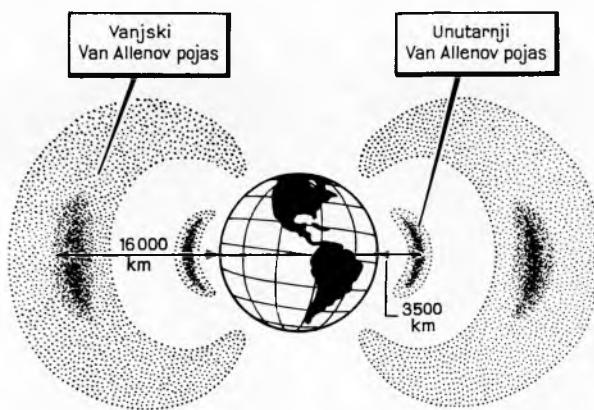


nedovoljno istraženo. Baloni s fotografskim pločama postižu dosad već relativno velike visine (do ~ 35 kilometara), ali oni još uvijek samo vrlo kratko vrijeme lebde u Zemljinom uzdušnom omotaču. Međutim, s pomoću umjetnih satelita takva mjerena i snimanja mogu se izvršiti praktički bez ikakvih smetnja od strane okoline i kroz dulje vrijeme. Pojedini rezultati već postoje, a oni će biti uskoro još daleko mnogobrojniji, kada bude uspjelo s orbitalne putanje vratiti koristan teret satelita većih dimenzija nego do sada.

Posebno iznenadenje predstavlja otkriće tzv. *van Allenovih pojasa*, koji predstavljaju regije velike gustoće fundamentalnih čestica što se gibaju relativno velikim brzinama. Postoje dva takva pojasa (sl. 14). Njihov položaj i prostranstvo zavise uglavnom od magnetskog polja Zemlje. Najveća im je dimenzija u radikalnom pravcu u ravnini ekvatora, a najmanja u blizini polova. Napajanje tih dvaju pojaseva nabijenim česticama nastaje očito iz dvaju različitih izvora. Vanjski pojas dobiva čestice direktno od Sunca, a unutarnji zavisi od posljedica kozmičkog zračenja.



Sl. 14

Intenzitet zračenja koje bi se moglo pojaviti u unutarnosti svemirskog broda u obliku γ -zraka dovoljno je velik da se o njemu strogo vodi računa prilikom izrade projekata umjetnih satelita s posadom. Brz prolaz takvih zraka mogao bi, vjerojatno, biti bezopasan. Razumije se da se danas posvećuju veliki napor pričuvanju tih sredstava svemira kojima se on brani od invazije.

U mnoge dosad lansirane satelite ugrađene su aparature za mjerjenje intenziteta udara malih meteorita. Veći meteoriti mogli bi biti katastrofalni, ali oni su rijetki i sudar s njima bio bi doista izvanredan slučaj. Međutim, čestice veličine zrna prašine, kojih ima veoma mnogo u svemiru i koje se kreću vrlo velikim brzinama u odnosu na svemirski brod (20...70 km/sek), mogle bi oštetići oplate satelita. Uglavnom se danas smatra da ti mali meteoriti nisu tako opasni kao što se to u početku pretpostavljalo. Protiv velikih meteorita ne postoje, razumije se, nikakva zaštitna sredstva.

Magnetsko polje Zemlje na velikim udaljenostima i magnetsko polje Mjeseca (ukoliko takvo uopće postoji) mogu se mjeriti s pomoću novih vrlo osjetljivih magnetometara i registrirani podaci emitirati radiom na Zemlju. Danas se smatra da unutarnje magnetsko polje nebeskih tijela nastaje uslijed gibanja tekućih i plinovitih masa, jer se obični feromagnetizam gubi već na relativno niskim temperaturama. Sovjetski istraživači tvrde da prema njihovim mjerjenjima Mjesec nema nikakvog magnetskog polja. Odatle bi se moglo zaključiti da je jezgra Mjeseca čvrsta i pričinjeno hladna materija.

U toku su mjerjenja koja imaju za svrhu da se provjeri opća teorija relativnosti. Poznato je da se dosad s pomoću te teorije mogu objasniti ili predvidjeti tri astrofizička efekta: a) lagano okretanje Merkurova perihela (~ 44 lučne sekunde u stoljeću); b) skretanje svjetlosne zrake koja prolazi u blizini Sunca (za 1,75 lučne sekunde, od čega jednu polovinu izaziva Sunčevu privlačenje fotona, a drugu zakrivljenost prostora); c) pomak spektralnih linija prema crvenom, tj. promjena frekvencije svjet-

losnih zraka koje dolaze od Sunca ili od drugih zvijezda na Zemlju.

Efekt a) odavna je poznat i može se vrlo tačno objasniti s pomoću spomenute teorije. U slučaju efekta b) postoje još sumnje koje se odnose na stepen tačnosti mjerjenja. Efekt c) je doduše kvalitativno opažen, ali rezultati mjerjenja nisu još posve pouzdani. Općenito uzevši, istinitost opće teorije relativnosti danas više ne dolazi u pitanje. Međutim, poželjna bi bila tačnija eksperimentalna potvrda postavljenih postulata. U pogledu efekta b) iznijeti su prijedlozi da se u satelit ugradi astronomski tačan sat (razumije se, ne s mehaničkim satnim mehanizmom nego atomski sat koji bi se zasnovao na molekularnim procesima, tj. koji bi radio s frekvencijama titranja atomske čestice) i da se podaci o mjerenu vremenu odnosno frekvencije emitiraju na Zemlju. Vremenska razlika u poređenju s istim takvim satom na Zemlji morala bi u tom slučaju pokazati efekt analogan efektu pomaka spektralnih linija prema crvenom. Smatra se da bi se takav eksperiment mogao uspješno ostvariti danas raspoloživim sredstvima. Pri tom dolazi istovremeno do izražaja jedan drugi efekt, koji je, doduše, već više od 50 godina poznat iz specijalne teorije relativnosti, ali još i danas je povod mnogim diskusijama, a to je tzv. *vremenska dilatacija*, tj. usporavanje hoda satova koji se gibaju, u poređenju sa satom koji miruje.

Danas nauka raspolaže atomskim satom, a raketna tehnika je omogućila postizavanje »kozmičkih« brzina, pa bi se i ta vremenska dilatacija mogla mjeriti sa velikom tačnošću s pomoću atomskih satova koji bi bili ugrađeni u satelite. Da bi se postigli još veći efekti ili čak i mjerljivo produženje života svemirskih putnika, mora prema Einsteinu brzina leta biti reda veličine brzine svjetlosti. Zato su već duže vremena u razmatranju projekti koji bi eventualno mogli omogućiti ostvarenje takvog eksperimenta (fotonike rakete).

LIT.: A. Ananoff, *L'astronautique*, Paris 1950. — D. R. Bates, *Space research and exploration*, London 1957. — C. Александров и P. E. Федоров, *Советские спутники и космическая ракета*, Москва 1959. — A. Штернфельд, *От искусственных спутников к междупланетным полетам*, Москва 1959. — B. И. Левантовский, *Ракетой к луне*, Москва 1960. — K. A. Ericka, *Space flight*, vol. I, New York 1960. — A. I. Berman, *The physical principles of astronautics*, New York 1961. — D. Ba.

ASTRONOMIJA, nauka o nebeskim telima i pojavama koje su s njima u vezi. Ona se služi metodama merenja (posmatranja, opažanja) i računanja, kao i nekim fizičkim metodama. U novije vreme njen je zadatak znatno proširen, što se vidi iz njene savremene podele.

Deli se na Položajnu astronomiju ili Astrometriju (koja se dalje grana na Sfernu i Praktičnu astronomiju), na Astrofiziku, Zvezdanu astronomiju, Nebesku mehaniku i Teorijsku astronomiju, Kosmontroniju i Kosmologiju.

Sferna astronomija daje matematičke metode za određivanje položaja nebeskih tela i tačaka na Zemlji, za izučavanje njihovih prividnih kretanja, za merenje vremena i za prelaz sa merenih i prividnih položaja nebeskih tela na njihove prave i srednje položaje, eliminisajući uticaje niza pojava koje prividno menjaju položaje tih tela (refrakcije, paralakse, aberacije, precesije, nutacije i dr.). *Praktična astronomija* izučava ispitivanje i upotrebu instrumenata za astronomска merenja i metode za određivanje položaja nebeskih tela i tačaka na Zemlji iz merenja, kao i metode za određivanje osnovnih astronomskih konstanata iz merenja. *Astrofizika* daje metode za izučavanje fizičkih osobina i hemijskog sastava nebeskih tela (*praktična astrofizika*) i metode za izučavanje sastava njihovih atmosfera, unutrašnjosti, kosmičke međuzvezdane materije i dr. metodama teorijske fizike (*teorijska astrofizika*). *Zvezdana astronomija* bavi se zakonostima grade i razvoja zvezdanih sistema i tesno je vezana za astrofiziku s jedne i nebesku mehaniku s druge strane. Primjenjuje najčešće statističke metode. *Nebeska mehanika*, služeći se zakonima racionalne mehanike, izučava zakone pravih kretanja nebeskih tela, kako translatoričnih tako i rotacionih, zatim oblike nebeskih tela i druge pojave. *Teorijska astronomija* izučava putanje planeta, kometa, dvojnih zvezda i drugih nebeskih tela iz merenih njihovih položaja, vodeći računa o njihovom međusobnom privlačnom dejstvu i o poremećajima koje druga nebeska tela unose u ova kretanja svojim privlačenjem. Daje metode da se iz poznatih putanja izračunavaju položaji dotočnih nebeskih tela u svima prošlim i budućim vre-

menima. *Kosmogonija* se bavi pitanjima postanka i razvoja nebeskih tela, počevši od posmatračkih podataka i poznatih prirodnih zakona. *Kosmologija* se trudi da otkrije opšte zakonitosti grade pristupačnog nam dela vaspone i vaspone kao celine.

Značaj astronomije je trostruk: naučni, praktični i ideološki. Pored svog osnovnog, naučnog značaja, važan je praktični njen značaj za određivanje, održavanje i prenošenje tačnog vremena, određivanje položaja tačaka na zemlji za potrebe geodezije, na vodi za potrebe pomorstva i u vazduhu za potrebe vazduhoplovstva, dalje, njen značaj u primeni na kalendarsko i hronološko računanje, u primeni na iskorišćavanje Sunčeve energije, na astronautiku itd. Veoma je velik i njen značaj za stvaranje savremene slike sveta i za suzbijanje nenaučnog tumačenja nebeskih pojava. Astronomija tesno saraduje sa drugim naukama i doprinosi njoj u razvoju. Ona pruža neiscrpan izvor problema matematički i mehanički. Pomaže razvoju atomske fizike ispitivanjem stanja materije na zvezdama i drugim nebeskim telima. Hemiji je dala nov elemenat, helijum, pokazala uslove i proces ionizacije na visokim temperaturama i pritiscima, pokazala postojanje spojeva koji se ne sreću pod zemaljskim uslovima. U svojim ispitivanjima graniči se geofizikom (geomagnetizam, jonsfera, kosmički zraci, meteorološke pojave i dr.).

Astronomija je jedna od najstarijih nauka. Smena dana i noći i godišnjih doba, kao i orijentacija na Zemlji pomoći zvezda, bili su poznati još preistorijskim nomadima, a njima su se sluzili i prvi zemljoradnici. Prva dublja znanja o kretanju nebeskih tela ponikla su u Kini, Asiru i Vaviloniji na 3000 g. pre n. e. Već su onde podelili sve zvezde u sazvežđa i pratili prividna kretanja Sunca, Meseca i onda poznatih planeta (Merkura, Venere, Marsa, Jupitera i Saturna) po nebeskoj sferi. Uveli su zodijske znake. Znali su dužinu godine i primetili nejednakost godišnjih doba. Godinu su podelili u 12 meseca a dan u 12 dvostručnih časova. Otkrili su period *saros* od 19 tropskih godina posle koje se ponavljaju Sunčeva i Mesečeva pomračenja. Odredili su period obilaska Meseca i planeta po zvezdanom nebnu. Znali su da je Zornjača i Večernjača jedna te ista planeta. Početak egipatskog kalendarskog računanja pada u godinu ← 4242. Egipčani su znali i za godinu od 365 dana, no već su bili primetili da ona za četvrtinu dana zakašnjava za prirodnim pojavama. I oni su vršili sistematsku posmatranju nebeskih tela, kao i Vavilonci, kako u astrološke tako i u praktične svrhe. Primetili su da je u sklopu periodu, vezanom za zemljoradnju, prethodni Sirijusov izlaz neposredno pre Sunca — *helijasti izlaz* — što im je omogućilo da predviđaju kišne periode.

Astronomija se javlja u ← VI v. u Grčkoj, kamo su je preneli moreplovci iz Mesopotamije i Egipta. Tales predviđa Sunčeva pomračenja, prvi uči da nebo i Zemlja imaju oblik lopte. Tu i tada javlja se prvi geocentrični sistem sveta, koji su stvorili Pitagoreći: Zemlja je lopata koja lebdi u središtu Vasione, oko koga se okreće kristalna sfera zvezda. U njoj se okreće 7 manjih sfera, od kojih svaka nosi po jedno pokretno nebesko telo — Sunce, Meseč i 5 planeta. Kasniji Pitagoreći već pomeraju Zemlju iz središta Vasione i uče da se ona okreće oko svoje izazivajući promenu dana i noći. Sa ovim postaje nepotrebno obrtanje sfere zvezda.

U Atini je Heraklit već učio da se Zemlja okreće i da oko nje obilaze Sunce i Meseč, a oko Sunca planete, pa se tako približio heliocentričnom sistemu sveta. Međutim, Aristotel (← IV v.) je bio čist geocentričar. On je prvi naučnim razlozima dokazao Zemljini sferni oblik i približne dimenzije. Zemljino kretanje osporavao je zbog nepoznavanja zakona inercije i neizmerno velikih zvezdanih daljina.

Od ← IV v. do ← II v. astronomija cveta u grčkoj koloniji u Aleksandriji. Aristil i Timoharis stvaraju prvi zvezdani katalog u ekliptičkom koordinatnom sistemu. Aristarh nalazi geometrijske metode i iz mera ugovla među nebeskim telima određuju prvi veličine Sunca i Meseca i daljnje ovih nebeskih tela. Veličina Sunčeva određuje ga da stavi Sunce u središtu sveta i tako on stvara prvi naučno zasnovani heliocentrični sistem sa Suncem u središtu Vasione oko koga obilaze Zemlja i sve ostale planete. Eratosten (← III v.) nalazi prvi metodu za primer Zemljinih dimenzija i dobiva da Zemljin poluprečnik vrednost blisku današnjoj. U njegovo vreme Egipčani vrše kalendarsku reformu uvođeći prvi put prestupne godine (Kanopski edikt). 200 godina docnije Aleksandrijac Sosigen uvedi tu reformu u rimski kalendar, preko koga se ona i danas zadražala (stari stil ili julijanski kalendar).

Nešto kasnije, Apolonije daje čuvenu *teoriju epicikala* u pokušaju da reši problem kako bi izgledale, posmatrane sa Zemlje, putanje planeta koje obilaze oko Sunca po Aristarhovu učenju.

Hiparh (← II v.) konstruiše nove instrumente i daje nov katalog zvezda. Uporedjujući ga s Aristolovim i Timoharisorovim otkriva pojavu precesije. Iako velik posmatrač, Hiparh nije imao kosmički pogled Aristarhov, te se vraća geocentričnom sistemu sveta.

Ptolemej (II v.) stoji u zavidnom položaju prema drugim grčkim astronomima, jer mu je glavno delo *Almagest* — zbornik svih astronomskih znanja Starog veka — u celini sačuvan i preko Arapskog dospelo u Srednjem veku i u Zapadnu Evropu. Oslanjujući se na Hiparha, Ptolemej u svom delu daje sliku svog geocentričnog sistema sveta: 1. Nebeski svod ima oblik lopte i obrće se kao ova. — 2. Po svom obliku naša je Zemlja, smatrana kao celina, takođe okrugla. — 3. Svojim položajem naša Zemlja zauzima središte celokupnog nebeskog svoda. — 4. Svojom veličinom i odstojanjem naša se Zemlja odnosi prema sferi zvezda nekretna kao tačka. — 5. Zemlja nema kretanja koje bi izazvalo promenu njenog položaja.

Podržavan učenjem crkve ovaj sistem se zadržao kroz ceo Srednji vek. U ovu epohu je mladi arapski narod, koji je osvojio sve zemlje u Sredozemlju, ovlađao tekovinama grčke kulture i preneo ih i u samu Evropu. Ostali su čuveni arapski premjeri Zemlje i posmatranja nebeskih tela. Opservatorija Ulug-Bekova u Samarkandu i danas je živ spomenik ove kulture.

U Zapadnoj Evropi prvi je Nikola Kuzanski (XV v.) učio da se Zemlja kreće. Njegovi savremenici Purbach i Regiomontanus preveli su Arhimeda i Ptolemeja i tako upoznali Zapadnu Evropu sa grčkom i aleksandrijskom astronomijom.

U epohi Renesanse javlja se u Evropi niz velikih astronomova koji vaskrsavaju staru grčku astronomiju i doveđe je do novog savršenstva. Prvi je Kopernik (1473—1543), koji u svom besmrtnom delu *De revolutionibus orbium coelestium* (1543) sa novom snagom i novim dokazima vaspostavlja heliocentrični sistem

u obliku savršenijem od Aristarhova. Po njemu Zemlja vrši tri kretanja: 1. dnevno obrtanje oko svoje ose od zapada na istok, iz koga sleduje prividno kretanje svih zvezda od istoka prema zapadu; — 2. godišnje kretanje oko Sunca od zapada prema istoku, iz koga sleduje prividno godišnje kretanje Sunca u istom smeru; — 3. godišnje konično kretanje Zemljine ose oko normalne na ravni ekliptike u smeru obrnutom od prethodnih kretanja.

Veliki posmatrač neba Tycho de Brahe (1546—1601) na svojoj opservatoriji „Uraniborg“ na danskom ostrvu Hvenu bio je u to vreme konstruisao čitav arsenal velikih instrumenata i izvršio je sa svojim učenicima niz posmatranja zvezda i planeta, naročito Marsa. Ova poslednja poslužila su njegovom učeniku Johannu Kepleru da dovrši Kopernikov heliocentrični sistem i obogati ga egzaktim zakonima planetskog kretanja.

Međutim, Galilejeva (1564—1642) je zasluga za očigledne dokaze u prilog Kopernikovu sistemu, što je znao prvi uperiti u nebo novopronađeni durbin. Sagledav Jupiterove mesece postalo mu je namah jasno da se kretanje nebeskih tela vrše i oko drugih središta no što je Zemlja, a kad je sagledao Venerine mene, nije više moglo biti sumnje da planeti, pa među njima i Zemlju, obilaze oko Sunca. U svome delu *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano* (1632) sa takvom je žestinom ustao u odbranu Kopernikova sistema koji je Inkvizicija osudila, da je bio psihički mučen i izložio se doživotnom progonstvu. Iz sličnog razloga nešto pre toga bio je filozof Giordano Bruno živ spalen na lo-maci.

Nešto kasnije, kada je heliocentrični sistem već bio usvojen u naučnim krugovima, Johann Kepler (1571—1630) podvrgao je numeričkoj obradi Braheova posmatranja i posle više godina došao do svojih znamenitih zakona planetskog kretanja izneta u delima *Astronomia nova de motibus stellarum Martis* (1609) i *Harmonice mundi* (1619): 1. Planetne opisuju oko Sunca elipse; u zajedničkoj žili tih elipsa nalazi se Sunce. — 2. Radius-vektor Sunce-planeta prevlači u jednakim vremenima jednaku površinu. — 3. Kvadrati vremena obilazeњa pojedinih planeta oko Sunca odnose se kao kubovi velikih poluosa njihovih putanja.

Pošto je Huyghens (1629—1695) dao svoje teoreme o centripetalnom ubranju, Newton (1643—1727) je pošlo sa rukom da dà u precizniju naučnu formu osnovne zakone mehanike, a zatim, služeći se njima, i u Keplerovim zakonima i Huyghensovim teoremama, da dođe do svog zakona opštne gravitacije iskazanog u njegovom besmrtnom delu *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687): svaki delić materije u Vasioni privlači svaki drugi delić silom koja pada u pravac tih delića i ima intenzitet сразмерan proizvodu njihovih masa i obrnutu сразмерan kvadratu njihova rastojanja. Iz ovog zakona nikla je jedna nova nauka — nebeska mehanika, koja je dalje rešila mnoge dole nerezene probleme translatoričnih i obrtnih kretanja raznih nebeskih tela, probleme njihovih oblika, problem plime i oseke i mnoge druge.

Otkriča pojava aberacije i paralaks slijajno su potvrdila Kopernikovo učenje koje je danas u osnovi astronomiske nauke, a Zemljina sploštenost, Beerot zakon, Foucaultov ogled i dr. očigledno su dokazali Zemljinu rotaciju. Leverrier — Adamsova otkriće Neptunea (1845—6) je pravi trijumf Newtonova zakona. Kasnije su se pokazali izvesni nedostaci i u samoj Newtonovoj teoriji, koji su danas delimično otklonjeni teorijom relativnosti.

