavi na reflektor ili refraktor i uperi na zvezdu čiju prividnu veličinu hoćemo da odredimo, vidimo u njegovom vidnom polju i pri-

rodnu i veštačku zvezdu. Na putu zrakova od veštačke zvezde do oka nalazi se tzv. *fotometrijski klin*, načinjen od dva veoma oštra staklena klina slepljena tako da celina čini planparalelnu ploču. Jedan je od njih obojen neutralnom tamnom bojom. Pomeranjem fotometrijskog klina po volji »gasimo« sjaaj veštačke zvezde dok ga ne dovedemo po slobodnoj oceni do jednakosti sa sjajem prirodne zvezde. Iz pomeranja klina tada čitamo prividnu veličinu prirodne zvezde koja je srazmerna pomeranju. Skala ovog pomeranja kalibrisana je po zvezdama poznatih prividnih veličina. Mesto fotometrijskim klinom, »gašenje« veštačke zvezde može se postići i okretanjem *Nicolove prizme* ili na drugi koji način. Otud više vrsta vizualnih fotometara.

No polet astrofizike, ispoljen u izradi velikih fotometrijskih kataloga zvezda i u masovnom posmatranju, klasifikovanju i ispitivanju raznih tipova promenljivih zvezda, skopčan je s naglim porastom tačnosti fotometrijskih merenja koje je doneo u XX v. *fotoelektrični fotometar*. Fotočelija — stakleni balončić obložen osetljivim slojem, koji čim na nj padne svetlost počinje da emituje elektrone i tako svetlosnu energiju pretvara u električnu — vezan je u kolo struje s osetljivim galvanometrom. Kad na osetljiv sloj fotočelije, postavljen u žižnu ravan reflektora, padne svetlost zvezde čiju prividnu veličinu želimo da izmerimo, u galvanometru se javlja struja, a skretanje njegove igle srazmerno je sjaju zvezde, pa se iz njega lako može izračunati i njena prividna veličina iz jednačine koja vezuje sjaj za prividnu veličinu.

Ispitivana zvezda može se snimati i na fotografsku ploču (Bond) nešto izvan žiže reflektora, a prividna veličina, odn. sjaj, oceniti iz skretanja igle galvanometra na fotoelektričnom fotometru na koji pada svetlost propuštena kroz fotoploču. Zvezde različita sjaja izazvaće i različito pocrnjenje ploče, pa i različito skretanje galvanometarske igle.

Mesto galvanometra često se stavlja instrument koji ispisuje intenzitet zračenja snimljenog nebeskog tela. Tada se ceo takav uređaj naziva *registrujući elektromikrofotometar* (Hartmann i dr.) i on služi najčešće za merenje intenziteta svetlosti raznih talasnih dužina u spektrima nebeskih tela.

Najjači polet astrofizika doživljuje polovinom prošloga veka, posle primene spektarskih aparata. Njih ima veoma raznovrsnih i veoma specijalnih, tako da se danas već izdvaja u zasebnu granu astrofizike astrospektroskopija. Pomenimo samo osnovne aparature. *Objektivprizma* predstavlja veliku optičku prizmu koja se postavlja sa spoljne strane objektiva refraktora. Ona od svih snimljenih zvezda na ploči daje male spektre i podesna je naročito za masovnu spektroskopiju u klasifikacione svrhe. *Normalni spektroskop* i *spektrograf s prizmom* složeni su instrumenti koji daju spektar nebeskog tela posle prolaza svetlosti kroz njihovu prizmu u okularnom delu durbina. *Spektroskop za protuberance* je jedna varijanta normalnog spektroskopa, podešena da se njime lako mogu posmatrati i meriti protuberance na Sunčevu rubu.

Izuzetno važno mesto u spektarskoj aparaturi za posmatranje Sunca zauzimaju složeni aparati — *spektrohelijskop* i *spektroheliograf* (Hale i Deslandres). Pomoću njih se izdvaja samo jedno zračenje određene talasne dužine i u takvoj svetlosti posmatra čitav Sunčev kotur. Ovakvi snimci daju nam raspored nekog određenog hemijskog elementa u slojevima Sunčeve hromosfere od koga zračenje potiče (vodonik, kalcijum, gvožđe i dr.).

