

PRIRODNO MATEMATIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU
JUGOSLOVENSKI ZAVOD ZA PRODUKTIVNOST RADA I INFORMACIONE SISTEME



Dr Branislav M. Ševarlić

ISTORIJA ASTRONOMSKE NAUKE

**OD NJUTNOVA DOBA DO NAŠIH
DANA**

BEOGRAD, 1986.

Dr Branislav M. Ševarlić

**ISTORIJA
ASTRONOMSKE
NAUKE**
OD NJUTNOVA DOBA DO NAŠIH
DANA

S priložima

Branislava Ševarlića,
Rajka Petronijevića i
Nenada Jankovića

Beograd, 1986. godine

IZDAVAČI:

*Prirodno matematički fakultet Univerziteta u Beogradu i
Jugoslovenski zavod za produktivnost rada*

RECENZENTI:

Dr Đorđe TELEKI

Dr Jovan SIMOVLJEVIĆ

Dr Jelena MILOGRADOV

ZA IZDAVAČE:

Novak BOŽIĆ

Predsednik Koordinacionog odbora

Dr Živorad ČEKOVIĆ

Glavni i odgovorni urednik

*Štampanje ovog udžbenika odobreno je rešenjem rektora Univerziteta
u Beogradu 24. 4. 1985. god. a na osnovu Odluke Univerzitetske komisije
za udžbenike.*

Š t a m p a:

Jugoslovenski zavod za produktivnost rada, Beograd, M. Tita 2

T i r a ž: 300 primeraka

P R E D G O V O R

Smatram za dužnost da na ovom mestu čitaocu objasnim šta me je privolelo da ovu knjigu napišem i saopštim mu svoju glavnu zamisao kojom sam se rukovodio pri njenom sastavljanju.

Knjiga je namenjena, prvenstveno, studentima astronomije kao udžbenik, ali i svima koji se ovom naukom bave ili se čak samo njome zanimaju. Po razdoblju koje obuhvata predstavlja nastavak Milankovićeve "Istorije astronomske nauke od najstarijih vremena do smrti Njutnove" i počinje tamo gde je učitelj stao, gde i ranije, pa prati astronomska otkrića i teorije sve do dana današnjeg. Da je napišem bila je preka potreba samih studenata koji izučavaju ovaj predmet bez domaćeg udžbenika, no na to sam se odvažio i privoleo tek kad sam osetio da ne mogu da se oslobodim dveju Milankovićevih poruka. U prvoj on kaže: "Želja mi je da, kasnije, u jednom celovitom delu obuhvatim istoriju astronomske nauke do dana današnjega". (Ova njegova želja ostala je neispunjena). Na drugom mestu Milanković piše: "Svaka nauka može se samo onda potpuno shvatiti i prozreti kada se upozna i njeg istorijski razvitak".

No pri svemu tom trebalo je smognuti mnogo smelosti da se započne i dokrajči rad na ovakvoj knjizi, kojoj je u nas prethodilo jedno remek-delo, ne samo po stilu i kazivanju i po oduševljenju, živosti i zanimljivosti sa kojima je pisano, nego još i više po majstorstvu kojim je istorija najstarije od svih nauka kroz četrdeset vekova prikazana jasno samo na 160 strana. Zadatak je bio utoliko teži što je za poslednja dva i po veka od smrti Njutnove u astronomiji učinjeno daleko više otkrića i izrađeno neuporedivo više teorija no što je to učinjeno kroz prethodnih četrdeset vekova.

Da bih ovako krupne teškoće savladao, nije mi ostalo ništa drugo no da koristim okolnost da se istorija astronomske nauke, kao i sve druge, razvijala po dijalektičkim zakonima: u dugim njenim periodima legije skromnih radnika sakupljale su naučnu građu i činile mnoga sitnija otkrića, koja se ne mogu a i ne moraju sva obuhvatiti ovakvom knjigom, da bi posle toga u kraćim vremenskim razmacima bila učinjena bitna, često epohalna otkrića, čiji se nastanak i glavni sadržaj moraju zabeležiti makar i u ovako kratkom istorijskom pregledu s didaktičkom namenom. Zato je u knjizi učinjen koliko se moglo pažljiviji izbor, ali samo izbor iz mnogih otkrića i teorija, a rasterećena je i svih tehničkih pojedinosti i formula koje se uče drugde. Po formi je knjiga podeljena u poglavlja prema astronomskim disciplinama koje su se u obuhvaćenom razdoblju već bile jasno izdvojile, jer je tako bilo moguće dati jasniji pregled tekovina uprkos malim ponavljanjima i vremenskim vraćanjima. Nije uoštalom slučajno što su ovoj formi pribegli i pisci više značajnih dela koja se odnose na epohu obrađenu u ovoj knjizi.

Bio mi je, prosto, cilj da danas, kad za pomenuto razdoblje nemamo knjige, studentima pružim kratak i jasan udžbenik za ovaj predmet, pisan što čistijim jezikom. Zato mi je bila dobrodošla, kao pomoć, svaka priznata istorija astronomije, objavljena na svetskim jezicima (a takvih knjiga nije mali broj, niti su sve lako pristupačne). Za naš vek, za koji još nema konačnog dela ni u svetskoj literaturi, morao sam se ipak koristiti mnogim člancima.

Hronologiju značajnijih događaja u astronomiji dao je pisac obilato koristeći izvrsnu monografiju V.V. Miškovića "Hronologija astronomskih tekovina II", koju je 1976. godine izdala SANU, a za tekovine 20. veka zlatnu knjigu "O. Struvea i V. Zebergsa "Astronomy of the 20 Century", 1962, Macmillan Comp., New York, ruski prevod "Astronomija XX veka", 1968, Izd. "Mir", Moskva.

Bez priloga 2: "Hronologija vanatmosferskih istraživanja vasiona" savremena istorija astronomske nauke bila bi sasvim nepotpuna. Za nju je, na moj poziv, sa gotovošću i pažljivo pripremio podatke i napisao ga moj bivši student, sadanji kolega, astrofizičar Rajko Petronijević. On mi je ljubazno stavio na raspolaganje i rukopis svoje knjige iz filozofije prirodnih nauka za paragraf "Model vrele Vasiona", koji sam u potpunosti koristio. Za sve to osećam mu se veoma obavezan i zahvalan.

Prilog 3: "Pregled istorije astronomije u jugoslovenskim zemljama", napisao je na moju molbu, moj stari prijatelj iz Astronomskog društva "Ruder Bošković", Nenad Janković, koristeći svoj bogati materijal istorijskih istraživanja

kod nas kojim se godinama sa uspehom bavio i bavi. Njemu sam sasvim ukratko, dopisao, potpunosti radi, podatke koji približno prikazuju naše savremeno stanje, bez ulaženja u naučne radove i rezultate još živih astronoma. Ovo je i jedan od prvih pokušaja da se u nas, iako samo u rezimeu, koliko toliko popuni pregled astronomskih tekovina u našim zemljama, pa zaslužuje utoliko veću pažnju i na određen način dopunjava opštu istoriju astronomije novoga veka koja je u knjizi takođe rezimirano data. Za ovaj značajan napor izražavam mu i na ovom mestu priznanje i duboku zahvalnost.

Azbučni pregled potpunih imena lica, kako pomenutih u knjizi i hornologiji, tako, zasebno, i u svakom od priloga, dat je na kraju. Uz pomenuta imena, gdegod se moglo, navedene su i godina rođenja i smrti ili bar razdoblje u kome je lice živelo, što za mnoga imena nije bio nimalo lak posao. I u njemu mi je nesebičnu pomoć pružio Rajko Petronijević, na čemu sam mu posebno zahvalan.

Pregled najbitnije literature na kraju, uglavnom objavljene u 20. veku, ne obuhvata, razume se, sva dela, rasprave i članke kojima se pisac služio (jer je suviše obiman i usitnjen, te ovde ne bi bio umesan), već ukazuje čitaocu na knjige kojima može da proširi i produbi svoje znanje iz ove oblasti.

Naročito sam zahvalan recenzentima: dr Đorđu Telekiju, naučnom savetniku Astronomske opservatorije u Beogradu, dr Jovanu Simovljeviću, redovnom profesoru Prirodno-matematičkog fakulteta u Beogradu, dr Mirjani Vukičević-Karabin, vanrednom profesoru istog fakulteta, mr Jeleni Milogradov-Turin, asistentu istog fakulteta i Rajku Petronijeviću, diplomiranom astrofizičaru, na pažljivo pregledanom tekstu, na nizu korisnih primedaba i na dopunskim podacima.

U Beogradu,
januara 1981. godine

Pisac

SADRŽAJ

Strana

Uvod.	11
------------	----

Glava prva
RAZVOJ ASTRONOMIJE

Odeljak prvi
Izgradnja instrumenata

1.1.1. Era dugačkih durbina.	12
1.1.2. Usavršavanje instrumenata.	12
1.1.3. Usavršavanje optike.	13
1.1.4. Dalje povećanje tačnosti instrumenata.	13
1.1.5. Dalje usavršavanje optike.	14
1.1.6. Džinovski reflektori Heršela, Rosa i Lasela.	14
1.1.7. Utrkivanje u velikim refraktorima.	15
1.1.8. Otkriće i primena fotografije.	15
1.1.9. Izgradnja savremenih džinovskih reflektora.	16
1.1.10. Savremeno usavršavanje instrumenata.	16
1.1.11. Izgradnja radio-teleskopa.	17
1.1.12. Višestruki radio-teleskopi i radio interferometri.	17
1.1.13. Najnoviji napori za usavršavanje instrumentske tehnike.	18
1.1.14. Novi instrumenti za fundamentalnu astrometriju.	18

Odeljak drugi
Radovi na fundamentalnoj astrometriji

1.2.1. Određivanje koordinata nebeskih tela.	19
1.2.2. Besel i zasnivanje moderne astrometrije.	20
1.2.3. Dalji rad na fundamentalnoj astrometriji.	20
1.2.4. Fundamentalni i izvedeni katalozi.	20

Odeljak treći
Primene astrometrije u geodeziji i moreplovstvu

1.3.1. Određivanje geografskih koordinata na kopnu i moru.	21
1.3.2. Određivanje Zemljinog oblika.	22
1.3.3. Najnovije primene astrometrije u geodeziji.	22

Odeljak četvrti Izučavanja Zemljine rotacije

1.4.1. Časovna služba. Izučavanje promena geografskih dužina	23
1.4.2. Izučavanje promena geografskih širina i pomeranja Zemljinih polova	25
1.4.3. Plima i oseka Zemljine kore	26

Odeljak peti Istraživanja u sfernoj astronomiji

1.5.1. Radovi na stronomskoj refrakciji	26
1.5.2. Sve tačnije teorije refrakcije	27
1.5.3. Prva određivanja Sunčeve paralakse u novom veku	28
1.5.4. Dalje određivanja Sunčeve paralakse	29
1.5.5. Novija određivanja Sunčeve paralakse	29
1.5.6. Određivanje pravih veličina tela Sunčeva sistema	30
1.5.7. Otkriće zvezdane paralakse	30
1.5.8. Otkriće aberacije svetlosti	31
1.5.9. Otkriće astronomske nutacije	31
1.5.10 Otkriće i apsolutizacija sopstvenog kretanja zvezda	31
1.5.11. Noviji radovi na refrakciji i konstantama aberacije, precesije i nutacije	32

Glava druga RAZVOJ TEORIJSKE ASTRONOMIJE I NEBESKE MEHANIKE

2.0.1. Radovi Njutnovih sledbenika	33
2.0.2. Međusobni poremećaji u kretanju Jupitera i Saturna	34
2.0.3. Računanje putanje Halejeve komete	34
2.0.4. Stvaranje teorije Mesečeva kretanja	35
2.0.5. Vekovno ubrzanje srednjeg Mesečeva kretanja	35
2.0.6. Prve kosmogonijske hipoteze	35
2.0.7. Metode za računanje kometskih putanja	36
2.0.8. Uranovo otkriće	36
2.0.9. Otkriće malih planeta	36
2.0.10. Poredak u sistemu malih planeta	37
2.0.11. Porodice kometa	38
2.0.12. Neptunov pronalazak	38
2.0.13. Novije teorije planetskog kretanja	38
2.0.14. Objašnjenje preostalih odstupanja u planetskom kretanju teorijom relativnosti	39
2.0.15. Novije teorije Mesečeva kretanja	39
2.0.16. Objašnjenje Mesečeva vekovnog ubrzanja	40
2.0.17. Plutonov pronalazak	40
2.0.18. Radovi na zvezdanoj dinamici	40
2.0.19. Računanje putanja veštačkih satelita i kosmičkih brodova	41

Glava treća OSNIVANJE I RAZVOJ ZVEZDANE ASTRONOMIJE

3.0.1. Prvi koraci izvan Sunčeva sistema	41
3.0.2. Otkriće i katalogizovanje dvojnih zvezda	42
3.0.3. Otkriće i prvo izučavanje Sunčeva kretanja.	42
3.0.4. Otkriće zvezdanih jata i katalogizovanje maglina i zvezdanih jata	42
3.0.5. Prva izučavanja našeg Zvezdanog sistema	42
3.0.6. Otkriće planetnih maglina	43
3.0.7. Početak sistematskog izučavanja promenljivih.	43
3.0.8. Sve detaljnije katalogizovanje zvezda za izučavanje građe Zvezdanog sistema	43
3.0.9. Izučavanje rasporeda zvezda u Zvezdanom sistemu	44
3.0.10. Katalogi sopstvenih kretanja i radijalnih brzina za tačnija izučavanja Sunčeva kretanja	44
3.0.11. Dalja izučavanja građe Zvezdanog sistema	44
3.0.12. Izučavanja Mlečnog Puta i otkriće tamnih maglina.	45
3.0.13. Katalogizovanje maglina i zvezdanih jata	45
3.0.14. Otkriće međuzvezdane materije	46
3.0.15. Hipoteza o dva zvezdana potoka.	46
3.0.16. Izučavanje kretanja različitih zvezdanih grupa.	46
3.0.17. Otkriće i prva izučavanja galaktičke rotacije	47
3.0.18. Današnja stremjenja u izučavanju Galaksije	47
3.0.19. Radio-astronomija zvezda i zvezdanog sistema.	47
3.0.20. Otkriće pulsara	48

Glava četvrta OSNIVANJE I RAZVOJ ASTROFIZIKE

Odeljak prvi Izučavanje tela Sunčeva sistema

4.1.1. Izučavanja Meseca	49
4.1.2. Izučavanja Marsa	50
4.1.3. Izučavanja ostalih planeta	51
4.1.4. Otkrića satelita	52
4.1.5. Istraživanja planetarnih unutrašnjosti	53
4.1.6. Fotometrijska i polarimetrijska izučavanja planeta.	53
4.1.7. Radiometrijska određivanja	54
4.1.8. Spektroskopija planeta	54
4.1.9. Kosmička istraživanja Meseca, planeta i satelita	55
4.1.10. Radio-astronomska istraživanja planeta	56
4.1.11. Izučavanje kometa.	56
4.1.12. Izučavanje meteorskih potoka	57
4.1.13. Posmatranje i izučavanje meteora	58

4.1.14. Sakupljanje i proučavanje meteorita	59
---	----

Odeljak drugi Izučavanja Sunca

4.2.1. Posmatranja i izučavanja Sunca do fotografije.	59
4.2.2. Otkrivanje Sunčeva uticaja na geofizičke pojave	61
4.2.3. Otkriće i izučavanje jonosfere	61
4.2.4. Primene fotografije na izučavanja Sunca	61
4.2.5. Spektroskopija Sunca ili prvi korak u fiziku Sunca.	62
4.2.6. Rađanje teorijske astrofizike i njena primena na izučavanje sunca	64
4.2.7. Izučavanja Sunčeve unutrašnjosti	65
4.2.8. Najnovija izučavanja Sunca	65

Odeljak treći Istraživanja u galaktičkoj astrofizici

4.3.1. Zvezdana fotometrija	66
4.3.2. Zvezdana kolorimetrija	67
4.3.3. Zvezdana spektroskopija i spektrografija	67
4.3.4. Razvrstavanje zvezda po spektrima	68
4.3.5. Prve pretpostavke o razvoju zvezda	68
4.3.6. Hercšprung-Raselov dijagram	69
4.3.7. Posmatrane činjenice i teorija jonizacije	70
4.3.8. Zvezdana termometrija	70
4.3.9. Izučavanje zvezdanih unutrašnjosti	71
4.3.10. Modeli zvezdane građe	72
4.3.11. Izvori energije u unutrašnjostima zvezda	72
4.3.12. Izučavanja dvojnih zvezda	73
4.3.13. Otkrivanje različitih vrsta promenljivih	74
4.3.14. Izučavanje algolida i usavršenje fotometrije	74
4.3.15. Izučavanje cefeida. Primena fotografkse fotometrije	75
4.3.16. Druge promenljive koje pulsiraju	76
4.3.17. Eruptivne promenljive	76
4.3.18. Nove i supernove	77
4.3.19. Na granicama Galaksije i prvi korak izvan nje	78

Odeljak četvrti Istraživanja u vangalaktičkoj astrofizici

4.4.1. Izučavanje zvezdanih sistema	78
4.4.2. Najnovija otkrića u vangalaktičkoj astrofizici	79

4.4.3. Radio-astronomska istraživanja galaksija	80
4.4.4. Otkriće i izučavanje kvazara	80
4.4.5. Izučavanje infracrvenog zračenja	81
4.4.6. Izučavanje ultraljubičastog zračenja	81
4.4.7. Izučavanje rendgenskog i gama-zračenja	82
4.4.8. Još neka savremena otkrića	83
4.4.9. Izučavanje kosmičkog zračenja	83
4.4.10. Otkriće pozadinskog zračenja	84

Glava peta OSNIVANJE I RAZVOJ KOSMOGONIJE I KOSMOLOGIJE

Odeljak prvi Istraživanja u kosmogoniji

5.1.1. Postanak planeta	85
5.1.2. Postanak kometa i planetoida	86
5.1.3. Postanak i razvoj Meseca	87
5.1.4. Postanak zvezda	89
5.1.5. Razvoj zvezda	90
5.1.6. Postanak zvezdanih sistema	91
5.1.7. Razvoj galaksija	91

Odeljak drugi Istraživanja u kosmologiji

5.2.1. Njutnovski stacionarni modeli Vasiona	92
5.2.2. Ajnštajnov stacionarni model Vasiona	93
5.2.3. Njutnovski nestacionarni modeli Vasiona	93
5.2.4. Fridmanov dinamički model Vasiona	93
5.2.5. Model vrele Vasiona	94
5.2.6. Modeli nehomogene i anizotropne Vasiona	95

Prilog I Branislav Ševarlić

HRONOLOGIJA ZNAČAJNIJIH DOGAĐAJA U ASTRONOMIJI	97
--	----

Prilog II Rajko Petronijević

HRONOLOGIJA VANATMOSFERSKIH ISTRAŽIVANJA VASIONE	127
--	-----

II-1. Veštački Zemljini sateliti	127
II-2. Vasijski brodovi i orbitne stanice sa posadom	135
II-3. Automatske međuplanetske letilice.	138

Prilog III

Nenad Janković

PREGLED ISTORIJE ASTRONOMIJE U JUGOSLOVENSKIM ZEMLJAMA 144

III-1. Prevodilački i prerađivački rad.	144
III-2. Astronomske tablice i kalendarl	146
III-3. Instrumenti i opservatorije	147
III-4. Svedočanstva i posmatranja.	149
III-5. Naučni i stručni radovi.	151
III-6. Astronomija u školama.	156
III-7. Astronomija u narodu	158
Imenski pregled knjige i priloga I	161
Imenski pregled prilog II.	187
Imenski pregled prilog III	193
Literatura	189

U V O D

Pre no što bismo prešli na otkrića savremene astronomije, koja je stara samo tri stoleća, osvrnimo se sa nekoliko reči na onaj mnogo duži njen period, od njenih prvih otkrića (oko 5000 g. pre n.e.) pa do smrti Njutnove. Na njemu se nećemo zadržavati jer je o tom periodu podrobnije pisano na drugim mestima, a i neuporedivo je siromašniji otkrićima od onoga u kome i mi živimo.

Zapisi o prvim astronomskim posmatranjima stari su oko 5000 godina. Nalazimo ih u Kini, Indiji i na američkom tlu među starim indijanskim narodima. Smatra se da su Asirci i Vavilonci i stari Egipćani sve do 6. veka pre n.e. bili rasadnici astronomske misli starih naroda koja je kasnije prenetu u Evropu. Otada pa do 2. veka tu ulogu preuzimaju stari Grci sa svojim dragocenim otkrićima. Parmenid daje ideju da Zemlja nije ravna ploča već lopta. Nju podržava Platon, a dokazuje Aristotel. Eratosten određuje Zemljin obim. Heraklid uči da se Zemlja obrće, a Aristarh u 3. veku pre n.e. određuje daljine i veličine Sunca i Meseca i postavlja prvi heliocentrični sistem sveta u kome oko Sunca obilaze sve planete pa i Zemlja. Pod pritiskom verskih zabluda ovaj sistem pada u zaborav, a na njegovo mesto se vraća stari, geocentrični sistem u kome je Zemlja središte Vasiona i svih kretanja. Hiparh u 2. veku pre n.e. otkriva sporo, konusno kretanje Zemljine ose — precesiju, daje prvi zvezdani katalog, podelu zvezda po sjaju i gradi prve astronomske instrumente. Ptolemej u 2. veku objavljuje "Veliki zbornik astronomije" (u arapskom prevodu "Almagest") u kome daje položaje i klasifikuje po sjaju 1 030 zvezda. Pored toga, da bi objasnio složeno kretanje planeta i Sunca u geocentričnom sistemu daje usavršenu Apolonijevu konstrukciju epikličkih putanja planeta, koja se zadržala sve do 16. veka.

U srednjem veku vlada verska tama u kojoj razvoj nauka nije moguć. Inkvizicija guši svaku naprednu naučnu misao. U to vreme jedino Arapi vrše astronomska istraživanja i prenose u Evropu astronomska znanja iz stare Grčke i Istoka. Krajem 15. veka Tiho Brahe vrši precizna posmatranja položaja i kretanja planeta.

Polovinom 16. veka Kopernik uspostavlja heliocentrični sistem sveta. Početkom 17. veka Galilej konstruiše jedan od prvih astronomskih durbina, okreće ga prvi prema nebu i otkriva niz značajnih pojava koje potkrepljuju Kopernikov heliocentrični sistem. Inkvizicija ga osuđuje na doživotno progonstvo. Filozof Đordano Bruno, takođe pristalica heliocentričnog sistema, biva živ spaljen na lomači.

U 17. veku Kepler proučava posmatranja Tihon Brahe i daje svoja tri znamenita zakona o kretanju planeta. Nešto kasnije Isak Njutn, koji je unapredio mnoge naučne discipline, konstruiše jedan od prvih teleskopa-reflektora, osniva matematičku analizu, otkriva dispersiju svetlosti, postavlja tri osnovna principa mehanike, otkriva zakon opšte gravitacije i mnoge njegove posledice. Grade se i prve opservatorije u Evropi — Kasel, Nirnberg, Dancig, Bolonja i nešto kasnije, Kopenhagen, Pariz, Gineđ i druge.

U ovo doba počinju da se razlikuju već i pojedine astronomske grane, što naročito dolazi do izražaja pri još novijim tekovinama. Zato u našoj daljoj priči otkrića i izlažemo po astronomskim granama. U tom razdoblju, posle Njutna, prva i najstarija grana je praktična astronomija sa izgradnjom sve većih i savršenijih teleskopa, pa počnimo sa njom.