Sa osnivanjem velikih opservatorija u Parizu 1665, Greenwichu 1676, Rusiji 1692 i dr. i sa primenom durbina na astronomskim instrumente javlja se u novih otkrića. 1718 je otkriveno sopstveno kretanje zvezda, izmjerena su Zemljina prostranstva i daljnja Sunca. Od 1835 do 1840 Struwe, Bessel i Henderson odredili su prve zvezdane daljine i pokazali da nas od najbližih zvezda razdvaja nekoliko svetlosnih godina. Otkriveni su sateliti velikih planeta, a već krajem XVIII veka orbitko kretanje dvojnih zvezda.

Herschel (1738—1822) je otkrio da se i Sunce kreće medu zvezdama (1783) i dao prve podatke o strukturi Mlečnog Puta. Kant (1755) i Laplace (1796) daju prve hipoteze o postanku Sunčeva sistema, koje su učinile revoluciju u shvanjanju o većitoj stalnosti Vasione i kretanja nebeskih tela.

Po polovinom XIX v. naglo se uvode fizički instrumenti u astronomsku posmatranju, primjenjuje se fotografija i spektroskopija. Stvara se nova grana astronomije — astrofizika. Mere se radikalne brzine zvezda, koje komponovane s njihovim sopstvenim kretanjima daju predstavu o prostornom kretanju zvezda i udaraju temelje zvezdanoj dinamici i zvezdanoj astronomiji. Fizički merenjima krajem XIX i početkom XX v. utvrđuju se osnovne karakteristike zvezda: veličina, sjaj, temperatura, masa, gustina, ukupno zračenje i dr. Dolazi i do saznanja da ima malo broj veoma velikih i sjajnih zvezda, džinova, golem broj zvezda sličnih karakteristika kao i Sunce i takođe manji broj crvenih patuljaka. Otkrivanju se zvezde sa izuzetno gustom materijom — beli patuljci.

Nagli razvoj atomske fizike u XX v. omogućio je da se objasni unutrašnja struktura zvezda i njihovo zračenje procesima transmutacije materije, a njihove različite karakteristike i izgled njihovom različitom strukturom. Udaraju se temelji savremenog shvanjanja o evoluciji zvezda. Otkriva se struktura našeg Zvezdanih sistema — Galaksije, dokazuje se da ona ima oblik spiralne magline s prečnikom od oko 100 000 svetlosnih godina i da je nastanjena sa preko milijardu zvezda, a 1927 Oort otkriva njenu rotaciju, koja je sve sporija ukoliko se ide ka njenoj periferiji. Na Sunčevoj daljini od središta Galaksije jedan njen obrat traje oko 200 miliona godina. 1930 otkrivena je i rasturena, difuzna tamna kosmička materija gustine 10^{-4} g/cm³ u ravni ekvatora Galaksije, a tamne i svelte difuzne magline oblažnjene su kao oblici ove materije osvetljeni raznim vrstama zračenja obližnjih sjajnih zvezda.

Najzad, upotrebova sve većih teleskopa otkriveno je mnoštvo sličnih galaksija u dubinama vasione od milion do preko milijardu svetlosnih godina. Otkrivena su i ovih galaksija i došlo se do pojma skupa svih ovih jata — Metagalaksije.

Ponikao je čitav niz kosmognonija koje su smenjivale jedna drugu, a polovinom XX v. Ambarcumjan je došao do otkrića zvezdanih porodica — asocijacije, zajedničkog i skorog postanka. Ovim se otvorio put jednoj novoj, sigurnijoj teoriji o postanku i razvoju zvezda, zasnovanoj na posmatranjima činjenicama.

Savremena astronomija i astrofizika bore se za naučni pogled na svet, protiv nazadnjih shvanjanja pojedinih astronomova koji uče o jednovremenom i trenutnom postanku svih nebeskih tela, dovodeći tako nauku na pozicije sa kojih se govori o biblijskom čudu stvorenja sveta. Isto tako ima poslednjih godina i tendencija da se neke činjenice i zakonitosti koje se odnose na naš ispitani deo vasioni i formalnom primenom matematičkog aparata prošire na čitavu vasionu i tako stvari pogrešna predstava o njenoj ograničenosti u prostoru i vremenu, nasuprot materialističkog shvanjanja o njenoj beskrajnosti i večnosti koje se potvrđuje nizom posmatranja. Neprekidan proces pretvaranja materije koji je nedavno otkiven naročito ubedljivo osvetljava ovo shvanjanje, naime, postanak difuzne međuzvezdane materije iz zvezdanih erupcija i novo radanje zvezda i njihovih asociacija baš u krilu difuzne međuzvezdane materije.

POLOŽAJNA ASTRONOMIJA (ASTROMETRIJA)

Sferna astronomija

Položaj. Osnovni pojam sferne astronomije je *nebeska sfera*. To je zamišljena sfera proizvoljno velikog poluprečnika, koji se uzima za jedinicu. Njeno središte se uzima, prema potrebi, u posmatračevu oku, u Zemljinu središtu, u Sunčevu središtu itd.

Sva nebeska tela projektuju se vizurom na nebesku sferu i pod *položajem* nebeskog tela podrazumeva se u sfernoj astronomiji položaj njegove projekcije na nebeskoj sferi. Ovaj se položaj određuje u sfernim koordinatnim sistemima u kojima se poteg ili daljina do nebeskog tela uzima za jedinicu, pa se sferne koordinate koje određuju njegov položaj svode na dva ugla. Prema tome koju ravan uzmememo za osnovnu koordinatnu ravan, imamo i više takvih koordinatnih sistema: sistem horizontski, ekvatorski, ekliptički i galaktički.

U *horizontskom sistemu* (sl. 1) položaj nebeskog tela σ određuje se uglom između meridijanske ravni i vertikalne ravni u kojoj se telo nalazi. To je *azimut* A . On može uzimati sve vrednosti od 0 do 360° i računa se pozitivan u smeru prividnog dnevног kretanja nebeskih tela, tj. od istoka na zapad. Druga koordinata je uglovna visina h tela nad horizontom. Meri se od horizonta do zenita od 0 do 90° i od horizonta do nadira od 0 do -90° . Mesto visine češće se upotrebljava zenithna daljina z ili ugao između vertikale i vizure, koji se kreće od 0 do 180° .

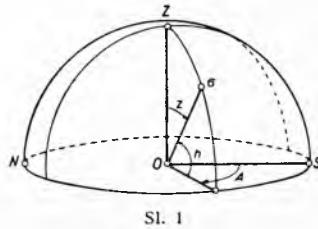
U *ekvatorskom sistemu* (sl. 2) imamo dve vrste koordinata: mesne ekvatorske i nebeske ekvatorske. Mesne ekvatorske su časovni ugao t i deklinacija δ , a nebeske ekvatorske rektascenzija α i deklinacija δ . *Časovni ugao* se meri od meridijana u istom smeru kao i azimut do ravni velikog kruga koji prolazi kroz nebesko telo i stoji upravno na nebeskom ekvatoru (*deklinacijski krug*). On se najčešće izražava u časovnoj meri računajući $360^\circ = 24^h$, odn. $1^h = 15^\circ$. Zbog praktične ravnomenosti Zemljine rotacije ovaj se ugao praktično ravnomeno menja u toku vremena i služi kao mera za vreme. Druga koordinata, *deklinacija*, uglovna je visina tela nad ekvatorom. Meri se od ekvatora do severnog odn. južnog nebeskog pola i može primati sve vrednosti od 0 do 90° , odn. od 0 do -90° . Pošto se telo u toku dana prividno kreće paralelno ekvatoru, ova je koordinata nepromenljiva.

Da bi se dobio i za prvu koordinatu za svako nebesko telo konstantan ugao koji ne zavisi od mesta posmatranja i vremena, uvedena je mesto časovnog ugla *rektascenzija*, tj. ugao u ravni nebeskog ekvatora između pravca ka tački γ (tački prolećne ravnodnevice), kao presku između nebeskog ekvatora i Sunčeve prividne godišnje putanje ekliptike, i deklinacijskog kruga nebeskog tela. Ovaj ugao se meri suprotno časovnom ugлу i menja od 0 do 24^h . Ne menja se u toku prividnog dnevног kretanja zato što se i tačka γ kreće zajedno s nebeskim telom.

U *ekliptičkom koordinatnom sistemu* (sl. 3) položaj nebeskog tela određuje se nebeskom longitudom λ , uglom u ekliptici između tačke γ i preseka velikog kruga koji prolazi kroz nebesko telo i stoji upravno na ravni ekliptike. Meri se u istom smeru kao i rektascenzija i varira od 0 do 360° . Druga koordinata je nebeska latituda β ili uglovna visina tela nad ekliptikom. Meri se od ekliptike do severnog, odn. južnog pola ekliptike i varira od 0 do 90° , odn. od 0 do -90° .

Prva dva koordinatna sistema služe da se u njima mere koordinate nebeskih tela, jer postoje instrumenti koji realizuju ova dva koordinatna sistema (v. *Astronomski instrumenti*). Treći služi za sastavljanje zvezdanih kataloga u kojima je položaj svake zvezde okarakterisan sa dva konstantna ugla α i δ . Četvrti služi za izučavanje kretanja nebeskih tela Sunčeva sistema.

Najzad, *galaktički koordinatni sistem* služi za izučavanje položaja i kretanja zvezda i zvezdanih grupa u Galaktičkom sistemu. Položaj se u njemu određuje galaktičkom longitudom i latitudom, analogno nebeskoj longitudi i latitudi, samo se za osnovnu ravan uzima galaktička ravan ili ravan simetrije našeg Zvezdanog sistema.



Sl. 1

Vreme je u astronomiji nezavisno promenljiva u čijoj se funkciji izučavaju promene koordinata nebeskih tela u toku njihova kretanja. Osnovna jedinica za merenje vremena je *zvezdani dan* ili vremenski razmak između dve uzastopne gornje kulminacije tačke γ . *Zvezdano vreme* se definiše kao časovni ugao tačke γ . Sa sl. 2 lako se vidi da postoji ova prosta veza između časovnog ugla i rektascenzije, preko zvezdanog vremena:

$$s = \alpha + t. \quad (1)$$

Tačka γ se malo pomera po nebeskoj sferi usled precesije i koleba usled pojave nutacije. Ako položaj tačke γ oslobođimo nutacionih promena, onda se takvo zvezdano vreme naziva *srednjim zvezdanim vremenom*. Trajanje jednog Zemljinog obrtanja iznosi $24\text{h } 0\text{m } 0,0084\text{s}$ srednjeg zvezdanog vremena. Višak od $0,0084\text{s}$ dolazi od precesionog pomeranja tačke γ .

Zbog toga što se početak zvezdanog dana pomera u toku obdanice i što je čitav život i rad čovekov vezan za Sunce, već je odavno za praktične potrebe uzimana druga jedinica, *pravi sunčani dan* ili vremenski razmak između dve uzastopne gornje kulminacije Sunčeva središta. No dužina ovakve jedinice se menja zbog neravnomenog Zemljinog kretanja oko Sunca i zbog nagiba Zemljine obrtne ose prema ravni njene putanje oko Sunca. Zato se prešlo na *srednji sunčani dan* kao jedinicu. To je srednja vrednost svih pravih sunčanih dana u godini, a kinematički se može predstaviti kao vremenski razmak između dve uzastopne gornje kulminacije jednog fiktivnog, tzv. *srednjeg ekvatorskog sunca*, koje se kreće ravnomerno, i to po nebeskom ekvatoru a ne po ekliptici. Časovnim ugлом ovog Sunca meri se *srednje sunčano vreme*. Kako srednji sunčani dan počinje od podneva, to bi ovo izazivalo teškoće promenom datuma u podne. Zato je usvojeno da srednji dan počinje od prethodne ponoći. Ovakvo vreme naziva se *građansko vreme*.

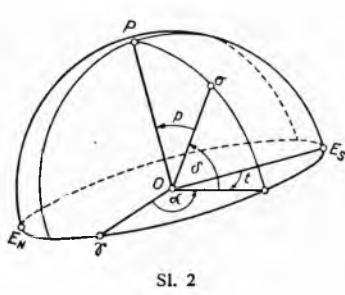
Pravo vreme može se odrediti iz astronomskih posmatranja, a na srednje se prelazi dodavanjem jedne popravke, koja nikad ne prelazi ± 16 min i koja se uzima iz astronomskih godišnjaka za svaki datum i zove se *vremensko izjednačenje*. Sa srednjeg na građansko vreme prelazi se dodavanjem 12^h .

Zvezdano vreme se određuje iz posmatranja prolaza zvezda kroz meridijan, a na građansko se prelazi računski. U tom računu osnovni je podatak odnos između broja zvezdanih i srednjih dana u godini. Iz velikog broja merenja utvrđeno je da jedan prividni obilazak Sunčev oko Zemlje od tačke γ do tačke γ — *tropska godina* — traje $366,2422$ zvezdanih dana i $365,2422$ srednjih sunčanih dana. Otud jednakost

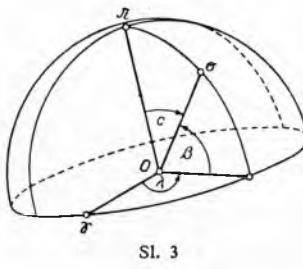
$$366,2422 \text{ zvezdanih dana} = 365,2422 \text{ srednjih dana} \\ \text{ili } 24 \text{ h zvezdanih vremena} = 23 \text{ h } 56 \text{ m } 4,091 \text{ s srednjeg vremena} \\ \text{a } 24 \text{ h srednjeg vremena} = 24 \text{ h } 3 \text{ m } 56,555 \text{ s zvezdanog vremena.}$$

Sve definisane vrste vremenskih jedinica počinju od gornje kulminacije, tj. od prolaza kroz meridijan izabratog nebeskog tela. Svako mesto na Zemlji ima, međutim, svoj meridijan, pa prema tome sve te vrste vremena predstavljaju *mesno vreme*. U jednom istom fizičkom trenutku svaka dva mesta na Zemlji koja ne leže na istom meridijanu imaju različito i zvezdano, i pravo, i srednje, i građansko vreme. Da bi se izbegle teškoće koje nastaju od ovoga u javnom saobraćaju i sredstvima za vezu, uvedeno je krajem prošlog veka *zonsko vreme*. Zemlja je podeljena granicama koje približno idu duž Zemljinih meridiana u *24 časovne zone*. Svaka zona obuhvata po 15° ili 1^h geografske dužine. U svakoj zoni se računa zvanično vreme po građanskom vremenu srednjeg meridijana dotične zone — to je *zonsko vreme*. Nulta zona ima za srednji meridijan grinički i njen vreme zove se *svetsko vreme*. Prva zona ima za srednji meridijan srednje-evropski i njen se vreme zove *srednjeevropsko vreme*. Po njemu se računa vreme u Jugoslaviji. Dalje dolazi istočnevropska zona itd. Od zone do zone vreme se razlikuje idući na istok za $+ 1^h$.

Iz ekonomskih razloga (ušteda u osvetljenju i dr.) mnoge zemlje uvele su tzv. *ukazno vreme*. Uzakom je kazaljka pomerena



Sl. 2



Sl. 3

za $+1^h$. Tako se npr. u istočnoevropskoj zoni zbog ukaznog vremena sada ne računa 1^h više od srednjeevropskog vremena, već $+2^h$. Ovo vreme se popularno naziva moskovsko vreme.

Pojave koje prividno menjaju položaje. Koordinate nebeskih tela koje se određuju iz merenja nose niz sistematskih uticaja kojih se treba osloboditi. Pomenimo ovde one kojima se bavi sferna astronomija.

Svetlosni snop koji stiže od nebeskog tela, probijajući se kroz sve gušće slojeve Zemljine atmosfere dok stigne do posmatračeva oka, trpi izvesno savijanje u krivu. Posmatrač vidi telo u pravcu tangente na ovu krivu u njenoj završnoj tački. To je pojava *astronomске refrakcije*, usled koje nebeska tala uvek vidimo na većim visinama iznad horizonta no što se ona stvarno nalaze. Veličina njena je najveća na horizontu i iznosi oko $34'$. Zavisi od indeksa prelamanja vazduha i zenitne duljine, zatim od temperature, atmosferskog pritiska i drugih meteoroloških uslova.

Zbog posmatračeva kretanja po Zemlji i u prostoru usled Zemljina obilaženja oko Sunca, menjaju se pravci u kojima posmatramo jedno nebesko telo. To je pojava *dnevne*, odn. *godišnje paralakse*. Zbog toga i telo prividno menja svoj položaj na nebeskoj sferi. Zato se pri posmatranjima nebeskih tela Sunčeva sistema vrši svodenje njihovo na Zemljino središte, a pri posmatranjima zvezda njihovo svodenje na Sunčeve središte, obračunom uticaja dnevne, odn. godišnje paralakse.

I Zemljino obrtno kretanje i njen obilaženje oko Sunca ne vrše se brzinom koja je zanemarljiva prema brzini kojom svetlost putuje od posmatranog nebeskog tela do posmatrača. Zbog toga posmatrač ne vidi nebesko telo na njegovom *pravom položaju*, već na *prividnom položaju* koji se nalazi u pravcu rezultante ovih brzina. Ako je u pitanju Zemljino obrtanje, onda se kaže da prividno pomeranje nebeskog tela dolazi od *dnevne aberacije*. Uzme li se u obzir obilaženje Zemlje oko Sunca, kaže se da prividno pomeranje nebeskog tela dolazi od *godišnje aberacije*. Ovo pomeranje uvek se vrši po luku velikog kruga usmerenog ka *apeksu* ili tački prodora pravca Zemljina kretanja kroz nebesku sferu.

Zbog Zemljine spljoštenosti Mesec i Sunce svojim gravitacijama ne privlače podjednakom silom Zemljino ekvatorsko ispuštanje okrenuto njima kao ono okrenuto od njih. Usled toga dolazi do njihanja Zemljine obrtne ose u prostoru zvezda, tako da nebeski polovi opisu krug za blizu 26 000 godina. To je pojava *precesije*. No zbog periodične promene položaja Meseца i Sunca prema Zemlji kriva po kojoj se kreće nebeski pol nije krug već je blago zatalasana. To je pojava *astronomске nutacije*. Zbog obeju pojava, kao i zbog malog kolebanja same ekliptike, u toku vremena menjaju položaj koordinatne ose ekvatorskog i ekliptičkog koordinatnog sistema, pa se menjaju i koordinate nebeskih tela.

Najzad, i same zvezde, iako veoma udaljene, pokazuju u dužim vremenškim razmacima veoma mala *sopstvena kretanja*, koja se mogu izmeriti i odrediti, a o kojima takođe treba voditi računa kada se želi da se iz posmatranja dobiju konstantne koordinate nebeskog tela za jedan zvezdani katalog ili za kakva dalja teorijska ispitivanja.

Obračun i eliminisanje svih ovih uticaja iz posmatranih koordinata vrši se čuvenim *Besselovim obrascem*. Pri tom, jasnoće radi, treba razlikovati u ovom svodenju tri stupnja: posle merenja, kada se oslobođe uticaja refrakcije i dnevne aberacije, dobivaju se *prividne koordinate* nebeskog tela; pošto se ove oslobođe uticaja godišnje aberacije, dobivaju se *prave koordinate* njegove, a posle odstranjivanja uticaja nutacije, tzv. *srednje koordinate* nebeskog tela u trenutku merenja. Posle eliminisanja uticaja precesije i sopstvenog kretanja od trenutka merenja do nekog datog standardnog trenutka, karakterističnog za jedan zvezdani katalog, dobivaju se srednje koordinate za taj standardni trenutak koji se naziva *epoha kataloga*. Prividne koordinate nebeskih tela daju se svake godine u *astronomskim godišnjacima* ili *efemeridama*.

Astronomski godišnjaci (almanasi, efemeride) su periodične publikacije koje sadrže prividne ekvatorske koordinate Sunca, Meseca i planeta, kao i srednje i prividne ekvatorske koordinate osnovnih zvezda za dotičnu godinu, tzv. *astronomске efemeride*. Isto tako sadrže i podatke o izlazu i zalazu nebeskih tela, pomraćenjima i drugim astronomskim pojавama, kao i zbirku pomoćnih računskih tablica. Izdaju se na 1 ili 2 godine unapred. Služe za potrebe astronomskih posmatranja i njihove obrade, kao i za obradu astronomsko-geodetskih i hidrografskih merenja i u druge svrhe.

Sve veće zemlje izdaju svoje astronomске godišnjake: Francuska *Connaissance des temps* od 1679, Engleska *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris* od 1766, Nemacka *Berliner Astronomisches Jahrbuch* od 1777, SSSR *Astronomicheskiy eжегодник* od 1922, Jugoslavija *Almanah Bošković* od 1918 i *Godišnjak našeg neba* od 1929 itd. Njihova je izrada koordinirana međunarodnim sporazumima.