Merenje koordinata nebeskih tela sa fotoploče snimljene na astrografu vrši se na *fotomerima*. To su precizni mikroskopi s mikrometrima.

Spektrokomparatori (Abbe, Hartmann i dr.) služe za određivanje talasne dužine pojedinih linija u spektrima snimljenih nebeskih tela i za druga merenja u spektru iz kojih se izvode radijalne brzine, obrtne brzine nebeskih tela i mnogi drugi podaci od osnovnog značaja za istraživanja u astrofizici i zvezdanoj astronomiji.

Termoelement je instrument kojim se može izmeriti toplota kojom jedna udaljena zvezda zagreva Zemlju. To je spoj dva provodnika od dva različita metala. Presek termoelementa za merenje zračenja zvezda iznosi samo stoti deo milimetra, a težina tri stota dela miligrama. Kad se termoelement izloži toplotnom zračenju zvezde, u provodnicima se javlja izvanredno slaba struja, koja se pojačava i meri krajnje osetljivim instrumentima. Ovim su instrumentom izmerene temperature najsjajnijih zvezda. Za

primer o kakvim se finim merenjima ovde radi neka posluži sjajna zvezda Betelgeuze u sazevdju Orion. Najveći astronomski instrument na svetu sakupi od nje za godinu dana količinu toplote kojom bi se mogla voditi u naprsku povisiti temperatura samo za dva stepena.

Za srodna merenja i ispitivanja služe na drugim principima zasnovani, takođe izvanredno osetljivi instrumenti za merenje zračenja: *pirheliometar*, *aktinometar*, *bolometar*, *radiometar* i dr.

Radioteleskopi za santimetarske talase imaju reflektore prečnika 60...2250 cm; za dulje talase mora reflektor imati znatno veće prečnike: radioteleskop opservatorije Jodrell Bank ima prečnik 76 m, a u Sugar Grove, Zapadna Virginija, USA, trebalo je da se 1962 završi građenje reflektora s prečnikom 183 m. Često je više manjih reflektora među sobom spojeno tako da deluju kao jedna antena mnogo većeg prečnika.

Astronomske opservatorije su naučne ustanove koje su snabdevene instrumentima za astronomska posmatranja i kojima je zadatak da vrše sistematska merenja i posmatranja nebeskih tela i pojava, kao i obradu i analizu ovih posmatranja. Pored naučnog, one imaju i veliki praktični značaj svojim učešćem u časovnoj službi, astrogeodetskim radovima i radovima koji se obavljaju za potrebe astronomske pomorske i vazdušne plovidbe. Velik je i njihov značaj u borbi za stvaranje i širenje savremenog naučnog pogleda na svet.

Astronomske opservatorije podizane su još u Starom veku za potrebe astrologije, kao i za praktične potrebe (Asir, Vavilon, Kina, Indija, Egipat, Grčka). U ono vreme bila je slavna po svojim instrumentima, posmatračima i tekovinama opservatorija aleksandrijskog muzejona. Čuvane su bile u XV v. Ulug-Bekova opservatorija u Samarkandu i u XVI v. Tycho Braheova opservatorija »Uranienborg« na ostrvu Hvenu u Danskoj. Posle otkrića durbina, krajem XVI v., astronomske opservatorije sve se više podižu u Evropi. Danas ih ima preko 500 na svetu, od toga 95% na severnoj hemisferi. U cilju izrade preciznih zvezdanih kataloga za potrebe plovidbe i geodezije podignute su velike opservatorije: u Parizu 1667, u Greenwichu kod Londona 1675, u Moskvi 1701, u Pulkovu 1839 i dr.