Glava prva RAZVOJ ASTROMETRIJE

Instrumentaska i posmatračaka tehnika. Određivanje geografskih koordinata i izučavanja Zemljine rotacije. Određivanje daljina i veličina u Sunčevom sistemu. Izrada zvezdanih kataloga i karata. Otkriće i izučavanje pojava koje prividno menjaju položaje nebeskih tela. Određivanje fundamentalnih astronomskih konstanata.

Odeljak prvi Izgradnja instrumenata

1.1.1. Era dugačkih durbina

Za prvo usavršavanje refraktora kao osnovnog instrumenta, posle njegove primene na astronomska posmatranja, dugujemo K. Hajgensu. Posle Dekartova neuspeha, on ogleđom dolazi do zaključka da su sferna, pa i hromatska aberacija, znatno manje kod objektiva manje krivine (tj. veće žižne daljine), pa se tako počinje sa izradom sve dužih refraktora. U to vreme, Hajgens daje i svoj poznati kombinovani okular, koji se održao sve do danas. U Kraljevskom društvu (Akademiji nauka) u Londonu čuvaju se i sada njegovi objektivi od 40, 55 i 68 m žižne daljine. U isto vreme Kampani, u Rimu, brusí za ondašnje pojmove velika sočiva. Njih koristi Dominik Kasini za svoje pronalaskе.

Ovako dugački refraktori nisu niukoliko ličili na današnje. Da bi bili lakši, cev im je izostavljena, a objektiv i okular sa nizom dijafragmi utvrđivani su za tanju šinu, koja je vešana o podesno načinjene jarbole sistemom konopaca koji su smanjivali savijanje instrumenta. Ostao je poznat iz toga doba Hevelijev refraktor (na njegovoj Opservatoriji u Gđanjsku) od 49 m, na jarbolu čija je visina dosegala 29 m.

Nešto kasnije, upotreba ovako dugačkih instrumenata pokazala se nepraktičnom, pa je Hajgens konstruisao u periodu od 1681—1687. g. tzv. vazdušni refraktor, koji se sastojao iz objektiva, utvrđenog za visoki toranj ili vrh zgrade, i okulara utvrđenog za tronožac. Jedina materijalna veza između njih bilo je tanko metalno užе čijim je zatezanjem posmatrač dovodio sistem ovih sočiva u koaksijalnost.

Šesti februar 1669. g. značajan je datum za istoriju razvoja astronomskog refraktora. Toga dana Hajgens je otkrio metodu za otklanjanje sferne aberacije kombinovanjem ispučenog i izdubljenog sočiva, stvorio je prvi aplanatski objektiv. Refraktori otada postaju sve kraći. Ostalo je samo da se nađe način da se otkloni i hromatska aberacija, pa da se dođe do današnjeg refraktora.

1.1.2. Usavršavanje instrumenata

Sve veće povećanje tačnosti u određivanju položaja nebeskih tela moglo se postići samo usavršavanjem instrumenata i obračunavanjem njihovih sistematskih grešaka. Njega je postigao Džordž Grejem, koji je radio instrumente za Mollnuksa i Bredlija, time što je kružnu podelu nanosio pomoću mikrometarskog zavrtnja. Sa svojim saradnikom Berdom izrađivao je on instrumente i za mnoge svetske opservatorije. Njihovo usavršavanje omogućila je i sve veća potražnja za ručnim instrumentima za potrebe moreplovstva. Već oko 1700. g. Njutn je predložio da se Jakobov štap zameni sekstantom, koji je kasnije i izrađen po njegovom projektu. Nekako u isto vreme i u Filadelfiji ovakav instrument nezavisno predlaže Tomas Godfri, a u Rusiji Mihail Lomonosov. Zbog svoje praktičnosti i ekspeditivnosti on se i danas zadržao u upotrebi.

Godine 1726. Grejem pronalazi temperatursku kompenzaciju klatna pomoću žive, a Harisn pomoću rešetke od dva metala sa suprotnim smerovima širenja. No kada je Harisn ovakvu kompenzaciju ostvario i na balansu hro-

nometra, tačnost određivanja geografskih dužina, važna za moreplovstvo, popela se na oko 10'. Ovakve hronometre i sekstante koristile su već ekspedicije iz 1761. i 1765. g. o kojima će biti reč.

Visoka preciznost u izradi ovih instrumenata pomogla je i u engleskoj industrijskoj revoluciji da se dođe do prvih preciznih mašina.

1.1.3. Usavršavanje optike

Dalji napredak u tačnosti posmatranja postignut je usavršavanjem optike. Baveći se optičkim eksperimentima od 1660–1670. g. Njuton je otkrio ahromatizam i postavio jednu pogrešnu teoremu: iako je dispersija svetlosti različita sa razne optičke gustine, ona mora biti uvek upravno srazmerna prelamanju. Zbog toga je bio ubeđen da se ahromatizam ničim ne može ispraviti, pa je, nadahnut ranijim predlogom Džemsa Gregorija za izradu jednog teleskopa čiji će objektiv biti, mesto sočiva, izdubljeno ogledalo, sam izbrusio ovakvo ogledalo i konstruisao teleskop-reflektor sopstvenog tipa koji je 1671. g. prikazao Kraljevskom društvu u Londonu a koji se i sad tamo čuva. Njegov otvor iznosio je samo oko 2,5 cm a žižna daljina 15 cm, no davao je oštrije i jasnije slike zvezda no refraktori od 3–4 stope. Tek je 1720. g. Džems Šort iz Edinburga, ovladao tehnologijom izrade ovakvih ogledala, pa su se počela masovno proizvoditi i upotrebljavati.

Kada su Leonard Ojler teorijski, a fizičar Klengenstjern praktično, pokazali neodrživost gornje Njutnove teoreme, uspelo je 1757. g. Džonu Dolondu, iz Londona, da pronade kombinaciju sočiva koja otklanja hromatsku aberaciju, tj. da konstruiše ahromatski sistem sočiva. Tada počinju da se izbacuju iz upotrebe dugački refraktori malog otvora i da se uvode ahromatski otvora do 10 cm (jer se veće ploče od flint-stakla nisu mogle još liti). Oni su davali oštre i jasne likove u širokom vidnom polju, a nad reflektorima su imali to preimućstvo što su se na njima mogli koristiti merni pribori. Već je Meskilajn 1772. g. za Bredlijeve instrumente poručio kod Dolondovog naslednika Džesea Remsdena ahromatske objektivne. Uvodeći isto veći broj vertikalnih konaca Meskilajn postiže u određivanju meridijanskih prolaza tačnost od $0,5^2$.

Usavršenje instrumentske tehnike i optike omogućuje da se rade sve precizniji zvezdani katalozi, koji obuhvataju i zvezde 9. prividne veličine. Takvi su na primer katalozi Đuzepea Pjacija u Palermu sa početka 19. veka s položajima 6748 i 7646 zvezda čija je tačnost dostizala već 3–4".

Industrijska revolucija 18. veka izazvala je (pored velikih društvenih promena) zbog svojih potreba razvoj tehnike i prirodnih nauka, pa i astronomije, kako preko usavršavanja instrumenata, tako i putem osnivanja opservatorija i instituta. Firme Remsden i Keri, zatim Trautn i Sims, u Engleskoj, najzad Repsoldova u Hamburgu i Rajhenbahova u Minhenu, osnovane početkom 19. veka, izrađivale su sve preciznije instrumente, najpre za astronomsku plovdbu, a zatim i velike, za potrebe opservatorija. Ove radionice počinju da izrađuju velike pasažne instrumente s preciznim krugom za merenje deklinacija, tzv. meridijanske krugove, koji tada predstavljaju vrhunski domet u astronomskim instrumentima. Snabdeveni nonijusima, a zatim mikroskop-mikrometrima, omogućuju oni merenje deklinacija do na $0,5^4$ a od 1844. g., kada je iz Amerike preuzeto beleženje vremena prolaza zvezda iza vertikalnih konaca električnim tasterom na elektromagnetnom hronagrafu, i određivanje rektascenzija postupno prilazi tačnosti od $0,5^1$.

1.1.4. Dalje povećanje tačnosti instrumenata

Trka za daljim povećanjem tačnosti položaja zvezda odvijala se u više pravaca. Da bi se povećala tačnost rektascenzija morala se obezbediti što veća stalnost hoda časovnika s klatnima. Zato se oni spuštaju u duboke podrumne i dovode na stalnu temperaturu, i stavljaju pod staklena zvana sa stalnim vazдушnim pritiskom. Konstantnost dnevnog hoda od $\pm 0,001$ dostignuta je kad je Šort konstruisao naročiti časovnik s takozvanim slobodnim klatnom koje jevezano strujnim kolom za sekundarno klatno.

Kada su Maskellajn, a zatim i Besel, otkrili i potvrdili postojanje sistematske lične greške u posmatranju meridijanskih prolaza zvezda, koja je dostizala i nekoliko desetih vremenske sekunde, napori su bili usmereni da se njenim uklanjanjem poveća tačnost rektascenzija. To je postignuto kada je Repsold 1889. g. konstruisao bezlični ili kontaktni mikrometar s pokretnim koncem kojim se prati zvezda. Lična greška njime nije bila do kraja odstranjena, ali je smanjena nekoliko puta, tj. tačnost meridijanskih prolaza dovedena do $\pm 0^{\circ}0.2$ secđ.

Za povećanje tačnosti deklinacija borba je vođena sa savijanjem durbina i krugova, sa greškama kružne podele i sa refrakcijom i njenim anomalijama, pa su iznađene metode da se ove greške odrede i uklone iz merenja i postavljane sve tačnije teorije refrakcije.

1.1.5. Dalje usavršavanje optike

Povećanje tačnosti u određivanju položaja traženo je i kroz dalje poboljšanje optike. Daroviti bavarski samouk Jozef Fraunhofer, koji u početku radi kod Rajhenbaha, 1806. g. osniva Optički institut u Minhenu. Zahvaljujući uspesima švajcarskog optičara Ginana, dolazi on do odlivaka ploča od flint-stakla znatno većih no do tada, koje su u prečniku dostizale i 35 cm i bile bez vlakana u samom staklu.

Ispitujući precizno indekse prelamanja raznih vrsta stakla otkriva on 1817. g. apsorpcijske linije u Sunčevom spektru, koje su ponele njegovo ime.

Polazi mu za rukom i da stvori kombinaciju sočiva sa skoro potpunim arhomatizomom, iako je teorija ovakve kombinacije, koja je vrlo složena, stvorena znatno kasnije. Sa ovakvim objektivom 24 cm prečnika i jednom od prvih metalnih konstrukcija cevi i nosača, Fraunhofer stvara 1815. g. svoj prototip savremenog refraktora s tzv. nemačkim načinom postavljanja i još ga snabdeva časovnim kretanjem oko polarne osovine, koje omogućuje da posmatrano nebesko telo ostane u vidnom polju praktično nepomično i po više minuta. Na ovakvim refraktorima, u istoj epohi u nemačkoj, radi i Štajnhajl, a u Engleskoj, pored Remsdena i Trautna.

1.1.6. Džinovski reflektori Heršela, Rosa i Lesela

Naporedno se radilo i na razvoju reflektora, iako je on išao veoma sporo zbog teškoća oko livenja, brušenja i glačanja bronzanih ogledala. Dugo je jedini Njutn imao uspeha u ovom praktičnom, ali delikatnom poslu, da ga nisu mogli prevazići ni majstori od zanata. Tek je Heršel uspeo 1720. g. da konstruiše reflektor 15 cm otvora i 1,6 m žižne daljine, koji je mogao stati u red s Hajgensovim i Kampanijevim objektivima i praktično biti korišćen. Otada Šort u Engleskoj i Pasman u Francuskoj počinju sa uspešnom redovnom izradom manjih reflektora.

U 18. i početkom 19. veka u izradi reflektora niko nije mogao prevazići V. Heršela, koji kao ljubitelj započinje 1774. g. glačanje svog prvog ogledala za reflektor Gregorijeva tipa, prosto zato što mu sredstva nisu dopuštala da ovakav instrument poruči. Nezadovoljan njime, Heršel od 1774—1780. g. izrađuje 3 nova reflektora od 2,3 i čak 6 m dužine. Posle velikih teškoća i neuspeha njemu 1783. g. polazi za rukom da izradi 2 velika reflektora 48 cm otvora i 6 m žižne daljine. Jednom od njih učinio je čitav niz znamenitih otkrića o kojima će kasnije biti govora. No ni tu se neumorni radnik nije mogao zaustaviti. Posle niza novih borbi i neuspeha polazi mu za rukom da 1789. g. završi svoj za ono vreme dolsta džinovski reflektor od 122 cm otvora i 12,2 m žižne daljine s ogledalom teškim 960 kg.

Godine 1845. Vilijam Parsons (lord Ros), u Irskoj, konstruiše svoj još veći reflektor Heršelovog tipa 182 cm otvora i 16,6 m žižne daljine sa ogledalom teškim 3800 kg i njime otkriva spiralnu građu vangalaktičkih maglina.

Posle toga V. Lasel konstruiše svoj džinovski reflektor od 122 cm otvora i 11,3 m žižne daljine, Njutnova tipa, prvi koji je postavljen ekvatorski "na viljušku". To je i poslednji veliki reflektor s bronzanim ogledalom. Otada počinje izrada velikih ogledala od stakla sa kojom ulazimo u današnju astrofizičku eru u astronomiji.

1.1.7. Utrkivanje u velikim refraktorima

Zbog kakvoće likova i spretnosti rukovanja u ono vreme više su bili cenjeni refraktori, te počinju da se grade sve veći. Vilhelm Struve postavlja u Dorpatu (sada Tartu) jedan s otvorom od 24 cm, a Fraunhoferov naslednik Mercsnabdeva 1839. g. novoosnovanu Pulkovsku opservatoriju (kod Petrograda) refraktorom otvora 38 cm, koji je tada smatran džinovskim.

Godine 1870. nemačko iskustvo prevazišla je engleska firma Grab, a zatim Alvanu Klarku, u Vašingtonu, polazi za rukom da ostvari doista gigantske objektivne. Najpre izrađuje jedan prečnika 43 cm za Čikašku opservatoriju, čiju kakvoću ispituje njegov sin Alvan Grejem Klark i tom prilikom otkriva Sirijusovog pratioca, 1862. g. Posle toga Vašingtonska opservatorija poručuje kod njega refraktor 66 cm otvora. To je onaj kojim je 1877. g. Asaf Hol otkrio Marsove pratiocice. Posle toga postavljen je u Pulkovu refraktor otvora 76 cm, a braća Anri iz Pariza izrađuju jedan s otvorom 76 cm za Opservatoriju u Nici i drugi s otvorom 83 cm za Opservatoriju u Medonu. Novoosnovana Harvardska opservatorija 1844. g. dobiva refraktor sličan pulikovskom.

Amerika tada, zahvaljujući privatnim zaveštanjima, preuzima prvenstvo u džinovskim refraktorima. Godine 1888. osnovana je blizu San Franciska, Likova opservatorija, koja je odmah snabdevena refraktorom 90 cm otvora, a 1897. g. Jerksova opservatorija Čikaškog univerziteta, za koju je izrađen najveći današnji refraktor otvora 102 cm. Za oba je objektivne izlio Mantua u Parizu. Svi su postavljeni na nemačko Fraunhoferovo postolje, bili su snabdeveni položajnim mikrometrima za merenje relativnih polarnih koordinata bliskih zvezda, koji su se pokazali sve do skora nezamenljivi za određivanje relativnih položaja dvojnih zvezda. Na izradi optike za refraktore i reflektore u 19. veku najveću zaslugu nose udružena firma Mantua i Sen-Goben u Parizu i novoosnovana fabrika „Karl Cajs“ u Jeni, koju je ravzio Ernst Abe od male Cajsove radionice iz 1846. g.

Ne treba izgubiti iz vida ni značajno otkriće heliometra koje je izvršio Buge u 18. v., a koje su usavršili Remsden, a zatim još više Fraunhofer. Njime su s najvišom tačnošću mogli da se mere relativni položaji bliskih zvezda. Besel je izadio njegovu teoriju i koristio ga za određivanje jedne od prvih zvezdanih paralaksa. On je ostao u upotrebi sve do kraja 19. v. kada ga je istisla fotografija.

1.1.8. Otkriće i primena fotografije

Ubrzo posle otkrića fotografije (J. Nieps 1822. L. Dager 1838.), 1839. g. primenjena je ona na Mesec i Sunce, pa su dobiveni dosta dobri snimci. Dž. Dreper dobiva 1840. g. prvu dobru sliku Meseca, a Ž. Fuko i H. Fizo prvi dagerotipski snimak Sunca. Godine 1851. Skot-Arčer pronalazi fotografiju sa suvim, osetljivim pločama, pa dve godine kasnije Voren de la Ri dobiva prvi uspeli snimak Meseca ovom tehnikom. Dž. Bond već 1857. g. primenjuje fotografiju na posmatranje dvojnih zvezda, a 1858. g. Voren de la Ri na kometu Donati. Zatim 1881. g. Dreper dobiva uspešan snimak komete Tebat (1881. III). Godine 1885. načinjen je prvi dobar snimak jednog meteoroskog roja (Andromedidi), a iste godine braća Anri dobivaju prvi uspeli snimak Plejada sa maglinama. Već naredne godine L. Roberts sa uspehom snima jedan planetoid (Safu), a iste godine braća Anri fotografišu Mlečni Put. Snimci zvezda nisu bili sasvim oštri, jer su objektivni bili podešeni za posmatranje okom. Tek kada je 1864. g. L.M. Raderford, u Njujorku, konstruisao prvi fotografski objektiv, otvora 29 cm, dobio je on prve dobre fotografije zvezdanog neba.

Redovnu upotrebu fotografije u astronomiji, sa svima njenim preimućstvima nad posmatranjima okom, omogućila je i izrada sve savršenijih kombinacija fotografskih objektivna, koje su ostvarili Cajdek, Pesval i dr. U radionicama Ševalijeja, Štajnhajla, Brašera i Cajs stvorene su zatim kombinacije od 3—8 sočiva za razne i veoma posebne namene.

No još braća Anri u Parizu, pre ovih usavršenih foto-objektiva, uspeli su da na pločama dobiju i zvezde do 14.

prividne veličine. To je omogućilo da D. Gil preduzme fotografsko katalogizovanje južnog neba koje se završilo, uz pomoć J. Kaptajna, 1900. g. fotografskim pregledom sa 454 875 zvezda južnog neba do 11. prividne veličine. Zatim je u Parizu 1887. g., na zauzimanje direktora opservatorije E. Mušeza organizovana saradnja 12 opservatorija na izradi detaljne zvezdane karte severnog neba, poznate kao "Kart di sijel", sa zvezdama do 14. prividne veličine. Posao je po obimu prevazišao sve planove i završen je (iako ne u potpunosti) tek polovinom našeg veka.

E. Barnard astrografski otkriva 1889. g. tamne magline, M. Volf 1891. g. prvi planetoid (323 Brucija), a 1892. g. i prvu kometu. Godine 1894. već je izrađena i prva fotografska karta Meseca (M. Loevi i V. Piize), da se naredne godine pojave i fotografski atlasi Likove i Pariske opservatorije. Godine 1900. Dž. Kileru polazi za rukom da fotografijom otkrije već i velik broj galaksija.

Kada je 1928. g. Šlezinger dokazao da tačnost dobrih fotografskih položaja dostiže, pa i prevazilazi tačnost meridijanskog kruga, nemačko Astronomsko društvo je odlučilo da se ponove posmatranja programa AGK fotografski. Tako je došlo 1958. g. do velikog preciznog fotografskog kataloga AGK₂, a kada je akcija i drugi put ponovljena, i do kataloga AGK₃ 1971. g.. Iste godine kada je izišao katalog AGK₂ započet je i veliki fotografski katalog južnog neba SRS, koji još nije završen. Kruna stvaranja u fotografskoj fundamentalnoj astronomiji bila je Maunt-Palomarska zvezdana karta s položajima preko milijarde zvezda, izišla 1960. g. Za izradu velikih fotografskih kataloga konstruisani su naročiti refraktori – astrografi. Ponavljanje fotografskih akcija omogućilo je i omogućiće određivanje preciznih sopstvenih kretanja za velik broj zvezda u kojima smo još siromašni.

1.1.9. Izgradnja savremenih džinovskih reflektora

Vratimo li se na razvoj tehnike instrumenata na redu je izgradnja džinovskih reflektora u savremenoj epohi. Sa refraktorskim objektivom od jednog metra dostignuta je praktično granica u izradi velikih sočiva visokog kvaliteta. Upijanje svetlosti u ovako debeloj masi stakla i njeno izobličenje od sopstvene težine nepremostivi su nedostaci kod velikih sočiva. To je išlo u prilog izradi sve većih reflektora prečnika 1, 1,5 i 2 m. Godine 1919. izrađen je veliki Hukerov reflektor za Opservatoriju Maunt-Vilsn sa otvorom od 2,5 m, posvećen prvenstveno istraživanju vangelaktičkih maglina.

Prvi dalji korak, znatno kasnije 1949. g. bio je Maunt-Palomarski reflektor 5 m otvora, a poslednji do danas reflektor otvora 6 m za Specijalnu astrofizičku opservatoriju na Kavkazu postavljen je 1976. g. Samo je ogledalo njegovo teško 42 tone, a svi pokretni delovi i čitavih 700 tona. Kod svih velikih novih reflektora napuštena je ekvatorska postavka i oni su postavljeni u horizontskom sistemu, tj. obrtni su oko vertikalne i horizontalne osovine. Ovo pruža mnoga preimućstva. Zato jedan manji računar u svakom željenom trenutku pretvara ekvatorske koordinate nebeskog tela iz kataloga u horizontske, a odnosni elektromotori vrše sve pokrete konstrukcije, kao i praćenje lika.

Pored ovog prvaka, koji će po svoj prilici ostati neprevaziđen, jer se građenje većih reflektora ne isplati ni tehnički, ni ekonomski prema prednostima koju oni pružaju, valja pomenuti još nekoliko nešto manjih, ali još uvek džinovskih primeraka izrađenih poslednjih godina. To su 3 reflektora po 4 m otvora (u Arizoni, Čileu i Australiji), kao i 2 po 3,5 m otvora (na Havajima i u Čileu), zatim 1, do 3 m otvora, koji se gradi udruženim snagama i sredstvima Britanije, Danske i Španije, a koji će biti postavljen na novoj visinskoj opservatoriji na Kanarima, gde je izuzetna providnost atmosfere i vedro vreme praktično preko cele godine. Reflektori od 2 m otvora danas su već redovna pojava u svim većim opservatorijama sveta.

1.1.10. Izgradnja radio-teleskopa

Odmah posle otkrića vasionkog radio-zračenja (Janski, 1931. g.) i posle konstrukcije prvog radio-teleskopa za njegov prijem (Riber, 1937. g.), započela je trka i u izgradnji sve većih radio-teleskopa. Već 1958. g. izgrađen je u Džodrel Benku (Mančester) pokretni s paraboloidnom antenom otvora 76 cm, zatim 1963. nepokretni u

Aresibu (Porto-Riko) sa otvorom od 300 m, 1964. g. u Nanseju (Francuska) meridijanski sa 2 ogledala 200 X 35 m, u Efelsbergu (Zapadna Nemačka) pokretni paraboloidni s otvorom od 100 m, kao i mnogi drugi i, najzad, najveći, na Kavkazu (SSSR) 1974. g. s nepomičnom prstenastom antenom prečnika oko 600 m, sastavljen iz blizu 900 ploča po 7 X 2 m. Svi oni, i mnogi drugi veliki radio-teleskopi, pokrivaju danas sve opsege milimetarskih i centimetarskih radio-talasa, pa su tako osposobljeni za posmatranje i izučavanje svih vrsta vasioniskih radio-izvora.