Pošto je specijalni astronomski godišnjaci s nešto manjom tačnošću, no podešeni za brzo izvođenja položaja broda na morskoj površini za potrebe preko-morske plovidbe. Takvi su: *Nautisches Jahrbuch* od 1851, *Éphémérides nautiques* od 1889, *Morskoy astronomicheskiy eжегодник* od 1930, *Nautički godišnjak* od 1934 itd. Od dvadesetih godina ovoga veka izdaju se i specijalni astronomski godišnjaci za potrebe vazduhoplovstva. Isto tako postoje astronomski godišnjaci i za specijalne astronomске radove: za male planete, promenljive zvezde, nekretnice i dr. Postoji veći broj astronomskih godišnjaka za potrebe amaterskih posmatranja koje izdaju takođe sve veće zemlje (obično astronomskih društava). Oni sadrže, pored efemerida i tablica, i niz stručnih i popularnih članaka iz astronomije, većinom posmatračke.

Praktična astronomija

Časovna služba sastoji se od ovih operacija: *određivanja tačnog vremena* iz astronomskih posmatranja, *održavanja vremena* pomoću preciznih časovnika i *prenošenja vremena* pomoću radija. Neophodna je za razvijenu industriju i privredu, zatim za potrebe geodete i geofizičara na terenu, kao i za potrebe naučno-istraživačkih instituta, prvenstveno astronomskih opservatorija i fizičkih laboratorijskih. Najzad, bez nje se ne može zamisliti pomorska i vazduhoplovna astronomska plovidba.

Naročit napredak u organizaciji i povišenju tačnosti ona došće pronalaskom bežičnog telegrafa 1895. G. 1912 na Pariskoj konferenciji utvrđen je prvi međunarodni sporazum za prenošenje tačnog vremena putem časovnih radio-signala, no Prvi svetski rat privremeno je odložio ove planove. G. 1920 osniva se *Međunarodni časovni biro* pri Pariskoj opservatoriji, kao organ Međunarodne astronomske unije. Tek od 1931 počinju sve zemlje koje se bave određivanjem tačnog vremena da šalju svoje podatke redovno ovom centru, koji ih obrađuje i publikuje. Od 1953 i naša zemlja učestvuje u *Međunarodnoj časovnoj službi* preko Astronomskih opservatorija u Beogradu. Danas je u njoj zastupljeno preko 40 opservatorija. SSSR sa čitavim nizom svojih stanica ima svoju opstvnu nacionalnu časovnu službu.

Određivanje tačnog vremena svodi se na određivanje *popravke časovnika* kao razlike između teorijskog tačnog vremena i pokazivanja časovnika u jednom trenutku. Ona se određuje pomoću *pasažnog instrumenta* (v. *Astronomski instrumenti*), malog astronomskog durbina postavljenog tako da njegova optička osa prilikom njegova obrtanja praktično opisuje ravan meridiana. U trenutku prolaza zvezde kroz meridijan njezin časovni ugao jednak je nuli, pa je prema jednačini (1) tačno mesno zvezdano vreme u trenutku posmatranja jednakom njenoj rektascenziji. U trenutku njenog prolaza kroz meridijan registruje se vreme koje pokazuje časovnik i ono se popravi uticajem instrumentskih konstanta. Razlika između rektascenzije zvezde i ovako registrovanog trenutka biće tada popravka časovnika. Tačnost tako određenoga vremena kreće se oko $\pm 0,02^s$. Na nekoliko opservatorija posmatrač se poslednjih godina zamenjuje fotočelijom, koja bez ličnih i još nekih sistematskih grešaka registruje vreme prolaza zvezde pa u određivanju vremena obezbeđuje znatno veću tačnost. Poslednjih godina konstruisano je za jednovremeno određivanje tačnog vremena i geografske širine i nekoliko novih instrumenata, od kojih su na mnogim opservatorijama ušli već u tekuću upotrebu *Danjonov bezlični astrolab* i *fotografski zenit-teleskop*, čija se tačnost kreće oko $0,005^s$. Za registrovanje trenutaka posmatranja služe *elektromagnetični hronografi*, slični Morseovu aparatu. Danas se sve više prelazi na *elektronske hronografe* i na katodni osciloskop, koji obezbeđuju tačnost od $0,001^s$.

No astronomika posmatranja mogu da se vrše samo za vedrih noći, a na stanicama u Evropi prosečno je vedra tek svaka peta noć. U međuvremenu vreme se održava pomoću preciznih časovnika s invarskim klatnima, koji rade pod staklenim zvonima gde se održava stalni vazdušni pritisak, i u časovnim kabinama sa termostatima gde se održava stalna temperatura. Na taj način se postiže sigurnost njihova hoda s tačnošću od oko $0,01^s$ na dan. Poslednjih dvadeset godina, međutim, naglo se prelazi na *kvarcne časovnike*, električne oscilatore visoke frekvencije čije je oscilovanje stabilizovano pločicom ili prstenom piezoelektričnog kvarca. Ovakvi časovnici već su skoro potpuno istisli časovnike s klatnima na astronomskim opservatorijama. Tačnost u održavanju vremena koju oni mogu zagarantovati penje se do $0,001^s$ na dan. Poslednjih nekoliko godina ulaze u upotrebu *molekulski* (amonijačni) i *atomski*

(cezijumski) časovnici, u kojima se za održavanje vremena koristi stalnost frekvencije molekula, odnosno atoma, koja je vrlo visoka. Ovakvi časovnici rade već nekoliko godina u Engleskoj, Nemačkoj, Americi, a u poslednje vreme puštaju se u rad još i u Francuskoj, Švajcarskoj, SSSR i Čehoslovačkoj. Oni mogu zagarantovati tačnost u održavanju vremena do 0,0001^s na dan.

Sa ekstrapolovanom vrednošću popravke časovnika odredene iz astronomskih posmatranja, mnoge opservatorije koje učestvuju u Međunarodnoj časovnoj službi odašilju preko moćnih radio-stanica časovne signale u ugovorene trenutke dana. Za prekomorskiju plovidbu i javne potrebe vrše se odašiljanja nekoliko tačaka s povlakom čiji završetak označava pun čas. Za naučne i tehničke svrhe vrše se otpremanja časovnih signala koja traju po pet minuta, a sastoje se od kratkih povlaka od po 0,05 s i dužih od po 0,1 s čiji početak predstavlja početak minute. Pri tom postoje dve vrste takvih signala. Jedna predstavlja emisiju sekundnih otkucaja, i takvih signala ima 300 u 5 min. Druga se sastoji od 306 signala u 5 min, tj. 61 signal u 60 s. To su tzv. *ritemički signali*, koji predstavljaju vremenski nonijus. Posmatrač koji na jedno uho sluša sekundne otkucaje svog časovnika a na drugo ove signale može pri povremenim poklapanjima ovih otkucaja s visokom tačnošću uporediti svoj časovnik. Ove se emisije postupno ukidaju budući da se danas upoređenje časovnika sa signalima, tj. prijem časovnih signala, vrši gotovo redovno na hronografima. Za tu svrhu primenjuju se poslednjih godina sa velikom tačnošću elektronski i cilindrični hronografi sinhronizovani s kvarcnim časovnikom, a u najnovije vreme katodni osciloskop ili oscilograf, koji obezbeđuje i znatno veću tačnost i veću ekspedativnost i ekonomičnost.

Svaka ustanova kojoj je potrebno poznavanje vremena s tačnošću od 0,01^s ili višom prima ove signale na svom hronografu i uporedujući ih s otkucajima svog časovnika određuje njegovo stanje. Vršeći ovo svakodnevno ili po više puta na dan, ona može da vodi dnevnik stanja svakog svog časovnika, iz koga se njegova popravka može u svakom željenom trenutku interpolovati i dobiti njegovom pokazivanju, pa tako dobiti tačno vreme kada je vršen jedan ogled ili posmatrana jedna pojava.

Sve opservatorije koje učestvuju u Međunarodnoj časovnoj službi vrše svakodnevno prijem mnogih emisija časovnih signala. Znajući popravku svog osnovnog časovnika izvedenu iz astronomskih posmatranja, ili pak popravku svog srednjeg idealnog iz svih časovnika, koja se izvodi računski, opservatorije mogu da odrede popravke ovih emisija, tj. onaj broj stotih delova sekunde za koliko su one kasnile ili žurile prema njihovom srednjem idealnom časovniku. To su tzv. poludefinitivne popravke ovih emisija, koje opservatorije publikuju u svojim biltencima. Međunarodni časovni biro, pošto ih posebnim metodama oslobođi niza sistematskih grešaka, iskorišćava sve poludefinitivne popravke da iz njih izvede jednu srednju, definitivnu popravku za svaku emisiju, koju objavljuje u svom časovnom biltenu (*Bulletin horaire*).

Skako je upotrebljavao časovne signale da odredi popravku svog časovnika u jednom trenutku koji ga je interesovan može sada da na ovu popravku nanese i definitivnu popravku dotične emisije i da tako ima međunarodno standardno vreme — praktično najtačnije koje se može ostvariti.

Velik je značaj Međunarodne časovne službe za povišenje tačnosti u poznavanju vremena i geografskih dužina, zatim za ispitivanje zakonitosti prostiranja radio-talasa i za određivanje njihove brzine. Zahvaljujući njenim radovima i preciznim kvarcnim časovnicima otkrivena je tridesetih godina ovog veka sezonska neravnomernost u brzini Zemljina obrtanja. Danas se otišlo dote da se ona neprekidno prati kvarcnim časovnicima i od 1956 popravka u poznavanju tačnog vremena koja od nje dolazi unosi se u definitivne popravke emisija časovnih signala. Otada se unosi i popravka koja dolazi od periodičnog pomeranja Zemljinskih polova, koja se neprekidno određuje u *Brzoj međunarodnoj službi šrine*, u kojoj danas učestvuje 25 velikih astronomskih opservatorija, među kojima i beogradска. Tako određeno tačno vreme zahteva još samo jednu popravku, koja se nanosi znatno kasnije na definitivne popravke emisija, a određuje se specijalnim posmatranjima Mesečeva položaja (Markovićeva dvopokretna komora, meridijanski krugovi). Ona dolazi od promena u brzini Zemljina obrtanja znatno duže periode. Tako se dobiva tzv. efeme-

ridsko vreme, koje se danas najviše približava idealno ravnomernom vremenu što ga nebeska mehanika uzima kao nezavisno promenljivu u jednačinama kretanja nebeskih tela.

Geodetska i geofizička astronomija. Geodetska astronomija bavi se teorijom, ispitivanjem i upotrebom astronomsko-geodetskih instrumenata (univerzalnog, pasažnog, zenit-teleskopa, astrolaba s prizmom itd., v. *Astronomski instrumenti*), kao i metoda za određivanje vremena, geografskih koordinata i azimuta pravca na zemljisu, i služi potrebama geodezije.

Geodetskim metodama razvijaju se lanci ili mreže trouglova u kojima se mere jedna ili više strana i uglovi, pa se vezivanjem ove mreže za jedan koordinatni sistem određuju trigonometrijskim metodama koordinate temena ovih trouglova (trigonometrijske tačke), da bi se, s jedne strane, prišlo bliže detalju radi njegova kartiranja i da bi se, s druge strane, mogle odrediti Zemljine dimenzije i njen tačan oblik. Koordinate polazne tačke i jedan polazni azimut za orijentaciju mreže u odnosu na Zemljine meridijane i paralele mogu se odrediti samo iz astronomskih merenja. Astronomski određene koordinate zato se zovu apsolutne, a geodetske, relativne. Mada je tačnost astronomskih koordinata manja od tačnosti geodetskih, uzetih pojedinačno, posle 100...200 km greške u određivanju geodetskih koordinata nagomilavaju se i prevazilaze greške astronomskih određivanja. Zato se na svakih 100...200 km umeće po jedna astronomска tačka na kojoj se koordinate i azimut određuju astronomskim metodama. Tako se dolazi do astronomsko-geodetske mreže na jednoj teritoriji. Ona se izravnava, a tek potom se na nju naslanja trigonometrijska mreža prvog reda (v. *Geodezija*). Takve astronomске tačke koje služe za apsolutnu orijentaciju jedne prvakasne trigonometrijske mreže i za povećanje njenе tačnosti zovu se *Laplaceove tačke*. Na njima se određuju s najvećom mogućom tačnošću geografska dužina (0,02^s) i azimut pravca (0,3''), pa se pomoću tzv. Laplaceove jednačine

$$\alpha - A = (\lambda - L) \sin \phi,$$

u kojоj su A i L geodetski azimut i dužina a α , λ i ϕ astronomski azimut, dužina i širina, kontrolise i ispravlja tačnost geodetskih koordinata.

Astronomske tačke služe i za određivanje Zemljinih dimenzija, poluprečnika ekvatora a i polarne poluose b , ako je teritorija dovoljno velika. Odate se može sračunati i oblik *referencijskog elipsoida* (v. *Geodezija*) kojim se aproksimira Zemljin oblik i na koji se projektuju sva geodetska merenja.

Astronomske tačke nešto manje tačnosti, tzv. *geoidne tačke*, mnogo češće raspoređene, obično duž meridijana i paralela, služe za određivanje profila geoida (tzv. *astronomski nivelman*), tj. njegova nadvišavanja nad referencijskim elipsoidom u tim tačkama. U ravničarskom terenu razmak njihov je 10...20 km, a u planinskom 3...5 km. Na njima se moraju odrediti pored astronomskih i geodetske koordinate. Razlika ovako određenih koordinata daje tzv. *vertikalna skretanja* iz kojih se ovo nadvišavanje izračunava. No ako se ova vertikalna skretanja odrede gravimetrijski, što je znatno brže i ekonomičnije, mogu se astronomske tačke znatno prorediti — na 50...100 km jedna (tzv. *astronomsko-gravimetrijski nivelman*). Tako astronomija pomaže geodeziju da dode do tačnog Zemljinog oblika — *geoida*, što je od mnogostrukog naučnog i praktičnog značaja.

Astronomske tačke još manje tačnosti služe u još neispitanim predelima mesta trigonometrijskih tačaka na koje se neposredno naslanja premer, jer je određivanje astronomskih tačaka brže i ekonomičnije od razvijanja trigonometrijskih mreža.

Astronomskim metodama se iz opažanja Sunčevih pomračenja, okultacija zvezda Mesecem, zatim položaja veštačkih Zemljinih satelita mogu takođe izvoditi astronomske koordinate tačaka na Zemlji koje služe za određivanje njenog oblika i njenih dimenzija.

Najzad, na stalnim stanicama vrše se metodama geodetske astronomije stalna određivanja tačnog vremena, koja su dovela do poznavanja zakona prostiranja radio-talasa, promena geografskih dužina, neravnomernosti Zemljina obrtanja, omogućila provjeravanje pomeranja kontinenata i rešila još mnoge značajne probleme i za astronomiju i za geodeziju.

Na drugoj vrsti stalnih stanica neprekidno se vrši precizno određivanje trenutnih geografskih širina, potrebno za određivanje

koordinata Zemljinih trenutnih rotacionih polova i za ispitivanje zakonitosti njihovih periodičnih i progresivnih pomeranja po Zemljinoj površini. Još je Newton izrazio sumnju o pomeranju Zemljinih rotacionih polova, a Euler postavio prvu teoriju o tome. Pulkovski, a zatim berlinski astronomi potvrdili su iz astronomskih merenja periodično pomeranje Zemljinih polova. To je zatim potvrdila i jedna ekspedicija Međunarodne geodetske asocijacije poslana u Honolulu 1892. Najzad, 1899 dolazi do osnivanja *Međunarodne službe širine*, koja se danas nalazi u sastavu Međunarodne astronomске unije. I danas radi pet stalnih stаница na širini $+39^{\circ}8'$ na stalnom određivanju trenutnih širina, iz kojih Centralni biro ove Službe (sada u Japanu) određuje pravougle koordinate severnog trenutnog rotacionog pola Zemlje. One su potrebne za popravku koordinata i azimuta određenih na astronomskim tačkama, kako bi se sveli na jedan stalni srednji Zemljin pol, tj. na jedan stalni koordinatni sistem, a s druge strane za određivanje tačnog vremena. Za potrebe Međunarodne časovne službe povećan je od 1956 broj ovakvih stalnih stаница i tako je obrazovana *Brza međunarodna služba širine* (v. Časovna služba u ovom članku).

Problematika vezana za Službu širine, s jedne strane, i za raznovrsna geofizička ispitivanja, s druge strane, doveća je do nedavnog obrazovanja čitave zasebne astronomske grane — *geofizičke astronomije*. Njeni glavni problemi su ovi: ispitivanje veze između četraestomesečne komponente slobodne nutacije u pomeranju Zemljinih polova i promena s polumesečnom, mesecnom i polugodišnjom periodom u brzini Zemljina obrtanja, kao i pojave plime i oseke Zemljine kore, seismoloških pojava i pojave izostazije. Druga grupa pitanja obuhvata odnose između godišnje komponente prinudne nutacije u pomeranju Zemljinih polova i promena s godišnjom periodom u brzini Zemljina obrtanja, kao i nekih meteoroloških i oceanografskih pojava. Najzad, treća grupa problema bavi se izučavanjem korelacije između sekularnog pomeranja Zemljinih polova i sekularnih promena u brzini Zemljina obrtanja, koje su vezane i za neke glaciološke pojave.

Naposletku zadržimo se kratko na astronomskim metodama za određivanje geografskih koordinata i azimuta pravca, koje su u osnovi čitave geodetske i geofizičke astronomije. Geografska širina φ i stanje časovnika vezuju se za koordinate opažane zvezde (α i δ s jedne strane i A i z s druge strane) preko tzv. *položajnog sfernog trougla* (sl. 4) čija su temena nebeski pol P , zenit Z i nebesko telo σ , pomoću obrazaca sferne trigonometrije. Uzimajući koordinate α , δ iz navedenih kataloga ili astronomskih efemerida i mereći koordinate A ili z astronomsko-geodetskim instrumentima u jednom određenom trenutku T po hronometru, može se iz tih obrazaca izračunati geografska širina i stanje časovnika, a dalje iz prijema časovnih signala izvesti i geografska dužina mesta posmatranja.

Postoje mnogobrojne metode za ova određivanja. Tako se širina najčešće određuje iz merene zenitne duljine zvezde u meridijanu ili blizu njega, iz trenutka prolaza zvezde kroz prvi vertikal (vertikalni krug upravan na ravan meridijana), kao i iz merenih razlika zenitnih duljina parova zvezda u meridijanu, a stanje časovnika iz merene zenitne duljine zvezde u blizini prvog vertikala ili iz trenutka prolaza zvezda kroz meridijan. Druga grupa metoda daje širinu i stanje časovnika iz zabeleženog trenutka kada parovi ili nizovi zvezda dostižu jednaku visinu. S naročitim uspehom i ekspeditivnošću upotrebljavaju se za ovu svrhu razne vrste astrolaba s prizmom. Azimut pravca najčešće se određuje iz merenog horizontalnog ugla između pravca ka jednoj trigonometrijskoj tački i ka Severnjači, pa se ovom uglu dodaje azimut Severnjače, koji se računa iz njena posmatranja.

Pomorska i vazduhoplovna astronomija je grana praktične astronomije koja daje metode za određivanje položaja broda, odn. aviona, pri dalekim prekmorskim putovanjima, kao i za popravku kompasa. One se izvode računski ili grafički iz merenih visina najmanje dva nebeska tela. Za ovo merenje služi mali uglovnerni instrument *sekstant*, koji je još 1699 predložio za ovu svrhu Newton a 1730 konstruisali su ga nezavisno Hadley i Godfrey. Današnji njegov oblik

pretrpeo je niz manjih usavršenja u cilju brzegi tačnijeg merenja uglovne visine nebeskog tela. Za potrebe vazdušne plovidbe postoji danas niz savremenih njegovih varijanata s mnogim usavršenjima.

Savremena metoda određivanja položaja potiče iz 1843 od američkog pomorača Soomnera. Ona je pretrpela nekoliko usavršenja, od kojih je najbitnije dao francuski pomorac Saint-Hilaire 1875. To je tzv. *metoda položajnih linija*. Za izmerenu visinu h svakog nebeskog tela daje sferni trougao na sl. 4 po jednu jednačinu

$$\sin h = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos (\epsilon_0 + \lambda),$$

gde su φ i λ geografska širina i dužina broda, δ deklinacija posmatranog nebeskog tela, a ϵ_0 njegov časovni ugao u Greenwichu. Poslednja dva podatka daje nautički godišnjak. Ako je po kursu broda i predenu putu izračunat približan položaj broda (φ_0 , λ_0), svaka od gornjih jednačina geometrijski predstavlja po jednu pravu, tzv. *položajnu liniju*. Uzimeno ili izračunati položaj (φ_0 , λ_0) sa koordinatni početak pravolinjskog pravouglog koordinatnog sistema, za apscisu priraštaj $\Delta\varphi$, a za ordinatni priraštaj $\Delta\lambda \cos \varphi$, a za ordinatni priraštaj $\Delta\varphi$, onda čemo položajnu liniju dobiti ako u pravcu koji daje azimut A posmatranog nebeskog tela nanešemo razliku $h - h_0$ između posmatrane i računate njegove visine, pa u završnoj tački ovog odsečka povučemo normalu (sl. 5).

Ako je opažano više nebeskih tela, položajne linije se neće seći u jednoj tački zbog grešaka merenja, već će obrazovati mali poligon grešaka. Postoje metode po kojima se može izračunati najverovatniji položaj broda u tom poligону.