Od polovine XIX v. s naglim razvojem astrofizike počinju da se podižu velike astrofizičke opservatorije u USA, koje i danas u ovoj grani imaju vodeću ulogu: Harvard 1838, Lick 1888, Yerkes 1897, Mt Wilson 1904 i Mt Palomar 1948.

U SSSR postoji preko 30 astronomskih opservatorija, među kojima su najveće Pulkovska s pretežno astrometrijskim karakterom i Krimska astrofizička opservatorija.

U našoj zemlji postoje: Astronomska opservatorija u Beogradu od 1887 (nova na Velikom Vračaru od 1932), u Zagrebu Astronomska paviljon Astronomskog zavoda Sveučilišta u Maksimiru od 1937 i Zvezdarnica u Popovu tornju od 1903, u Ljubljani univerzitetaska na Golovcu od 1958 i u Skoplju univerzitetaska, koja je još u izgradnji. Od novijih amaterskih opservatorija, koje su postigle vidne rezultate, treba pomenuti opservatoriju Nike Miličevića u Blaci na Braču.

Najveća naša astronomska opservatorija je Beogradska, paviljonskog tipa, na površini od 9 ha. Raspolože refraktorima od 650 mm, 200 mm i 135 mm otvora, astrografom 160 mm otvora, pasaznim instrumentom, vertikalnim krugom i meridijanskim krugom od po 190 mm otvora, zenit-teleskopom 110 mm otvora, pasaznim instrumentom 100 mm otvora, dva univerzalna instrumenta 70 mm otvora, astrolabom sa prizmom i 6 astronomskih časovnika s klatnima visoke preciznosti, kao i nizom pomoćnih aparata (fotomerima, spektroskopatorima, velikim spektrografom, mikrofotometrom, fotoelektričnim fotometrom i dr.). U izgradnji se nalazi baterija kvarcnih časovnika i hronoskop. Aktivne službe na Opservatoriji su: časovna, služba promena geografske širine, služba Sunčeve aktivnosti, astrografska (male planete, komete, vangelaktičke magline i veštački sateliti), služba dvojnih zvezda i služba promenljivih zvezda. U osnivanju su službe fundamentalne astrometrije.

LIT.: L. Ambronn, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde, Bd. 1/2, Berlin 1899. — J. A. Repsold, Zur Geschichte der astronomischen Meßwerkzeuge, Bd. 1/2, Leipzig 1908/14. — A. Danjon i A. Couder, Lunettes et télescopes, Paris 1935. — Б. А. Воронцов - Вельяминов, Курс практической астрофизики, Москва-Ленинград 1940. — Д. Д. Максутаев, Астрономическая оптика, Москва-Ленинград 1947. — С. Н. Блажко, Курс практической астрономии, Москва-Ленинград 1952. — F. Rigaux, Les observatoires astronomiques et les astronomes, Bruxelles 1959. B. Šev.

ATOM, agregacija elementarnih čestica koja zadržava svoju individualnost u kemijskim promenama, te je karakteristična za određeni element i njegove izotope.

Grčki filozofi Leukip i Demokrit (← V i ← IV st.) prvi su jasno istakli misao da se svijet sastoji od nepromenljivih i nedjeljivih čestica, atoma (od grč. ἄτομος, atomos, *nedeljivo*), koji se nalaze u neprekidnom gibanju. Prema Demokritu u stvarnosti postoje samo atomi i prazan prostor. Atomističke predodžbe Antike izložio je rimski pjesnik Lukrecije (← 98—55) u svom djelu *De rerum natura* (O prirodi stvari).

U Srednjem vijeku prevladalo je uglavnom atomizmu suprotno shvaćanje o materiji. U Novom vijeku tumačio je nemački liječnik Sennert 1619 pojavu otapanja, sublimiranja, isparivanja itd. atomistički, a irski fizičar i kemičar Robert Boyle, koji je stvorio moderni pojam elementa, istovremeno je iznio i atomističko tumačenje sastava materije.

U XVI i XVII st. bili su i Galileo Galilei, Francis Bacon, René Descartes i Isaac Newton skloni atomističkom shvaćanju.