1.1.11. Višestruki radio-teleskopi i radio-interferometri

Preciznost u određivanju položaja radio-teleskopom odstigla je, pa i znatno prevazišla, preciznost optičkih reflektora tek kad su posle prvog radio-interferometra iz 1946. g. počeli da se grade u današnje vreme višestruki radio-teleskopi i radio-interferometri, a naročito oni s veoma dugim osnovicama. Pomenimo onaj u Grin-Benku (SAD), iz 1964. g., sa 3 antene po 25 m i osnovicom od 2700 m, zatim onaj u Vesterborku, iz 1970. g., sa 12 antena po 25 m i osnovicom od 1600 m i, najzad, onaj u Novom Meksiku (SAD) sa 27 antena po 25 m i 3 osnovice po 25 km koji se tek završava.

Sa radio-teleskopom u Grinbenku, prečnika 42 m, i onim na Krimu, prečnika 22 m, na krajevima osnovice duge 8000 km, kao interferometrom, mereni su poslednjih godina, primera radi, prividni prečnici nekih kvazara, najudaljenijih nebeskih tela, pa je nađeno da njihova jezgra iznose samo oko jednog milionitog dela uglovne sekunde i da imaju difuzne omotače nekoliko desetina puta veće. Ovo predstavlja pravi trijumf nauke, daleko prevazilazi sve mogućnosti optičkih reflektora i predstavlja jemstvo za uspešnost pokušaja primene radio-astonomskih metoda u astrometriji, o čemu će još biti govora.

1.1.12. Najnoviji napori za unapređenje instrumentske tehnike

Pored trke u dimenzijama reflektora, učinjeni su u savremenoj epohi još nekoliki uspešni pokušaji da se unapredi tehnika astronomskih instrumenata na druge načine. Tako je 1971. g. u Njujorku razrađen složeni postupak povećanja razdvojne moći postojećih reflektora, pa su njime dobiveni uspešni snimci tesnih parova dvojnih zvezda, čija rastojanja iznose samo nekoliko stotih uglovne sekunde. Njime su, prvi put posle Majkelsnovih napora s optičkim interferometrom na Lik opservatoriji 1890. g., dobiveni pouzdani prečnici bliskih sjajnih zvezda, kao što su: Antares, Alfa Herkula, Arktur, Beta Pegaza i druge, čiji prividni prečnici iznose jedva neki stoti uglovne sekunde.

Pomenimo još neke velike uspehe najnovije tehnike astronomskih instrumenata koji zaslužuju da uđu u istoriju. Prvi se odnosi na izgradnju višestrukog optičkog reflektora na Stjuart opservatoriji u Arizoni od 6 ogledala otvora po 183 cm koja obrazuju zajednički lik posmatranog nebeskog tela i zamenjuju, na znatno ekonomičniji i spretniji način, jedan reflektor otvora 4,5 m. Ne treba izgubiti iz vida ni savremene napore optičara za izgradnju džinovskih mozaik-ogledala za reflektore sastavljenih iz delova, koji će omogućiti lakšu i ekonomičniju izradu novih velikih teleskopa.

Drugi je podvig neposredni nastavak težnje astronoma da instrument iznesu izvan Zemljine atmosfere i tako izbegnu mnoge njene prepreke i smetnje. To su najpre činili upotrebom stratosferskih balona još 1959. g. za posmatranje tanane građe Sunčeve površine, zatim sondažnim raketama koje su dostizale i visine od 400–500 km sa instrumentima za izučavanje ultra-ljubičastog zračenja Sunca i najzad, raznosvrnim vasioniskim letilicama za izučavanje naših suseda u Sunčevom sistemu, o čemu će biti više govora u Prilogu 2.

Poslednja stepenica je svakako vasioniski optički reflektor 2,60 m otvora koji se gradi u SAD, koji će biti poslat u vasioniski prostor verovatno u 1986. g. predstavljati veliku vasionisku opservatoriju. Njegova razdvojna moć biće oko 0,04 i moći će da izučava 100 puta slabija nebeska tela no isti toliki reflektor na Zemlji. Biće osposobljen za

merjenja u svim opsezima elektromagnetskog zračenja, a isto tako i čestičnog. U uslovima večite noći, njegovo radno vreme biće bar 3 puta veće no da je na Zemlji. Sličan projekt, nešto skromnijeg obima radi se već i u sarađnji evropskih zemalja.

Sve ovo ukazuje na neograničene mogućnosti ljudskog uma koji, čim se u jednoj metodologiji približi granicama mogućeg, razrađuje novu i tako ove granice neograničeno proširuje.

1.1.13. Noviji razvoj astrometrije

Na kraju ove glave vratimo se astrometriji, njenim korenima, sadašnjem stanju i perspektivama. Njen se razvoj kretao u dva pravca – ka izučavanju Zemljine rotacije i prema fundamentalnoj astrometriji, tj. prema izradi sve preciznijih i većih zvezdanih kataloga i karata. U oba područja zapažaju se napori za izradu sve tačnijih novih instrumenata i njihovo korišćenje na rešavanju problematike ovih dveju značajnih oblasti, ne samo u cilju izučavanja novih pojava ili bližeg upoznavanja već poznatih, već i u svrhu višestruke primene baš ovih oblasti astronomske nauke. Za džinovski skok u ovom izučavanju u naše vreme dugujemo najviše istom takvom skoku u tehnici, posebno u elektronici i njenim primenama, koji su izazvani opštim ubrzanim razvojem nauka u naše vreme prouzrokovanim prvenstveno novim društvenim odnosima.

1.1.14. Novi instrumenti za fundamentalnu astrometriju

Posle zastoja od nekoliko decenija u povišenju tačnosti zvezdanih kataloga, u naše vreme su učinjeni veliki napori da se krene napred, kako automatizovanjem i poboljšanjem klasičnih instrumenata, tako i konstrukcijom sasvim novih i, najzad, uvođenjem sasvim nove posmatračke tehnike.

N.N. Pavlov je 1972. g. izvršio zaštitu malog pasažnog instrumenta od spoljnih uticaja, izdigao ga na veću visinu i sveo mu nagib na nulu, uz upotrebu fotoćelije za registrovanje meridijanskih prolaza zvezda. Tačnost rezultata povećao je skoro za red veličine u odnosu na klasična posmatranja, tako da je iz svojih posmatranja izveo i precizni katalog časovnih zvezda. To je učinio i B. Gino upotrebom Danžonovog astrolaba 1961. g.

Heg u Haburgu i Rekiem u Bordou automatizovali su i modrnizovali klasični meridijanski krug, pa su poslednjih godina skokovito povećali tačnost meridijanskih posmatranja i njinu efektivnost. R. Etkinson 1947. g. i L. Suharev 1948. g. konstruisali su horizonatne meridijanske krugove. Svetlost od zvezde ulazi u nepokretnu horizontalnu cev instrumenta obrtanjem sfernog ogledala. Još se radi na usavršavanju ovih instrumenata. Postignuta je tačnost od $\pm 0,012$ sec δ u rektascenziji i odgovarajuća u deklinaciji, no radi se na njenom povećanju. Klok je sedamdesetih godina u Vašingtonu, konstruisao ovakav instrument svog tipa, a Heg izradio projekt za svoj. Oba stavljaju u izgled tačnost od $\pm 0,005$. I fotografski vertikalni krug koji je konstruisao Zverjev u Pulkovu teži da se približi ovoj tačnosti u deklinaciji.

Radio-interfereometrija dostigla je u određivanju položaja radio-izvora 1975. g. nivo optičkih određivanja. Međutim, Rajl i Elsmor 1973. g. postigli su u Kembridžu upotrebom ovakvog instrumenta s osnovicom od 5 km tačnost od $\pm 0,002$. Time su stvoreni uslovi za osnivanje nove astrometrijske grane—radio-astrometrije. Naime, radio-interfereometrima određivaće se precizni položaji tačkastih galaksija, koje zrače i u optičkom opsegu. Njini će se položaji određivati i preciznim optičkim instrumentima i tako vezati fundamentalni sistem radio-izvora za fundamentalni sistem zvezda. Povećanjem osnovice do desetak hiljada kilometara postoje izgledi da se dostigne i tačnost položaja od $\pm 0,001$; kada se još nekolike prepreke budu uklonile.

Planom Bakisa i Lakruta iz 1974. g. stvorena je osnova za jednu kosmičku astrometriju, tj. za određivanje izvanredno preciznih položaja nebeskih tela iz veštačkih Zemljinih satelita. Oni su razradili i projekt za odgovarajući instrument i metodu posmatranja. Plan predviđa određivanje relativnih položaja, paralaksa i sopstvenih kretanja najmanje 40 000 zvezda, sjajnijih od 9,5 prividne veličine sa tačnošću od $\pm 0,01$ (položaj), $\pm 0,007$ (para-

laksa) i 0,"005 (godišnje sopstveno kretanje). Evropska kosmička agencija (ESA) priprema za 1987. godinu izbacivanje astrometrijskog satelita "Hiparkos" sa pomenutim i drugim zadacima.

NASA priprema lansiranje velikog kosmičkog teleskopa (LST), prečnika 2,60 m, u 1984. g. Astrometrijske mogućnosti ovog teleskopa biće: a) povećanje tačnosti FK4 u sistematskom pogledu (deset i više puta) i njegovo povezivanje sa apsolutnim sistemom radiogalaksija i kvazara, b) merenje paralaksa i sopstvenih kretanja deset puta tačnije nego danas, v) merenje uglovnog prečnika zvezda i galaktičkih jezgara, g) određivanje pojedinačnih masa preko posmatranja 100 spektroskopskih dvojnih zvezda. Očekivana tačnost zvezdanih položaja je apsolutnom metodom $\pm 0,"01$, a relativnom (paralakse i sopstvena kretanja) $\pm 0,"002$. Moguća su merenja do 20. prividne veličine. Predviđa se posmatranje koje će trajati 15–20 godina.

No sva ova dostignuća prelaze okvire istorije, a neka i područje današnjih radova i predstavljaju pripreme koje će se u oblasti astrometrije ostvarivati u bliskoj budućnosti.

Odeljak drugi Radovi na fundamentalnoj astrometriji

1.2.1. Određivanje koordinata nebeskih tela

Primene astrometrije u moreplovstvu i geodeziji dovele su do osnivanja Pariske (1667. g.) i Griničke opservatorije (1575. g.). Prve na inicijativu M. Pikarovu, a druge na zauzimanje Dž. Flegistidovo. Na čelo Pariske opservatorije postavljen je već poznati talijanski astronom Žan Dominik Kasini, dok je Pikar postao prvi posmatrač i počeo od 1679. g. izdavati i zbirku efemerida "Connaissance des Temps...", koja, i pored raznih izmena izlazi i danas. Pikar je poručio i zidni kvadrant od 5 stopa da ga postavi u meridijan i započne izradu zvezdanog kataloga, no smrt ga je pretekla. Ovaj posao je započeo njegov naslednik La Hir.

Mladi Halej, poslat je 1676. g. na Ostrvo Sv. Jelene, gde je 1679. g. izradio katalog 341 južne zvezde (prvi pomoću refraktora), jer su u to vreme za južno nebo postojali samo katalogi niske tačnosti starih moreplovaca. Halej je tom prilikom izvršio i veliki broj meteoroloških i magnetnih merenja, izradio kartu plime i oseke i postavio teoriju pasata.

Flemstid je iz sopstvenih sredstava naručio sekstant od 7 stopa i njime izvršio mnoga posmatranja metodom zvezdanih rastojanja kojom se još Tiho služio. Tek kasnije je uz Šarpovu pomoć došao do meridijanskog kvadranta na kome je od 1689. g. vršio sistematska određivanja položaja Sunca, Meseca, planeta i zvezda. Ona su dovela do njegovog za ono vreme vrlo preciznog "Kataloga 2934 zvezde objavljenog u "Historia coelestis Britannica", koji je izišao tek 1725. g., posle njegove smrti. Po njemu je izrađen i čuveni atlas neba.

Po dolasku na čelo Griničke opservatorije, 1742. g., odmah posle Halejeve smrti, Bredli je kod Berda poručio pasażni instrument s teleskopom od 8 stopa za određivanje rekstascenzija i meridijancki zidni kvadrant, poluprečnika 8 stopa, za određivanje deklinacija i odmah započeo određivanje položaja Sunca, Meseca, planeta i zvezda, koje je vršio uporno do kraja života. U određivanju položaja ostvario je dotle nedostignutu tačnost od nekoliko uglovnih sekunada zahvaljujući ne samo preciznim instrumentima, već i obračunu njihovih sistematskih grešaka, a naročito nagiba obrtne osovine pasażnog instrumenta, koji je određivao libelom. Tako dobiva ogromni posmatrački materijal koji će biti obrađen i objavljen tek posle njegove smrti.

Ovako brižljivo određivanje položaja i izradu preciznih kataloga nastavili su u Engleskoj Bredlijevi naslednici Meskilajn i Pond, u Francuskoj Laland i Lakaj, a u Nemačkoj Tobijas Majer. Poznat je iz tog vremena obrazac T. Majera do koga će malo kasnije nezavisno doći Besel, Hanzen i Ruder Bošković za svođenje meridijanskih posmatranja.

Godine 1750. Lakaj odlazi na Rt Dobre Nade, gde pored paralaksa Sunca i Meseca izrađuje i svoj čuveni katalog od 10 000 zvezda južnog neba (sedme i osme prividne veličine).

1.2.2. Besel i zasnivanje moderne astrometrije

U ovakvim posmatranjima u to vreme istakao se osnivač opservatorije u Kenigebergu Fridrih Vilhelm Besel, koji je započeo kao ljubitelj astronomije, da najzad postane tvorcem savremene astrometrije. Na novoj opservatoriji postavlja on 1820. g. Rajhenbahov, a 1842. g. još veći, Repsoldov meridijanski krug i baca se s velikim žarom na određivanje preciznih položaja Sunca, Meseca planeta i zvezda. Pokazuje kako se mogu odrediti sistematske greške ovog instrumenta i ukloniti iz merenja, a zatim s upornošću provodi obračun refrakcije, aberacije, precesije i nutacije, čime dostiže dotle neostvarenu tačnost položaja. Najpre obrađuje i objavljuje 1818. g. katalog 3000 zvezda "Fundamenta Astronomiae", izveden iz Bredlijevih posmatranja, a zatim i sopstveni, a usto i čuvene "Tabulae Regiomontanae" za svodenje posmatračkih položaja. Na radovima iz fundamentalne astrometrije ističu se i prednjače opservatorije u Grinidžu i Parizu, zatim novoosnovane u Pulkovu i Vašingtonu, da im se još kasnije pridruži i ona na Rtu Dobre Nade i druge.

1.2.3. Dalji rad na fundamentalnoj astrometriji

Dok je u Grinidžu Meskilajn odabrao 36 osnovnih sjajnih zvezda približno ravnomerno raspoređenih po nebeskoj sferi s ciljem da se dugotrajnim ponavljanjem posmatranja omogući sigurno određivanje njihovih sopstvenih kretanja, kako bi poslužile za oslonce masovnim diferencijalnim određivanjima položaja slabijih zvezda, dotle u Parizu, Laland i Lakaj, a u Grinidžu Eri, rade već na katalozima od više hiljada zvezda.

Godine 1839. završio je i F. Argelander svoj trudni sedmogodišnji posao na vizualnom određivanju približnih položaja (O^S , 1; 1') 324 188 zvezda od -2° deklinacije do severnog pola i objavio svoj čuveni pregledni katalog "Boner Durhmusterung", koji je 1889. g. E. Šenfeld dopunio položajima još 133 659 zvezda s deklinacijama od -2° do -23° . Prema njima je malo kasnije izgrađena (crtanjem) i poznata BD zvezdana karta. I katalog i karta veoma su korisno služili, i danas služe, posmatračima planetoida i kometa, a sve do novijih kataloga i za zvezdanu statistiku.

Međunarodni karakter ovakav rad dobiva tek 1871. god. kada nemačkom Astronomskom društvu, podstaknutom BD katalogom, polazi za rukom da organizuje sistematsko posmatranje 100 000 zvezda na 13, a kasnije na 16 opservatorija po zonama od po 5° deklinacije u cilju određivanja preciznih položaja. Ovaj se džinovski rad protegao na više decenija i doveo do prvog masovnog kataloga zvezda s preciznim položajima pod oznakom AGK. On je završen tek 1924. g. Već je tada bilo predviđeno da se ovaj posao posle nekoliko dekada ponovi u cilju izvođenja još preciznijih položaja, a naročito sopstvenih kretanja ovog golemog broja zvezda.

Od 23° južne deklinacije do južnog pola posao sličan borskom obavili su Guld i njegovi sledbenici, koji je doveo 1930. g. do poznatog "Kordovskog pregleda" s položajima preko pola miliona zvezda, ali sa neujednačenim merilom za prividne veličine.

1.2.4. Fundamentalni i izvedeni katalozi

Godine 1789. Volaston beše u Engleskoj izradio pod nazivom "Primerak opšteg astronomskog kataloga" usrednjenu zibrku zvezdanih položaja iz svih ondašnjih kataloga. Ona se smatra pretečom fundamentalnih kataloga. Sličan napor učinio je i J. Bode 1801. g. No za prvi fundamentalni katalog u današnjem smislu smatra se Beselov "Fundamenta Astronomiae", iz 1918. g., o kome smo već govorili.

Kasnija aktivnost na izradi fundamentalnih kataloga vezana je za imena S. Njukoma, A. Auversa, L. i B. Bosa.

Njukom i L. Bos, izradili su nekoliko takvih kataloga. Poseban značaj ima veliki fundamentalni katalog B. Bosa "Dženeral Katalog ov 33 342 Stars", poznat pod oznakom GS, jer je obiljem zvezda mogao korisiti više no svi prethodni za masovne, naročito geodetske radove. Iako je za njegovu izradu korišćeno 238 posmatračkih kataloga, tačnost mu nije mnogo velika zbog raznorodnog materijala iz koga je izveden.

Najznamenitija je u istoriji fundamentalnih kataloga tzv. Auversova serija, započeta iz potrebe da se za veliko preduzeće AG kataloga stvore položaji uporišnih zvezda visoke tačnosti. Prvi je Auversov FC katalog sa 539 zvezda severne hemisfere iz 1879. g., drugi, proširen i poboljšan uzimanjem u račun većeg broja kataloga, J. Petersov NFK ili FK2 sa 925 zvezda za celo nebo iz 1907. g. Treći je A. Kapofov FK3 sa 1535 zvezda, u dve sveške, iz 1937. i 1938. g., koji je Međunarodna astronomska unija 1935. g. usvojila za međunarodni, tako da su svi godišnjaci prešli 1940. g. na sistem FK3. Najzad je 1963. g. izišao i poslednji katalog iz ove serije FK4, sa istim brojem zvezda, čiji su autori V. Frike i A. Kopf. Sada se radi u Hajdelberškom računskom institutu, pod Frikeovim rukovodstvom katalog FK5 na osnovi najnovijih i najtačnijih posmatračkih kataloga. Sadržaće oko 5 000 zvezda, a predviđa se tačnost u rektascenziji $\pm 0,015 \text{ sec } \delta$ i u deklinaciji $\pm 0,15$.

No pored ovih, vredni su pomena i izvedeni katalozi u sistemu FK3, odnosno FK4, koji su, neposredno poslužili za izradu velikih fotografskih kataloga AGK2 i AGK3. To su AGK2A i AGK3R.

Na osnovi 70 kataloga, i to 30 apsolutnih, H. Morgan je 1952. g. izveo svoj fundamentalni katalog N30, koji se zbog visoke tačnosti i danas upotrebljava za mnoge radove.

Kao dopuna katalogu AGK3 Međunarodna astronomska unija odlučila je 1958. g. da se izradi u međunarodnoj saradnji i veliki fotografski katalog južnog neba. U tu svrhu započet je katalog uporišnih zvezda SRS čiji je rad još u toku.

Za potrebe, naročito astronautike, izišao je 1966. g. veliki izvedeni katalog Smitsonove opservatorije (SAD) sa oznakom SAO i položajima 258 997 zvezda u sistemu FK4, nešto niže tačnosti.

Na inicijativu M.S.Zverjeva, još iz 1932. g., počev od 1954. g. se vodi akcija za izradu velikog preciznog kataloga slabih zvezda (KSZ) s položajima 15 355 zvezda od 7,5 do 9,1 prividne veličine, između -30° i $+90^\circ$ deklinacije. Ovaj je rad još u toku. Za nj su izrađeni sopstveni fundamentalni katalozi uporišnih zvezda. Položaj gama tačke za nj će biti određen iz posmatranja naročito odabranih malih planeta čije položaje vrlo precizno poznajemo. Sopstvena kretanja biće izvedena vezivanjem za tačkaste galaksije, što obećava izvanrednu preciznost. Preko SRS kataloga on će docnije da se potegne i na južno nebo.

Pomenuli smo samo najznačajnije fundamentalne i izvedene kataloge. Ukupan broj zvezdanih kataloga na osnovi monografije B. Ševarlića i D. Telekija iz 1978. g. danas prelazi 2 000. Veličanstvena zbirka "Gešichte des Fiksternhimels", u 28 svezaka (1922--1940), sadrži za svaku zvezdu položaje iz svih kataloga u kojima se oni nalze.

Odeljak treći

Primene astrometrije u geodeziji i moreplovstvu

1.3.1. Određivanja geografskih koordinata na kopnu i moru

Sve veći razvoj proizvodnje i prometa izazvali su u 17. i 18. veku veliki napredak moreplovstva, a za nj je trebalo razraditi što tačnije metode za određivanje geografskih koordinata. One su bile neophodne i za kartiranje neispitanih oblasti, gde su tražene sirovine i nova tržišta, kao i za kartiranje morskih puteva do njih. Dok je za određivanje geografske širine bilo dovoljno merenje visina nebeskih tela, određivanje geografske dužine vekovima je izazivalo teškoće. Naročito je truda zahtevalo poznavanje na brodu mesnog vremena početnog meridijana. Sem toga, sve ovo je iziskivalo i poznavanje tačnijih položaja Sunca, Meseca i planeta od onih koje su davale Keplerove Rudolfinke tablice i 1627. g. i tačnijih položaja zvezda od onih koje je pružao Tihov katalog iz 1601. g.

Što se geografske dužine tiče, Galilejev predlog da se za njihovo određivanje koriste pomračenja Jupiterovih satelita nije mogao da se ostvari zbog slabe tačnosti tablica ovih nebeskih tela. Zato je dugo korišćena metoda Mesečevih uglovnih udaljenja od poznatih zvezda, koju su koristili još Vespuči i Magelan. Birgi je u Kaselu prvi pokušao 1586. g. da određuje, kako vreme, tako i rektascenzije iz prolaza zvezda kroz meridijan, ali zbog velikih i nepravilnih hodova časovnika ova metoda nije davala tačne rezultate sve dok Hajgens nije predložio 1656. g. konstrukciju časovnika s klatnom, koji je otada postao merni instrument u astornomiji, a Remer konstruisao 1689. g. prvi pasažni instrument. Još kada je vertikalni končić u njegovom vidnom polju zamenio sa više paralelnih, greška u određivanju vremena meridijanskih prolaza spustila se na nekoliko desetih vremenske sekunde.

Određivanje geografske dužine na moru dostiglo je tačnost veću od 1° kada je Hajgens usavršio Hukov hronometar uvođenjem balansa. U to vreme širina se već određivala tačnije za čitav red veličine.