Popravka kompasa izvodi se iz razlike između azimuta nebeskog tela koji daje kompas i azimuta koji se dobiva iz njegova posmatranja sekstantom, a koji se može izračunati uz pomoć nautičkih tablica. U trenutku posmatranja potrebno je zabeležiti i tačno vreme. Da bi se ovo imalo, treba u toku dana brodski hronometar više puta uporedavati sa časovnim radio-signalima.

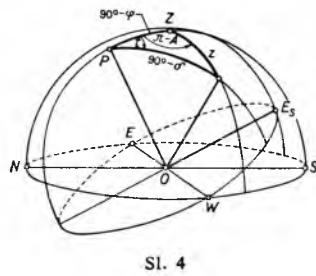
U našoj zemlji izdavala je do 1941 *Nautički godišnjak* za potrebe astronomiske plovidbe Astronomski opservatorija u Beogradu, danas ga izraduju Hidrografski institut JRM u Splitu.

Određujući s vremena u vreme položaj broda ili aviona na Mercatorovoј karti, pomorac i vazduhoplovac proveravaju i popravljaju kurs broda ili aviona, vraćajući ga stalno na unapred računati i obeleženi njegov kurs, koji na najkratči i najprirodniji način vezuje dva mesta na Zemljinoj površini između kojih se obavlja plovidba ili letenje.

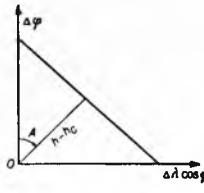
Fundamentalna astrometrija je grana praktične astronomije koja se bavi određivanjem ekvatorskih koordinata nebeskih tela iz meridijanskih posmatranja na fundamentalnim instrumentima (velikom meridijanskom krugu, velikom pasažnom instrumentu, velikom vertikalnom krugu). Ovi podaci dalje služe za sastavljanje *zvezdanih kataloga i karata*. Ona se bavi još određivanjem osnovnih astronomskih konstanata, prvenstveno Sunčeve paralakse (daljine) kao osnovne astronomске jedinice, kao i konstanata precesije, nutacije i aberacije. Važan predmet njena istraživanja su bile zvezdane paralakse (daljine) i sopstvena kretanja, no on je danas prešao u astrografsku astrometriju. Značaj njenih radova je golem, kako za časovnu službu, geodeziju, astronomsku plovidbu i druge grane praktične astronomije, tako i za teorijsku i zvezdanu astronomiju i sve ostale grane astronomске nauke.

Rektascencija se određuje iz trenutka prolaza zvezde kroz meridijan, a deklinacija iz merene zenitne duljine u meridijanu. Treba razlikovati dve vrste određivanja ekvatorskih koordinata iz meridijanskih posmatranja: *apsolutno* i *relativno*. Pri apsolutnom određivanju, koje se vrši nezavisno od svih prethodnih određivanja, moraju se pored koordinata posmatranih nebeskih tela odrediti iz sopstvenih posmatranja i drugi potrebeni podaci, kao azimut instrumenta, hod časovnika, položaj nule na krugu, geografska širina stанице, konstanta refrakcije i dr. Pri relativnom određivanju mere se samo razlike između rektascencija i deklinacija izabratih zvezda i zvezda sa koordinatama već poznatim iz ranijih kataloga. Svaki apsolutni katalog zvezda sa svojim sistematskim greškama u rektascenciji i deklinaciji materijalizuje jedan nov ekvatorski sistem. Izučavanje i otklanjanje ovih sistematskih grešaka jedan je od najvažnijih i najtežih problema fundamentalne astrometrije.

Pošto se iz posmatranja određe merene rektascencije i deklinacije izabranih zvezda sa posmatračkog programa, sledi obično računski deo posla na svođenju merenih položaja da se dođe do zvezdanog kataloga. On se uglavnom sastoji u otklanjanju sistematskih uticaja koji dolaze od instrumenta i posmatrača (nagiba i azimuta obrte osovine, nepravilnosti naglavaka njenih, sistematskih grešaka kružne podele, fleksije cevi, osovine i kruga, ličnih grešaka i dr.). Dalje se odstranjuje uticaj refrakcije, aberacije, precesije, nutacije, pomeranja Zemljinih polova i dr. (v. Sferna astronomija u ovom članku). Pri svemu tom postoje ostaci neuklonjenih sistematskih uticaja instrumentskih organa, posmatrača, atmosferskih uslova, anomalija refrakcije i dr., koji obrazuju pomenute složene sistematske greške kataloga. Zbog toga je, uprkos unutrašnjoj tačnosti u određivanju koordinata zvezda, koja se popela na $0,3''$ (za jedno određivanje), odn. na $0,1''$ (za



Sl. 4



Sl. 5

U našoj zemlji izdavala je do 1941 *Nautički godišnjak* za potrebe astronomiske plovidbe Astronomski opservatorija u Beogradu, danas ga izraduju Hidrografski institut JRM u Splitu.

Određujući s vremena u vreme položaj broda ili aviona na Mercatorovoј karti, pomorac i vazduhoplovac proveravaju i popravljaju kurs broda ili aviona, vraćajući ga stalno na unapred računati i obeleženi njegov kurs, koji na najkratči i najprirodniji način vezuje dva mesta na Zemljinoj površini između kojih se obavlja plovidba ili letenje.

Fundamentalna astrometrija je grana praktične astronomije koja se bavi određivanjem ekvatorskih koordinata nebeskih tela iz meridijanskih posmatranja na fundamentalnim instrumentima (velikom meridijanskom krugu, velikom pasažnom instrumentu, velikom vertikalnom krugu). Ovi podaci dalje služe za sastavljanje *zvezdanih kataloga i karata*. Ona se bavi još određivanjem osnovnih astronomskih konstanata, prvenstveno Sunčeve paralakse (daljine) kao osnovne astronomске jedinice, kao i konstanata precesije, nutacije i aberacije. Važan predmet njena istraživanja su bile zvezdane paralakse (daljine) i sopstvena kretanja, no on je danas prešao u astrografsku astrometriju. Značaj njenih radova je golem, kako za časovnu službu, geodeziju, astronomsku plovidbu i druge grane praktične astronomije, tako i za teorijsku i zvezdanu astronomiju i sve ostale grane astronomске nauke.

Rektascencija se određuje iz trenutka prolaza zvezde kroz meridijan, a deklinacija iz merene zenitne duljine u meridijanu. Treba razlikovati dve vrste određivanja ekvatorskih koordinata iz meridijanskih posmatranja: *apsolutno* i *relativno*. Pri apsolutnom određivanju, koje se vrši nezavisno od svih prethodnih određivanja, moraju se pored koordinata posmatranih nebeskih tela odrediti iz sopstvenih posmatranja i drugi potrebeni podaci, kao azimut instrumenta, hod časovnika, položaj nule na krugu, geografska širina stанице, konstanta refrakcije i dr. Pri relativnom određivanju mere se samo razlike između rektascencija i deklinacija izabratih zvezda i zvezda sa koordinatama već poznatim iz ranijih kataloga. Svaki apsolutni katalog zvezda sa svojim sistematskim greškama u rektascenciji i deklinaciji materijalizuje jedan nov ekvatorski sistem. Izučavanje i otklanjanje ovih sistematskih grešaka jedan je od najvažnijih i najtežih problema fundamentalne astrometrije.

Pošto se iz posmatranja određe merene rektascencije i deklinacije izabranih zvezda sa posmatračkog programa, sledi obično računski deo posla na svođenju merenih položaja da se dođe do zvezdanog kataloga. On se uglavnom sastoji u otklanjanju sistematskih uticaja koji dolaze od instrumenta i posmatrača (nagiba i azimuta obrte osovine, nepravilnosti naglavaka njenih, sistematskih grešaka kružne podele, fleksije cevi, osovine i kruga, ličnih grešaka i dr.). Dalje se odstranjuje uticaj refrakcije, aberacije, precesije, nutacije, pomeranja Zemljinih polova i dr. (v. Sferna astronomija u ovom članku). Pri svemu tom postoje ostaci neuklonjenih sistematskih uticaja instrumentskih organa, posmatrača, atmosferskih uslova, anomalija refrakcije i dr., koji obrazuju pomenute složene sistematske greške kataloga. Zbog toga je, uprkos unutrašnjoj tačnosti u određivanju koordinata zvezda, koja se popela na $0,3''$ (za jedno određivanje), odn. na $0,1''$ (za

srednje vrednosti), spoljašnja greška ovih položaja $1''$ i više. Posledice tako male tačnosti zvezdanih položaja velike su, kako po tačnosti izvedenih zaključaka u časovnoj službi, službi širine i geodetskoj astronomiji, tako i u teorijskoj i zvezdanoj astronomiji.

Zato se danas radi mnogo i uspešno na usavršenju instrumenata, na konstrukciji novih instrumenata (horizontalni meridijanski instrumenti, Danjonov bezlični astrolab, pasažni instrument s fotočelijom), kao i na konstrukciji veoma preciznih elektronskih hronografa za beleženje trenutaka merenja, i druge opreme. Od velikog značaja je uspešna primena elektronike na ovu vrstu astronomskih instrumenata i radova.

Ovim radovima bavi se mali broj astronomskih opservatorija. Od njih su najstarije i najpoznatije: Greenwich, Pulkovo, Washington i Rt dobre nade. U našoj zemlji postoje na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu sva tri fundamentalna instrumenta sa tri radne grupe za fundamentalnu astrometriju u osnivanju (1960).

Prvi zvezdani katalog s položajima preko 800 zvezda potiče od kineskog astronoma Ši Šena iz \leftarrow IV v. Iz istog vremena poznat je i katalog grčkih astronoma Aristila i Timoharisa. Značajan je Hiparhov katalog 1022 zvezde iz \leftarrow II v., koji nam se sačuvao preko Ptolemejeva Almagesta. On je doveo do prve klasifikacije zvezda po prividnim veličinama i do otkrića pojave precesije. Dalje je sačuvan Ulugbekov katalog 1019 zvezda, izrađen u XV v. na opservatoriji u Samarkandu.

Fundamentalna astrometrija u pravom smislu datira iz prve polovine XVIII v., od Bradleyjeve kataloga 3268 zvezda. No njena savremenija epoha potiče s početka XIX v. od Besselovih radova na eliminisanju sistematskih uticaja instrumenta. S osnivanjem Pulkovske opservatorije 1839 fundamentalna astrometrija naročito počinje da se razvija. Njen osnivač V. Struve uvodi pored meridijanskog kruga dva posebna instrumenta — pasažni instrument i vertikalni krug za zasebno određivanje rektascenzije i deklinacije — i time postiže veću tačnost. Čuveni su Pulkovski absolutni katalozi najveće tačnosti, koji se uzimaju pri sastavljanju svih savremenih fundamentalnih kataloga.

Pored koordinata zvezda, velike opservatorije koje se bave fundamentalnom astrometrijom rade već više od sto godina na neprekidnom određivanju položaja Sunca, Meseca i velikih planeta od višestrukog značaja za položajnu i teorijsku astronomiju.

Od velikih kataloga s relativnim položajima zvezda pomenimo Katalog Međunarodnog astronomskog društva s položajima 270 000 zvezda, koji se sad obnavlja fotografskim metodama, i Katalog repernih zvezda za tzv. Kartu neba.

I katalozi s apsolutnim i oni s relativnim položajima zvezda dobivaju se neposredno iz posmatranja. Postoje i tzv. fundamentalni katalozi koji se posle analize i odstranjivanja niza sistematskih grešaka obrazuju računski, uglavnom iz apsolutnih kataloga, na taj način što se od većeg broja ovih kataloga računa jedan »srednji«. To su najprecizniji katalozi, koji se upotrebljavaju najviše u časovnoj službi ili u geodeziji, zatim za izradu novih, velikih kataloga relativnih položaja.

Prve fundamentalne kataloge zvezda sastavili su direktor griničke opservatorije Maskelyne krajem XVIII v. i veliki nemacki astronom Bessel oko 1830. Metodiku njihova sastavljanja razradili su u svojim radovima S. Newcomb, L. Boss i A. Auwers. Danas su u upotrebi dva fundamentalna kataloga — američki Bossov General Catalogue (GC) sa 33 342 zvezde i nemački Kopffov Dritter Fundamental-Katalog (FK₃) sa 1535 zvezda. Po ovom poslednjem se od 1940 godine računaju efemeride zvezda u svima astronomskim godišnjacima i njegovi su položaji najtačniji. Berlinski astronomski institut sada radi na novom Fundamentalnom katalogu FK₄ znatno veće tačnosti. God. 1948 sastavljen je u Sovjetskom Savezu Katalog geodetskih zvezda (Katalog geodesičeskikh zvezd) s preciznim koordinatama i sopstvenim kretanjima 2957 sjajnih zvezda. 1950 sastavljen je u Washingtonu veoma precizni Fundamentalni katalog N 30. Fundamentalni katalog Pulkovske opservatorije (1955) zasnovan je na stogodišnjem njenom radu na određivanju apsolutnih koordinata zvezda. U SSSR se sada radi na sastavljanju veoma preciznog Kataloga slabih zvezda 7...9. prividne veličine, koji će biti od veoma velikog značaja za sve precizne radove, a naročito za zvezdanu astronomiju. Položaj koordinatnog početka i ekvatora biće izведен iz velikog broja preciznih posmatranja naročito odabranih malih planeti, čiji se položaji mogu odrediti daleko preciznije nego položaj Sunca, a sopstvena kretanja zvezda biće određena u odnosu na vangalaktičke magline s tačkastim jezgrom, koje se vrlo precizno posmatraju, a koje zbog svojih neizmernih daljina (milioni svetlosnih godina) praktično i nemaju sopstvenih kretanja. Ovaj katalog realizovaće najpričinljije idealni inercijski koordinatni sistem koji se primenjuje u jednačinama kretanja nebeskih tela u nebeskoj mehanici.

Ekvatorijalna i astrografska astrometrija. — Za određivanje relativnih položaja nebeskih tela služe još dva velika osnova astrometrijska instrumenta: ekvatorijal i astrograf (v. *Astronomski instrumenti*). Prvi služi za vizualna, a drugi za fotografsku određivanja. Po svojoj konstrukciji ovi instrumenti materializuju ekvatorski koordinatni sistem, pa se njima može neposredno ili posredno određivati časovni ugao i deklinacija nebeskog tela u jednom trenutku vremena zabeleženom po časovniku ili na hronografu, odakle se računski prelazi na rektascenziju posmatranog tela.

Na ekvatorijalu se diferencijalno mere mikrometrom razlike u časovnom uglu i deklinaciji između nebeskog tela čiji se položaj određuje i drugoga tela s poznatim koordinatama. Danas se ekvatorijal upotrebljava na ovaj način skoro isključivo za određivanje relativnih položaja dvojnih i višestrukih zvezda, mada se ono vrši i fotografski na astrografima. Sva ostala određivanja relativnih položaja prešla su danas na fotografsku metodu, koja je tačnija i udobnija. No ekvatoriali, kao veliki astronomski refraktori, služe poređ reflektora, koji tu imaju prvenstvo, i za niz posmatranja koja po svojoj prirodi više spadaju u astrofiziku, kao što su: određivanje relativnih položaja Sunčevih pega i fakula, položaja, veličine i izgleda Sunčevih protuberanaca na rubu, posmatranje okultacija i pomračenja, izučavanje pojedinosti na površini Meseca i planeta itd.

Na ovom mestu pomenimo Aitkenov katalog 17 180 dvojnih zvezda iz 1932, Moskovski katalog sa 254 putanje vizuelnih dvojnih zvezda i 577 putanje spektralnih dvojnih zvezda i Kazanski katalog s položajima 2140 spektralnih dvojnih zvezda i 2832 promenljive zvezde Algolova tipa.

Astrografi, pored malih turbina vodnika, koji služe za orientaciju i vizualnu proveru tela koje se snima i položaja njegova lika u instrumentu, imaju još i jednu ili više cevi s velikim fotografskim objektivima u čijim se žižnim ravnicama nalaze foto-ploče. Pokretljiviji su od ekvatorijala i po konstrukciji omogućuju višečasovna izlaganja ploče. Posebni mehanizam pokreće ceo instrument tako da prati zonu neba koja se snima ugovornom brzinom kojom se Zemlja obrće, pa likovi nebeskih tela ostaju na istim mestima na ploči i po više časova. Na taj način se danas prodire do preko milijardu svetlosnih godina u dubinu vasiione i vrši snimanje nebeskih tela čak do 22. prividne veličine.

Snimljena oblast neba predstavlja gnomonsku projekciju njegovu. Sa ploče se mere razlike u pravouglim koordinatama između ispitivanog tela i zvezda s poznatim koordinatama, pa se ova razlika računski pretvara u razliku rektascenzija i deklinacija koja se dodaje na koordinate poznate zvezde da bi se dobole koordinante ispitivanog tela.

Danas se astrografska određivanje položaja primenjuje za male planete, komete i satelite, zatim za određivanje zvezdanih paralaksa (daljina) i sopstvenih kretanja, kao i za niz drugih specijalnih radova. No najmasovnije astrografska određivanje zvezdanih koordinata vrši se u cilju izrade velikih zvezdanih kataloga s relativnim položajima, tzv. fotografskih kataloga, kao i zvezdanih karata.

Jedan od najstarijih velikih kataloga (iako rađen vizualno), po kome je izrađena i zvezdana karta, Argelanderov je katalog Bonner Durchmusterung s približnim položajima zvezda do deklinacije -22° . On je dopunjeno Kordovskim pregledom južnog neba, tako da sa njim sadrži položaje 613 955 zvezda do 12. prividne veličine. Dva najveća fotografска kataloga sa detaljnim kartama neba, koji se još nalaze u radu, jesu: Međunarodna karta neba, na kojoj sadarju 20 velikih astronomskih opservatorija još od 1887 godine i Katalog Mount-Palomarske opservatorije. Prvi katalog će sadržati tačne položaje i prividne veličine oko 3,5 miliona zvezda do 12. prividne veličine, a karta oko 30 miliona zvezda do 15. veličine. Drugi katalog s fotografskom kartom neba, koji se izrađuje na džinovskom Schmidtovom teleskopu, sadržaće položaje preko milijarde zvezda.

Na kraju pomenimo i značajne specijalne kataloge i karte kao što su: Kukarkin-Parenagov Katalog promenljivih zvezda, Barnardov Atlas izabranih oblasti Mlečnog puta, Draperov Katalog prividnih veličina i spektara 225 300 zvezda i Drayerov Katalog magline.

Kalendar i hronologija. — Još u prastara vremena čovek je osetio potrebu za krupnijim vremenskim jedinicama od dana. Period između dve Mesečeve mene, koji iznosi blizu 7,5 dana, dao je podsticaj da se za prvu takvu jedinicu uzme *nedelja* (tedan, sedmica) od 7 dana, no ona se po trajanju nije poklapala s ponutom prirodnog pojavom. Veća jedinica — *meseč* — sa celim brojem dana, koji je u raznim kalendariima nešto varirao, takođe se ne poklapa s punim ciklusom svih Mesečevih mene — *sinodičkim mesecem* — koji iznosi 29 d 12 h 44 m 2,8 s srednjeg sunčanog vremena. Najzad, još veća jedinica, *kalendarska ili gradička godina*, koja iznosi takođe ceo broj dana, danas 365 ili 366, takođe se ne poklapa s prirodnom ili *tropskom godinom* kao vremenskim razmakom Zemljina obilaska oko Sunca od tačke γ do tačke γ. Tropska godina iznosi 365,24220... dana ili 365 d 5 h 48 m 46 s srednjeg sunčanog vremena. Zbog ovog nepoklapanja kalendarske sedmice, meseca i godine s prirodnim dolazilo je do teškoća oko sastavljanja *kalendar*, tj. načina da se dužine ovih jedinica, iako moraju imati ceo broj dana, podese tako da se iste prirodne pojave vraćaju u iste datume. Još su stari narodi: Asirci, Vavilonci, Jevreji, Egipćani, Grci i Rimljani, a zatim i svi noviji kulturni narodi, počeli da traže načine kako da dovedu u sklad građansko računanje vremena s prirodnim pojavama, kako bi izbegli pometnje koje nastaju u javnom životu od nesklada među njima. Tako su nicali razni kalendari, koji su se manje ili više približavali toku prirodnih pojava. Nijedan se nije mogao s njima idealno poklopiti zbog potpune nesamerljivosti ponutnih jedinica. Ne zadržavajući se na starim kalendarima i njihovoj dugo istoriji, prikazaćemo kratko postanak našeg današnjeg kalendara i druge savremene kalendare, kao i perspektive jednog međunarodnog kalendara.

Kolevke savremenog kalendara su Vavilon i Egipat. Poplave Nila, koje su u Egiptu počinjale uvek u isto doba godine a koje su obezbeđivale državno blagostanje bogatim poljoprivrednim prinosom, nagnale su egipatske sveštenike da godinama posmatraju izgled nebula u to doba godine. Tako su oni primetili da početak poplava Nila pada baš kad Sunce u toku godine dostigne najveću visinu nad horizontom, a uočili su da se u isto vreme zvezda Sirijus pojavljuje prvi put na jutarnjem nebu posle perioda njene nevidljivosti. Zato su oni, čim bi opazili pojavu Sirijusa, »predskazivali« narodu početak poplava i »proglasavali« početak nove godine. Kasnije su naučili da i unapred predvide povratak ovog dogadjaja i tako su da dužinu gradanske godine usvojili period od 365 sunčanih dana. Taj kalendar upravljaо se isključivo prema prividnom godišnjem kretanju Sunca, kao i naš današnji, koji je iz njega i proistekao. Ovakvi se kalendari zovu *sunčani ili solarni*.