Preteča modernih fizikalnih teorija o sastavu materije, strukturi atoma i silama između elementarnih čestica je jugoslavenski fizičar, Dubrovčanin Ruder J. Bošković (1711—1787). Materija je prema Boškoviću izgrađena od nedjeljivih tačkastih čestica između kojih djeluju sile koje zavise o njihovoj udaljenosti. Za vrlo male udaljenosti među osnovnim česticama sile su odbojne; time je isključena mogućnost da se dvije čestice dodirnu. Povećanjem udaljenosti između čestica smanjuje se odbojna sila među njima i konačno iščezava, a ako se udaljenost među česticama i dalje povećava, sila postaje privlačna. Privlačna sila postaje sve jača kako udaljenost raste, zatim slabi, iščezava, pa onda opet postaje odbojna, i tako naizmjenice dalje. Kad su udaljenosti razmjerno velike, sile su privlačne i obrnuto proporcionalne kvadratu udaljenosti. Na temelju takvih sila Bošković je ustanovio da postoje dopuštene staze u kojima se mogu kretati osnovne čestice. To su one staze koje odgovaraju položajima u kojima sila upravo postaje privlačna. Thomson je izgradio svoj model atoma na ovim Boškovićevim radovima, u kojima se može nazrijeti i zametak Bohrova modela atoma.

Moderna nauka o atomima, osnovana na mjerenjima i eksperimentima, počinje radovima Johna Daltona (1766—1844) i Amedea Avogadra (1776—1856). Daltonova atomistička teorija materije (1800) počiva na pretpostavci da je materija izgrađena od kemijskih elemenata, čiji su najmanji sastavni dijelovi atomi. Svi atomi nekog elementa imaju jednaku težinu. Prema Avogadru, najmanji sastavni dijelovi kemijskih individua su molekule, koje su izgrađene od atoma jednog ili više kemijskih elemenata.

Konac XIX st. obilježen je nizom značajnih otkrića. Röntgen je 1895 pronašao X-zrake. Godinu dana kasnije je Becquerel otkrio radioaktivnost, a uskoro nakon toga su M. i P. Curie odvojili nove kemijske elemente radij i polonij. 1897 je J. J. Thomson otkrio elektron. Sva ova otkrića ukazivala su na mogućnost da atom nije nedjeljiv i na to da vjerovatno postoje manje čestice od kojih je on izgrađen. J. J. Thomson, Barkla i H. A. Wilson pokazali su da svi atomi sadrže elektrone, da je broj elektrona u atomu otprilike jednak polovici atomske težine i da je elektron otprilike 1800 puta lakši od vodikova atoma. Ispitivanjem transmisije katodnih zraka Lenard je pokazao da je materija »porozna«.

Napravljeno je nekoliko pokušaja da se konstruira klasični model atoma koji bi bio u stanju da objasni rezultate svih tih pokusa (Lenard 1903, Thomson 1898 i 1907, Nagaoka 1904). Nagaoka je predložio model prema kome je atom predočen kao planet Saturn, gdje je centralni dio pozitivno nabijen i u njemu je sadržana gotovo čitava masa atoma, a oko tog centra raspoređeni su elektroni u obliku prstena. Takav model je u suprotnosti sa principima klasične fizike jer bi elektron koji se ubrzano giba unutar prstena neprestano gubio energiju zračenjem i konačno bi se survao na sam centar. U težnji da zaobiđe ovaj poteškoću, J. J. Thomson je predočio atom kao pozitivno nabijenu kuglu unutar koje su elektroni, kao sjemenke u lubenici, raspoređeni po ljuskama.

1906 E. Rutherford je izvršio prva mjerenja raspršenja alfa-čestica na tankim folijama. U čitavom nizu eksperimenata Rutherford, Geiger i Marsden pokazali su da većina alfa-čestica prođe kroz tanke folije a da ne skrene sa svog puta. Da bi objasnio ova opažanja, Rutherford je 1911 pretpostavio da se atom sastoji od pozitivno nabijene jezgre, koja sadrži gotovo čitavu masu atoma i čiji je radijus oko deset hiljada puta manji od radijusa atoma, i elektronâ koji se kreću oko te jezgre.