1.3.2. Određivanja Zemljinog oblika

U 17. veku, novoosnovana Pariska akademija preduzela je nekoliko značajnih putovanja za rešavanje krupnih astronomskih problema. Godine 1671. otišao je Riše u Kajenu sa zadatkom da odredi preciznu Sunčevu paralaksu, tj. daljinu, kao osnovnu meru za sve daljine u Sunčevu sistemu. Po dolasku u Kajenu primetio je da je njegov časovnik bio kasnio po 2^m dnevno, te da je klatno valjalo skratiti za $1/380$ dužine da bi opet izbijalo sekunde, a po povratku u Pariz za isti iznos produžiti. Hajgens i Njutn u ovome su našli eksperimentalni dokaz za Zemljinu spljoštenost koju su teorijski pre toga bili predvideli.

Da bi tačnije odredila Zemljin oblik, Pariska je akademija poslala 1735. g. Bugea i Lakondamina u Peru, a Kleroa i Mopertia u Laponiju da izmere po jedan luk Zemljinog meridijana. Pokazalo se da 1° meridijana u Peruu iznosi 26 753 toaza, a u Laponiji 57 438 toaza, čime je Hajgens—Njutnov teorijski rezultat bio potvrđen. Čak je laponski iznos kasnije još i ispravljen u korist teorijske vrednosti.

1.3.3. Novije primene astrometrije u geodeziji

Kao datum početka moderne geodezije može se reći 1720. g. kada je Dž. Šisn konstruisao prvi teodolit, jer je time omogućeno određivanje geodetskih koordinata tačaka u trigonometrijskim mrežama, pa, dakle, i kartiranje zemljišta, sa znatno višom tačnošću no do tada. Kada je T. Majer 1756. g. pronašao repetitivnu metodu za merenje uglova ova tačnost se još više povećala, a naročito kada je ubrzo zatim otkrio girusnu metodu. Tačnost postiže novi skok i sa Gausovim otkrićem heliotropa 1821. g. No podstrek da se stvaraju sve nove metode za astornomsko određivanje geografskih koordinata i da se uz njinu upotrebu počne sve veći premer lukova Zemljinih meridijana i paralela u cilju izvođenja Zemljinog sferoida, kao njenog opšteg oblika, stvoren je kada je J. Rajhenbah konstruisao prvi univerzalni instrument 1816. g., koji je na današnji oblik doveo J. Repsold.

Dok se u prvoj polovini 18. veka primenjuju za određivanje geografskih dužina još Hevelijeva metoda Mesečevih pomračenja i Galilejeva iz pomračenja Jupiterovih satelita, 1741. g. već se odomaćuje u Francuskoj pasažni instrument koji liči na današnji (Lemonije), a 1751. g. Harisn pronalazi precizni hronometar, pa metoda meridijanskih prolaza osvaja prvenstvo. 1755. g. počinje već izlaziti "Nautikal almanak", a zatim i ostale velike efermeride, koji znatno olakšavaju masovna određivanja geografskih koordinata na kopnu i moru. Ovome ide u prilog i prva javna opšta upotreba srednjeg sunčanog vremena (H. For, 1780. g.).

Francuska akademija (Borda, Lagranž, Laplas, Monž i Kondorse) usvaja 1791. g. metarski i decimalni sistem, a već 1792. g. Mešen i Delambr započinju merenje meridijanskog luka Denkerk—Barselona za utvrđivanje definitivne dužine metra. Zabeležimo uzgredno da se ovoj konvenciji priključuje Srbija 1.1.1880. g.

Kada su merenjima sile teže 1808. g. Ž. Bio i Š. Matije dokazali da Zemlja nije pravilno raslojeni obrtni elipsoid, pristupa se, u cilju određivanja njenog tačnijeg opšteg oblika, određivanju geografskih dužina većih razmera. Za

ove potrebe konstruiraju Cajs, a zatim Bamberg male prenosne pasažne instrumente koji su i danas u upotrebi. Njihova se tačnost znatno povećava s Repsoldovim otkrićem bezličnog mikrometra 1889. g. i Šnauderovim uvođenjem, 1891. g. obrtanja instrumenata u sredini posmatranja u cilju otklanjanja kolimacijskog odstupanja i još nekih sistematskih grešaka. Već 1821. g. Dž. Bond uvodi živin horizont ispred pasažnog instrumenta, pa i Hazenova metoda reflektovanih meridijanskih prolaza nalazi praktičnu primenu.

Javljaju se i sve tačnije metode za određivanje geografske širine. Već 1732. g. Horebau otkriva metodu razlika meridijanskih zenitskih daljina, koju nakon više od 100 godina usavršava američki geodeta Talkot, a 1824. g. Besel daje svoju metodu prolaza zvezda kroz prvi vertikal koju ubrzo V. Struve još više unapređuje. Nešto kasnije, ruski geodeti Cinger i Pjevcev dižu na viši nivo klasičnu metodu jednakih visina i prvi od nje stvara preciznu metodu za određivanje časovnikova stanja, odnosno geografske dužine, a drugi tačnu metodu za određivanje geografske širine.

S teorijske strane, Klero daje 1740. g. svoje čuveno matematičko delo o Zemljinom obliku, kojim kruniše prethodnu Hajgens-Njutnovu teoriju, a 1824. g. E. Sebašn određuje Zemljinu spljoštenost iz gravimetrijskih merenja preciznim klatnima, pa time zasniva i fizičku granu više geodezije. H. Kevndis 1838. g. iz 2153 teška eksperimenta određuje tačnu vrednost za Zemljinu masu i srednju gustinu, a 1841. g. Besel iz 10 stepenskih merenja daje prve tačne vrednosti za elemente Zemljinog sferoida. Iz mnogo većeg broja merenih lukova još tačnije vrednosti ovih elemenata daju A. Klark 1880. g., Helmert 1906. g., Hejford 1909. g. i Krasovski 1948. Ovaj poslednji još dokazuje da je opšti Zemljin oblik, pri višem stepenu tačnosti, troosni elipsoid.

Godine 1783. Listing definiše još precizniji Zemljin opšti oblik – geoid, kao nultu ekvipotencijalnu površinu potencijala Zemljine teže i zatim započinju gusta astronomsko-geodetska merenja za njegovo određivanje i prikazivanje izohipsama u odnosu na jedan referentni elipsoid.

Najzad, u naše vreme, iz merenja izvršenih geodetskim satelitom "Vangard I", pokazuje se, s još višim stepenom tačnosti, da je Zemlja kruškastog oblika, da je njen opšti oblik apoid.

U opštoj težnji za pvoćenja tačnosti astronomsko-geodetskih određivanja Cajs, Kern, Vild, Gigas i dr. u naše vreme stvaraju nove tipove univerzalnih instrumenata. Za određivanje geografskih koordinata počinju da se primenjuju i kosmičke metode o kojima će kasnije biti više govora.

Odeljak četvrti Izučavanja Zemljine rotacije

1.4.1. Izučavanje Zemljine rotacije. Časovna služba. Izučavanje promena geografske dužine

Godine 1851. Fuko dokazuje Zemljinu rotaciju pomoću klatna. No još pre toga, 1844. g., počinje se u SAD prenositi vreme pomoću električnih signala, da bi Vilkes i Eld iste godine odredili već i prvu razliku geografskih dužina (Vašington-Baltimor) telegrafski. Godine 1875. S. Fleming u SAD predlaže da se uvede zonsko vreme, što je 1883. g. i utanačeno međunarodnim dogovorom. Godine 1912. Perije na Pariskoj opservatoriji započinje odašiljanje časovnih sekundnih signala preko radija, a 1920. g. organizovana je već i Meunarodna časovna služba s biroom na Pariskoj opservatoriji, čiji su uspesi vezani najviše za ime ruskog astronoma Nikole Stojka koji je njome dugo godina rukovodio. Sedište ove službe tu se i danas nalazi. Ona sakuplja podatke određivanja tačnog vremena sa preko 60 opservatorija i na osnovi njih određuje definitivne popravke za sve emisije časovnih signala raznih radio-stanica.

Za odžavanje vremena ove se opservatorije služe časovnicima s klatnom visoke preciznosti (najčešće Šortovim), a pošto je V. Marisn 1929. g. pronašao kvarcni časovnik, počinju postupno da ga uvode i mnoge opservatorije koje učestvuju u Međunarodnoj časovnoj službi. To isto se ponavlja kada Basov i Prohorov, s jedne strane, i Cajger i Tauns s druge strane, pronalaze molekularni (amonijačni) časovnik 1949. g., kao i kada L. Esen konstruiše atomski (cazijumski) časovnik 1954. g., odnosno Remzi atomski (vodonični) časovnik 1960. g. Poslednji časovnici, kao i oni još novijeg datuma mogu obezbediti i stalnost hoda (ili tačnost) od jednog milionitog dela sekun-

de, pa i manje, na dan. No zbog znatno većih grešaka u određivanju vremena pasažnim instrumentima greška u emisijama časovnih signala ređe se spušta ispod $\pm 0,^s005$. Trebalo je, znači, i tačnost u određivanju vremena, kao i u registrovanju posmatranja na hronografima, znatno povećati. Džinovski napredak elektronike (dobrim delom izazvan ratnim potrebama) doveo je odmah posle drugog svetskog rata do pojave elektronskih brojača i elektronskih hronografa koji registruju astronomska posmatranja, kao i prijem časovnih signala, s tačnošću od $\pm 0,^s001$ do $\pm 0,^s0001$.

Objektivisanje posmatranja pasažnim instrumentom upotrebom foto-čelije i mesto posmatrača započelo je eksperimentima koje su vršili Ferije, Ig i Mesni u Parizu 1924. g., Dikert u Nemačkoj iste godine i Stremgren u Kopenhagenu 1925. g. Pun uspeh u tome postigao je N.N. Pavlov na Pulkovskoj opservatoriji tek 1937. g. No ubrzo se uvideo da ni ovo nije dovoljno za povećanje tačnosti posmatranja pasažnim instrumentom, pa je preduzeto niz mera kojima se ovaj klasični instrument približio nivou savremene posmatračke tehnike (Danžonov' astrolab, fotografski zenit-teleskop).

Još 1900. g. Klod i Drijankur konstruisali su prenosni astrogeodetski instrument — astrolab s prizmom, kojim su sa visokom tačnošću u terenskim radovima Zapadne Evrope jednovremeno određivane geografske koordinate iz posmatranih trenutaka prolaza zvezda kroz alukantar zenitne daljine 30° . Kada je 1950. g. A. Danžon konstruisao svoj bezlični astrolab, uvođenjem Volastonove prizme ova tačnost se skokovito popela na 0,008 za geografsku dužinu i 0,11 za geografsku širinu, pa se on zatim široko koristio i koristi u službi tačnog vremena i u službi promena geografske širine, a u poslednje vreme i za izradu preciznih zvezdanih kataloga.

Za iste svrhe, sa još višom tačnošću, koristi se u drugoj polovini našeg veka i fotografski zenit-teleskop o kome će još biti govora.

Trka za visokom tačnošću u izučavanju Zemljine rotacije nije bila izazvana samo naučnim i praktičnim potrebama za poznavanje što tačnijeg vremena i geografskih koordinata već i za izučavanje delikatnih i još nerazrešenih zakonitosti same Zemljine rotacije. Naime, E. Braun je 1914. g. otkrio sekularne i nepravilne promene u brzini Zemljine rotacije iz nejednakosti kretanja Meseca i planeta, koje su se međusobno dobro slagale. Kasnije su ovo iz još većeg broja posmatranja potvrdili Spenser—Džons i dr., a 1937. g. je N. Stojko otkrio i sezonske promene u Zemljinoj rotaciji. Ulaženje u sve tananije pojedinosti ovih pojava upravo su omogućili gore pomenuti osavremenjeni klasični instrumenti, a još i više savremeniji instrumenti novoga tipa o kojima će tek biti govora.

S druge strane, odavno se sumnjalo u nepomičnost Zemljinih kontinenata na osnovi raznovrsnih geoloških i geofizičkih ispitivanja. A. Vegener je 1912. g. postavio i svoju čuvenu teoriju pomeranja Zemljinih kontinenata. Nezavisno i na sasvim drugi način N. Stojko je 1937. g. otkrio pojavu periodične promenljivosti geografskih dužina. Ove teorije mogle su se potvrditi samo izvanredno preciznim astronomskim određivanjima geografskih dužina. U tu i slične svrhe organizovane su tri međunarodne kampanje) tzv. intermondijalnih longituda: 1926, 1932—3. i 1957—8. g. No onda dostignuta tačnost ovih određivanja nije bila dovoljna da potvrdi ove teorije, koje su svoje potvrde nalazile u sasvim drugim metodama.

Zbog dokazanih neravnomernosti Zemljine rotacije nije se mogla zadržati stara definicija sekunde izvedena iz trajanja jednog Zemljinog obrta. Pod pretpostavkom da je to trajanje nepromenljivo. Zato je 1956. g. Međunarodna astronomska unija uvela novu definiciju sekunde kao dela tropske godine za jedan određeni trenutak i tako ovu jedinicu vezala za pojavu koja je mnogo veće stalnosti, za pojavu Zemljinog kretanja oko Sunca. Takvo vreme nazvano je efemeridsko.

No sa otkrićem atomskog časovnika i njegovim sve većim primenama u praksi Međunarodna astronomska unija bila je prinuđena da se iste godine odrekne kontrole vremenskog etalona astronomskim posmatranjima i da prihvati sekundu jednog srednjeg idealnog atomskog časovnika za jedinicu vremena. To je sekunda tzv. atomskog vremena, mnogo stalnija od ranijih, no koja se nije mogla regulisati tako da idealno prati Zemljinu rotaciju, pa se postupno razilazi od astronomskih pojava. Zato je ubrzo posle toga usvojeno da se svake godine atomskom vremenu dodaje određen, ceo broj sekundi, da bi se uskladilo sa astronomski određenim, tzv. svetskim vremenom.

Takvo vreme je nazvano koordinisano vreme. Danas pojave Zemljine rotacije, pa ni revolucije, ne služe više za određivanje zvaničnog vremena, već obrnuto, atomsko, odnosno koordinisano vreme, služi za još tananija izučavanja ovih pojava no dosad.

Proširivanje metoda zemaljske geodezije na prostornu geodeziju zahteva sinhronizaciju časovnika, tj. prenos vremena sa tačnošću od jednog milionitog dela sekunde. Raznim sistemima (Loran, televizija, veštački sateliti) ovo je zasad postignuto sa tačnošću od 10 milionitih sekunde. Radi se na još većoj tačnosti. Kada se ona bude dostigla primena veštačkih satelita na prenošenje tačnog vremena i na izučavanje Zemljine rotacije daće sasvim nove kvalitete.

1.4.2. Izučavanje promena geografskih širina i pomeranja Zemljinih polova

Već je Njutn pretpostavio da, usled nehomogenosti Zemljine mase, njeni polovi moraju vršiti kružno kretanje po njenoj površi, a Dalamber i Ojler su u drugoj polovini 18. veka dokazali da se Zemljina obrtna osovina mora kretati u samoj Zemljinoj masi i opisivati kružni konus s periodom od 10 meseca, a Zemljini polovi krugove malog otvora oko svojih srednjih položaja sa istom periodom, u smeru Zemljinog obrtanja. Ovo kretanje nazvano je slobodna nutacija. S druge strane, Besel je 1844. g. iz promenljivosti geografskih širina izveo zaključak o postojanju slobodne nutacije. No sistematsku periodičnu promenljivost geografskih širina otkrili su 1873. g. Peters i Nuren, a nesumnjivo potvrdio Kistner tek 1884. g. Pojavu je potvrdio 1885. g. i S. Čendler na Opservatoriji u Kembridžu (Masačusets) i 1890. g. otkrio da ovo kretanje ima dve periode: Čendlerovu od 14 meseca i godišnju. Ova poslednja nazvana je prinudna nutacija Zemlje i događa se usled pretovara velikih vodenih i vazdušnih masa na Zemljinoj površini u toku godišnjih doba. Kasnije je otkrivena i jedna manja polugodišnja perioda, koja još nije konačno objašnjena. S. Njukom je objasnio produženje Ojlerove periode od 10 na 14 meseca Zemljinom eleastičnošću.

Međunarodna geodetska asocijacija poslala je 1891. g. dve ekspedicije u Honolulu u cilju konačne potvrde pojave. Dijametralno suprotno, u Berlinu, Pragu i Strasburgu, radile su simultano ekipe na određivanju preciznih geografskih širina. Radilo se više od godine dana. Radovi su nesumnjivo dokazali da se severni Zemljin pol u istoj meri udaljavao od stanice u Honolulu u kojoj se meri približavao Berlinu. Godine 1895. ista Asocijacija je osnovala Međunarodnu službu širine, koja je kasnije nazvana Međunarodna služba (polarnog kretanja sa ciljem da utvrdi bliže zakonitosti ove pojave. Godine 1900. rad je započet na 6 međunarodnih stanica na severnoj polulopti, a kasnije su uvedene i dve na južnoj. Služba daje za naučne i raznovrsne praktične potrebe trenutne pravouglo koordinatne pola. Da bi se tačnost i ekspeditivnost službe povećala, 1962. g. priključene su još i sve nezavisne opservatorije koje se bave ovom problematikom, i tako obrazovana tzv. Brza međunarodna služba polarnog kretanja, nezavisno od prve. Godine 1964. prišla joj je i Beogradska opservatorija. Danas u ovoj službi saraduje 59 opservatorija. No pojava još nije do kraja proučena da bi se mogla sa sigurnošću predvideti, zato što se u njoj mešaju raznovrsni, i to vrlo promenljivi uticaji.

No i pored periodičnog pomeranja svog, Zemljini polovi ne izlaze iz jednog kruga čiji prečnik ne prelazi 20 m. Međutim, geolozi su pokazali da se na Špicbergu nalaze ostaci kamenog uglja i drugi tragovi koji govore da je ovaj predeo bio u dalekoj prošlosti u tropima. Nađeni su još mnogi slični dokazi. Milutin Milanković je ovu pojavu objasnio 1932. g. vekovnim pomeranjem polova po Zemljinoj površini koje nastaje usled tonjenja kontinenta u plastičnoj Zemljinoj kori. Usled njega se menjaju Zemljini momenti inercije, te kora klizi po jezgru, pa nam se čini da njena obrtna osovina probija koru svakog trenutka u drugoj tački, da polovi putuju po Zemlji. Milanković je dao i putanju severnog Zemljinog pola i način kretanja pola po ovoj putanji. No ovo je kretanje tako sporo da ga Međunarodna služba nije mogla otkriti iz merenja klasičnim instrumentima. Sem toga, ispitivanja drugim metodama, geološkim, paleontološkim i geomagnetskim dala su putanje koje se osetno razlikuju od Milankovićeve, pa ovaj problem još stoji otvoren.

Stanice Međunarodne službe i nezavisne opservatorije koje u njoj učestvuju služe se i danas iz razloga kontinuiteta klasičnim zenit-teleskopima i Talkotovom metodom. Izvestan napredak učinjen je u pogledu otklanjanja i sistematskih i slučajnih grešaka kada je konstruisan "plivajući zenit-teleskop", a naročito kada je 1911. g. Ros konstruisao fotografski zenit-teleskop. Ovaj instrument je posle drugog svetskog rata znatno usavršen, tako da se njime jednovremeno određuju i časovnikovo stanje, potrebno za geografsku dužinu, i sama geografska širina sa tačnošću $\pm 0,004$, odnosno $\pm 0,05$. U poslednje vreme posmatranja i svođenja su na njemu automatizovana. Mnoge stanice se koriste i Danžonovim astrolabom.

U pogledu tačnosti, za praktične primene, pa i konačnog razjašnjenja pojave, najviše se danas očekuje od sasvim nove aparatuře, vezane za veštačke Zemljine satelite. To su laserska posmatranja, prvi put upotrebljena 1970. g. U Grinbeltu (SAD) i doplerska posmatranja, uvedena u Briselu 1972. g. Ova poslednja prerasla su danas u međunarodnu službu.

1.4.3. Plima i oseka Zemljine kore

Geografska širina je po definiciji ugao između vertikale i ekvatora, pa njena promena može dolaziti i od skretanja vertikale. Vertikalna gravitacijska skretanja videli smo da su otkrivena još u 18. veku. Ona su dovela do određivanja Zemljine mase i našla i druge praktične primene u geodeziji i geofizici. Ali o periodičnim skretanjima vertikale usled plime i oseke Zemljine kore, izazvane privlačnim dejstvom Meseca i Sunca, počelo se razmišljati tek pošto je dokazana Zemljina elastičnost. Krajem prošlog veka nemački su naučnici pokušali da je otkriju eksperimentalno pomoću dugačkih viskova koji materijalizuju pravac vertikale i koji se moraju polako klatiti na određen način ako ova plima i oseka postoje. Pošto su ovi pokušaji propali, zbog eksperimentalnih teškoća, pošlo je za rukom Hekeru tek 1907. g. da otkrije plimu i oseku Zemljine kore kad je konstruisao izvanredno osetljivo tzv. horizontalno klatno. Pomoću dva takva klatna, koja su zamenjivala obična dužine 175 m i 117 m, Heker je otkrio pojavu, odredio joj periodu i iznos izdizanja i spuštanja tla koji je iznosio 15 cm i slagao se s matematičkom teorijom. Godine 1917. Majkelsn je pojavu potvrdio na sasvim drugi način i otkrio zakašnjenje između plime i sila koje je prouzrokuju. Njega je objasnio viskoznošću Zemljine kore.

Pojava je jedno vreme bila zanemarena i prepuštena pojedinačnim istraživačima. Vredni su pomena sistematski radovi na Poltavskoj gravimetrijskoj opservatoriji. No tek na inicijativu savremenog belgijskog astronoma i geofizičara Pola Melkiora Međunarodna geodetska i geofizička unija osniva šezdesetih godina stalnu službu plime i oseke Zemljine kore s mrežom međunarodnih stanica i sedištem na Briselskoj opservatoriji (IKI), koja sve dublje prodire u pojedinosti ove pojave. Od istorijskog su značaja Melkiorovi teorijski radovi, krajem šezdesetih i početkom sedamdesetih godina, kojima je objedinio u jedinstvenu teoriju pojave neravnomernosti Zemljine rotacije, pomeranja njenih polova i plime i oseke njene kore.

Odeljak peti Istraživanja u sfernoj astronomiji

1.5.1. Radovi na astrnomskoj refrakciji

Težeći za daljim povišenjem tačnosti merenja astronomi su se bacili na izučavanje astronomske refrakcije da bi je odstranili iz posmatranja. Podsetimo se ovde, potpunosti radi, da je refrakciju otkrio Kleomed u 1. veku, a da je Ptolemej u 2. veku, bez obzira na njeno pogrešno objašnjenje, prvi predložio metodu da se ona odredi iz posmatranja, ali je nije mogao koristiti zbog niske tačnosti merenja.

U 12. veku Alhazen otkriva prva dva zakona prelamanja svetlosti, pravilno objašnjava refrakciju i daje takođe

metodu da se ona odredi iz posmatranja. Iz trajanja sumraka prvi put određuje visinu Zemljine atmosfere i dobija 12 milja. No prvi efektivno određuje refrakciju iz posmatranja tek Bernard Valter 1489. g., dok prvu tablicu refrakcije određene iz posmatranja daje Tiho 1648. g., i to jednu za Sunce, a drugu za planete i zvezde.

Međutim, egzaktna teorija refrakcije počinju s Keplerom 1604. i 1635. g. On izvodi izraz za refrakciju iz pretpostavke da je atmosfera svuda iste gustine, dakle jednoslojna, te da se svetlosni zrak lomi samo na njenoj gronjoj granici. Izračunava i tablicu refrakcije kojom su se astronomi služili mnogo godina. Ispituje uticaj refrakcije na veličinu i oblik Sunca i Meseca pri horizontu, kao i uticaj njen na ekvatorske koordinate i na uglovna rastojanja zvezda. Ričoli 1671. g. sledi Tiha i za refrakciju daje zasebne tablice po godišnjim dobima, iako ne može da objasni ove razlike. Kao i Tiho daje zasebne tablice za Sunce, za Mesec i za planete i zvezde.