Ima, međutim, kalendara koji se upravljuju isključivo po kretanju Meseca, tj. po mesečevim menama. Takav je i danas *muslimanski kalendar*. Da bi išao u korak s mesečevim menama, koje se obnavljaju u roku od oko 29,5 dana, ovaj kalendar sadrži meseće koji naizmjenično imaju po 29 i po 30 dana. 12 takvih meseća čine godinu, koja ima ili 354 ili 355 dana. Ona je kraća od tropske za 11 dana. Zato se iz godine u godinu pomera početak muslimanske godine za po 11 dana i pada za toliko ranije, da se posle 33 tropske godine ponovo vrati na prvi januar. Ovakvi se kalendari nazivaju *Mesečevi ili lunarni*. Kad se kaže da se jedan događaj desio određenog datuma po ovom kalendaru, možemo tačno znati kako je tog dana izgledao Mesec na nebu, ali ne i koje je godišnje doba tada bilo. To se samo može izračunati.

Kako je čovek život sav vezan za Sunce i kako su godišnja doba prirodnog pojava vezana za sve vrste čovekova rada, to su još neki stari narodi pokušali, držeći se lunarnog kalendara, da ga ipak dovedu u sklad i sa kretanjem Sunca. Tako su postali kombinovani ili *luni-solarni kalendari*, kakav je na primer današnji *jevrejski*. Da bi se mesečevi kalendari uskladio i s kretanjem Sunca, njemu je s vremena na vreme dodavan još jedan, 13. meseč, i te su godine nazivane prestupnim. Posle 12 tropskih godina od po 12 meseća s naizmjenično 29 i 30 dana, dolazi 7 prestupnih godina sa po 13 meseća. Tako posle ciklusa od 19 godina početak jevrejske godine pada opet na početak Sunčeve ili tropske godine. No ovakav kalendar sviše je složen, a ni kalendarsko računanje vremena koje se upravlja prema Mesečevu kretanju nema nikakvog praktičnog značaja za društveni život, pa je zato solarni kalendar nadživeo sve ostale i svi se kulturni narodi danas po njemu upravljaju.

Naš današnji kalendar vodi poreklo od Rimljana. *Stari rimski kalendar* bio je Mesečev, kao i mnogi drugi stari kalendari. Godina je prvo bitno imala u njemu 10 mjeseci sa ukupno 304 dana. Zatim su dodata 2 mjeseca i godina povećana na 355 dana. No i ovakve se godine razlikovala od prirodnih, jer je njen početak svake godine padao sve ranije. Žreci, koji su upravljali kalendarskim računanjem, dodavali bi s vremena na vreme po jedan dopunski meseč da dovedu u sklad svoju godinu sa Sunčevom, ali nešto ne poznajući tačnu dužinu tropske godine, a nešto rukovodeći se u propisivanju početka i dužine godine ličnim interesima (dažbine), oni behu na taj način doveli rimski kalendar u takvo haotično stanje da je njihov praznik žetve počeo padati u zimu.

Kako ovo beše izazvalo mnoge pometnje u javnom životu, po nalogu Julija Cezara izradio je astronom Sosigen projekt novog kalendara. Po njemu je posle svake tri tropske godine sa po 365 dana uvedena jedna prestupna sa 366 dana, kako bi se izravnala razlika između kalendarske i tropske godine, koja bi se nakupila za četiri kalendarske godine. Dopunski dan dodat je u prestupnoj godini februaru, koji je u ono vreme bio poslednji meseč u godini. Tako zamišljen i ostvaren *novi rimski kalendar* dobio je po Cezaru naziv *julijanski*. On je ostao i sve doskora u upotrebi u nekim evropskim državama pod imenom *stari stil*. Po njemu je prestupna svaka godina čiji je redni broj deljiv bez ostatka sa četiri. Ovakvo računanje vremena veoma je prosto, a vrlo dugi se slaže s prirodnim tokom pojava, a zatim se tek nezнатno razlikuje od njega, pa je i danas zadržano u nauci da se po njemu računaju razmaci između udaljenih događaja.

Sa kretanjem od prosečno 365 dana i 6 časova julijanska je godina bila duža od tropske za 11 min 14 s. Ova razlika sad nije više bila velika, pa je dozistala jedan dan tek posle svakih 128 godina. U XVI v. beše ona narasla već na 10 dana, što je tada počelo padati i u oči. Ovakvo malo razilaženje julijanske godine od

prirodne nije moglo izazivati nikakve pomete, ali se u to vreme svemoćno papstvo pobjalo da se Uskrs, čiji je datum po crkvenim pravilima vezan za poplećnu ravnodnevnicu, ne počne praznovati pogrešnog dana. Papa Grgur XIII usvojio je predlog Lilija za novu, tzv. *gregorijansku reformu julijanskog kalendara*. Cilj je njen bio da se ponisti dole nagomilana razlika između kalendarske i tropske godine i da se ubuduće godine računaju da se automatski ponisti ona razlika od 1 dana svakih 128 godina, koja se dotele pojavljivala. Kako ova razlika navrši 3 dana za približno 400 godina, to je po Lilijevu predlogu rešeno da se ubuduće u razmaku od 4 stoljeća računaju 3 prestupne godine manje no dotada. Da bi ova reforma sprovede u delo, Grgur je naredio svim katoličkim zemljama da se iza četvrtka 4. oktobra 1582 računa petak 15. oktobar. A da bi se sprečilo ubuduće odstupanje kalendarske godine od tropske, da od godina kojima se završavaju vekovi (1600, 1700, 1800...) bude prestupna tek svaka četvrtka (1600, 2000, 2400...). Ovak *gregorijanski kalendar ili novi stil*, koji je doista bliž prirodi od starog, počele su u toku skoro četiri stoljeća, veoma postupno i oprezno, usvajati i druge kulturne zemlje, tako da je on postao naš današnji opštii zvanični kalendar.

Od svih usvojenih kalendara najprije je i najbolje se slaže s prirodnim pojavama gregorijanski. No on je izrazito Sunčev. Meseci su u njemu manje vremenske jedinice koje nemaju никакve veze s trajanjem perioda Mesečevih mene. Osim toga, ni oni nisu među sobom jednakimi, a i polugodišta i tromesecija razlikuju se po trajanju. Još manja jedinica, nedelja, potpuno je veštačka tvorevina, koja sada nema nikakve veze s prirodom. Ovi i još neki nedostaci gregorijanskog kalendara unose znatne teškoće u savremeni privredni i ekonomski život i saobraćaj i zahtevaju reformu u okviru samog gregorijanskog kalendara, tj. izmenu u računjanju meseća i manjih vremenskih jedinica, kako bi se gornji nedostaci otklonili.

Za reformu u samom gregorijanskom kalendaru postoje danas mnogobrojni predlozi. Uglavnom ih ima dve vrste. Jedni su za godinu od 13 meseca, sa po 28 dana od 4 sedmice, i 2 prekobrojna dana. Drugi su za godinu od 12 meseca, od kojih će svaki prvi mesec u tromesecima imati 31 dan, a ostali po 30, tako da svako tromesecje ima 91 dan ili ukupno 364 dana, a da se prekobrojni dan u prostoj godini stavi na kraj godine, a drugi prekobrojni dan u prestupnoj godini na kraj prvog polugodišta. Kalendar ovog drugog tipa, ne odstupajući mnogo od gregorijanskog, otklanja dobar deo smetnja i Liga naroda ga je bila usvojila kao svetski još 1937. Ostalo je da se s njim saglase sve države članice, ali je Drugi svetski rat prekinuo ovo korisno nastojanje. Verovatno će on biti kalendar budućnosti.

Razni kalendari računali su na razne načine i početak od koga su brojali godine. To su tako zvane ere. Njih ima preko 200. Skoro sve su one vezane za legendarne događaje, pa su zato nestvarne. Poznata je npr. *vizantijska era* koja počinje 1. septembra ← 5508, jer se za taj datum vezivalo tobožnje stvaranje sveta; *era olimpijada* koja počinje jula ← 776; *era od osnivanja Rima*, koja počinje ← 753; *Nabonasarova era*, koja počinje od osnivanja Vavilona ← 747; *Dioklecijanova era*, od 29. avgusta ← 284 itd. I sama *hrišćanska era* izmišljena je, jer ju je rimski kaluder Dionisijsije Mali uveo tek u VI veku izabравši proizvoljno godinu Hristova rođenja na taj način što je stavio da je 248. godina Dioklecijanove ere 532. godina od Hristova rođenja. Zašto je baš ovako postupio nije objasnio u svojim spisima, a nije ni mogao, jer se u ono vreme nije raspolagalo pouzdanim istorijskim podacima o Hristovoj ličnosti i njegovom rođenju, niti se tim podacima danas raspolaze.

Ovako raznovrsni kalendari i ere unose uvek teškoće i zabune kad treba izračunati datume starih događaja po našem današnjem kalendaru. Da bi se one otklonile, Skaliger je još u VII v. predložio jednu neutralnu periodu od 7980 julijanskih godina koja počinje 1. januara ← 4713 u podne. Ovaj dan treba računati kao nulli dan *julijanske periode*, a otada pa nadalje svi su dani numerisani rednim brojevima u julijanskoj periodi. Izbor broja 7980 za broj godina u periodi, kao i njen početak, imaju svojih astronomskih razloga. Danas svi astronomski godišnjaci, pored kalendarskog datuma, daju za svaki dan u godini i redni broj julijanske periode koji odgovara tome datumu, a daju i ceo ili delimični pregled datuma julijanske periode. Sa podacima i uputstvima koje daju ti godišnjaci lako je sada za svaki prošli događaj vršiti prelaze s jednog kalendara na drugi i s jedne ere na drugu.

NEBESKA MEHANIKA I TEORIJSKA ASTRONOMIJA

Nebeska mehanika se bavi opštim metodama izučavanja kretanja nebeskih tela, prvenstveno tela Sunčeva sistema: planeta, satelita, planetoida i kometa, ostavljajući izučavanje kretanja u zvezdanim jatima i opšte statističke zakonitosti kretanja u zvezdanim

sistemima zvezdanoj astronomiji, a konkretno izučavanje putanja nebeskih tala iz posmatranih njihovih položaja i izračunavanje njihovih položaja (koordinata) na nebeskoj sferi iz putanjskih elemenata, teorijskoj astronomiji. Pored izučavanja translatornog kretanja planeta, planetoida i kometa oko Sunca i satelita oko planeta, nebeska mehanika se bavi i izučavanjem obrtnih kretanja njihovih, kao i ispitivanjem oblika nebeskih tala pod uticajem gravitacionih sila.

Ona je nikla iz praktičkih potreba za poznavanjem kretanja Sunca i Meseca u cilju izrade kalendara i kretanja Meseca i Jupiterovih satelita za potrebe određivanja geografskih dužina, pa se i danas jedan njen odjeljak razvija iz praktičkih potreba za poznavanje tačnog vremena, odjeljak koji se bavi izučavanjem ravnomernosti Zemljina obrtanja.

Osnovni su joj temelj udarili: Kopernik svojim učenjem o heliocentričnom sistemu (1543), Kepler empirijskim izvođenjem zakona planetinskog kretanja (1609–19) i Tycho de Braheovim posmatranju i Newton, koji je, pošvasti od KeplEROVIH zakona, a pošto je utvrđeno osnovne zakone mehanike, došao do opštег zakona gravitacije. Potvrdu ovog najopštijeg prirodnog zakona dao je sam Newton pokazavši da se iz njega mogu izvesti, obrnuto, KeplEROVI zakoni, da se njime mogu objasniti mnoge nejednakosti Mesečeve kretanja, pojave precesije, plime i oseke, kao i planetarske sploštenosti.

Zastoj u njegovoj arfimaciji i daljio primeni izazvalo je učenje da je Zemlja izdužena i ne sploštena duž njene obrtne osi, izvedeno u ono vreme u Francuskoj iz pogrešnih merenja. Malo kasnije Francuska akademija je rešila ovo pitanje premerom lukova Zemljinih meridiana u polarnoj oblasti (Laplandiji) i na ekuatoru (Peru), utvrđivši da stvarnost odgovara splošten oblik, koji je u skladu sa zakonom gravitacije.

Druga teškoća koja se suprotstavljala ovom zakonu bilo je pomeranje perigeja Mesečeve putanje, za koje je teorija davalu dvaput manji iznos od posmatranog. Polovinom XVIII v. pokazao je medutim Clairaut da je uzrok ovom neslaganju bilo nesavršenstvo matematičkih metoda. Dalju potvrdu našao je zakon gravitacije u tačnom predviđanju povratka Halleyeve komete (1759) i u Leverrier-Adamsovom otkriću planete Neptuna iz poremećaja koje je ona izazvala u Uranovu kretanju.

Teorija osnovnih kretanja svih tala Sunčeva sistema izvedena iz zakona gravitacije slagala se s posmatranjima, pa se polovinom XVIII v. privilo izučavanju i pojedinosti u ovim kretanjima. Euler postavlja prvu teoriju Zemljina obrtanja, a d'Alambert i Clairaut pokazuju da se svi problemi nebeske mehanike mogu svesti na integriranje diferencijalnih jednačina. Lagrange i Laplace razraduju metode razvoja funkcije poremećaja planetinskog kretanja u red i omogućuju preciznije praćenje ovog kretanja kroz duge vremenske razmake. Leverrier, Hansen i Newcomb dovode u XIX v. ove metode do tog stepena savršenstva da one omogućuju praćenje planetinskog kretanja kroz sva prošla i buduća vremena.

Metode izučavanja vekovnih poremećaja koje su postavili Lagrange i Laplace omogućile su kasnije Ljapunovu i drugima da dudu do stavova o stabilnosti Sunčeva sistema vrlo važnih za kosmognomiju. U XIX v. Delaunay daje teoriju Mesečeva kretanja u čisto trigonometrijskom obliku (bez vekovnih članova), ali Gyljenovi pokušaji da ovakvu teoriju stvoriti za planete ne uspevaju. Poincaré dokazuje divergenciju njegovih redova, kojima je pokušao da predstavi ovo kretanje, i prvi ukazuje na činjenicu da stavovi o stabilnosti Sunčeva sistema važe za duge ali ne i za beskrajne vremenske razmake. Iz ovog perioda treba pomenuti i neka njegova uprošćena rešenja diferencijalnih jednačina kretanja nebeskih tala poznata pod imenom periodična i asimptotska rešenja, kao i njegove kvalitativne metode u slučajevima gde je tačno rešenje zasad nemoguće.

Numeričko integriranje diferencijalnih jednačina kretanja, koje dovodi do dovoljno tačnih rešenja i tamo gde su nemoguća potpuno tačna rešenja razvija se danas u vezi sa napretkom računske tehnike i s primenom elektronike na mašine za računanje.

Najzad, otkriće neravnomernosti Zemljina obrtanja 1926 omogućuje Brownu i Broweru da u naše vreme doveđu do visokog stepena tačnosti teoriju Mesečeva kretanja. Iz perioda između dva svetska rata dobili su posebno mesto radovi M. Milankovića na matematičkoj teoriji Zemljine klime i planetarskih klima u dalekoj prošlosti i budućnosti i njegovi radovi na izučavanju vekovnog pomeranja Zemljinih polova.

Glavnu preokupaciju nebeske mehanike u zemljama gde se njome najviše bave (USA i SSSR) danas predstavljaju metode određivanja putanja kosmičkih raket i veštackih Zemljinih i Mesečevih satelita, čiji je razvoj takode diktovan praktičnim potrebama, a omogućen je naglim napretkom fizike i tehnike.

Problemi nebeske mehanike dele se na tri grupe: probleme translatornog kretanja, obrtnog kretanja i oblika nebeskih tala.

Najopštiji je u prvoj grupi tzv. *problem n tela*, tj. određivanje putanja i načina kretanja više tela koja se kreću medusobnim privlačenjem po zakonu gravitacije. Prema današnjem stanju matematičke nauke on se ne može rešiti u konačnom obliku. Rešen je samo problem dva tela. Već kad su u pitanju tri tela, teškoće su skoro nepremostive. Sundmann je dao opšte rešenje ovog problema, no veoma složeno i pomoću redova koji veoma sporu konverguju. Problem je u konačnom obliku rešen u *Lagrangeovom slučaju*, kad se za vreme kretanja tela nalaze na temenima ravnostranog trougla i u *Eulerovom slučaju*, kada tela za sve vreme ostaju na pravoj, a njihova rastojanja u stalnom odnosu. U velikoj meri su razrađeni još i delimično slučajevi problema triju tela poznati pod nazivom *ograničeni problem triju tela i problem satelita*, kada je treća masa veoma mala u poređenju sa prvim dvema.

Opšti način izučavanja kretanja triju tela, na koji se problem svodi kako kretanje planeta tako i planetoida, kometa i satelita, svodi se metodološki na izučavanje kretanja uočenog tela, recimo planete, planetoida ili komete oko Sunca ili satelita oko planete, po zakonima koji važe za dva tela. Naknadno se računaju poremećaji koje unosi treće telo, recimo neka druga planeta ako se izučava Zemljino kretanje ili kretanje kakvog planetoida ili komete oko

Sunca, a Sunce i druge planete ako se izučava kretanje Meseca oko Zemlje.

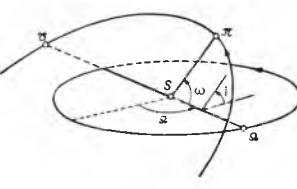
Treba pomenuti da je posle vodenja računa o poremećajima koje unose sve velike planete u Merkurovo kretanje oko Sunca ostajala razlika od $0,4''$ između računatog i posmatranog pomeranja perihela Merkurove putanje. Ova je razlika uklonjena primenom uopštenog zakona gravitacije koji je 1915 našao Einstein. Neke male nejednakosti u kretanjima Merkura, Venere, Zemlje i Marsa, kao i u Mesečevu kretanju, uklonjene su kad je poveden račun o neravnomernosti Zemljina obrtanja.

Numeričke metode koje dovode do zadovoljavajućih i dovoljno približnih rešenja, a koje su iziskivale donedavno velikog napor, naročito pri masovnom računavanju putanja malih planeta i kometa i njihovih poremećaja, danas se lako rešavaju primenom elektronskih mašina za računanje.

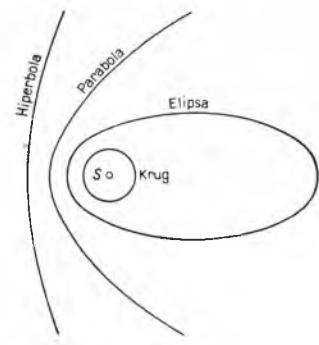
Izučavanje obrtnog kretanja zasad se s uspehom vrši najviše na primeru Zemlje i Meseca, zbog male tačnosti sa kojom se može meriti obrtanje planeta. Nebeska mehanika sa teorijske strane izučava precesionu i nutacionu kretanje Zemlje, ostalih planeta i satelita, o kome je napred već bilo govora, kao i slobodnu Zemljinu nutraciju, usled koje dolazi do periodičnog pomeranja Zemljinih polova. Poslednjih decenija poklonjena je naročita pažnja u ovoj oblasti izučavanju vekovnih, nepravilnih i periodičnih promena brzine Zemljina obrtanja, kako bi se uspostavila veza između efemeridskog ravnomernog vremena i svetskog vremena (v. Vreme u ovom članku).

Treća grupa problema nebeske mehanike obuhvata izučavanje oblika planeta i satelita pod pretpostavkom da on dolazi samo od gravitacionih sila. Ono se svodi na nalaženje ravnotežnih oblika obrtne tečne mase. Naročito je od interesa slučaj nehomogene mase, koji je bliži stvarnosti no koji još nije konačno ispitana.

Problemi teorijske astronomije. Teorijska astronomija bavi se određivanjem putanja planeta, planetoida, kometa, satelita i dvojnih zvezda iz njihovih posmatranih položaja (merenih koordinata). Pri tom se najpre smatra da se uočeno telo kreće pod gravitacionim dejstvom samo jednog, centralnog tela, — recimo planeta pod gravitacionim dejstvom Sunca. U tom slučaju je po KeplEROVIM zakonima putanja konični presek u čijoj je jednoj žizi centralno telo. Putanja i kretanje tela po putanji određuje se sa šest putanjskih elemenata ili šest brojeva. To su najčešće (sl. 6): i — nagib putanske ravni prema osnovnoj koordinatnoj ravni; Ω — longituda uzlaznog čvora ili ugao koji određuje položaj linije čvorova preseka putanske ravni s osnovnom koordinatnom ravni; a — velika poluosa putanje, koja određuje veličinu putanje; e — ekscentričnost koja određuje oblik putanje, ω — longituda pericentra ili ugao koji određuje položaj pericentra, kao tačke na putanji najbliže centralnom telu prema liniji čvorova i T — epoha ili trenutak prolaza tela kroz pericentar.