Moseley je 1913 pokazao da je broj elektrona u atomu upravo jednak rednom broju dotičnog elementa u Mendeljejevlju periodnom sistemu elemenata. Budući da je atom električki neutralan, pozitivni naboj jezgre mora biti jednak broju naboja elektrona, pa je van den Broek 1913 istaknuo da redni broj elementa zapravo predstavlja naboj atomske jezgre.

Radovi Rutherforda i njegovih suradnika, koji su nedvojbno utvrdili da postoji atomska jezgra i da se oko nje u velikoj udaljenosti kreću elektroni, ukazali su na potrebu da se u području atoma napuste principi klasične fizike. Nije to bio jedini udarac po osnovnim zasadama klasične fizike. Još 1900, u težnji da objasni toplinsko zračenje, Max Planck je uveo hipotezu o diskontinuiranosti fizičkih procesa. Planck je ispravno objasnio toplinsko zračenje pretpostavivši da energija harmoničkog oscilatora koji tira frekvencijom ν može biti samo cijeli broj određenog kvanta energije, koji iznosi $h\nu$, gdje je h Planckova konstanta.

Oslanjajući se na Planckovu kvantnu teoriju, na Rutherfordov model atoma i na eksperimentalne podatke o atomskim spektrima, N. Bohr je 1913 predložio kvantni model atoma i postavio osnove kvantne teorije atoma. Jednom revolucionarnom idejom riješen je problem stabilnosti atoma i objašnjeno mnoštvo spektroskopski utvrđenih činjenica. Od tada se fizika atoma i atomske jezgre dalje razvija oslanjajući se na principe kvantne mehanike (Heisenberg, Schrödinger, Dirac, de Broglie, Born, Jordan itd.).

Proučavanje prirodne radioaktivnosti dovelo je Boltwooda 1906 do otkrića novog elementa, koji je on nazvao jonij. Uskoro se ustanovilo da su kemijska svojstva jonija identična sa svojstvima torija. Razlikovali su se jedino u atomnoj težini i u radioaktivnim svojstvima. Soddy i Fajans su ustanovili da je emisija alfa-čestica praćena promjenom kemijskih svojstava elementa koji emitira alfa-čestice i da ta promjena odgovara pomaku za dva stupca ulijevo u Mendeljejevlju periodnom sistemu. Također su ustanovili da beta-radioaktivni raspad odgovara pomaku za jedan stupac, ali u suprotnom smjeru. Tako bi dva uzorka koji bi se razlikovali za jedan alfa-raspad i za dva beta-raspada imali isti naboj i prema tome ista kemijska svojstva, ali bi se razlikovali u atomnoj težini. Za elemente istih kemijskih svojstava a različitih atomnih težina predložio je Soddy 1910 naziv *izotopi* (ισος isos *jednak*, τόπος, topos *mjesto*). J. J. Thomson (1912) i Hönigschmidt (1914) pokazali su da postoje izotopi koji nisu radioaktivni (olovo i neon).

Soddy je 1917 pretpostavio da mogu postojati dva elementa iste atomske težine i istog naboja koji se razlikuju samo u radioaktivnim svojstvima. Četiri godine kasnije Hahn je dokazao da prirodni radioaktivni element UZ (²³⁸Pa) ima istu masu i isti naboj kao i UX₂, ali različito vrijeme raspada. Za takve stvari Soddy je predložio naziv *izomeri* (ἰσόμερος, meros *dio*).

1919 Rutherford je bombardirajući dušik alfa-zrakama opazio neke čestice koje nisu mogle biti raspršene alfa-zrake jer su imale mnogo veći doseg. On je pokazao da su to protoni. Tako je bila izvršena prva nuklearna reakcija. Rezultat te reakcije je transmutacija dušika u kisik: ¹⁴N(α, p)¹³O (v. *Nuklearne reakcije*).