Hevelije, međutim, prvi 1690. g. uvodi pretpostavku da se atmosfera sastoji iz više koncentričnih slojeva razne gustine i da ova opada iz sloja u sloj s visinom i smatra da je put zraka kroz atmosferu kriva bliska paraboli.

Još za Keplerova života V. Snelijus je otkrio svoje znamenite zakone prelamanja svetlosti, koje je R. Dekart objavio 1637. g. Ž. D. Kasini ih je prvi primenio, i dalje pod Keplerovom pretpostavkom, na postavljanje teorije refrakcije. Po njoj izračunate tablice služile su astronomima više od 80 godina. I on je uočio sezonske promene refrakcije, ali nije znao da ih objasni, pa je za konačno usvojio letnju tablicu.

Polovinom 17. veka pronađeni su termometar i barometar i Pikar prvi, već 1661. g., nalazi da se refrakcija menja s temperaturom i da je zimi veća no leti, a noću veća nego danju. Početkom 18. veka Boke nalazi ove funkcije iz posmatranja, no tek posle Mariotova zakona one su konačno utvrđene na egzaktn način.

1.5.2. Sve tačnije teorije refrakcije

Zbog znatnih odstupanja između teorijski izračunate i posmatrane refrakcije, pitanje stvaranja sve savršenijih i njenih teorija privlačilo je mnoge istaknute astronome i matematičare. Tako je i sam Njutn razradio jednu teoriju refrakcije u koju nije mnogo verovao, pa je ona nađena tek 100 godina kasnije. On polazi od Hevelijeve pretpostavke i funkciju u integralu refrakcije razvija u konvergentan red po stepenima tangensa zenitne daljine. Usvaja za njegovo integraljenje pretpostavku da je temperatura u atmosferi svuda ista, a da gustina vazduha i indeks prelamanja opadaju u geometrijskoj progresiji s visinom. Dao je dve tablice za refrakciju.

Njutn, Lemonije, T. Majer i dr. utvrdili su da veličina refrakcije zavisi od temperature vazduha, a Halej da zavisi i od pritiska. Ali je Lakaj prvi dao 1755. g. tablice za popravke refrakcije za temperaturu i pritisak vazduha, kao i jedne dobre tablice za refrakciju izvedene iz posmatranja.

Na usavršavanju refrakcije u prvoj polovini 18. v. radili su još Hirš, Herman, Tejlor, Jakob, Ž.D. Kasini, Boke, Bernuli i dr. Naročito potpunu teoriju dao je 1743. g. Simpson, no pod pretpostavkom da gustina atmosfere opada po aritmetičkoj progresiji s visinom. Koristeći se Simpsonovom teorijom, s nešto popraavljenim koeficijentima, Bredli daje 1798. g. dobru tablicu za refrakciju i njene popravke za temperaturu i pritisak vazduha.

Ojler je 1754. g. dao prvi diferencijalnu jednačinu trajektorije svetlosnog zraka kroz atmosferu, no zbog uprošćenja pri nejnoj integraciji i zbog netačne pretpostavke o promeni gustine atmosfere s visinom došao je on do glomaznih i netačnih formula koje su davale za refrakciju iznose koji su se mnogo razlikovali od merenih, pa zato ova teorija nikad nije korišćena u praksi. Lagranž je na elegantniji način rešio Ojlerovu jednačinu, no za refrakcije za zenitne daljine veće od 70° nije se mogla izbeći pretpostavka o promeni gustine vazduha s visinom, u šta se Lagranž nije hteo upustiti. U istoj epohi je Lambert razvio refrakciju u red po neparnim stepenima tangensa zenitne daljine i njegove koeficijente izveo iz merenja, što je dovelo do dobrih vrednosti za refrakciju, ali samo za zenitne daljine do 70° . Oriani je 1788. g. prvi prointegralio integral refrakcije dovoljno tačno metodom trapeza, no nepoznavanje zakona rasporeda gustine u atmosferi nije ni njegovoj teoriji dopustilo da se više no prethodne približi istinitim vrednostima za refrakciju.

Pred astornomima su na ovom trnovitom putu stajala dva glavna problema od kojih je zavisilo dalje istraživanje refrakcije. Prvi je bio da se strogo reši diferencijalna jednačina refrakcije i on je rešen tek krajem prošlog veka, a drugi da se nađe tačan raspored gustine vazduha u atmosferi. Godine 1799. Kramp je prvi problem dovoljno strogo rešio, a za raspored gustine usvojio je eksponencijalnu funkciju. To je dovelo do boljih tablica za refrakciju no što su bile prethodne, ali pogrešno izabrata funkcija za raspored gustine opet je pri horizontu davala, kao i ranije, velika odstupanja od merene refrakcije. I Besel je 1818. g. izabrao za raspored gustine sličnu funkciju, pa su i njegove tablice koristile i u 20. veku. Godine 1829. je Šmit iz Gej-Lisakovih merenja zaključio da temperatura opada s visinom po 1° na 170–190 m visine i da zavisi od temperature zemljišta, pa je izabrao takvu funkciju za raspored temperature i na njoj zasnovao svoju teoriju koju je kasnije usavršio Gilden. Ajvori je 1823. g. usvojio za raspored temperature sličnu funkciju i dao teoriju refrakcije koja predstavlja uopštenje Kasinija, Simpsona, Njutna, Besela i Šmita. U prvoj polovini 19. v. refrakcijom su se bavili još Lobok, Plana, Bfo, Svanger i dr. Svi su oni dovoljno strogo integrisali diferencijalnu jednačinu refrakcije, no zbog nedovoljnog poznavanja rasporeda gustine (ili temperature) vazduha s visinom njihove su se vrednosti slagale samo do 75° ili 80° zenitne daljine, a dalje su sve teorije otkazivale. Vrlo dobar njihov pregled dao je Bruns 1861. g.

Godine 1866. i 1868. Gilden je objavio svoju teoriju refrakcije nalazeći način da diferencijalnu jednačinu refrakcije prointegrirali na tačniji način od njegovih prethodnika. Zakon rasporeda gustine vazduha s visinom izveo je iz mnogih merenja na visokim planinama Centralne Evrope i u balonima. Sem toga, uneo je u svoj izraz i popravke za vlažnost vazduha i za sezonsku i dnevnu periodičnost refrakcije. Prema ovoj teoriji izrađene su Pulkovske tablice za refrakciju, koje su doživele više izdanja. Njihove vrednosti vrlo dobro se slažu s vrednostima izvedenim iz poznijih teorija.

Godine 1878. Kovalski je izradio svoju teoriju refrakcije polazeći od mehaničke teorije toplote i merenja gustine vazduha na raznim visinama. No zbog izvesnih uprošćenja pri integraciji diferencijalne jednačine refrakcije i nedovoljno tačne veze između gustine vazduha i visine, njegove tablice dale su manje tačne vrednosti od prethodnih, pa nisu praktično ni korišćene.

Radau je 1882. i 1889. g. razradio svoju teoriju refrakcije u kojoj je s najvećom strogošću rešio diferencijalnu jednačinu refrakcije. Koeficijente je izveo iz merenja, a uneo je sve popravke koje i Gilden. Sem toga pružio je i mogućnost da se izračuna prava refrakcija polazeći od merene temperature i pritiska na Zemljinoj površini. Po njegovoj teoriji i danas se računa refrakcija u efemeridama, "Konesans de tan" kojima se služi ceo svet, a naročito Zapadna Evropa. Posle njega je De Bal izradio nešto prostiju teoriju, polazeći od prethodne, no njegove tablice daju manje tačnu vrednost za refrakciju. Iako je ova teorija objavljena 1906. g., smatra se da se njome završavaju istraživanja refrakcije 19. veka. Bilo je nekoliko klasičnih teorija i u 20. veku, no ni one nisu dale tačnije vrednosti za refrakciju. Zato su u našem veku potraženi drugi putevi s pretanzijom da se dostignu istinite vrednosti za refrakciju. No o tome će biti govora nešto kasnije.

1.5.3. Prva određivanja Sunčeve paralakse u novom veku

Kepler već beše pokazao iz posmatranja Marsa da Sunčeva paralaksa ne prelazi $1'$, mada se i Tiho još koristio nejnom antičkom vrednošću od $3'$. Oko 1630. g. Vendellin beše ponovio Aristarhovo određivanje i našao da Sunčeva paralaksa ne prelazi $15''$. Međutim iz merenja Marsovih deklinacija, koje su izvršili Riše u Kajeni i Ž.D. Kasini u Parizu, ovaj poslednji je za Sunčevu paralaksu dobio iznos od $9,5''$, koji se preko očekivanja približio stvarnoj vrednosti. Od 1751–52. g. pariski astronom Lakaj ponovio je na Rtu Dobre Nade ova merenja, pa je dobio praktično istu vrednost kao Kasini. No za paralaksu Meseca postigao je vrlo dobru vrednost od $57'05''$.

Pošto je 1639. g. Horoks otkrio pojavu prolaza Venere preko Sunčevog kotura, a Halej 1716. g. postavio njenu teoriju i ukazao na važnost pojave za precizno određivanje Sunčeve paralakse, organizovana su 1761. i 1769. g.

mnoha putovanja da se ova pojava iskoristi u rečenu svrhu. Dobivene vrednosti za Sunčevu paralaksu kretale su se u vrlo dobrim granicama od 8,"55–8,"88, uprkos nesigurnim geografskim dužinama posmatračkih stanica.

U to vreme astornomi su se sukobljavali na ovim putevima s nepremostivim teškoćama, a samo zahvaljujući izuzetnom požrtvovanju dobijali su rezultate i danas vredne divljenja. Usto su vršili i mnoga sporedna otkrića od velikog značaja. Tako je u Peruu Buge otkrio vertikalna skretanja, a La Kondamin kininovo drvo.

1.5.4. Dalja određivanja Sunčeve paralakse

Videli smo sa kakvim je uspehom određivana paralaksa Sunca u 18. veku. U 19. veku, s napretkom industrije, naglo je napredovala i tehnika instrumenata, pa se prešlo ne samo na određivanje zvezdanih paralaksa, već i na mnogo pouzdanija određivanja Sunčeve paralakse na zemlji. Tu najpre treba istaći napore Johana Enkea, koji je posmatrao od 1788. g. u Goti, a od 1825. g. u Berlinu Venerine prolaze preko Sunčeva kotura i prvi put ih obrađivao novim, statističkim metodama do kojih behu došli Laplas i Lagranž, a krajem 18. i početkom 19. veka Ležandr i Gaus. One su omogućavale da se iz velikog broja merenja nađe najverovatnija vrednost merene veličine. Tada su bile već tačnije poznate geografske dužine posmatračkih stanica, pa je Enke iz posmatranja nekoliko ekspedicija dobio za Sunčevu paralaksu vrednost 8,"571 ± 0,"371. Odatle je izvedena za veliku poluosovlinu Zemljine putanje vrednost 153,5 miliona kilometara. Ona je nazvana astornomskom jedinicom. Otada se koristila za premer svih daljina u Sunčevom sistemu. Iz prividnog Sunčevog poluprečnika dobiveno je tada da njegov pravi poluprečnik iznosi 714 000 km, a iz trećeg Keplerovog zakona da Sunčeva masa iznosi 356 000 Zemljinih masa.

1.5.5. Novija određivanja Sunčeve paralakse

Vratimo se za trenutak daljim, sve tačnijim određivanjima Sunčeve paralakse. Polazeći od poremećaja koje Sunce izaziva u Mesečevom kretanju ("Paralaktička jednačina") Hanzen dobiva 1857. g. i 1863. g. za Sunčevu paralaksu 8,"92, a Leverije u isto vreme 8,"95. Kada je Fuko 1862. g. dobio pomoću obrtnog ogledala tačniju vrednost za brzinu svetlosti (298 000 km/s), mogao je on iz konstante aberacije, koja je po merenjima Ota Struvea iznosila 20,"44, da dobije precizniju vrednost i za Sunčevu paralaksu. Ta je vrednost bila 8,"8, tj. znatno veća od Enkeove. Godine 1862. mnoge su ekspedicije određivale Marsovu paralaksu, pa su iz nje izvedene nove vrednosti 8,"96 i 8,"93 za Sunčevu paralaksu. Povalski 1864. g. je ponovo prerađio sve ranije Venerine prolaze s tačnijim vrednostima geografskih dužina posmatračkih stanica, pa je odatle za Sunčevu paralaksu izvedena vrednost 8,"83.

Veći broj ekspedicija određivao je Sunčevu paralaksu iz Venerinih prolaza u 1874, odnosno 1882. g., određujući njene položaje ne samo na prividnom dodiru sa Sunčevim koturom, već i u mnogim trenucima na putanji njenog lika preko Sunca. Dvadeset godina su engleski i američki astronomi obrađivali ovaj ogroman posmatrački materijal i dobili vrednosti koje su se kretale od 8,"76–8,"88 sa greškama koje su se kretale od ±0,"04 do ±0,"12.

Godine 1877., u vrlo povoljnoj Marsovoj poziciji, Dejvid Gil je organizovao ekspediciju na Vaznesenska Ostrva. Iz ovog materijala izvedena je s visokom tačnošću Sunčeva paralaksa od 8,"78.

Međutim, berlinski astronom Johan Gale predlaže još 1872. g. da se Sunčeva paralaksa ne određuje iz Marsove, već iz paralaksa onih malih planeta koje se i do 2,5 puta više približavaju Zemlji no Mars, a to su na primer Iris, Viktorija i Safo. Njihove su položaje, odnosno paralakse, određivale heliometrom i meridijanskim krugom s mikrometrom mnoge severne i južne opservatorije 1888. i 1889. g. Dejvid Gil je iz svih ovih posmatranja dobio za Sunčevu paralaksu vrednost 8,"802.

Kada su A. Majkelsn i S. Njukom dobili po Fakoovoj metodi brzinu svetlosti s dotle neviđenom tačnošću

($299\,860 \pm 60$ km/s), za konstantu aberacije je nađen iznos $20,47 \pm 0,02$, pa je odatle proizlazila Sunčeva paralaksa od $8,80 \pm 0,01$, koja se odlično slagala s prethodnom dobivenom na sasvim drugi način. Kada je 1898. g. Gustav Vit u Berlinu pronašao planetoid 433 Eros, koji se još znatno više približava Zemlji, određena je 1900–1901. g. njegova paralaksa iz vrlo velikog broja posmatranja. Iz sviju njih je Hinks izveo za Sunčevu paralaksu vrednost $8,806 \pm 0,004$. Fotografiska određivanja Erosove paralakse 1900–1901. g. potvrdila su ovu vrednost. Nju su potvrdila i Hugova određivanja promena radialnih brzina zvezda oko ekliptike (1912. g.) u toku Zemljinog obilaženja oko Sunca. Godine 1924. je Spenser-Džons iz nove vrednosti za paralaktičku jednačinu Meseca našao da Sunčeva paralaksa iznosi $8,805$, a De Siter 1927. g. $8,803 \pm 0,001$. Godine 1929. iz obrade velikog broja okultacija zvezda Mesecom Spenser-Džons izvodi vrednost $8,796 \pm 0,002$, a iz velikog broja Erosovih posmatranja 1930–1931. g. isti astronom nalazi $8,790 \pm 0,001$.

Kada su u naše vreme primenjena radarska određivanja daljina bliskih nam planeta i Meseca u SAD, SSSR i Engleskoj, izvedena je još tačnija vrednost za Sunčevu paralaksu. Današnja njena zvanična vrednost usvojena od Međunarodne astronomske unije 1976. iznosi $8,794148$. Odatle je za jedinicu daljine usvojena vrednost $149\,597\,870$ km. Sunčeva paralaksa je najtipičniji primer postupnog približavanja objektivnoj istini u eksperimentalnim (ili posmatračkim) naukama.

1.5.6. Određivanje pravih veličina tela Sunčeva sistema

Znajući astronomsku jedinicu u kilometrima, mogle su se odrediti i precizne daljine svih planeta, a iz merenja njihovih prividnih prečnika mogli su se naći i njihovi pravi prečnici. Tako F. Kajzer dobiva za Merkurov poluprečnik $2\,380$ km, E. Hartvig za Venerin $6\,372$ km i Marsov $3\,370$ km, F. Kajzer za Jupiterov ekvatorski $70\,550$ km i Saturnov ekvatorski $59\,310$ km. Isti je astronom odredio i spljoštenost ove dve planete s visokom tačnošću. Posebnom metodom određen je i Sunčev poluprečnik — $696\,400$ km, tj. $109,2$ Zemljinih. Posle toga sledila su savremena, još preciznija određivanja koja su dovela do geometrijske slike čitavog Sunčevog sistema, toliko potrebne za današnje kosmičke letove, koji sa svoje strane neizmerno obogaćuju naša znanja o Sunčevom sistemu i njegovim telima. No o tome će biti više govora u Prilogu 2.

1.5.7. Otkriće zvezdane paralakse

U prvoj polovini 19. veka krunisani su uspehom i dugogodišnji pokušaji da se odredi prva zvezdana paralaksa, tj. daljina, pokušaji koji datiraju još od Kopernika.

Besel je, obrađujući Bredlijeva posmatranja, zapazio da zvezda 5. prividne veličine, 61 Labuda, ima izuzetno veliko godišnje sopstveno kretanje ($5,2$), što je značilo da nam je bliža od ostalih, pa je započeo svoje pokušaje određivanja paralakse Fraunhoferovim heliometrom baš na njoj. Posmatranja je vršio od 1837–1840. g. Zahvaljujući tačnosti merenja od $\pm 0,14$, prividna kružna godišnja paralaktička putanja zvezde ubrzo se jasno ocrtala. Godine 1840. dobio je on za njenu paralaksu $0,348$, tj. za daljinu $590\,000$ A.J.

V. Struve je na Dorpatskoj opservatoriji (sada Tartuska) od 1835–1838. g. pokušavao da na Fraunhoferovom refraktoru 24 cm otvora odredi paralaksu zvezde Alfa Lire pomoću mikrometra, dakle, s nešto manjom tačnošću no Besel. Za nju nalazi $0,26$ (današnja vrednost $0,123$).

U isto vreme, direktor Kapske opservatorije, T. Hendersn sa sovjim sledbenikom Meklirovom dobija za paralaksu zvezde Alfa Kentaura $0,91$ (današnja vrednost $0,76$).

Ne mnogo kasnije, Dejvid Gil u Škotskoj, a zatim na Rtu Dobre Nade, određuje paralakse više zvezda, da ovaj posao uspešno nastavi njegov sledbenik Elkin, koji je svoja određivanja produžio u našem veku u SAD, na Jelskoj opservatoriji. Kada su ova određivanja postala tradicija na njoj, i kada je počela uveliko da se za njih koristi astrografska metoda, Šlezinger svoj napor na ovom poslu kruniše 1924. g. svojim čuvenim "Opštim katalogom zvezdanih paralaksa" (za $1\,870$ zvezda); drugo izdanje iz 1935. ima $7\,534$ zvezde — a u naše vreme njegov sledbenik Dženkinsova objavljuje svoj najveći do danas Katalog trigonometrijskih paralaksa za blizu $10\,000$ zvezda.

Ovaj rad je omogućio da se sa sigurnošću (bar do daljine od 50 parseka oko Sunca) sagleda građa našeg Zvezdanog sistema. On nas je još naučio da ima zvezda i milion puta sjajnijih od onih koje nam zbog svoje blizine izgledaju sjajne. Ovaj prilog astrometrije ubrzao je razvoj fizičkog izučavanja zvezda, a s druge strane omogućio u naše vreme J. Kaptajnu i Van Rijnju da dođu do statističkih obrazaca po kojima možemo naći približne paralakse drugih, daljih zvezda, ako znamo njihove prividne veličine i sopstvena kretanja. U našem veku stvaraju se, najzad, i nove, astrofizičke metode, koje dovode do kataloga s približnim paralaksama velikog broja još daljih zvezda. No o tome biće više govora kasnije.

1.5.8. Otkriće aberacije svetlosti

I pored odstranjivanja refrakcije, položaji istih zvezda određeni na Griničkoj i Pariskoj opservatoriji sistematski su se razlikovali i preko 10". Flemstid je mislio da ovo dolazi do paralakse zvezda, a Pikar i Huk behu nezavisno ustanovili godišnju periodičnu promenu položaja zvezda, ali su je pogrešno pripisivali paralaksi.

Semjuel Molinuks postavlja na svojoj privatnoj opservatoriji, na brdu Kju kraj Londona, 1725. g. zenitski sektor žižne daljine 24 stopa i započinje precizno određivanje deklinacija zenitskih zvezda, na čije položaje refrakcija praktično ne utiče, u cilju rasvetljavanja gornjeg problema. Posmatranja na zvezdi Gama Zmaja nastavlja ubrzo mladi Džems Bredli, profesor u Oksfordu, i dolazi do ovog zaključka: "Od decembra 1725. g. do marta 1726. g. zvezda se pomerila na jug za 20", zatim je počela da se vraća i do septembra se pomerila 40" na sever, zatim se počela ponovo vraćati i u decembru došla u svoj prvobitni položaj." Period je bio tačno godina dana, a amplituda oko 20". Bredli je zatim izvršio posmatranja i drugih zenitskih zvezda i došao do istog zaključka. Godine 1728. on je već pojavu objasnio aberacijom svetlosti, tj. slaganjem posmatračeva kretanja zajedno sa Zemljom sa kretanjem svetlosti. To je bio i prvi eksperimentalni dokaz Kopernikove teorije.

1.5.9. Otkriće astrnomske nutacije

Nastavljajući posmatranja zvezde Gama Zmaja Bredli je zapazio još jedno preostalo kolebanje položaja koje je potvrdio i Lemonije u Parizu. Godine 1748. Bredli ga naziva nutacijom i pojavu objašnjava sitnim poremećajima precesije koji nastaju otud što se privlačne sile Meseca i Sunca prema Zemljinom ekvatorskom isupućenju periodično menjaju u zavisnosti od promena položaja ovih nebeskih tela prema Zemlji, kao i njihovih daljina od nje. Utvrđeno je da najveći poremećaj unosi retrogradno kretanje linije čvorova Mesečeve putanje po ekliptici i da je period ovog nutacijskog člana 18 2/3 godina, a amplituda 9". Kasnije su otkriveni još mnogi sitniji članovi, a već 1749. g. je Dalamber postavio svoju čuvenu matematičku teoriju precesije i nutacije. Ova dva Bredlijeva velika otkrića omogućila su da se tačnost određivanja položaja popne na 10".

1.5.10. Otkriće i apsolutizacija sopstvenog kretanja zvezda

Povećanje tačnosti u određivanju položaja zvezda bio je uvek, pa i danas, glavni rutinski zadatak astronoma, naročito tzv. fundamentalista. Zahvaljujući njemu učinjeni su i mnogi uzgredni, ali značajni pronalasci.

Prvi je kineski astronom iz 7. i 8. veka. l. Sin upoređivanjem uglovnih razmaka zvezda u Labudu iz svojih i ranijih merenja našao da se međusobni položaji zvezda menjaju u toku vremena, no ova je pretpostavka prenebregnuta. Zato se smatra da je prvi Flemstidov naslednik Halej, upoređivanjem položaja Aldebarana, Sirijusa i Arktura s koordinatama ovih zvezda koje su bili odredili još Ptolemej, Hiparh i Timoharis, otkrio 1718. g. sopstveno kretanje zvezda, koje su sve dotle smatrane nekretnicama.