Sl. 6



Sl. 7

Kako svako posmatranje da je po dve koordinate nebeskog tela, to su u opštem slučaju dovoljna tri posmatranja, ako su dovoljno razmaknuta, da se dovoljno tačno odredi svih šest elemenata putanje. Ako je $e = 0$, putanja je krug, ako je $0 < e < 1$, putanja je elipsa, u slučaju $e = 1$ ona je parabola, a u slučaju $e > 1$ grana hiperbole (sl. 7). Metode za računanje eliptične putanje iz tri posmatranja postavili su Laplace i Lagrange, a razradio ih je Gauss. Posle njega izvršen je niz manjih usavršenja. Metode za računanje paraboličkih putanja dali su Newton, Euler i Olbers. Ove putanje često služe za prvu aproksimaciju.

Međutim, kada se povede računa i o merljivom gravitacionom dejstvu drugih, većih i bliskih nebeskih tela, onda putanjski elementi postaju funkcije vremena i u svakom trenutku drugačiji. Prva putanja izračunata iz posmatranja zove se *oskulatorma*, a trenutak za koji je ona određena — *epocha oskulacije*. Iz njenih elemenata može se izračunati položaj na nebeskoj sferi na kome će se telo nalaziti u svakom trenutku t . Metode računa poremećaja pružaju mogućnost da se izračunaju za protekli razmak vremena $t - t_0$ popravke ovog položaja koje dolaze od gravitacionog dejstva ostalih uočenih tela.

Ovakvi položaji jednog nebeskog tela, računati u izvesnim evidentnim vremenskim razmacima, predstavljaju njegovu *efemeridu* i omogućuju da se ono nađe na nebeskoj sferi i da se ovi položaji uporede sa izmerenim. Iz nadenih razlika izračunavaju se popravke putanjskih elemenata i dolazi do definitivne putanje nebeskog tela, koja daje njegove tačne položaje na nebeskoj sferi za veoma dug niz godina i služi za dublja proučavanja strukture Sunčeva sistema.

ZVEZDANA (STELARNA) ASTRONOMIJA

Zvezdana astronomija bavi se izučavanjem strukture i razvoja našeg Zvezdanog sistema (Galaksije) i drugih zvezdanih sistema (galaksija). Deli se na *zvezdanu statistiku*, koja izučava metodama matematičke statistike, odn. statističke fizike, strukturu Zvezdanog sistema, i *zvezdanu dinamiku*, koja izučava osobine kretanja u Zvezdanom sistemu.

Može se reći da zvezdana astronomija datira od Galilejeve otkrića (1610) da se Mlečni Put sastoji od ogromnog mnoštva zvezda ili od Halleyeve otkrića sopstvenih kretanja zvezda (1718). Neki smatraju da ona datira od prve izmernene zvezdane daljine (Bessel, 1837). U suštini ju je osnovao W. Herschel prebrojavanjem zvezda u raznim delovima neba svojim moćnim teleskopima. On je prvi i dao sliku o gradi Galaksije pod pretpostavkom da su sve zvezde jednakih sjajnih i da one ne sadrži materiju koja apsorbuje svetlost. Njegov zaključak o spljoštenoj strukturi Galaksije, sličnoj točku, bio je dobra prva aproksimacija. No već 1847 V. Struve ukazuje na apsorpciju svetlosti u međuzvezdanom prostoru.

U XIX i XX v. javljaju se savršenije metode prebrojavanja zvezda po prividnim veličinama. Kad je otkriveno da se zvezde znatno razlikuju po sjaju, nadena je tzv. *funkcija sjaja*, koja daje relativni broj zvezda različita sjaja u jedinicu zapreminje. Danas se broj zvezda do određene prividne veličine računa iz njihova stvarnog rasporeda u prostoru, a ovaj se dobiva iz zvezdane gustine na raznim daljinama, koja se određuje iz Schwarzschildove integralne jednačine. Tako je Kapteyn oko 1920 došao do zaključka da je Zvezdani sistem jako spljošten, da je Sunčevu mesto negde u njegovu središtu i da gustina zvezda naglo opada ka periferiji. Kad je 1930 izmernena apsorpcija svetlosti u Galaksiji i njen uticaj na sjaj zvezda, pokazalo se da su dimenzije Galaksije znatno veće i da je Sunčevu mesto bliže njenoj periferiji.

S druge strane, ispitivanjem sopstvenih kretanja zvezda Kapteyn i Edington su početkom ovog veka postavili teoriju dvaju potoka zvezda koji se prožimaju i kreću suprotnim smerovima, a Schwarzschild je dao tumačenje o elipsoidnom rasporedu zvezdanih brzina. Duljom analizom Oort je pokazao (1927) da se cela Galaksija obrije i da su sve to posledice njena obrtanja. Otada datira savremena era Zvezdane astronomije, karakteristična po korišćenju astrofizičkim, naročito spektarskim merenjima.

Wolf daje statistički metod za procenu daljina tamnih maglina iz upoređenja broja zvezda što se vide u maglini i oko nje; taj je metod usavršio Ogorodnikov (1938). Ambarcumjan je našao (1938) da tamne magline znatno prevladavaju nad svetlim difuznim maglinama, naročito u galaktičkoj ekvatorskoj ravni, u kojoj se nalazi veliki broj tamnih maglina sastavljenih od kosmičke prašine. Parenago (1940, 1945) utvrđuje da je presečan poluprečnik tamnih maglina 7,5 svetlosnih godina i nalazi da su one presečno 1,25 puta veće od svetlih. Nadeno je ubrzao da takvih tamnih maglina u Galaksiji ima oko 100 miliona i da one po Fesenkovu (1940) predstavljaju približno hiljaditi deo mase čitavog Zvezdanog sistema. Najzad, treba zabeležiti i važno otkriće međuzvezdanog vodonika, koji pada u naše dane i dopunjuje apsorpcijom svetlosti zvezda sliku koju imamo o njihovu rasporedu u Galaksiji.

Lindblad naslučuje još 1926, na osnovu analize sopstvenih kretanja zvezda, a Kukarkin 1943 jasno formuliše postojanje tri vrste zvezdanih *podsistema* ili *populacija* u našoj Galaksiji. *Populacije prve vrste* sadrže zvezde ranog razvojnog tipa, spektarske klase O, B, A i F, superdžinove, rasturena zvezdana jata, difuzne gasovite i tamne magline. One su pljosnatog oblika, naseljavaju udaljenije oblasti (grane) Galaksije i novijeg su postanka. *Populacije druge vrste*, uglavnom sferna oblika, sastavljene od zbijenih globularnih jata kratkoperiodičnih promenljivih zvezda cefeida i tzv. poddžinova, naseljavaju sve oblasti Galaksije, a naročito centralne delove. Starije su po postanku. Po obliku i starosti između njih se nalaze *populacije treće vrste*, spljoštenije od sfernih, sastavljene od zvezda patuljaka, kasnijeg razvojnog tipa i nižeg energijskog nivoa, spektarske klase G, K, M. U njihov sastav ulaze i beli patuljci, planetarne magline i dugoperiodične promenljive zvezde tipa Mire Ceti.

Najnovija analiza pokazuje da je i naša Galaksija spiralne strukture, kao spiralne magline, da ima dve grane, a posmatranja u infracrvenoj svetlosti pokazuju da je njen jezgro (u sazvežđu Strelec) sastavljeno od zvezda i da u prečniku obuhvata 1100

parsek (1 parsek = 3,26 svetlosnih godina; 1 svetlosna godina = $= 9,46 \times 10^{12}$ km). Prečnik čitave Galaksije iznosi preko sto hiljada svetlosnih godina. Brzina je obrtanja Galaksije 233 km/sek za populacije prve vrste, 110 km/sek za populacije druge vrste i 220 km/sek za populacije treće vrste. Nadene su i zvezde kojima je smer kretanja u suprotnom smeru opšte rotacije Galaksije, a nadene je i izvestan broj zvezda izvan Galaksije. Ambarcumjan je utvrdio da se usled međusobnog približavanja zvezda može znatno izmeniti njihova opšta brzina, pa pojedine zvezde mogu napuštati svoje podsisteme. Takvim se mehanizmom raspadaju rasturena zvezdana jata kroz $10^9 \dots 10^{10}$ godina, a zbivena jata zvezda u razmaku od $10^{12} \dots 10^{13}$ godina.

Najzad, 1947 Ambarcumjan otkriva porodice zvezda sa zajedničkim fizičkim i hemijskim osobinama, kao i zajedničkim načinom postanka, i naziva ih *zvezdanim asocijacijama*. Danas su one od presudnog značaja za izučavanje postanka i razvoja zvezda (v. Kosmogonija u ovom članku).

Pre vek i po Herschel otkriva svojim džinovskim teleskopima čitav svet magličastih nebeskih tela loptasta, elipsoidna i nepravilna oblika, a malo kasnije Ross i prvo takvo telo spiralna oblika u sazvežđu Lovački Psi. Zbog izgleda sličnog gasovitim maglinama u našem Zvezdanom sistemu, dobivaju i ona naziv magline, a kada su im izmernene daljine pa je utvrđeno da su mnogo dalje i od najdaljih zvezda u Galaksiji, one dobivaju naziv *vangalaktičke magline*.

Još je Kant polovinom XVIII v. prepostavlja da to nisu magline, već veoma daleki zvezdani sistemi, pa je to kasnije potvrđeno i spektarskom analizom. Prvobitna podela njihova po obliku i danas je zadržana. Tek je Hubble u krajem prve četvrti ovog veka pošlo za rukom da na jednom uspeli snimku dobivenom teleskopom od 2,5 m otvora na opservatoriji Mt Wilson "rastavi" periferne delove Andromedine spiralne magline u zvezde, a Baade je tek nedavno mauntpalomarskim teleskopom utvrdio da se jezgro te magline sastoji od pojedinačnih zvezda i u istom je zvezdanom sistemu otkrio difuzne magline, zvezdana jata i oblake, zvezde džinove svih vrsta, promenljive zvezde raznih tipova, a naročito cefeide i nove, pa je tek tada postalo jasno da je i naš Zvezdani sistem jedna spiralna maglina, pa su, obrnuto, metode njegova izučavanja prenete i na ove udaljene galaksije.

Po promenljivim zvezdama — cefeidama, zatim po novim zvezdama i, najzad, drugim, posrednim metodama utvrđeno je da se daljine galaksija nižu od milion do tri milijarde svetlosnih godina i da se one prostiru u svima pravcima prostora do granice dometa naših najvećih teleskopa. U novije vreme otkriveno je da se grupišu u jata. Sve do upotrebe najvećih savremenih teleskopa znalo se samo za nešto preko 30 takvih jata, među kojima je bilo najveće ono u sazvežđu Devokja, kome pripada i naš Zvezdani sistem. Danas je, međutim, otkriveno oko 500 miliona novih galaksija raspoređenih u 600 jata. Sva ona zajedno čine veću organizacionu jedinicu materije u vasioni, *Metagalaksiju*.

Za loptaste i elipsoidne zvezdane sisteme karakteristične su zvezdane populacije druge vrste, starijeg porekla. Za spiralne zvezdane sisteme karakteristične su sve tri vrste populacija, kao i u našoj Galaksiji, a za nepravilne sisteme, kao što su Mali i Veliki Magellanov Oblak, populacije prve vrste, pa se smatra da su ovi poslednji sistemi najmladi i da u njima i danas postaju zvezde (v. Kosmogonija u ovom članku). Genetička veza među raznim tipovima zvezdanih sistema još nije objašnjena.

ASTROFIZIKA

Astrofizika je grana astronomije koja izučava fizičko stanje i hemijski sastav nebeskih tela: tela našeg Planetskog sistema, Sunca i zvezda, maglina i kosmičke prašine i dalekih zvezdanih sistema. Služi se fizičkim metodama i metodama matematičke i teorijske fizike za izučavanje onih delova nebeskih tela koji su nepristupačni posmatranjima, kao što su građa zvezdanih atmosfera i unutrašnjosti. I po metodici i po problematici njena se istraživanja graniče s istraživanjima u geofizici (magnetske bure, jonosfera, kosmički zraci itd.), u zvezdanoj astronomiji (struktura i razvoj zvezdanih sistema) i u kosmogoniji i kosmologiji (postanak i razvoj nebeskih tela i zakonitosti koje obuhvataju vasionu kao celinu).

Već u ←II v. podjeljene su sve zvezde vidljive golim okom po sjajnosti u šest prividnih veličina, pa su u prvu svrstane najsjajnije, a u šestu najslabije. Posle pronalaska turbina, u XVII v., izvršeni su prvi radovi na upoznavanju

površina Sunca, Meseca i planeta. Otkrivene su promenljive zvezde. U XVIII v. razrađeni su prvi principi fotometrije, tj. merenja jačine sjaja nebeskih tela. U XIX v. Fraunhofer otkriva tamne linije Sunčeve spektralne linije, a V. Struve apsorpciju u međuzvezdanoj materiji. Polovinom XIX v. uvedi se upotreba fotografije i spektarske analize i tada počinje epoha savremene astrofizike.

U prvoj polovini XX v. astrofizičke opštavljaju još samo posmatrački materijal o sjaju i boji zvezda, klasifikuju njihove spekture i spektere kometa i maglina, posmatraju spektroskopski protuberance Sunca, mere radialne brzine zvezda. No tada se javlja prva teorija kometskih oblika i srodstva kometa s meteorima, meri se temperatura Sunca i zvezda, otkriva se meteoritska priroda Saturnovih prstenova, zakon Sunčeve rotacije, zakon promene sjaja promenljivih zvezda tipa cefeida i javlja se hipoteza o njihovoj pulsaciji. S razvojem atomske fizike i teorije zračenja razvija se i teorijska astrofizika. Javljuju se teorije o gradi zvezdanih atmosfera i unutrašnjosti, teorije o postanku i razvoju zvezda i maglina. U poslednje vreme otkriva se radiofrekventno zračenje Sunca, Mlečnog puta, kosmičke prašine, nevidljivih »radio-zvezda« i vangalitskih maglina. Za daljnju Mesecu, a naročito za dnevna i noćna posmatranja meteora, primenjuje se radar, koji znatno proširuje znanja o mетеorskim potocima. Astrofizika preuzima vodeću ulogu u astronomiji.

Otkriće polovinom XX v. planeta Jupiterove veličine koje kruže i oko drugih zvezda i otkriće zvezdanih porodica — asocijacij skorog postanka — potvrđuju materialistički pogled na svet, po kome je vasiona beskrajna i večna, a materija u njoj neprekidno menja oblike, nasuprot idealističkom shvatavanju o končnosti vasiona u prostoru i vremenu, o jedinstvenom trenutku njena postanka i jedinstvenoj starosti nebeskih tala.

Tela Planetskog sistema. Površine planeta ispituju se merenjem polarizacije odbijene svetlosti. Sastav i priroda njihovih atmosfera izučavaju se upoređivanjem Sunčeva spektra i spektra Sunčeve svetlosti odbijene od planeta. Ova poslednja, pošto je prošla kroz planetinu atmosferu, daje još izvestan broj apsorpcionih linija u spektru. Tako je nađeno obilje ugljen-dioksida u Venerinoj i znatno manje u Marsovoj atmosferi, a veoma male količine kiseonika i vodene pare u obema. Nađeno je obilje amonijaka i metana u gustim i visokim atmosferama Jupitera, Saturna, Urana i Neptuna.

Sa spuštanjem Sunca prema horizontu njegova svetlost prolazi kroz sve deblji sloj Zemljine atmosfere. Tamne apsorpcione linije u njegovu spektru, čiji intenzitet raste sa spuštanjem Sunca ka horizontu, dolaze od Zemljine atmosfere (*teluričke linije*). Njihovim ispitivanjem utvrđeno je prisustvo ugljen-dioksida, ozona, kiseonika i vodene pare u Zemljinoj atmosferi, kao i debljina i visina ozonskog sloja. Upoređenje Sunčeva spektra sa spektrom Sunčeve svetlosti odbivena od Meseca i ispitivanje rasporeda energije u jednom i drugom, kao i snimanje Meseca i planeta kroz raznobojne filtre, doveli su do zaključka o prirodi površine Meseca i nekih planeta. Tako su na Mesecu otkriveni bazalt i krečnjak, na Marsu led, pesak i biljni svet. Fina fotometrijska ispitivanja pokazala su tragove atmosfere i na Mesecu, za koji se doskora smatralo da je potpuno lišen atmosfere.

Izučavanjem svetlosnog pritiska, koji je eksperimentalno potvrđen 1910, došlo se do teorije kometskih oblika. Utvrđen je postanak meteorskih potoka ili rojeva raspadanjem kometa. Poslednjih godina sastavljen je katalog svih posmatranih kometa sa potpunim podacima. Izučeni su zakoni meteorskog kretanja i osobine visokih slojeva Zemljine atmosfere.

Sunce, kao najbliža zvezda (udaljeno od Zemlje 149,5 miliona km), najbolje je ispitano od svih zvezda. To je sfera usijanih gasova prečnika 110 puta, a mase 330 000 puta veće od Zemljine; ona pokazuje različitu brzinu rotacije: ekvatorska zona treba oko 25 dana da se jedanput obrne, polarne zone oko 30 dana. Površinska gustina je jedva veća od gustine vode, a temperatura dostiže blizu 6000°C . Zračenje iz dubinskih slojeva biva apsorbованo te ne dopire do nas neposredno, pa je posmatranjima pristupačan samo površinski sloj njegov, debeo nekoliko stotina kilometara, nazvan *fotosfera*. Njen neprekidni spektar s tamnim linijama pokazuje da sa dubinom u fotosferi naglo rastu temperatura i pritisak i da atomi bivaju ionizovani. Iz njega se još vidi da je materija na Suncu iste vrste kao i na Zemlji, samo je glavni njegov sastojak vodonik, a zatim po redu količine dolaze helijum i kiseonik. Glavna karakteristika fotosfere su *Sunčeve pege*.

Za vreme potpunih Sunčevih pomračenja ili pomoću posebnih astrofizičkih instrumenata — spektrohelioagrafa i monohromatskog filtra — vidi se donji sloj Sunčeve atmosfere obojen crveno; on je nazvan *hromosfera*. Njen spektar je emisioni, sastavljen od svetlih linija. Glavni sastojci su vodonik, helijum, kalcijum i dr. Glavna njena karakteristika su džinovski plameni jezici, *protuberance*, koje mogu dostići visinu i od 600 000 km nad fotosferom i zadržati se i po više dana, kao i *hromosferske erupcije*, koje izazivaju poremećaje u Zemljinoj jonasferi, u radio-emisijama i prijemima, uzrokuju magnetske bure i utiču na vremenske prilike na Zemlji. Hromosfera emituje i centimetarske radio-talase.

Najviši slojevi Sunčeve atmosfere — *korona* — protežu se visoko iznad hromosfere i po najnovijim istraživanjima dopiru čak do Zemlje, protežući se i dalje. Ovaj izvanredno razredeni gasoviti sloj s emisionim spektrom ima kao glavnu karakteristiku visoku jonizovanost atoma i temperaturu od oko $1\,000\,000^{\circ}$. Emituje i decimetarske radio-talase.

Sve karakteristike Sunčevih slojeva menjaju se u jedanaestogodišnjem ritmu, za koji se dugo smatralo da važi samo za pege.

Metodama teorijske astrofizike utvrđeno je da u središtu Sunca vlada temperatura od $18\dots20$ miliona stepeni, pritisak od 200 milijardi atmosfere i gustina 110 puta veća od gustine vode. Sunce oslobada godišnje 30^3 cal toplotne energije. Ovaj golemi gubitak energije Sunce nadoknađuje neprestanom transmutacijom atoma koja se vrši pod uslovima što vladaju u njegovoj unutrašnjosti.

Zvezde su usijane gasovite lopte, kao i Sunce. Najbliža zvezda udaljena je od nas oko 4,5, a najdalja oko 100 000 svetlosnih godina. Zvezde se razlikuju po sjaju ili prividnoj veličini i po boji. Upotrebom fotometara za merenje jačine osvetljenja (v. *Astronomski instrumenti*) izmerena je sa relativno velikom tačnošću prividna veličina oko 500 hiljada zvezda. Pored šest prividnih veličina koje je uveo još Hiparh, usvojene su negativne prividne veličine za najsjajnije zvezde. Sunce je svrstano u $-26,7$, prividnu veličinu. Najslabije zvezde, pristupačne samo najvećim instrumentima i fotopločama, svrstane su u 22. prividnu veličinu. Plave zvezde su najvrelje i obeležene su slovima O i B; žute, Sunčeva tipa i srodnih tipova, znatno hladnije, slovima A, F i G, a crvene, još hladnije, slovima K i M. Iz sledeće tablice vide se bliže njihove površinske temperature:

Spektarski tip	O	B	A	F	G	Sunce	K	M
Temp. $^{\circ}\text{C}$	50 000	30 000	15 000	9 000	6 000	5 700	5 000	3 500

Boja se zvezde određuje po najintenzivnijem delu njenog spektra, temperatura takođe analizom spektra. Postoji veliki broj prelaza između označenih spektarskih tipova koji se obeležavaju indeksima od 0 do 10 uz oznaku.

Dok se zvezde po masi među sobom malo razlikuju (ima zvezda 10 puta lakših i 10 puta težih od Sunca), one se po znamenjima razlikuju neuporedivo više. Imaju zvezde Zemljine veličine. Najveći ih je broj reda veličine Sunca, dakle oko milion puta većih od Zemlje, a ima ih i po više desetina miliona puta većih od Sunca. Kad su uredene po boji ili temperaturi s jedne strane i sjaju s druge strane (*Hertzsprung-Russelov dijagram*), videlo se da su one tada uredene i po drugim osobinama, pa se došlo i do približne slike o njihovu razvoju, koja je još u izgradivanju. Najveće su zvezde crveni superdžinovi, zatim plavi i beli džinovi, dalje žute zvezde Sunčeva tipa i najzad crveni patuljci. Poslednja tri tipa predstavljaju tzv. *glavni niz*. Posebnu klasu predstavljaju beli patuljci — male zvezde izvanredno velike gustine, sjaja i temperature.

Teorijska astrofizika, zasnovana na teoriji atomske grade, uči nas da se utrošak neizmernog energije koju zvezde zrače nadoknađuje procesom transmutacije njihovih atoma u unutrašnjosti zvezda, i to uglavnom prelazom vodonika, koji je glavni sastojak zvezda, u teži helijum. Velika njihova raznolikost objašnjava se različitom unutrašnjom strukturalom, koja uslovjava i različite puteve prelaza vodonika u helijum.

Spektarska analiza pruža još i podatke o daljinama zvezda, njihovim radialnim brzinama (u pravcu posmatranja), obrtnim brzinama, podatke o tome da li je jedna zvezda dvojna ili višestruka, da li je promenljiva sjaja i koji su uzroci ove promene. Među najinteresantnije promenljive zvezde spadaju *cefeidi* i *dugoperiodične promenljive*, koje menjaju sjaj usled pulsacije zvezde, njenog povremenog širenja i skupljanja. Sjaj tzv. *novih i supernovih zvezda* iznenada naglo poraste usled odgovarajućih atomske reakcije u jezgrima. Posle toga, oslobođena materija u vidu džinovskog oblaka gasa širi se, najčešće u vidu prstena, i omotava zvezdu. Tako se stvaraju tzv. *planetarne magline*, koje postupno prelaze u *difuzne, razvejane*, a ove poslednje u oblake *međuzvezdane materije*, čiji su u stvari samo sastavni deo. Posmatranjima je pokazano da i mnoge druge zvezde u džinovskim erupcijama izbacuju oblake kosmičke međuzvezdane materije.

Magline. — Sve zvezde grupisane su u jedan spiralni Zvezdani sistem, Galaksiju, čija se projekcija na nebesku sferu sa Zemlje vidi kao Mlečni Put. Njegove oblasti oko središnje, ekvatorske ravni ispunjene su golemlim količinama retkog gasa i kosmičkom prašinom gustine 10^{-24} g/cm^3 . Mestimično se među zvezdama zapažaju i svetli delovi ove materije, obasjani difuznom svetlošću obližnjih sjajnih zvezda. Poneke pretvaraju ultraljubičasto zračenje ovih zvezda u svetlost mehanizmom sličnim fluorescenciji. To su tzv. *difuzne magline*. Značaj međuzvezdanog gasa i prašine za postanak i razvoj zvezda vrlo je velik (v. Kosmologija u ovom članku).

Praktična astrofizika

Astrofotometrija bavi se merenjem prividnih veličina nebeskih tела. Još je Hiparh sve zvezde vidljive golim okom svrstaо u šest prividnih veličina, najsjajnije u prvu, a najslabije u šestu. Kasnije je nađeno da se zvezde dve uzastopne prividne veličine razlikuju po sjaju 2,512 puta, pa su za sjajnije objekte usvojene nulta i negativne prividne veličine, a za slabije, koje se vide kroz turbine, skala je produžena preko 6. Danas se, tako, kroz najjače instrumente i služeći se fotografijom mogu videti zvezde i do 22. prividne veličine, koje su 250 miliona puta slabijeg sjaja od zvezda prve prividne veličine. Ova poslednja upoređena sa laboratorijskim etalonima daje jačinu osvetljenja od $\sim 8 \cdot 10^{-7}$ luksa

Prividne veličine određuju se upoređivanjem posmatranog nebeskog tela s veštačkom zvezdom u *vizualnom*, *fotografskom* ili *fotoelektričnom fotometru*. U vizualnim fotometrima sjaj veštačke zvezde se slabiti tzv. fotometrijskim klinom ili polarizacionim uređajima dok se ne izjednači sa sjajem ispitivane zvezde. Iz stepena slabljenja sjaja veštačke zvezde tada se može izračunati prividna veličina ispitivanog nebeskog tela. Na taj način se postiže tačnost koja mnogo ne prelazi 0,1 prividne veličine.

Nebesko telo se može snimiti i na fotografsku ploču, pa se iz stepena pocrnenja njena lika ili iz njegova prečnika uporedenjem s izvesnim etalonskim zvezdama može odrediti njegova prividna veličina. Stepen pocrnenja meri se obično fotočelijom u tzv. *mikrofotometriju* (v. *Astronomski instrumenti*). Na taj način se postiže tačnost koja se približava 0,01 prividne veličine.

Fotoelektričnim fotometrom može se izmeriti prividna veličina ispitivanog nebeskog tela tako da se njegova svetlost uputi na fotočeliju, a prividna veličina određuje po stepenu skretanja igle na galvanometru, jer fotočelija pretvara svetlosnu energiju u električnu. Tako se može postići tačnost reda veličine 0,001 prividne veličine.

Dosad su s velikom tačnošću izmerene prividne veličine zvezda do 8. prividne veličine i nekih preko toga (oko 50 000) a za blizu milion zvezda s nešto manjom tačnošću. Čoven je *Harvardski fotometrijski katalog*.

Astrospektroskopija je grana praktične astrofizike koja ju je obogatila najvećim brojem podataka. Spektar nebeskih tela dobiva se prizmom pred objektivom (*objektiv-prizmom*) ili prizmom u okularnom delu teleskopa (*spektroskopom*). Za spektar vidljive svetlosti upotrebljava se staklena prizma, a za ultraljubičasti njegov deo prizma od kvarca. Za spektre sjajnijih zvezda upotrebljava se i *optička rešetka*. Spektar zvezda je neprekidan, ispresecan tamnim linijama, kao Sunčev, a spektar kometa i difuznih maglina je emisioni sa svetlim linijama. Takav je i spektar Sunčevih i zvezdanih atmosfera. Po talasnim dužinama pojedinih linija i njihovu upoređenju s etalonskim spektrima zemaljskih izvora utvrđuje se njihova pripadnost raznim hemijskim elementima, a odatle se zaključuje o hemijskom sastavu nebeskog tela.

Iz pomeranja spektarskih linija ka ljubičastom ili ka crvenom delu spektra zaključuje se o kretanju nebeskog tela ka posmatraču ili od njega, a iz veličine pomeranja izračunava se radikalna brzina nebeskog tela. Po širini i intenzitetu linija može se vršiti i kvantitativna analiza maglina i zvezdanih atmosfera. Ispitivanjem rasporeda energije u spektru može se odrediti boja zvezde i njena efektivna temperaturna. Tako je izvršena klasifikacija zvezda a odatle je zatim, uz pomoć još nekih podataka, izvedena i teorija o njihovoj evoluciji.

Iz relativnog odnosa intenziteta linija u spektru može se odrediti ne samo temperatura već i pritisak u atmosferama zvezda, a odavde izračunati njihov sjaj ili absolutna veličina. Iz ove se, upo-

redenjem sa njihovom prividnom veličinom, mogu dalje izračunati i daljnje zvezda za udaljene zvezde, gde otkazuju klasične geometrijske metode. Tako je određeno oko 30 000 zvezdanih daljin, nasuprot trigonometrijskoj metodi koja je dala samo nekoliko hiljada daljina.

Iz konture samih spektarskih linija i rasporeda energije u njima može se izvesti zaključak o fizičkom stanju zvezdane atmosfere, o njenom magnetnom polju, o rotaciji zvezde i dr.

Spektarska analiza može iz prirode pomeranja spektarskih linija utvrditi da li je jedna zvezda dvojna s komponentama tako bliskim da se ni najjačim teleskopima ne mogu rastaviti (*spektarske dvojne zvezde*). Analizom spektra mogu se naći i elementi putanja ovakvih zvezda i odrediti njihove mase. Za neke od njih ravan njihovih putanja skoro se poklapa s vidnim pravcem i tada periodično jedna zvezda zaklanja drugu, pa se menja prividna veličina sistema. Tu imamo posla sa tzv. *eklipsnim promenljivim zvezdama*, koje su baš zahvaljujući spektarskoj analizi najbolje ispitane od svih promenljivih zvezda.

Spektar je dalje pokazao da ima zvezda (*cefeide i dugoperiodične promenljive*) kojima se periodično menja sjaj zbog periodičnog širenja i skupljanja zvezdane atmosfere ili čak čitave zvezde. Perioda pojave tesno je vezana s apsolutnom veličinom zvezde, te se mereći ovu periodu može naći njihova apsolutna veličina, a iz ove i iz njihove prividne veličine izračunati i njihova daljina. Ova relativno precizna metoda omogućila je određivanje daljina i samih zvezdanih sistema u kojima su otkrivene cefeide ili dugoperiodične promenljive zvezde.

Priroda tzv. *novih i supernovih zvezda*, koje naglo zasvetle i zatim se postupno vrate na svoj prvobitni sjaj, a za to vreme desetinama hiljada puta povećaju svoje zračenje, otkrivena je takođe spektarskom analizom. Istom metodom otkrivene su i vrele mlade zvezde koje neprekidno izbacuju ogromne količine gasova (*Wolf-Rayetove zvezde*).

Iz temperature i sjaja zvezde može se izračunati i njena zapremina. Tako dobivena, ona se dobro složila sa zapreminom određenom neposrednim merenjem zvezdanih prečnika interferometrom. Tako se došlo do zaključka o veoma velikim razlikama među pravim veličinama zvezda.

Fizička priroda gasovitih maglina i međuzvezdanog gasa i kosmičke prašine ispitana je takođe prvenstveno spektarskom analizom. Najzad, spektarska analiza je otkrila u kometama i maglinama, kao i u atmosferama hladnijih zvezda, i hemijske spojeve koji se ne javljaju pod zemaljskim uslovima (CN, CH, C₂, NH, OH, TiO, ZrO) i doprinela više od svih metoda utvrđivanju jedinstva materije u prirodi, koje je od ogromnog ideološkog značaja.

Merenje ukupnog zračenja vrši se *termoelementom*, *radiometrom* ili *bolometrom* u žiži teleskopa. Oni mere zračenje nebeskih tela u svima područjima njihova spektra, no samo onaj deo koji je prošao kroz atmosferu i instrument. Ukupno zračenje se odatle izvodi računski. To su vrlo osetljivi instrumenti. Termoelement, na primer, može da izmeri toplotno zračenje sveće na daljini od 300 km. Tako su izmerene količine toploće koje nam dolaze od najsajnijih zvezda, a iz ovog podatka i njihova prečnika nadene su i temperature koje vladaju na njihovim površinama.

Radioastronomija je najnovija grana astrofizike, koja se bavi ispitivanjem zračenja nebeskih tela na radio-talasima s talasnim dužinama od nekoliko metara do nekoliko milimetara i izvođenjem zaključaka o prirodi i gradi nebeskih tela koja emituju ovakva zračenja. Rezultati ovih ispitivanja doprineli su u poslednje vreme umnogome i razvoju kosmogonije i kosmologije.

1931 je K. Jansky otkrio takvu vrstu zračenja nebeskih tela, a od 1943 počela su sistematska ispitivanja ove vrste, kada su konstruisani i prvi veoma osetljivi prijemnici s usmerenim antenama za ova izvanredno slaba zračenja, *radio-teleskopi*, i kasnije *radiointerferometri* (v. *Astronomski instrumenti*). Veliko preim秉stvo ovakvog ispitivanja nebeskih tela nad vizualnim posmatranjima je u tome što se njime primaju talasi znatno šireg opsega talasnih dužina i što je moguće posmatrati nebeska tela i po danu i po oblačnom vremenu, a mogu se posmatrati i ona koja su nepristupačna drugim posmatranjima jer su zaklonjena tamnom kosmičkom materijom.

Najjače radiozračenje emituje Sunce. Ginsburg i Šklovski su 1946 teorijski pokazali da ono potiče od toplotnog zračenja Sunčeve atmosfere i da razni njeni slojevi emituju zračenja raznih talasnih dužina. Pri tom talasna dužina raste s visinom sloja. Već naredne godine ovaj je zaključak potvrđen prilikom posmatranja potpunog pomračenja Sunca. Ovom vrstom posmatranja potvrđena je i kinetička temperatura Sunčeve korone od milion stepena.

Ubrzo zatim utvrđeno je da su Sunčeve pege sto puta jači izvori radiozračenja, a hromosferske erupcije čak i milion puta moćniji izvori. Skoro istovremeno otkriveno je i radiozračenje Galaksije kao celine, a ubrzo su izvučene i linije jednakog intenziteta njegova, pa se pokazalo da najintenzivnije zračenje dolazi iz središta Galaksije u sazvežđu Strelac, koje je zaklonjeno tamnom kosmičkom materijom. No od 1946 do danas otkriveno je još nekoliko hiljada jačih sekundarnih centara radiozračenja. Neki su identifikovani sa difuznim ili planetarnim maglinama, neki sa novim i supernovim zvezdama, a neki nisu mogli da se identifikuju s vidljivim nebeskim telima. Ovi izvori nazvati su, uprkos njihovoj znatnoj protegnutosti, *radiozvezde*. Tek nedavno je Baade utvrdio da radiozračenje moćnog nevidljivog izvora u sazvežđu Labud dolazi od sudara dve veoma udaljene galaksije koje je naknadno otkrio moćnim mauntpalomarskim teleskopom. Dalje se pokazalo da su i sve galaksije relativno jaki radio-izvori. Najzad, pokazalo se da radiozračenje potiče i od međuzvezdanog vodonika, te da ukupno zračenje Galaksije treba shvatiti kao zračenje međuzvezdane materije na koje se mestimično superponuje zračenje diskretnih galaktičkih centara ili drugih galaksija.

Ispitivanjem radiozračenja međuzvezdane materije otkrivena je ona u spiralama naše Galaksije, pa je tako znatno upotpunjena slika ne samo o ovoj materiji već i o čitavoj gradi našeg Zvezdanog sistema. Najzad je 1953 u Velikom i Malom Magellanovom Oblaku, koji su od svih vangalaktičkih maglina najbliži našem Zvezdanom sistemu pa se smatra da imaju organsku vezu s njim, otkriveno radiozračenje s talasnom dužinom od 21 cm. Ono je pomoglo da se oceni količina međuzvezdanog vodonika u njima, da se otkriju vrtložna kretanja i da se ustanovi dinamička veza među ovim galaksijama.

Na kraju valja istaći da su se radioastronomski instrumenti pokazali kao najuspešnije oruđe za određivanje položaja veštačkih satelita i kosmičkih raketa u cilju računanja njihovih putanja. U primeni radioastronomskih instrumenata za tu svrhu istakla se opservatorija Jodrell Bank kod Manchestera u Engleskoj.

Radarska astronomija, kao grana radioastronomije, istražuje metodama radiolokacije Mesec i meteore. G. 1946 dobiven je u Americi prvi odjek radiotalasa od Mesečeve površine. Primećene su izvesne njegove promene, koje su objašnjene Mesečevom libracijom i promenama u Zemljinoj jonasferi kroz koju ovi talasi prolaze pri odlasku i povratku. Metode radarske astronomije mogu se upotrebiti za merenje daljina i ispitivanje stanja na površinama tela Sunčeva sistema, samo su za udaljenija nebeska tela potrebitni veoma snažni izvori radiotalasa. Sada se razrađuje njihova primena na ispitivanje Zemlji najbližih planeta (Venere i Marsa).

Najuspelija je primena radarske astronomije na otkrivanje i posmatranje meteora i mетеorskih potoka od čijih se jonizovanih tragova odbijaju radiotalasi. Njenom upotreboom omogućeno je posmatranje meteora i mетеorskih potoka i po danu, pa je tako otkriven niz do danas nepoznatih mетеorskih potoka (ξ Perseidi, Arietidi, β Tauridi i dr.). Na opservatoriji Jodrell Bank kod Manchestera, koja raspolaže jednim od najmoćnijih radioteleskopa s otvorenim antenskog paraboloida od 76 m, organizovana je i stalna danonoćna patrolna služba za radiolokaciona posmatranja meteora. Pri tom se može odrediti brzina i visina meteora, a odatle se mogu izračunati i putanje mетеorskih potoka. Na taj način je znatno unapredeno izučavanje meteora i upotpunjena slika o njihovu broju i rasporedu u Sunčevu sistem. Pre svega je dokazana njihova pripadnost ovom sistemu i utvrđeno da su daleko brojniji no što se doskora mislilo, što je dalo novog impulsa teoriji o postanku meteora raspadanjem kometa i pružilo nove podatke za istraživanje njihove veze s malim planetama, neobično značajne za izučavanje jedinstva svih oblika materije u ovom sistemu i za sigurnije pristupanje njegovoj kosmognomiji.

Teorijska astrofizika

Zvezdane atmosfere predmet su izučavanja čitave jedne grane astrofizike koja teži da metodama teorijske fizike objasni pojave u raznim slojevima zvezda, počevši od fotosfere kao niza slojeva iz kojih potiče glavni deo zračenja u neprekidnom spektru, preko obrtnog sloja kao njene granice i hromosfere kao zvezdane atmosfere u užem smislu, pa do visokih slojeva atmosfere koji se naročito dobro mogu posmatrati na Suncu u vidu korene.

Teoriju fotosfere postavio je još 1906 Schwarzschild pod pretpostavkom zračne ravnoteže, tj. pod pretpostavkom da svaki njen delić prima iz unutrašnjosti zvezde onoliko energije koliko i zrači u prostor. Tom teorijom dobro je objašnjeno opadanje sijaja za razne talasne dužine idući od centra ka periferiji Sunčeva kotura. Razlika između efektivne temperature i temperature izvedene na drugi način, opet iz analize spektra, tražila je izvesne korekture ove teorije, koje je dao Mustelj. Najzad, ovim teorijama dobro je objašnjeno porast temperature i pritiska idući ka sve dubljim slojevima atmosfere. Sunčeve pege predstavljaju hladnije oblasti u fotosferi. Imaju sopstveno magnetno polje. Uzrok njihova obrazovanja, kao i uzrok njihove periodičnosti i zonalnosti, takođe je problem teorijske astrofizike, no on još nije definitivno rešen.

Meg Nad Sahina teorija ionizacije atoma na visokim temperaturama, pod uslovima termodinamičke ravnoteže, objasnila je velike razlike u zvezdanim spektrima ne različitim hemijskim sastavom zvezda već različitim fizičkim stanjima njihovim, prvenstveno stepenom ionizacije. Ona se i danas razvija i doprinosi razvoju i same fizike.

Raspored atoma po energijskim nivoima koje daje Boltzmannov zakon pokazalo se da važi i za zvezdane atmosfere, što je omogućilo njihovu kvantitativnu analizu.

Hromosfere sa svojim erupcijama i protuberancama, koje se lepo mogu posmatrati na Suncu, sa uspehom se izučavaju posmatrački.

Zagonetka neprekidnog spektra korone rešena je dokazom da korona odbija svetlost fotosfere na svojim delićima, među kojima ima i čvrstih. Osobenosti njenog spektra objašnjavaju se visokim stepenom koronine ionizacije. Njeno poreklo nedavno je objašnjeno izvanredno visokim temperaturama koje se u koroni penju i do milion stepena (kinetička temperatura).

Zvezdane unutrašnjosti su nepristupačne neposrednom posmatranju pa je za objašnjenje njihove strukture i pojava spektarska analiza od još većeg značaja. Prve modele zvezdanih unutrašnjosti stvorio je Eddington dvadesetih godina ovoga veka. Oni pokazuju da temperatura i pritisak naglo rastu idući ka središnima zvezda. Temperature zvezdanih središta danas se računaju na desetine miliona stepena a pritisci na stotine milijadi atmosfere. Neizmerne energije koje zvezde zrače objašnjene su procesima transmutacije atoma u njihovim unutrašnjostima, uglavnom pretvaranjem vodonika u helijum. Danas su razradene i teorije o gradi crvenih džinova s malim jezgrima i izvanredno visokim atmosferama i belih patuljaka, koji se sastoje od atoma lišenih svih elektronskih omotača i čija gustina dostiže nekoliko desetina kilograma po kubnom centimetru. Razradene su isto tako i teorije nestabilnih zvezda s naglim promenama sjaja (cefeida) ili s velikim erupcijama gasova (Wolf-Rayetovih zvezda), kao i novih i supernovih zvezda (Mustelj, Soboljev, Severni).