Godine 1742. Bredli je postavio pretpostavku da su sopstvena kretanja samo prividna i posledica Sunčevog kretanja. Astronomi su postali ubeđeni da su sopstvena kretanja svih zvezda objektivna stvarnost tek kad je Tobijas Majer 1775. g. objavio sopstvena kretanja preko 100 zvezda iz Remerovih, Lakajevih i svojih posmatranja. Krajem 18. i 19. veka pojavljuju se katalogi sopstvenih kretanja zvezda (Argelander, Besel i dr.). S razvojem fotografskih metoda, u drugoj polovini 19. veka određivanje sopstvenog kretanja je omasovljeno, tako da danas znamo sopstvena kretanja za preko 300 000 zvezda.

U našem veku započelo se raditi na tzv. apsolutizaciji sopstvenih kretanja, tj. na njihovu oslobođenju od Sunčeva kretanja i galaktičke rotacije i svođenju na inercijski koordinatni sistem. Najveće je teškoće pri tom zadavalo i zadaje njihovo razdvajanje od precesije.

Kasnije je pitanju sopstvenih kretanja poklonjena posebna pažnja fundamentalista. Na njihovom određivanju naročito su se istakle opservatorije u Hamburgu, Minesoti i dr. Danas, pored sporadičnih određivanja, imamo i niz većih i manjih kataloga sopstvenih kretanja zvezda. Pomenimo, primera radi, Šorov "Leksikon sopstvenih kretanja" (I–II) iz 1936. g., ili Lajtenov "Novi katalog sopstvenih kretanja" (I–IV) iz 1978–1980. g. Velik je njihov značaj kako za fundamentalnu astronomiju mnoge njene primene, tako i za zvezdanu astronomiju.

U drugoj polovini 20. veka ovome se prišlo na vrlo perspektivan način fotografskim vezivanjem zvezda 12. prividne veličine za tačkaste, praktično nepomične galaksije 16. prividne veličine, a zatim zvezda 12. prividne veličine sa sjajnim zvezdama. Stvorena su dva programa — Jelski i Pulkovski, koji su još u ostvarivanju. Na njima radi po više opservatorija sa obe Zemljine polulopte i kad budu završeni biće ostvaren skok u tačnosti poznavanja položaja i sopstvenih kretanja od koga se očekuju ne samo velike koristi za raznovrsne primene, već i nova otkrića u poznavanju našeg Zvezdanog sistema.

1.5.11. Noviji radovi na refrakciji i konstantama aberacije, precesije i nutacije

Iako se i dalje nižu nove matematičke teorije refrakcije, pri čemu svaka donosi po neko usavršenje, u našem veku proučavanje refrakcije ponovo se vraća na eksperimentalnu osnovu s težnjom da se izbegne upotreba astronomskih posmatranja i da se tablice za refrakciju izvedu neposredno iz meteoroloških merenja, odnosno iz modela srednje Zemljine atmosfere koji se izvodi iz njih. Prvi korak u ovom smeru učinio je Harcer sa svojom teorijom refrakcije iz 1922. g. i tablicama iz 1924. g. Iz meteoroloških merenja na 5 tačaka Zemljine površine on je našao vrednosti indeksa prelamanja na raznim visinama u funkciji geografskih koordinata. Zatim je izveo jednačine optičkih površina (jednagog indeksa prelamanja) i aproksimirao ih obrtnim elipsoidima. Koristeći Fermaov princip izveo je 3 diferencijalne jednačine 2. reda kojima se određuju koordinate tačaka na svetlosnom zraku i rešio ih metodom mehaničkih kvadratura. Sve pri normalnom sastavu atmosfere. Zatim je izveo popravke za realnu temperaturu, pritisak vazduha i vodene pare, kao i za boju zvezde. Prvi je brižljivo ispítao sezonske i dnevne promene refrakcije. Tablice je izveo za Kilsku opservatoriju i ukazao na put da svaka opservatorija izračuna svoje tablice.

Godine 1924. Emden, a 1944. i 1967. g. Garfinkel dali su svoje teorije zasnovane na politropnoj atmosferi. Poslednji je izradio i program za elektronsko mašinsko računanje refrakcije po njegovoj teoriji. U njoj je najtačnije do danas rešen integral refrakcije i daje mogućnost izračunavanja refrakcije za sve zenitne daljine od 0° — 180° . I pored izuzetno visoke tačnosti, računanje refrakcije je po njoj dosta složeno.

Međunarodna astronomska unija je poslednjih godina obrazovala radnu grupu koja će izraditi model srednje atmosfere iz najnovijih astronomskih merenja i iz njega izvesti ukupnu refrakciju na neposredan i prost način, a isto tako i popravke za sve realne meteorološke elemente na svakoj željenoj tački. Kada uskoro ovaj veliki rad bude gotov, očekuje se da će problem refrakcije biti rešen na najtačniji način. U međuvremenu je D. Teleki vrednosti refrakcije već izveo 1967. g. za Beograd iz aeroloških merenja.

Što se tiče pojave aberacije, presudnu ulogu je igralo što tačnije određivanje njene konstante. Od otkrića do danas izvršeno je preko 200 njenih određivanja nekim metodama. Međunarodna konferencija za fundamentalne konstante u Parizu 1896. g. usvojila je, kao dotle najverovatniju, vrednost $20,47$ za ovu konstantu. No brojna njena precizna poznija određivanja, koja ovde ne možemo sva nabrojati, pokazala su da se ona mora nalaziti u granicama od $20,44$ do $20,52$. Prvu je postavio V. Struve, a drugu Gračev iz velikog broja određivanja geografske širine. Preko 50 njenih vrednosti u ovim granicama, dale su za njenu najverovatniju vrednost $20,496$, koja je i usvojena kao zvanična na kongresu Međunarodne astronomske unije u Hamburgu 1964. g. Tim pre, što se poklapala s vrednostima koje su našli veliki autoriteti za ovo pitanje, kao što su Kistner, Niren i Njukom.

Opštu precesiju u longitudi takođe je određivao niz istraživača. Još je Hiparh imao za nju iznos od $36''$. Do 18. veka bilo je više pokušaja niske tačnosti. Tek je Lakaj za nju 1750. g. našao tačniju vrednost od $50''{,}16$ koristeći zajedničke zvezde u katalogima Albatanija, Tiha, Olmstida i svojim. Ova vrednost, kao ni Halejeva i Kasinijeva, nije mogla zadovoljiti zbog nehomogenosti posmatračkog materijala. Zato su tačnija određivanja izvršena tek u 19. veku. Besel je za nju 1830. g. našao vrednost $50''{,}3635$ koristeći Pjacijev i svoj katalog izveden iz Bredlijevih posmatranja. O. Struve i Peters našli su iznos od $50''{,}3798$ na osnovi kataloga Bredlija i V. Struvea. L. Struve je koristio kataloge Bredlija (u Auversovoj preradi) i pulkovske fundamentalne iz 1845. i 1865. g. i dobio iznos $50''{,}3614$. Za najtačniju vrednost iz 19. veka smatra se Njukomova $50''{,}3708$, izvedena sa svom strogošću iz velikog broja zvezda iz više kataloga. Ona je bila opšte usvojena od 1896—1964. g. U 20. veku bilo je mnogo istraživanja s korišćenjem najtačnijih kataloga i vodeći računa o svim uticajima. Valja pomenuti radove L. Bosa, Orta, Parijskog i Fesenkova, Van de Kampa i Visotskog, Vilsna i Rajmonda, Glizea, Gordona, Morgana i dr. Iz njih je izvedena srednja vrednost $50''{,}2564$ za koju su granice $50''{,}2540$ i $50''{,}2590$. Nju je Međunarodna astronomska unija usvojila 1964. g. kao zvaničnu za našu epohu.

I konstantu nutacije određivali su mnogi autori. Sam Bredli je iz svojih posmatranja za nju prvi izveo vrednost od $9''$, vrlo blisku istinitoj. Kroz narednih 150 godina, do 1896. g. izvršeno je još oko 30 fundamentalnih određivanja. Pomenimo H. Petersovo ($9''{,}214$), Nirenovo ($9''{,}244$), Hilovo ($9''{,}2498$), Pšibilokovo iz posmatranja Međunarodne službe širine ($9''{,}2069$), Spenser-Džonsovo, iz griničkih posmatranja na plivajućem senit-teleskopu ($9''{,}2134$), Spenser-Džonsovo iz Erosovih posmatranja od 1930—33. g. ($9''{,}2272$), zatim niz određivanja iz pulkovskih i vašingtonskih posmatranja. U obradi S. Njukoma sva su ova određivanja dala srednju vrednost $9''{,}210$, koja je 1896. g. usvojena za međunarodnu i potvrđena 1964. g. Iz novijih određivanja dobivena je srednja vrednost za konstantu nutacije $9''{,}2137$.

Godine 1964. na kongresu u Hamburgu, Međunarodna astronomska unija je usvojila i standardne vrednosti za ostale astronomske konstante (ukupno 26), kao što su: brzina svetlosti, broj eferidskih sekundi u tropskoj godini, Gausova gravitacijska konstanta, konstante kojima se određuje Zemljin oblik, zatim paralaksa Meseca i konstante karakteristične za njegovo kretanje, masa Sunca, Meseca, Zemlje i ostalih planeta. Posle niza novih određivanja za mnoge konstante, Međunarodna astronomska unija je 1976. g. na kongresu u Grenoblu usvojila novi sistem fundamentalnih konstanata. Konstanta nutacije izmenjena je tek 1981. g. Primena novih konstanata u efemeridima biće obavezna od 1984. g.

Glava druga RAZVOJ TEORIJSKE ASTRONOMIJE I NEBESKE MEHANIKE

Radovi Njutnovih sledbenika. Rešenje problema poremećaja u kretanjima Jupitera i Saturna. Računanje putanje Halejeve komete. Stvaranje teorije Mesečeva kretanja. Prve kosmogonijske hipoteze. Metode za računanje kometskih putanja. Uranovo otkriće. Otkriće malih planeta. Poredak u sistemu malih planeta i među kometama. Pronalazak Neptuna. Novije teorije planetskih kretanja i Mesečeva kretanja. Objašnjenje preostalih odstupanja teorijom relativnosti i promenom brzine Zemljine rotacije. Plutonovo otkriće. Radovi na zvezdanoj dinamici. Računanje putanja veštačkih Zemljinih satelita i vasionkih brodova.

2.0.1. Radovi Njutnovih sledbenika

I pored Njutnovog otkrića gravitacije, Dekartova teorija vrtloga još dugo caruje u astronomiji. S Njutnovom teorijom prvi upoznanje Francusku i Evropu Lijuvil oko 1722. g. i Volter 1728. i 1730. g., a naročito 1733. g. preko svojih "Elementa Njutnove filozofije". Radovi zasnovani na teoriji vrtloga iščezli su tek 1740. g. Dok se u Engleskoj astronomi više interesuju za praktične probleme, Njutново delo nalazi više sledbenika u Evropi,

među astronomima i matematičarima kao što su bili Jakobi, D'Alambert, Bernuli, Leonard Ojler, Klero, Dalamber i, nešto kasnije, Lagranž i Laplas. Ovome je doprineo i polet mlade građanske klase koja je u 18. veku počela jačati u Evropi. Veliki zadatak 18. veka bio je da se izračunaju sva kretanja nebeskih tela na osnovi zakona gravitacije i uporede s posmatranjima. U ovom d'Alambertovskom poslu naučnici sve više pribegavali novom, analitičkom metodi, koji brže i lakše od geometrijskog dovodi do rešenja. Na osnovu Njutnovih radova iz dinamike razvila se u to vreme i sama racionalna mehanika. Tada je postalo jasno da se, polazeći od poznate sile i mase nebeskih tela, mogu iz drugog principa mehanike naći njihova ubrzanja, a, posle dvostruke integracije, i sami položaji tih tela u željenim trenucima. Postalo je jasno da se problemi kretanja nebeskih tela rešavaju dvostrukom integracijom diferencijalnih jednačina njihovog kretanja, kojih ima 3 (tri koordinate) i koje su drugog reda. One su dalje poslužile i da se izračunavaju putanje nebeskih tela.

Problem kretanja dvaju tela koja se privlače po zakonu gravitacije bio je rešio već Njutn, ali problem kretanja triju tela nije se dao rešiti u konačnom obliku, jer su se pomenute diferencijalne jednačine dale rešavati samo približno, pa i onda vrlo teško. To su pokazali već Klero i Ojler. Pribeglo se zato računanju neporemećenih putanja dvaju tela, pa su se zatim postupnim približavanjem računali uticaji trećeg tela na njihovo kretanje. Ovaj uticaj dobio je naziv poremećaja i izražavao se u vidu reda s velikim brojem članova. Računi su bili veoma složeni i dugi, tako da se posumnjalo i u tačnost i univerzalnost samog zakona gravitacije.

2.0.2. Međusobni poremećaji u kretanju Jupitera i Saturna

Prvi konkretni problem u mladoj teorijskoj astronomiji i nebeskoj mehanici bio je problem nepravilnosti u kretanjima Jupitera i Saturna. Još je Kepler 1625. g. primetio da se oni ne pokoravaju teoriji.

Određujući precizne koordinate planeta, Halej otkriva 1676. g. da se Saturn kreće sporije, a Jupiter brže no što predviđaju Rudolfinške tablice. Kako je u to vreme Njutn tek bio otkrio zakon gravitacije i sa Halejem počeo računanje prvih putanja, još nije bila izgrađena teorija poremećaja, pa je odgonetka ovog problema ostala za mnogo kasnije.

Na ovom zadatku su se ogledali Ojler, Lagranž i Laplas u više radova. Godine 1776. Lagranž je dokazao da u daljinama planeta od Sunca ne može biti progresivnih, ni vekovnih, već samo periodičnih članova. Tada je Laplas neopravdano posumnjao da komete izazivaju uočene nepravilnosti u kretanjima Jupitera i Saturna. Kada je Lambert 1773. g. uporedio Halejeva posmatranja sa onim iz 18. veka, našao je da Jupiter usporava, a Saturn ubrzava svoje kretanje. To je navelo na misao da su pomenuti poremećaji periodični. No vodeći računa i o članovima drugog reda u ekscentričnostima putanja, Lagranž nije mogao potvrditi ovu pretpostavku. Problem je rešio Laplas tek 1784. g. On je otkrio da se pojavljuju veliki dugoperiodični članovi u poremećajima kad su kretanja dvaju tela proporcionalna. To je upravo slučaj s Jupiterom i Saturnom, jer je 5 revolucija Jupitera jednako dva Saturnovim. Zanemareni članovi trećeg reda u ekscentričnostima delovali su na isti način, pa se njihov uticaj sabirao i postajao osetan. Posle 450 godina ovaj se položaj na ekliptici postupno izmenio i sada se javio isti uticaj samo suprotnog smera. Tako se pokazalo da ovaj poremećaj ima period od oko 900 godina i da kod Saturna dovodi najviše do odstupanja od 49', a kod Jupitera od 21'. Posle toga su se svi teorijski predviđeni položaji ovih planeta poklopili s posmatranim, pa je rešenje ovog problema na sjajan način razbilo sumnje u tačnost Njutnove teorije.

2.0.3. Računanje putanje Halejeve komete

1758. godine, po Halejevom proračunu, trebalo je da se vrati u perihel Halejeva kometa. Njen period, po njemu, iznosi 76 godina. No po dotadanjem iskustvu on se mogao ponekad svesti i na 75. g. Klero se latio trudnog posla da izračuna poremećaje od tačke do tačke na čitavoj njenoj putanji i utvrdi tačno vreme njena povratka. Pri kraju 1758. g. Klero je uz pomoć g-de Lepot završio svoje d'Alambertove račune i objavio da će kometa stići u perihel, zbog poremećaja, tek 1759. g. Međutim, ljubitelj astronomije Palić, iz Drezdena, otkrio je kometu već krajem

1758. g. Marta 1759. g. stigla je ona doista u perihel i posmatrana je sve do juna. Ovo je predstavljalo još jednu veliku pobjedu Njutnove gravitacijske teorije.

2.0.4. Stvaranje teorije Mesečeva kretanja

Najteži problem u 18. veku predstavljala je teorija Mesečeva kretanja. Zbog svoje male mase i blizine većeg broja nebeskih tela velikih masa (Sunce i planete) Mesec u svom kretanju trpi vrlo velik broj poremećaja, a međusobni uticaj malih članova među ovim poremećajima izvanredno osložava teorijsko predviđanje njegovih položaja, tj. stvaranje sasvim tačne teorije njegovog kretanja. Kleru je svojim radom iz 1746. g. uspeo da objasni samo polovinu Mesečevih odstupanja od neporemećenog kretanja, pa se opet počelo sumnjati u opštost zakona gravitacije. Dalji njegovi radovi, kao i Ojlerovi i Dalamberovi, pokazali su da se razilaženja između izračunatih i posmatranih položaja gube ako se uzmu u obzir i najsitniji članovi u poremećajima, osim kod obrtanja velike ose Mesečeve putanje koje je zadavalo najviše teškoća. Godine 1754. su Kleru i Dalamber objavili nezavisno svoje tablice Mesečeva kretanja, bolje od dotadašnjih, no koje su još ostavljale veća razilaženja između izračunatih i posmatranih položaja. Isti slučaj se desio i s Ojlerovim tablicama iz 1745. g. kao i sa njenim popravkama na osnovi njegovih poznijih radova. Uzrok je bio u tome što nisu mogli da se uzmu u obzir svi izvori poremećaja.

Prvo dalje usavršenje Mesečeve teorije, toliko potrebne moreplovcima, učinio je Tobijas Majer, već poznat po otkriću Mesečevih libracija, posle kojih je pozvat na Getingensku opservatoriju. Godine 1755. izdaje on svoje tablice Sunca i Meseca u kojima su glavni poremećaji uzeti iz Ojlerove teorije, no njihove amplitude izvedene iz posmatranja. Zaustavljajući se u svojim formulama na četrnaestom članu, dostigao je on tačnost od 1,5. Ovolika greška je izazvala netačnost u određivanju geografske dužine na moru od 27' ili 27 morskih milja. Ove tablice je, posle njegove smrti, usavršio Bredli i tačnost njihovu doveo do 1'. Tablice koje je 1770. g. izdao Britanski admiralitet dugo su služile u praksi.

2.0.5. Vekovno ubrzanje srednjeg Mesečevog kretanja

Sama teorija Meseca predstavljala je i dalje otvoren problem. Već je 1693. g. primetio Halej, upoređujući posmatranja starih i savremenih pomračenja, da se Mesečeva perioda i putanja smanjuju, da Mesec trpi vekovno ubrzanje. Njega je potvrdio i Tobijas Majer našavši za nj iznos od 6,7", a docnije 9", koji se dobro slagao s poznije određenim Laplasovim od 10". Postavilo se pitanje da Mesec, kroz određen broj milenijuma, neće pasti na Zemlju? Posle bezuspešnih pokušaja Ojlera, Lagranža i Laplasa da ovaj poremećaj objasne gravitacijom, Laplas je rešio problem 1787. g. Zbog smanjenja ekscentričnosti Zemljine putanje, koje traje nekoliko desetina hiljada godina, povećava se neznatno Zemljina daljina od Sunca, pa se smanjuje Sunčev poremećaj koji Mesec pomalo udaljava od Zemlje. Iz ovih računa je Laplas izveo da ovo ubrzanje na vek iznosi 10", koliko su pokazala ranije i pomračenja.

Punu teoriju kretanja Meseca i planeta izradio je Laplas i objavio u 5 knjiga od 1744–1825. g. pod nazivom "Nebeska mehanika". On je zamislio svako nebesko telo da se sastoji iz elemenata mase (materijalnih tačaka) koji se među sobom privlače po zakonu gravitacije i tako rezultuje sila celog tela, koja je nešto ekscentrična zbog njihove spljoštenosti. Tako je on ceo Sunčev sistem sveo na mehanizam u kome se, ako poznajemo sve njegove početne dinamičke uslove, mogu sračunati položaji svih tela u svima prošlim i budućim vremenima. Ovo je gledište bitno uticalo na stvaranje pogrešnog, mehanicističkog pravca u filozofiji.

2.0.6. Prve kosmogonijske hipoteze

Podstaknut Kantovom idejom o postanku Sunčeva sistema iz 1755. g., Laplas je i sam u svojoj čuvenoj knjizi "Izlaganje sistema sveta" 1796. g. predložio poznatu hipotezu o postanku Sunčeva sistema, o kojoj će kasnije biti više govora. No ovim je on stao na stanovište da je Sunčev sistem postao u jednoj epohi iz "prvobitnog haosa", a da su, čim se obrazovao nastale sile koje ga održavaju u večno nepromenjenom stanju. Korak ka

evoluciji bio je već tada učinjen, ali samo polovičan. Bez kasnijih saznanja o atomskoj građi materije i zakonima koji vladaju u njoj nije se ni mogla izgraditi slika o postanku Sunčeva sistema bliža objektivnoj stvarnosti. No i ovakav korak predstavljao je revoluciju u shvatanju, koja je bila sinhronizovana s revolucionarnim akcijama mlade građanske klase na stvaranju u ono vreme pravednijeg društva.

2.0.7. Metode za računanje kometskih putanja

U 18. i 19. veku astronomi su se dosta bavili kometama. Posle Njutnovih uprošćenih uputstava za računanje njihovih parabolinih putanja prvi je Laplas dao u 18. veku jednu glomaznu metodu koja je stvarala teškoće u praktičnom računu. No 1797. g. Vilhelm Oblers daje svoju duhovitu metodu za ovo računanje, koja znatno olakšava istraživanja u 19. veku i koja se s malim tehničkim usavršenjima održala sve do danas.

2.0.8. Uranovo otkriće

Godine 1773. u astronomiju ulazi jedan muzičar, njen strasni ljubitelj, a potomji genijalni astrofizičar i osnivač zvezdane astronomije – Vilijem Heršel. Došao je iz Hanovera u Bat, gde se i dalje bavio muzikom. Zbog siromaštva morao je početi sam sa brušenjem ogledala i izradom teleskopa, što mu je, kao što smo već videli, vrlo dobro išlo za rukom. Njapre ih je konstruisao za posmatranje planeta i Meseca. Ubrzo se pročitao po određivanju Marsove i Jupiterove rotacije i po mikrometarskom merenju visina Mesečevih planina na kojima se zadržao od 1777. sve do 1781. g.

No njegov veliki cilj bio je da otkrije paralaksu zvezda. Njegova zamisao, izložena i u Kraljevskom društvu, bila je da, zbog velikih grešaka u određivanju apsolutnih položaja zvezda, treba u blizini svake sjajne zvezde, čija se paralaksa želi odrediti, naći sasvim slabu zvezdu za koju se zato može smatrati da je beskrajno daleka i prividno nepomoćna, pa meriti relativne koordinate sjajne zvezde u odnosu na slabu. Za merenje odstojanja predložio je prividne diskove zvezda. Na ovaj se posao Heršel bacio odmah s njemu svojstvenom strpljivošću i upornošću.

Godine 1781. on već piše u svom dnevniku: "U utorak, 13. marta, između 10 i 11h uveče, kada sam tražio slabe zvezde oko H (sada eta) Blizanaca, primetio sam jednu koja je izgledala veća od ostalih. Zavidljen njenom neobičnom veličinom i upoređujući je sa H Blizanaca u kvadratu između sazvežđa Kočijaš i Blizanci otkrio sam da je ona znatno veća od svih ostalih. Posmislio sam da je to – kometa". Kotur osumnjičenog tela rastao je iz dana u dan, što znači da nije bila zvezda i da nam se približavalo. Intenzivna posmatranja preduzeli su Meskilajn u Grinidžu, kao i Pariska opservatorija. Kad je izračunata prva putanja, videlo se da je približno kružna i da pripada planeti 19 puta daljoj od Sunca no Zemlja. Tako je otkriven Uran, prva planeta koja nije bila poznata starim astronomima i sa kojom se dvaput proširio vidokrug čovekov u Sunčevom sistemu. Heršelu je pripala velika slava.