Na temperaturi Sunčeva jezgra ili jezgara zvezda Sunčeva tipa, u kojima su atomi lišeni spoljnog elektronskog omotača pod uslovima koji tamo vladaju, neprekidno se događaju sudari vodonikovih jezgara ili protona. Pri sudaru dva ovakva jezgra obrazuje se jezgro teškog vodonika — deuterijuma. Jezgro teškog vodonika skoro trenutno stupa u reakciju s drugim jezgrom običnog vodonika, obrazujući laki izotop helijuma. Njegovo jezgro sjedinjuje se s jezgrom helijuma u jezgrom berilijuma, koje je nestabilno i prelazi u jezgro litijuma. Kada se ovo poslednje sjedini još s jednim jezgrom vodonika, raspada se u dva jezgra helijuma. Pri svim ovim reakcijama pretvara se jedan mali deo materije u goleme količine energije. Tako se izvor zračene energije Sunca i zvezda može i po količini i po trajanju danas potpuno objasniti pretvaranjem vodonika u helijum pod uticajem izvanredno visoke temperature.

Izvor energije zvezda belih i plavih džinova, znatno većih i vreljih od Sunca, može biti druga reakcija, tzv. *ugljenikov ciklus*, sposoban da osloboди znatno veće količine energije. Pri toj reakciji jezgro običnog ugljenika, sudsarajući se s jezgrom vodonika, pretvara se u laki izotop azota, čije je jezgro nestabilno i uz oslobođanje energije prelazi u lak izotop ugljenika. Kad se ovaj sudari s jezgrom vodonika, pretvara se u jezgro običnog azota ispuštajući opet energiju zračenja. Ako se dalje jezgro azota sudari s novim jezgrom vodonika, nastaje nestabilni izotop kiseonika, koji se ispuštajući energiju pretvara odmah u stabilni izotop azota. Jezgro ovog poslednjeg, spajivši se sa četvrtim po redu jezgrom vodonika, raspada se na jezgro ugljenika, od koga je reakcija i počela, i na jezgro helijuma koje je konačni proizvod ove reakcije. Na temperaturama koje vladaju u zvezdama džinovima o kojima je reč, a koje su mnogo više no u Sunčevu središtu, energija oslobođena ovom drugom vrstom nuklearne reakcije dovoljna je, kako računi pokazuju, da nadoknadi goleme količine energije što ih te zvezde troše rasipničkim zračenjem.

Ispitivanja poslednjih godina pokazuju da je i izvor energije zvezda crvenih džinova ugljenikova reakcija, samo su manja količina ove energije i njihovo slabije zračenje posledica njihove unutrašnje strukture, koja je drukčija nego struktura belih i plavih džinova. Kako računi pokazuju, tu imamo posla s malim gasovitim gustim jezgrima i džinovskim omotačima od izvanredno razredena gasa, što se slaže i s posmatranjima.

U zvezdama crvenim patuljcima, s temperaturom od 11...13 miliona stepena u središtu, koji su veće gustine a slabijeg zračenja no što je Sunčeve, imamo posla takođe s obrazovanjem helijuma iz vodonika preko teškog vodonika, kao i u Suncu.

Najzad, izvanredno zbijene i vrele zvezde — beli patuljci — sastoje se uglavnom od degenerisanog zbivenog gasea, koji se više ne poviňuje osnovnim zakonima za idealne gasove. Izvor njihove energije može biti ili jedna od pomenutih reakcija, što zavisi od količine preostalog vodonika u njima, ili skupljanje na račun gravitacije.

Kao što vidimo, i pored velike raznolikosti zvezda, izvor energije je u svima jedan isti. Njihove spoljašnje razlike dolaze samo od njihove različite fizičke strukture. Pitanje dalje budućnosti zvezde, kada se u njoj sav vodonik pretvorí u helijum, još uvek stoji otvoreno.

Međuzvezdana materija. Najzad, udruženim naporima teorijske i praktične astrofizike, naročito poslednjih godina, rešena su i mnoga pitanja međuzvezdane materije.

Početkom ovoga veka smatralo se da se oko sto gasovitih difuznih maglina, koliko ih je otkriveno u našem Zvezdanom sistemu, sastoji od usijanih gasova koji svetle sopstvenom svetlošću, a njihovo poreklo nije bilo objašnjeno. G. 1921 Hubble je spektroskopski utvrdio da neke od njih odbijaju svetlost obližnjih zvezda i da se sastoje od sićušne kosmičke prašine. Bowen i Zansstra su zatim otkrili da su druge gasovite i da svetle na taj način što primaju nevidljive ultraljubičaste zrake obližnjih veoma vrelih zvezda pa ih pretvaraju u vidljivu svetlost.

Pre tridesetak godina Barnard je, pretražujući Mlečni Put, otkrio u njemu niz ovakvih tamnih maglina na svetlijem zaledu. Otada su razradene metode merenja njihovih daljina, dimenzija i apsorpcionih moći upoređivanjem zvezda određena sjaja u oblasti magline i van nje. Pokazalo se da su to golemi oblaci tamne kosmičke materije koji se protežu na desetine, pa i stotine svetlosnih godina. Najbliži od njih udaljen je od nas 300 svetlosnih godina. Pri svemu tom njihova pojedinačna masa ne prelazi ni triput masu Sunca, što znači da im je gustina izvanredno mala. Ceneći da li apsorbuju svetlosne zrake svih boja u istoj meri ili više zrake kraćih talasnih dužina, Mie je utvrdio veličinu čestica u tamnim maglinama. Danas se zna da je jedan njihov deo veličine meteorita kojima je ispunjen i Sunčev sistem, pa se pomišlja i na njihovo srodstvo. Najveći deo ovih čestica, međutim, ne prelazi po veličini 0,0001 mm i predstavlja veoma retku kosmičku prašinu. U mnogim regionima Mlečnog Puta nailazi se neretko i na mesta ispunjena mešavinom gasova i kosmičke prašine koja se spektarskom analizom može utvrditi, mada uz velike teškoće.

Doskora se smatralo da su svetle i tamne difuzne magline samo sporadična pojava u našem Zvezdanom sistemu. Danas se smatra da su one po svojoj prirodi istovetne, da se vide samo

kad se nalaze blizu veoma sjajnih zvezda, a da je u većoj ili manjoj meri veoma retkim gasom i kosmičkom prašinom ispunjen čitav Zvezdani sistem, a najgušće u ravni Mlečnog Puta.

God. 1930 Trumpler je ispitao rasturena zvezdana jata (tipa Plejada) u regionima Mlečnog Puta, pa je utvrdio da je jato utočište veće ukoliko se nalazi na većoj daljini od nas. Daljine je izvodio iz odnosa pravog i prividnog sjaja zvezda. Pokazalo se međutim kasnije da je ova pojava samo prividna i da dolazi otud što nas od daljih zvezdanih jata razdvajaju gušći oblaci tamne kosmičke materije, pa zato potcenjujemo sjaj njihovih zvezda. Debljina sloja ove materije u ravni Mlečnog Puta ceni se na 600 svetlosnih godina. Nedavna Parenagova ispitivanja su pokazala da njena gustina nije jednakna u svima pravcima i oblastima. Najgušći njeni oblaci nalaze se baš u pravcu sazvežđa Strelac, gde se nalazi i središte našeg Zvezdanog sistema, koje bi nas inače zasenilo sjajem svoje guste zvezdane naseobine. Rasceppljenost Mlečnog Puta u dve grane dolazi od tamne kosmičke materije koja razdvaja njegove dve spirale.

Ali tamna međuzvezdana materija nije samo osobenost našeg Zvezdanog sistema. Upravimo li veliki astronomski teleskop u spiralne magline, tj. daleke zvezdane sisteme, videćemo da su mnogi po sredini presečeni tamnim pojasom. Savremena fina istraživanja pokazuju da je i to tamna međuzvezdana materija.

Veoma je teško oceniti ukupnu masu međuzvezdane materije u našem Zvezdanom sistemu, pa ipak se po nekim računima smatra da je ona oko 1000 puta manja od ukupne mase usijanog gasa uobličenog u zvezde. Prirodno se dalje nameće pitanje: od čega se sastoji ova tamna međuzvezdana materija i kolika je njena gustina? Još je 1904 Hartmann otkrio, izučavajući kretanje spektroskopske zvezde δ Oriona, da dve linije koje odgovaraju ionizovanom kalcijumu ne očestvuju u ovom kretanju. Poznja Schleiferova istraživanja su pokazala da one pripadaju tamnoj međuzvezdanoj materiji, dakle da se ona sastoji od ionizovanog kalcijuma. Plasket i Pears su zatim pokazali da i ova materija učestvuje u obrtanju čitavog našeg Zvezdanog sistema. Danas su najfinijim metodama spektarske analize, uz pomoć znanja o gradi atoma, u ovoj materiji otkriveni i drugi elementi, kao npr. natrijum, vodonik, pa čak i jedinjenja ugljenika i vodonika, ugljenika i azota i natrijuma i vodonika, koja se ne javljaju pod uslovima koji vladaju na Zemlji.

Danas, kad poznajemo gradu atoma i njihovu moć upijanja zrakova, možemo ceniti njihov broj na putu zvezdanog zraka, a znajući daljinu zvezde izračunati i gustinu međuzvezdane materije koja nas od nje razdvaja. Po Eddingtonovim računima gustina ove materije iznosi 1 atom na kubni centimetar. Njena je gustina dakle milijardama puta manja od gustine vazduha u najredem vakuumu koji se može ostvariti na Zemlji.

Možemo se dalje zapitati otkud gas i prašina u međuzvezdnom prostoru? Zatim, šta je starije — međuzvezdana materija ili same zvezde? I naposletku, kakav je smisao i značaj velikih napora na izučavanju tamne kosmičke materije? Nije lako kratko i jasno odgovoriti na ovako krupna pitanja, a ne ogrešiti se nimalo o strogu naučnu istinu zanemarivanjem i uprošćavanjem mnogih pojedinosti.

Nije tako davno utvrđeno da vrele zvezde Wolf-Rayetova tipa, kao i čitav niz drugih tipova zvezda, izbacuju svojim džinovskim erupcijama ogromne količine usijanih gasova. Još je skorije utvrđeno da iznenadne pojave novih i supernovih zvezda nisu ništa drugo do procesi atomskih eksplozija u nekim vrstama mlađih zvezda, kojom prilikom se njihovi gasovi oslobođaju, a zatim u toku mnogih miliona godina šire i rastaruju u međuzvezdani prostor, prolazeći kroz faze planetarnih, a zatim difuznih maglina. Lindblad je nedavno pokazao da se međuzvezdani gas može kondenzovati na retkim jezgrima kojih uvek ima u prostoru i tako preći u međuzvezdanu prašinu. Jedan deo gasnih atoma malih brzina može i neposredno stupiti u jedinjenja koja su posmatrana u međuzvezdanoj materiji. Po računima Voroncova, koji se slažu s Milneovim i Jeansovim, ukupna količina ove međuzvezdane materije, zajedno s drugim nedavno otkrivenim tamnim oblicima, bliži se količini koja je raspoređena u zvezde, a približno ista količina može se dobiti i iz pomenutih zvezdanih erupcija u razdoblju od neke tri milijarde godina. Kosmička međuzvezdana materija postaje dakle iz zvezda.

U odeljku o kosmogoniji biće govora i o obrnutom procesu postanka zvezda iz kostničke 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 tala.

Naučna kosmogonija datira od Kantove nebularnih hipoteza o postanku Sunčeva sistema sažimanjem gasovite magline pod dejstvom gravitacije i njenim raspadanjem pod dejstvom centrifugalne sile nastale usled njene obrtanja. Tu teoriju je usavršio Laplace, na onu danas ima samo istorijski značaj, kar 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 čemo mu i mi prići tim redom.

Jos je Herschel svrstan vangalaktičke magline po spljoštenosti, a Jeans je izgradio celoviti teoriju o postanku zvezdanih sistema hlađenjem i zgušnjavanjem loptastih gasovitih vangalaktičkih magline. Zbog povećanja brzine njina obrtanja koje otvorio proizlazi, smatrao je on, one se postupno spljoštavaju dok ne dobiju pljosnat oblik, kada počinju da se raspadaju u pojedinačne zvezde i da dobivaju svoju spiralnu strukturu. Ovu teoriju bio je potkreplio i ozbiljnimi proračunima. No saznanje da se sve vangalaktičke magline sastoje od zvezda (kao što pokazuju njihovi spekttri), 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 ponекад i tendenciozne, inspirisane idealističkim shvatanjima, pa čak i verskim predrasudama.

Velike astrofizičke observatorije, snabdevene savremenom opremom (Kalifornija, Krim, Alma Ata i dr.) svojim otkrićima su iz osnova revolucionisale kosmogoniju. Proučavajući jednu klasu promenljivih zvezda u sazvježđima Bik i Ora, Ambarcumjan je pre dvadesetak godina otkrio da u izvesnim delovima neba postoje grupe fizički srodnih zvezda, koje je nazvao *zvezdanim asocijacijama*. Zvezde iz jedne asocijacije karakterišu mnoge zajedničke osobine: isti način kretanja, energijski nivo, spektrasti tip, sve imaju veoma brzo obrtno kretanje i okarakterisane su oslobođanjem velikih gasovitih masa, jakim tzv. korpuskularnim zračenjem. Sve se one razilaze brzinama od 20-30 km/sek. Pomenute zajedničke osobine dovode do proračuna koji potvrđuju da su to veoma mlade zvezde, mlađe 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. Odavde je Ambarcumjan izveo važan zaključak da nema razloga da pojedine zvezdane asocijacije ne postaju i danas, pred našim očima.

Nedavna proučavanja strukture mnogih difuznih gasovitih maglina u našem Zvezdanom sistemu izvršena su savremenim instrumentima na Krimskoj observatoriji 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 prasine, kojoj se tek naziru izvesna vrtložna kretanja i obrazovanje izvesnih pramenova i vlakana, dotle je npr. lepoj mrežastoj maglini u Labudu ova struktura toliko odmakla u razvoju da se čitava maglina sastoji od mreže vlakana u vrtložnom kretanju. Mestimčno se u vlaknima zapraža već i njihovo raspadanje na izdvjone gasovite lopte, a ponegde već i u konačno obrazovanje zvezde, o čemu nas uveravaju ne samo spektralska analiza već i gustina ovih nebeskih tala 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 zvezde nižeg energijskog nivoa kao što je Sunce, gde smo svedoci eruptivnih protuberanca čiji se vrhovi oslobođaju u vasični prostor, kao i korpuskularnog zračenja sa njegovim posledicama na Zemlji, s jedne strane, i s očigledno pokazanim postankom zvezda iz gasovitih maglina i oblaka međuzvezdane prasine, s druge strane, veoma se ubedljivo zatvara krug evolucije materije o kom se već davnno pretpostavljalo da postoji. Krug koji nas oslobođava potrebe za pretpostavkom o početku u kraju sveta i u prvom pokušaju. On predstavlja najjaču argumentaciju materialističkog shvatanja sveta kao razvojnog procesa materije koji je beskraj i u prostoru i u vremenu.

Ovakva shvatanja o postanku zvezda smatra se da mogu važiti i za više stupnjeva u organizaciji materije, pa se već traža za postankom i samih zvezdanih sistema iz međugalaktičke tamne kosmičke materije, kojom je ispunjen, prema najnovijim otkrićima, ceo vasični 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 danodavno smatralo da su krajnji proizvod u evoluciji zvezda glavnog niza pre no što se sasvime ugase. Time su potpuno uzdrmani temelji teorije o razvoju zvezda, pa danas ovo pitanje, strogo uezviši, ponovo postaje otvoreno.

Neki astronomi pominju 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 gaseći se potpuno. S obzirom na nezapančeno tempo razvoja savremene nauke, ipak se čini da ćemo već u skoroj budućnosti moći da darmo i u pogledu novog shvatanja zvezdanog razvoja određeniji a bude argumentovan odgovor.

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

Kosmologija je astronomska disciplina koja se bavi izučavanjem zakonitosti kojima se povezuju vasične kao celina, kao i pojedini njeni delovi. Bavi se pitanjem rasporeda masa i strukture vasične, uzajamnog njihova dejstva i kretanja, pitanjem pretvaranja energije u vasične, kao i pitanjem geometrijskih osobina vasičnog prostora. Upotrebljava zakone klasične i relativističke fizike, kao i poznavanje strukture materije. Graniči se s kosmogonijom i filozofijom. Po pristu je bespoštne borbe između idealističkog i materialističkog shvatanja sveta.

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

Sa Renesansom, Kopernikovo učenje o heliocentričnom sistemu sveta i Brunoovo učenje o beskrajnosti sunaca i nastanjene svetova, a zatim radovi Galileja, Keplera, Newtona i drugih klasičkih mehanika i astronomije zadaju težak udar fideističkom shvataju. Iz ovih učenja snavana je zora savremenih prirodnih nauka, u kojima trijumfuje materialističko učenje o prirodi.

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

Formalnom primenom drugog zakona termodynamike Clausius je izveo zaključak o težnji vasične za termičku ravnotežom (*toplotna smr prirode*), koja je logički dopunjena zaključkom o početku vasične 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 prepostavi da ih je beskonačan broj, doveo je do zaključka da čitavo nebo treba da ima sjaj Sunca (*fotonetski paradoks*). Blizinski izučavanjem apsorpcije svetlosti u tamnoj kosmičkoj materiji Fesenkov je otklonio ovaj paradoks.

Formalna primena zakona gravitacije na čitavu vasičnu s beskrajnim brojem nebeskih tela dovela je, na sličan način, da zaključka da on ne daje odredene i konačne vrednosti za silu gravitacije (*gravitacioni paradoks*). Charlier je međutim pokazao da ovaj paradoks ne protivreči ideji o beskrajnosti vasične, ako se uzme u obzir njenu stepenasta struktura, a najnovija posmatranja su ova struktura potvrdila, jer je nadeno da se zvezde grupisu u jata, ova u populacije, ove u galaksije, galaksije u galaktička jata, a ova u Metagalaksiju...

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

Najzad, otkriće pomeranja spektralnih linija u spektrima galaksija ka crvenom delu spektra za koje je Hubble našao da je utoliko veće ukoliko su one daleje, doveo je bilo jednostrano primenom nekih fizičkih zakona i nedopuštenim njenim uopštavanjem do zaključka o širenju vasične, 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 tala, a pogotovo otkrićem zvezdanih asocijacija.

Sve ovo pokazuje sa kolikom se oprečnosti mora pristupati uopštavanju prirodnih zakona kada se prelazi s konačnih oblasti vasične i materije na vasičnu kao celinu. No već pri današnjem stanju njeni ispitivanja jasno se ističu preimstva materijalističkog shvatanja o beskrajnosti vasične i materije u prostoru i vremenu i o stepenastoj strukturi njenoj.

LIT.: A. Edington, *The internal constitution of the stars*, Cambridge 1926. — M. Milanović, *Nebeski mehanika*, Beograd 1935. — S. Roseland, *Theoretical astrophysics*, Oxford 1936. — A. Unsöld, *Physik der Sternensphären*, Berlin 1938. — S. Chandrasekhar, *Stellar structure*, Chicago 1939. — M. F. Cudworth, *Kurs iesenske mehanike*, Moskva-Lenjingrad 1941. — P. I. Parénago, *Kurs zvezdnoj astronomije*, Moskva-Lenjingrad 1946. — B. A. Voroncov-Veliaminov, *Kurs praktičeskoy astrofiziki*, Moskva-Lenjingrad 1952. — O. Struve, *Stellar evolution*, Princeton 1950. — C. H. Bransford, *Kurs običajne astronomije*, Moskva-Lenjingrad 1950. — B. A. Akbariçyan i dr., *Teoreticheskaya astrofizika*, Moskva-Lenjingrad 1952. — A. Danjon, *Astronomie générale*, Paris 1959. — J. S. Pecker i E. Schatzman, *Astrophysique générale*, Paris 1959. — B. Šev.

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

Naučno posmatranje nebeskih tala 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, ponikal u Mesopotamiju, bio je *gnomon* — vertikalni šiljak put pobjien u ravnu podlogu. Najkraća njegova senka određivala je pravac meridiiana, a uglovno odstojanje senke od meridiiana davalno je u svakom trenutku azimut nebeskog tela. Razmera između visine gnomona i dužine njegove senke davalna je uglovnu visinu Sunca nad horizontom. Tako je još u Mesopotamiji u pomenutoj epohi bilo izučeno prividno godišnje kretanje Sunca iz svakodnevno merenih njegovih položaja.

Gnomon je naročito postao poznat u Srednjem veku, kada je primenjivan kao *suncani časovnik*. No on je doživeo svoj preobražaj još u II. v. pod Hipatijom. Postavljen u metalnu polupolupravu izdeljenu 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 kartata.

Horizontske koordinate — azimut i visina — a naročito uglovni razmaci među nebeskim telima mereni su kasnije kružnjem sa uglovnom podešom duž čijeg se jednog prečnika nalazio *dioptar* — običan nišan, kao na pušći. Prema njemu je čitana kružnja podeša pri viziraju na jedno, a zatim na drugo nebesko telo, i razliku dva čitanja davalna je njihova uglovna rastojanje. U nešto savršenijem obliku *armile* (sl. 1) — sistema krugova — ovaj se instrument zadržao sve do 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 — *sestanta* i naročito *kvadranta*, koji se sve više usavrhavaju i grade u sve većim dimenzijama u cilju povišenja tačnosti merenja. Njima su se naročito uspešno služili Arabljanii 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 merena koordinate planete Marsa poslužile su Kepleru za otkriće znamenitih zakona planetskog kretanja.