Džordž III postavlja ga za dvorskog astronoma, ali s malom platom, tako da Heršel, koji je napustio muziku, počinje da živi od izrade i prodaje teleskopa. Od 70 prodatih primeraka do 1795. g. samo je jedan upotrebljen za astronomska posmatranja. Onaj koji je otkupio drugi jedan ljubitelj astronomije, sudija Šreter iz Lilijskoga, kasniji znameniti astronom. 1789. g. završava Heršel, kao što je već bilo govora, svoj najveći teleskop, "čudo nauke" onog vremena, no koji zbog glomaznosti nije mnogo koristio. Sva kasnija značajna otkrića i radove Heršel je obavio na svom teleskopu od 20 stopa sa otvorom od 19 palaca. Njime je on posmatrao Sunčeve pege, Marsove polarne kape, otkrio dva Uranova i dva Saturnova pratioca, no glavni njegov rad se sastojao iz otkrića i katalogizovanja dvojnih zvezda, izučavanja građe našeg Zvezdanog sistema i otkrića i izučavanja Sunčevog kretanja. No, o tome će biti više govora u narednim glavama.

2.0.9. Otkriće malih planeta

Sam početak 19. veka obeležen je zanimljivim otkrićem prve male planete – Ceres, koju je, radeći na svom zvezdanom katalogu, našao Pjaci u Palermu 1. januara 1801. g. Tako je popunio prazninu između putanja Marsa i

Jupitera koju je uočio još Kopler i koju je jasno obeležilo Ticijus-Bode-ovo empirijsko pravilo za daljine planeta od Sunca. No planeta je uskoro bila izgubljena, jer nisu postojale metode za računanje eliptičnih putanja iz 3 posmatranja obavljena u malom broju dana, tj. na malom odsečku planetine putanje. Ovaj nedostatak popunio je uskoro na sjajan način Karel Fridrih Gaus svojom metodom za računanje eliptičkih putanja iz 3 posmatranja položaja. Tako je planeta krajem godine nađena, no na sasvim drugom mestu nego što se predvidelo. Svoju metodu je Gaus izložio 1809. g. u čuvenom delu "Teorija kretanja nebeskih tela" i ona je, zajedno s jednom ranijom Lagranževom, poslužila za osnovu iz koje su iznikle mnoge metode za računanje putanja u 19. i 20. veku.

Godine 1802. Olbers je otkrio još jednu malu planetu na približno istoj daljini od Sunca. To je bio Polas. Zatim 1804. g. Harding otkriva Juno, a 1807. g. Olbers Vestu. Sve su one bile sjajne, imale prečnike od nekoliko stotina kilometara i dobile putanje po Gausovoj metodi. Tada se uvidelo da u praznini između Marsove i Jupiterove putanje ima više, ali sasvim malih planeta, pa su one nazvane "asteroidi" ili "planetoidi". Da bi se olakšalo traganje za novim planetoidima Berlinska akademija nauka je organizovala rad koji je ubrzo doveo do detaljne zvezdane karte zodijačkog pojasa. Sad je sledio čitav niz novih otkrića. A kada su Paliza iz Beča i Maks Volf iz Hajdelberga načinili još detaljnije snimke ove zone, sledila je čitava lavina novootkrivenih malih planeta.

Oko 1891. g. Volf je primenio dugačka izlaganja ploče uz praćenje zvezda. One su tako na snimcima davale tačkaste likove, dok su planetoidi, zbog svog kretanja, upisivali crtice. Tako se do 1900. g. broj otkrivenih planetoida popeo na 450, a do 1927. g. sam Volf ih je otkrio blizu 500. Kada je Metkalf uveo praćenje planetoida pri snimanju, tako da su njihovi likovi sad bili tačkasti a likovi zvezda u vidu poteza, tempo otkrića se još znatno povećao. Danas imamo oko 2 000 numerisanih i imenovanih planetoida s utvrđenim eliptičnim putanjama i još oko 4 000 koji su posmatrani samo jednom ili dva puta, te nisu mogli dobiti eliptične putanje, no su izgubljeni. Za njih je nađeno više metoda za identifikovanje, kad se ponovo otkriju, da se utvrdi da li je to neki od numerisanih, ili neki od već posmatranih ili nov.

No svi su oni stene prečnika nekoliko desetina kilometara ili nekoliko kilometara, pa i manje. Fesenkov je jednim svojim radom pokazao da ih ima beskrajno mnogo i da neprekidno po veličini prelaze u međuplanetnu prašinu. Do 1946. g. o prikupljanju posmatranja malih planeta i o izradi njihovih efemerida starao se Berlinski Kopernikov računski institut. Dalje je ovu brigu preuzela Opservatorija u Sinsinatiju. Od 1949. g. ona radi samo na prikupljanju i obradi posmatranja, a izradu efemerida preuzeo je Institut za teorijsku astronomiju u Lenjingradu. Od 1980. g. prikupljanje i obradu posmatranja vrši Smitsonova astrofizička opservatorija (Kembriđž, Masačusets).

2.0.10. Poredak u sistemu malih planeta

Interes za otkrivanje i posmatranje malih planeta povećavao se u više mahova. Prvo iznenađenje priredili su asteroidi kada je Kirkvud 1857. g., a zatim 1866. g. utvrdio da u njihovom prstenu postoje nekolike praznine, tamo gde srednje kretanje planetoida stoji u prostom odnosu s Jupiterovim, kao 1/2, 1/3, 2/5, 3/5. U pitanju su bili Jupiterovi poremećaji koji su sa tih mesta odgonili planetoida. U vezi s tim problemom pokrenuto je još nekoliko pitanja na kojima se i danas radi.

Drugo iznenađenje bilo je kada je na Jupiterovoj putanji, odnosno blizu nje, na 60° s jedne i s druge strane od Jupitera, nađeno nekoliko planetoida (a kasnije i veći broj), koji ne napušta ovaj razmak od Jupitera. Oni su dobili imena Junaka iz Trojanskog rata, pa se nazivaju "Trojanci". U njima je nađen prvi primer za specijalan slučaj triju tela koji je još Lagranž obradio, a to je kad se planetoid, jedna velika planeta i Sunce nalaze na temenima ravnostranog trougla. Tada je problem njihova kretanja rešiv.

Treći put su planetoidi pobudili interesovanje astronoma kada je otkriven planetoid 433 Eros, koji ulazi u pojas između Zemljine i Marsove putanje, a zatim još čitav niz planetoida koji se još mnogo više približuju Zemlji (neki čak bliže i od Meseca) i tako omogućuju određivanje Sunčeve paralakse po Bodeovoj metodi s velikom tačnošću.

Najzad, danas su od velikog interesa odabrani planetoidi sa vrlo sigurnim putanjama, jer se koriste, bolje no Sunce, u fundamentalnoj astrometriji za određivanje položaja gama tačke i ekvatora, kao osnova za fundamentalni, pa i inercijski koordinatni sistem.

2.0.11. Porodice kometa

U prvoj polovini 19. veka otkriveno je mnogo, mahom slabih kometa. Sad se na računanje njihovih putanja mogla primeniti Gausova metoda. Pokazalo se da ima kometa i sa eliptičnim putanjama, no da su one vrlo izdužene. Godine 1818. Pons je u Marselju otkrio kometu čija je revolucija iznosila samo 3,3 godine. Pokazalo se da je to ista ona koja je posmatrana 1786, 1795. i 1806. godine. Kako je Enke brižljivo obradio računski njenu putanju i sve njene promene, kometa je nazvana njegovim imenom. Zahvaljujući ovim preciznim računima ona je mogla poslužiti da se odredi Merkurova masa, jer je 1835. g. prošla blizu njega. Sem toga primećeno je da se posle svakog obilaska kometa kreće sve brže i da joj je putanja sve manja. Enke je smatrao da to dolazi od otpora međuplanetske materije, no Bakmund i fon Asten su zaključili da su u pitanju poremećaji od strane drugih kometa.

Godine 1826. Bjela je otkrio kometu, koja je i kasnije posmatrana, a čija je revolucija iznosila $6 \frac{3}{4}$ godine. Zbog njenog izuzetnog značaja biće o njoj više govora u glavi četvrtoj.

Sve otkrivene komete, kao i one koje su se pojavile kasnije, jasno su se podelile u grupe ili porodice, i to tako da su afeli kometa s revolucijama od oko 6 godina ležali svi u blizini Jupiterove putanje, a afeli kometa s revolucijama od 13,33 i 75 godina u blizini putanja Saturna, Urana, odnosno Neptuna. Još je Laplas tvrdio da kometa koja dolazi izvan Sunčeva sistema pri prolasku blizu kakve velike planete, na pr. Jupitera, može zbog poremećaja koje on vrši u njenom kretanju, da promeni svoju putanju, da ona postane elipsa, i to s periodom od 6 godina, ako je poremećajno telo Jupiter. To se kasnije dokazalo na nizu primera i sa ostalim planetama. Isto tako se pokazalo da pri povratku, kad kometa priđe blizu dotične velike planete, može opet da dobije otvorenu putanju i da se više ne vrati u Sunčev sistem.

Pored mnogo suptilnih radova na poremećajima putanja planetoida i kometa, i u 19. veku je glavnu pažnju teoretičara zaokupljao centralni problem, problem poremećaja velikih planeta i Meseca. Na produbljivanju teorije i postizanju sve veće tačnosti mnogo su radili Jakobi, Poenkare, Koši, Besel i Hansen, ali je teoriju poremećaja najpotpunije razradio Leverije, najviše poznat po Neptunovom otkriću teorijskim putem.

2.0.12. Neptunov pronalazak

Nepravilnosti u Uranovom kretanju, koje se nisu mogle objasniti gravitacijskim uticajima poznatih planeta prvi je primetio Buar. Kad je izradio i 1821. g. objavio tablice Uranova kretanja i drugi su astornomi primetili da Uran sve više trpi odstupanja u kretanju nepoznatog porekla. Godine 1842—43. započeo je istraživanja ovog odstupanja Dž. k. Adams, daroviti student iz Kembridža. Godine 1845. on je saopštio putanju nepoznate planete koja izaziva poremećaje, kao i njene položaje, direktorima Griničke i Kembričke opservatorije Erlju i Čalisu, koji, zauzeti drugim poslovima, nisu stigli da sistematski tragaju za nepoznatom planetom.

Međutim, i Leverije u Parizu, po savetima Aragoa, latio se istog posla. On je, pre svega, ponovo izradio teoriju Uranova kretanja i objavio je 1845. g. Juna iste godine objavio je o n i putanju nepoznate planete i položaje na kojima je treba tražiti. Dvadesettrećeg septembra Leverije se obratio Galeu s molbom da potraži nepoznatu planetu. Berlinska opservatorija je raspolagala dovoljno velikim refraktorom i detaljnom kartom zodijačkog pojasa koji su ovaj posao potpuno omogućavali. Čim je Gale uporedio stanje neba s kartom, zapazio je telo B, prividne veličine koje se ne nalazi na karti i kreće se među zvezdama. Nova planeta, otkrivena "vrhom pera", nazvana je Neptun.

Oko prvenstva ovog velikog otkrića, koje je predstavljalo najsajjniju pobedu Njutnove teorije gravitacije, otvorio se veliki i dug spor među evropskim astronomima. Uprkos tome, dva istraživača započela su veliko i trajno prijateljstvo. Ovaj krupan događaj u istoriji nauke, u nizu drugih, predstavljao je plod racionalizma onog vremena i pao uoči velikih revolucija u Evropi koje su nagovestile zasnivanje pravednijih društvenih i ekonomskih odnosa i koje su na društvenom planu bile plod istog duha vremena.

2.0.13. Novije teorije planetskog kretanja

Kad je došao na čelo Pariske opservatorije, Leverije se bacio na izradu preciznih teorija kretanja svake planete

no što su dotle postojale. Ovaj džinovski posao on je sa uspehom savladao uzimajući u obzir brojne članove višeg reda u poremećajima i rezultate objavio od 1855–1877. g. u 14 knjiga Anala Pariske opservatorije. Došao je do slaganja od nekoliko sekunada, pa i manje, između teorijskih i posmatranih položaja planeta i sveo ih bezmalo u granice posmatračkih grešaka. Međutim, ostala su još 3 veća odstupanja. Posmatranja su davala za longitudu Merkurova perihela 38" više no račun, čvorovi Venerine putanje odstupali su za 10" od računskih i longituda Marsova perihela rasla je 24" brže od teorijske. Kada je dobivena tačnija vrednost za Zemljinu masu ostalo je neobjašnjeno još samo odstupanje longituda Merkurova perihela. Sve pretpostavke bile su nemoćne da ga objasne.

Kada je Sajmon Njukom 1877. g. postao direktor "Američkog pomorskog godišnjaka", potrudio se da dadne najbolje moguće sfemeride. To se moglo postići ako sve teorije planetskih kretanja podigne na još viši nivo, jer se sad već i tačnost posmatranja bila popela na 1"–2". S besprimernom upornošću on je najpre preradio Leverjeove teorije uzimajući u račun sitnije članove poremećaja, a zatim znalački obradio i sva posmatranja planeta, tako da je teorije njihove doveo u sklad sa merenjima s tačnošću do na 2". Ostala je još razlika u promeni longituda Merkurova perihela, koja je iznosila 41" ± 2" više na vek od posmatrane. To je izazvalo odstupanja posmatranih planetnih položaja od teorijskih od 8" u istom smeru. Ni ovaj put nikakve pretpostavke nisu mogle objasniti ovo neslaganje.

2.0.14. Objašnjenje preostalog odstupanja teorijom relativnosti

Odstupanje posmatrane logituda Merkurova perihela od računate objašnjeno je tek Ajnštajnovom teorijom relativnosti koja se pojavila 1914. g. Relativistički uopšten zakon gravitacije nije više ostavljao skoro nikakvih odstupanja i nikakve nove pretpostavke nisu bile potrebne da se problem reši.

Teorija relativnosti predviđala je i skretanje svetlosnog zraka u Sunčevoj blizini od 1",75, što su dve engleske ekspedicije potvrdile snimanjem zvezdanih položaja oko Sunca za vreme njegovog potpunog pomračenja 1918. godine, kao i pre i posle njega. Ovo je kasnije više puta i na razne načine provereno. Time je i objašnjenje odstupanja u longitudi Merkurova perihela potvrđeno. Nije potrebno ni naglašavati od kolikog je osnovnog značaja za izučavanje Sunčevog sistema i šire bila ovako podrobno i potpuno razrađena teorija planetskih kretanja.

2.0.15. Novije teorije Mesečeva kretanja

U isto doba radilo se mnogo i na teoriji Mesečeva kretanja, koja ima i višestruke praktične primene. Tačnost Laplasovih tablica od 30" već nije bila dovoljna. Najpre je Plana na sasvim drugoj osnovi dao novu teoriju Meseca, a zatim Damuazo, uzimajući u Laplasovoj teoriji u račun i članove sedmog reda. Ali ni ovako dostignuta tačnost od nekoliko sekunada nije bila dovoljna. Mnogi su se veliki teoretičari ogledali na ovom problemu dok nije P.A.Hanzen, iz Gote, uspeo 1838. g., posle 20 godina napornog rada, da stvori teoriju koja će se slagati na 1" s preciznim dugogodišnjim posmatranjima Meseca na Griničkoj opservatoriji. Godine 1857. Britanski admiralitet je objavio njegove tablice Meseca kojima se služilo preko pola veka. Š. Delone, iz Pariza, objavio je 1860. i 1867. g. svoju teoriju Mesečeva kretanja rađenu na sasvim drugoj osnovi. Njukom je pokazao njeno odlično podudaranje s Hanzenovim rezultatima.

Uprkos dobrim slaganjima ovih teorija s posmatranjima ostala su još neka neslaganja. Prvo je direktno kretanje Mesečeva perihela koje je u 18. veku iznosilo 40° godišnje. Delone ga je sveo na 18" godišnje, no još je bilo veliko. Tada je Georg Gil rešio ovaj teški problem 1877. g. polazeći od problema triju tela i dostigao tačnost od 10⁻¹¹ veličine. I dalja neslaganja s posmatranjima pokazala su da je u pitanju nedovoljno tačno poznata mehanička spljoštenost Zemlje i razlika u glavnim meomentima intercije (koja takođe izaziva ovo kretanje). Otada preostalo odstupanje služi za izučavanje rasporeda masa u Zemlji, tj. za upoznavanje Zemljinog gravitacijskog polja. Ernst Braun je 1922. g., na osnovi Gilovih radova, stvorio najnoviju teoriju Meseca i njegove tablice, koje s manjim poboljšanjima što su ih uneli Brauer i Klémens, služe i danas za računanje Mesečevih efemerida.

2.0.16. Objašnjenje Mesečeva vekovnog ubrzanja

Drugo neslaganje teorija Meseca s posmatranjima ispoljilo se u postojanju vekovnog ubrzanja srednjeg Mesečeva kretanja, za koje je još Laplas našao iznos od $10''$. Njega je Hansen na izvestan način potvrdio našavši za teorijsku vrednost $11'',47$ i empirijsku $12'',18$. Međutim, je Adams 1853. g. pokazao vodeći računa o sitnijim članovima, da ovo ubrzanje iznosi samo $5'',70$, što je i kasnije potvrđeno. Ostatak je objašnjen plimskim trenjem. Vrhovi Mesečeve plime tim putem koče Zemljino obrtanje i neznatno ga usporavaju, a preostalo Mesečevo ubrzanje je samo prividno i posledica ovog usporenja. Još je preostalo jedno malo i promenljivo odstupanje ove vrste za koje je Njukom pretpostavio da može dolaziti od nepravilnih promena u Zemljinom obrtanju, no ovu pretpostavku je 1903. g. odbacio kao neverovatnu. Međutim, Braun ga je našao 1914. i u kretanjima Sunca, Venere i Merkura, pa je Spenser Džons 1926. i 1934. g. još detaljnijim istraživanjima pokazao da su sva ova kretanja prividna i da dolaze od povremenih nepravilnih promena u Zemljinom obrtanju još nepoznatog geofizičkog porekla. Tako su konačno otpali neobjašnjeni empirijski članovi u teorijama Hanzena i Njukoma, a započeo je novo poglavlje u teorijskoj astronomiji — izučavanje Zemljine rotacije. U ovu grupu istraživanja spadaju i otkrića sezonskih promena Zemljina obrtanja, zatim periodičnog i vekovnog pomeranja Zemljinih polova i plime i oseke Zemljine kore, o kojima je bilo više govora u prethodnoj glavi.

2.0.17. Plutonovo otkriće

Za veliku tekovinu nebeske mehanike 20. veka treba smatrati Plutonovo otkriće. Pitanje zaneptunske planete bilo je postavljeno još pre no što je Neptun i bio pronađen. Hansen je kao uzrok Uranovim odstupanjima pretpostavljao dve zauranske planete, a odmah po Neptunovom otkriću i sam Leverije je pisao da se nada da će se kroz 30–40 godina sličnim načinom otkriti i ona planeta iza Neptuna. Da se veruje da Neptun nije poslednja planeta Sunčeva sistema navodila je astronomie i činjenica da, pored Neptunove porodice kometa, postoji još jedna koja bi mogla biti vezana za nepoznatu planetu, mnogo dalju od Neptuna. Od više metoda da se ova planeta otkrije najviše je izgleda na uspeh imala jedna kombinovana: pokušati da se računom dođe do rešenja koje se može izvesti iz posmatranih poremećaja Uranovog i Neptunogov kretanja, pa onda fotografski pretraživati okolinu neba gde bi se mogla nalaziti nepoznata planeta u tom trenutku. Ovako je i postupljeno.

Amerikanac Tod izračunao je 1874. g. iz Uranovih i Neptunovih poremećaja i potrebnih pretpostavki položaj nepoznate planete u to vreme, no na njemu planeta nije nađena. Nešto kasnije, Danac Lau je izračunao položaje 2 nepoznate planete, zatim Francuz Gajo 1909. g. takođe položaje 2 planete, potom Pikerling položaj jedne planete i, najzad, 1915. g. amater Persival Lovel položaje prve od dveju, jer je i on pretpostavljao da postoje još 2 planete.

Petnaest godina su astronomi uzaludno tragali za ovom planetom. Lovel je iz sopstvenih sredstava podigao veliku opservatoriju u Arizoni i sav se posvetio ovom poslu, ali bez rezultata. Posle njegove smrti u njegovu čast je na ovoj opservatoriji osnovana stalna patrolna služba. Krajem januara 1930. g. najmlađi asistent njen Klajd Tombou imao je sreću da planetu pronađe kao telo 15. prividne veličine. Kad je kasnije izračunata prva približna putanja nove planete, videlo se da se ona najbolje poklapa sa Lovelovom, a dosta dobro i s Pikeringovom, pa se i Plutonovo otkriće obično vezuje za imena oba naučnika.

Braun je u jednom obimnom radu pokušao da dokaže da su otkrića i Neptuna i Plutona bila slučajna, što je u svojoj doktorskoj disertaciji oborio francuski astronom ruskog porekla Kurganov.

Da li je Pluton poslednja velika planeta Sunčeva sistema? Najnoviji radovi nekih američkih astronoma izvedeni iz podataka o porodici kometa čije se putanje grupišu daleko iza Neptunove ukazuju na mogućnost postojanja i 10. planete na daljini od 70AJ od Sunca. njen pronalazak biće skopčan s teškim fotografskim radovima na džinovskim teleskopima, pa verovatno i krunisan uspehom ako ne pre a ono kad budu ponovljeni snimci velike Maunt-Polomarske karte neba.

2.0.18 Radovi na zvezdanoj dinamici

Pored usavršavanja metoda za određivanje putanja i poremećaja, dalja istraživanja u oblasti teorijske astronomije

i nebeske mehanike u 20. veku usmerena su prema izučavanju kretanja grupa zvezda u našem Zvezdanom sistemu—prema zvezdanoj dinamici. U njoj se razrađuju metode za paralelno određivanje više putanja različitih tela, s vođenjem računa pretežno o kolektivnom međusobnom gravitacijskom uticaju. U poslednje se vreme u ovakvim sistemima proučava i obrazovanje mesnih potoka. Bez velikih računara nisu se ovakvi džinovski računski psolovi do juče mogli ni zamisliti.

2.0.19. Računanje putanja veštačkih satelita i kosmičkih brodova

Druga, može se reći i najveća, oblast istraživanja obuhvatila je u drugoj polovini 20. veka određivanje putanja veštačkih satelita i kosmičkih brodova, za koje je valjalo uzeti u račun još mnoge druge sile osim gravitacije, jer su u pitanju tela male mase i u blizini Zemlje ili drugog nebeskog tela. Za ove potrebe razrađuju se i metode izučavanja rotacije pod novim uslovima. Ta je oblast nazvana astrodinamika.

Uticaji o kojima se tu mora voditi računa mnogobrojni su i raznovrsni, često mali, ali ne i zanemarljivi kad je u pitanju veštačko nebesko telo od samo nekoliko tona, a često i velike površine. Ako se zadržimo samo u na najglavnijim to su: uticaj nesferičnosti Zemlje (odnosno drugog glavnog tela), ekscentričnost njegova ekvatora, nepravilan raspored masa u Zemlji i na njoj, pritisak Sunčeve svetlosti, boravak satelita u senci ili van nje, otpor vazduha s mnogobrojnim promenama, zatim uticaj rotacije satelita kao poseban problem i dr. No i ostali specifični uslovi nametnuli su potrebu da se preinače metode za određivanje putanja. Ali ni sve sile koje deluju na veštački satelit nisu ni blizu poznate, pa se uzastopnim računanjem putanja i njihovom popravkom određuju i ove, dosad nepoznate sile i uslovi — stanje atmosfere, raspored masa u unutrašnjosti planete i dr. Sem toga, za ova i mnoga druga izučavanja u nebeskoj mehanici, geofizici, geodeziji, meteorologiji, po unapred utvrđenim performansama puštaju se namenski sateliti, pa tako metode nebeske mehanike danas služe ne samo da omoguće ove letove, već i da omoguće njihove višestruke naučne i praktične primene. Razume se da ovako brzo obavljanje ogromnih računskih poslova ne bi ni u ovoj oblasti bilo moguće da nisu stvoreni moćni elektronski super-brzi računari velikog kapaciteta.

Glava treća OSNIVANJE I RAZVOJ ZVEZDANE ASTRONOMIJE

Prvi koraci van Sunčeva sistema. Otkriće dvojnih zvezda. Otkriće Sunčeva kretanja. Otkriće zvezdanih jata i prvo katalogizovanje maglina i zvezdanih jata. Prva izučavanja našeg Zvezdanog sistema. Otkriće planetnih maglina. Prvo sistematizovanje promenljivih zvezda. Izučavanja rasporeda zvezda u Zvezdanom sistemu. Sopstvena kretanja i radijalne brzine kao sredstvo za izučavanje Sunčeva kretanja. Fotografisanje Mlečnog puta i otkriće tamnih maglina. Otkriće međuzvezdane materije. Hipoteza o dva zvezdana potoka. Izučavanje zvezdanih grupa. Otkriće galaktičke rotacije. Radio-astronomija zvezda i Zvezdanog sistema. Otkriće pulsara.

3.0.1. Prvi koraci izvan Sunčeva sistema

Prvi koraci izvan Sunčeva sistema doveli su do otkrića novih i promenljivih zvezda, sopstvenih kretanja zvezda i do otkrića maglina. U magline su sve dok nismo duboko zakoračili u 20. vek astronomi ubrajali i galaksije, pa su magline delili na galaktičke i vangalaktičke. Znamo da su nove posmatrali još Tiho i Kepler. David Fabricijus otkriva 1596. g. prvu promenljivu Miru Ceti, koju Holvarda iz Holandije ponovo otkriva 1638. g. Asiriolog Šaumberger smatra da su za nju znali još u Vavilonu, jer o tome ima neodređenih zapisa klinastim pismom. Godine 1667. Montanari iz Bolonje otkriva promenljivost Algola, zatim jednu novu promenljivu u Hidri, a 1686. g. Kirh iz Berlina promenljivu Hi Labuda. Sistematskih izučavanja promenljivih još nema u to vreme.

Simon Marijus otkriva 1612. g. Andromedinu maglinu, a Cizat iz Ingoštata 1619. g. Orinovu maglinu. S upotrebom teleskopa biva otkriveno čitavo mnoštvo maglina, tako da Mesije u Parizu izrađuje i 1771. g. objavljuje prvi njihov katalog sa sto objekata da bi olakšao rad na traženju kometa.

3.0.2. Otkriće i prvo katalogizovanje dvojnih zvezda

Posle Uranovog otkrića Heršel je nastavio posmatranja dvojnih zvezda i dao dva njihova kataloga, prvi 1712. g. sa 269 parova i drugi 1784. g. sa 434 para. No nezadovoljan sa tačnošću mikrometra s končanicama za cilj u kome je određivao položaje u ovim parovima, konstruisao je sopstveni mikrometar sa dve veštačke zvezde koje su mogle verno podražavati pojavu, no i on je ubrzo napušten.

Međutim, velik broj pojava u kojima se pored sjajne javlja slaba zvezda naveo ga je na pomisao da ovo ne može biti slučajno, na pomisao da ovde ne može biti reč o optičkim parovima koje je on hteo kroistiti za određivanje paralakse, već o fizički vezanim parovima silama gravitacije. Da je reč o putanjskom kretanju slabije zvezde oko sjajne, tj. obe oko zajedničkog težišta, uverio se ponavljanjem posmatranja. Tako je došlo do značajnog otkrića fizički dvojnih, a zatim i višestrukih zvezda na kojima je i sam zakon gravitacije još jednom bio proveren. Doduše i Kristijan Majer iz Manhajma zapazio je bio 1777. g. ovu dvojnost, no on je smatrao da su u pitanju planetski sistemi.

3.0.3. Otkriće i prva izučavanja Sunčevog kretanja

Godine 1783. Heršel je pisao da je prirodno pretpostaviti da i Sunce, kao jedna od zvezda, mora imati sopstveno kretanje kad ga imaju druge zvezde i kad znamo da su sve zvezde povezane gravitacijom. Još je tvrdio da od ovog kretanja moć dolaziti od jednog prividnog kretanja svih zvezda u suprotnom smeru, koje je nazvao "sistematska paralaksa". Da bi ovo dokazao i odredio uzeo je on 7 Meskelajnovih zvezda s poznatim sopstvenim kretanjem, zatim još 12 Lalandovih i 40 Majerovih i zaključio da se tačka prema kojoj se kreće Sunce, a koju je nazvao "apeks", nalazi u blizini zvezde Lambda Herkula. Još je tvrdio da je to kretanje reda veličine Zemljina kretanja oko Sunca. Iz 36 Meskelajnovih zvezda Heršel je 1805. i 1866. g. potvrdio ovaj zaključak. Nepouzdana iznos Sunčevog kretanja dolazio je od njegove pogrešne pretpostavke da je daljina zvezde prosto srazmerna njenoj prividnoj veličini.

3.0.4. Otkriće zvezdanih jata i katalogizovanje maglina i zvezdanih jata

Pošto je otkrio fizički dvojne, a zatim i višestruke zvezde i zapazio u tom kontinuitetu rasturena jata, Heršel je obratio pažnju i na magličasta tela koje je svojim velikim teleskopima razlučio u zvezde, pa je osetio potrebu da se svi oni katalogizuju. Počinjući ovaj rad 1783. g., on već 1786. g. izdaje svoj prvi katalog maglina i zvezdanih jata sa 1 000 objekata, kojima ubrzo dodaje još toliko. U magline, kao što je već rečeno, svrstava i zvezdane sisteme. Njih razvrstava, šta više, i po obliku i time udara temelje razvoju zvezdanih sistema. Godine 1802. Heršel daje i svoj treći katalog ove vrste sa 500 objekata. Ove kataloge Heršel je izradio, ne da bi olakšao tražnje za kometama, već samih maglina i zvezdanih jata radi, kao nebeskih tela kojima dotle nije poklanjana pažnja.

3.0.5. Prva izučavanja našeg Zvezdanog sistema

Radeći gornji veliki i trudni astronomski posao, Heršel se nije mogao oteti pitanjima – kolika je ta Vasiona i kako je izgrađena? Već je Tomas Rajt 1750. g. tvrdio da je Mlečni put samo projekcija našeg Zvezdanog sistema a ovog se gledišta držao i filozof Kant. Lambert je 1781. g. pošao i dalje, sa svojom teorijom po kojoj Sunce i još nekoliko hiljada zvezda obrazuju jedno mesno zvezdano jato iz kojih je izgrađen i čitav naš Zvezdani sistem. Smatrao je on, sem toga, da ovakvih sistema u Vasioni ima veoma mnogo. No to su bila samo razmišljanja.

Prvi se Heršel upustio da prebrojavanjem zvezda u vidnom polju svog teleskopa u 3 000 raznih pravaca "sondira Zvezdani sistem". Pošao je on od pretpostavki da su zvezde jednakog sjaja i ravnomerno raspoređene, pa ukoliko ih je više u vinom polju, u tom pravcu se one raspoređuju do veće daljine. U svom čuvenom delu "O građi neba" on je razradio ovu zamisao, a u jednom kasnijem radu iz merenja pokazao da se zvezde u našem Zvezdanom sistemu grupišu oko središnje ravni i u njoj prostiru do daljine od 800 rastojanja među zvezdama, a upravno na nju do daljine od 150 ovih jedinica. Za jedinicu je uzeo rastojanje Sunce – Sirijus. Iz poprečnog preseka Zvezdanog sistema, koji je dao, već se nazire njegova prava građa sa dve, mnogo kasnije utvrđene, spirale. No Her-

šela ni ovaj put nije napuštala misao o razvoju, pa se zapitao kako je ovaj sistem mogao postati? On je smatrao da su prvobitno zvezde bile ravnomerno raspoređene, a da su se kasnije, usled gravitacije, grupisale u pojedinačna jata iz kojih se sastoji naš Zvezdani sistem i da je sličan slučaj i sa dalekim vangalaktičkim maglinama.

I misao o građi Zvezdanog sistema, a naročito o njegovom razvoju, iprimljena je kod naprednih umova sa oduševljenjem, ali sa nepoverenjem kod zvaničnih predstavnika nauke, koji su u Engleskoj većinom bili sveštenici. Heršel je došao iz Evrope, zapljusnute talasom racionalizma, i pristupio u hram boginje Uranije kao samouk, bez predrasuda. Vreme mu je u osnovi dalo za pravo.

3.0.6. Otkriće planetnih maglina

Zahvaljujući kakvoći i veličini svojih teleskopa i svojoj posmatračkoj upornosti, Heršel je u svom sistematskom pretraživanju Zvezdanog sistema naišao i na zvezde omotane kružnim, eliptičnim i prstenastim maglinama, nazvao ih je "planetne magline" u svom radu iz 1791. g. Upoređivao je njihov sjaj sa polarnom i zodijačkom svetlošću, smatrao ih je važnim za razvoj nebeskih tela.

I u Orionovoj maglini, koju je posmatrao 23 godine, zapazio je mnoge promene i oblika i sjaja. Ova su ga posmatanja navela da 1815. g. izmeni svoje zamisli o razvoju po kojima su vangalaktičke magline bili krajnji oblici u razvoju materije u Vasioni. Sad su one postale prvobitni oblici, čijim se gravitacijskim kondenzovanjem stvaraju zvezde, a zatim, opet zgušnjavanjem zvezda, stvaraju zvezdana jata i oblaci iz kojih se sastoji naš Zvezdani sistem i drugi slični.

3.0.7. Početak sistematskog izučavanja promenljivih zvezda

U to vreme počela se poklanjati veća pažnja i posmatranju promenljivih. Godine 1782. Džon Gudrajk utvrđuje krivu promene Algolova sjaja i objašnjava je obilaskom tamnog pratilca oko zvezde. Godine 1784. otkriva on promenljivost Delta Cefeja i Beta Lire, a Pigot promenljivost Eta Orla i 1745. g. promenljivost R. Štita. Tako bivaju otkrivene i nove kalase promenljivih zvezda.

No Heršel jedini dolazi na misao da podvrgne ponovnoj oceni prividne veličine svih zvezda iz Flemstidova kataloga. Za to smišlja "metodu stupnjeva", koju tek Argelander razrađuje i široko primenjuje, kao i pozniji posmatrači promenljivih. Rezultat ovog džinovskog posla su 4 Heršelova kataloga iz 1796—1799. g. i 2 izišla posle njegove smrti. Tako je on i u oblasti promenljivih zvezda bio prvi sistematski i veliki istraživač.

Svojim krupnim otkrićima i planskim radovima na upoznavanju Zvezdanog sistema udario je Heršel čvrst temelj i radovima iz ove oblasti koji će uslediti u 19. i 20. veku.

3.0.8. Sve detaljnije katalogizovanje zvezda za izučavanje građe Zvezdanog sistema

U 19. veku nije se više zadovoljavalo pretpostavkom da se naš Zvezdani sistem projektuje na nebo u Mlečni put. Trebalo je to i dokazati. Opravdati jednostavnost Zvezdanog sistema, kako njegovom građom, tako i kretanjem. Već je V. Sruve 1847. g. na osnovi Beselovih kataloga bio utvrdio zgušnjavanje slabijih zvezda oko galaktičke ravni, no za preciznija izučavanja njegove građe bili su potrebni, pre svega, bogatiji zvezdani katalogi. Tu su ulogu, posle Bonskog i Kordovskog pregleda, naročito odigrali veliki fotografski katalogi. Sem toga, trebalo je ujednačiti skalu prividnih veličina zvezda i prići masovnom i što tačnijem njihovom određivanju. Prvo su u Potsdamu i Kembridžu, krajem 19. veka, fotometrijski određene tačne prividne veličine za sve zvezde do $7^m,5$ mesto dotadanih slobodnih ocena. Pikering je protekao ovaj rad sve do zvezda 9^m i 10^m . J.K. Kaptajn je, međutim, jednim originalnim postupkom fotografski fotometrisao sve zvezde južnog neba koje je Gil snimio od 1885—1890. g. na Rtu Dobre Nade. Posle destogodišnjeg napornog rada u Groningenu on je izdao "Fotografski pregled sa Rta Dobre Nade sa 454 000 zvezda do 11^m , od 19° južne deklinacije do južnog pola sa fotografskim veličinama.

Harvardska je opservatorija izdala svoj fotometrijski katalog do zvezda 12^m u vidu zbirke foto-ploča. Karta neba je obećavala mnogo, a u međuvremenu je veliki ljubitelj astronomije Frenklin Adams od 1902—1905. g., najpre u Evropi, a zatim u Južnoj Africi, svojim izvrsnim foto-objektivom otvora 25 cm snimio svoju čuvenu i izvrsnu fotografsku kartu sa zvezdama do 15^m .

3.0.9. Izučavanje rasporeda zvezda u Zvezdanom sistemu

Da iz prividnog rasporeda zvezda na nebu, obezbeđenog zvezdanim katalogima, izvede zaključke o prostornom rasporedu zvezda u Zvezdanom sistemu prvi se pozabavio Zeligler u Minhenu od 1884–1909. g. Koristeći Pikeringove popravljene prividne veličine iz "Bonskog pregleda", utvrdio je on da broj zvezda iz jedne u drugu prividnu veličinu raste 3 puta. Prost račun međutim pokazuje da bi se pri ravnomernom rasporedu zvezda u čitavoj Vasioni njihov broj iz jedne u drugu prividnu veličinu uvećavao 4 puta. Odatle je on izveo zaključak da je naš Zvezdani sistem konačan i ograničen i da se zvezde ldući ka njegovoj periferiji proređuju. Iz toga što je sa udaljavanjem od galaktičke ravni ovo opadanje još brže, zaključio je Zeligler da je Zvezdani sistem spljošten i zbljen oko galaktičke ravni, tj. naučno potvrdio zaključke koje su izveli još V. Heršel i kasnije Argelander.

To su bili kvalitativni zaključci kada se nije vodilo računa o razlici u sjaju zvezda. Ako se i o njoj povede računa, ona se izražava tzv. "zakonom sjaja", koji daje broj zvezda u jedinici zapremine u funkciji sjaja. Sve je to Zeligler izrazio u vidu matematičkih formula. No već tada je bilo jasno da se samo brojanjem zvezda ne može otkriti preciznija građa Zvezdanog sistema, a još manje stanje zvezdanih tokova u njemu. Za to je trebalo još znati paralakse i sopstvena kretanja, kako poprečna, tako i radijalna, pa je ovome bila posvećena velika pažnja.

3.0.10. Katalogi sopstvenih kretanja i radijalnih brzina za tačnija izučavanja Sunčeva kretanja

V. Heršel je još iz sistematskog prividnog kretanja zvezda izveo zaključak da se položaj apeksa nalazi na granici između sazvežđa Herkul i Lira, a Argelander je ovo potvrdio na osnovi sopstvenih kretanja 390 zvezda koja je sam određivao. Kada je Auvers 1888. g. preradio položaje i izveo sopstvena kretanja Bredlijevih zvezda, a naročito kada je L. Bos dao svoj znameniti "Prethodni i. fundamentalni katalog" sa sopstvenim kretanjima 6188 zvezda, iskorišćene su one kao sigurniji oslonac za određivanje položaja apeksa. Skoro sve su one davale jedan isti položaj (270° , $+30^\circ$).

Pokazalo se da se ovaj položaj može odrediti i iz radijalnih brzina, pa je Kempbel 1901. g. iz 230 radijalnih brzina izveo za položaj apeksa (268° , $+25^\circ$), što je 1911. g. potvrđeno iz 1180 radijalnih brzina određenih na Lik opservatoriji. Pokazalo se da se ovim putem može odrediti i brzina Sunčeva kretanja, pa je nađeno da ona iznosi oko 20 km/s.

3.0.11. Dalja izučavanja građe Zvezdanog sistema

U 19. veku astronomi su taržili i sistematska vlastita kretanja zvezda. Jedan Medlerov pokušaj završi se neuspehom. Većina je našla da se vlastita kretanja zvezda raspoređuju slučajno. Izuzetak je M.A. Kovalski, koji je već 1859. g. pokazao da postoji tendencija zajendičkom kretanju.

Iz činjenica da Sunce za 100 godina prevaći daljinu 420 puta veću od rastojanja Zmelja—Sunce izveden je zaključak da će i paralaktičko pomeranje zvezda za 100 godina biti 420 puta veće od njihovih paralaksa. Tako je ponikao metod za određivnje daljina grupa veoma udaljenih zvezda, metod statističke paralakse. Stupila je na scenu astronomskih istraživanja Zvezdana statistika.

Devedesetih godina prošlog veka njen najveći akter bio je Kaptajn. Kad je izračunao srednje daljine zvezda treće, četvrte i pete prividne veličine, zaključio je da su one sporije rasle no što bi sledilo iz zakona opadanja sjaja s daljinom. To je značilo da je svaka dalja grupa ove vrste imala manji i pravi sjaj. Postalo je jasno da je raspored zvezda po prividnim veličinama, kako posledica njihova sjaja, tako i njihovih daljina u isto vreme i da se ova zakonitost ne može obuhvatiti jednom teorijskom formulom.

Kaptajn je problem rešio statistički, na osnovi bogatog materijala i 1901. g. dao empirijsku formulu za zvezdane paralakse u funkciji prividne veličine i sopstvenog kretanja. Ona je primenjena na sve Bredlijeve zvezde, a zatim na ogroman broj slabih zvezda. Godine 1902. Kaptajn je dao tablicu koja pruža za svaki sjaj broj zvezda u jedinici zapremine na raznim daljinama. To je u stvari bio zakon sjaja u obliku tablice. Sad se videlo da broj zvezda raste s prividnom veličinom, dostiže maksimum za zvezde 100 puta slabijeg sjaja od Sunčevog, a zatim opada, i to se raspoređuje po Gausovoj krivoj.

Godine 1908. korišćenjem bogatog posmatračkog materijala sa Harvardske i Parkerstovih sa Jerkske opservatorije, koji je sakupljen u cilju izučavanja promenljivih i zašao u šesnaestu prividnu veličinu, izveden je zaključak da se i porast broja zvezda sve slabijih prividnih veličina po kvadratnom stepenu raspoređuje po Gausovoj krivoj, no da je ona različita za razne glaktičke širine.

Švarcšild je tada pokazao da se funkcija prostorne gustine sa daljinom može izvesti iz funkcije broja zvezda u zavisnosti od prividne veličine i funkcije sjaja i da su sve to Gausovo krive. Kaptajn je tada zaključio da u Sunčovoj okolini (do oko 100 parseka) gustina ostaje uglavnom konstantna, ali da na većim daljinama neprekidno opada, i to polako u galaktičkoj ravni, a naglo upravno na nju. Površine jednake gustine bili su jako spljošteni obrtni elipsoidi, kao i površine jednakih brzina. Malo kasnije ovi su radovi ponovljeni sa većom tačnošću na još većem fotografskom materijalu u Groningenu (Holandija) i potvrdili prethodne zaključke. No Kaptajnovi radovi davali su samo grube aproksimacije.

3.0.12. Izučavanje Mlečnog Puta i otkriće tamnih maglina

I sam Mlečni Put izučavan je sa njegovim pojedinostima, naročito u 19. veku, i vizualno i fotografski. U ranijim epohama on je retko proučavan. Posle Ptolemejeva opisa i Galilejevih posmatranja, tek mu je Heršel poklonio više pažnje, naročito Džon Heršel, koji ga je od 1834—1838. g. izučavao na Rtu Dobre Nade, otkrio niz sjajnih pojedinosti u južnom delu i dao njegov crtež. Po Argelanderovoj preporuci izučavali su Mlečni Put Julijus Šmit u Atini i Eduard Hejs u Minsteru. Poslednji ga je uneo u svoj atlas severnog neba 1872. g. Južni njegov deo uneli su u svoj atlas "Uranometria Argentina" Guld i njegovi saradnici Tome i Dejvis. U 19. veku dva podrobna crteža Mlečnog Puta dali su 1892. g. O. Bediker, asistent lorda Rosa, iz Parsonstauna (Irska) i 1893. g. K. Iston, ljubitelj iz Dodrehta (Holandija). Sve se više uočavaju pojedinačni sjajni oblaci zvezda i mesta razdvojena tamnim prazninama. Zapaža se i da je na jednoj polovini neba on znatno sjajniji sa izuzetno sjajnim zgušnjeljima u sazvežđu Strelac, a na drugoj polovini znatno slabijeg sjaja.

Da se mnogo dublje prodre u njegovu građu osetno je doprinela u drugoj polovini 19. v. fotografija. Već 1869. g. objavio je Ressel u Sidnju niz dobrih snimaka. Zatim Maks Volf u Hajdelbergu, koji je prvi snimio i maglinu "Severna Amerika", i najzad E.E. Barnard 1889. g. sa Lik opservatorije daje svoje znamenite snimke. Oni su prevaziđeni fotografijama koje je isti autor nešto kasnije načinio na Brjus-teleskopu. Po njegovoj smrti izišao je njegov izvrsni atlas Mlečnog Puta. Nešto kasnije dao je sličan atlas sa još većom oštirinom Frenk Ros, poznati konstruktor dobrih objektivna.

Ove su fotografije odigrale značajnu ulogu u proučavanju ne samo Mlečnog Puta, već i našeg Zvezdanog sistema. Otkriveno je da oblaci Mlečnog Puta sadrže milione slabih zvezda, počev od 15^m i da Kaptajnova slika građe Zvezdanog sistema važi samo za "Mesni sistem", do oko 500 parseka. Na većim daljinama, do 10 000 parseka, ne samo da se Zvezdani sistem ne razređuje, već se i zgušnjava i dostiže gustinu veću od one u središtu Kaptajnovog sistema. Isti je prilikom svojih ispitivanja od 1894—1900. g. iskazao pretpostavku da je Zvezdani sistem spiralne građe sa središnjim zgušnjeljima u sazvežđu Labud i sa dve spiralne grane koje iz njega izvire. Iako ova pretpostavka nije bila daleka od istine, trebalo ju je i dokazati.

Drugo značajno otkriće, za koje treba da zahvalimo pomenutim fotografijama Mlečnog Puta, to su tamne magline u njemu: "Ugljena Vreća" u Južnom Krstu, "Konjska Glava" u Orionu, "Velika Tamna Maglina" u Zmljonoši i niz manjih. Sam Barnard ih je nabrojao 352. Pokazalo se da to nisu praznine između zvezdanih oblaka, već oblaci tamne međuzvezdane prašine koja nam zaklanja svetlost dalekih zvezda. Kada su Dajsn i Melot izmerili 1917. g. i njihove daljine, iznenadila je njihova relativna blizina, od 100—500 parseka.

3.0.13. Katalogizovanje maglina i zvezdanih jata

Ostavimo li po strani Magelanove Oblake, koji su podsećali na "otpatke" Mlečnog Puta, kao i svetle gasovite magline, o kojima je ranije bilo govora, izučavanje Mlečnog Puta pokazalo je da postoje 3 vrste magličastih tela čiji spektri svedoče da se sastoje iz zvezda, iako tadašnji teleskopi nisu mogli da ih razdvoje. Njih 5 000 obuhvatio je "Opšti katalog" Džona Heršela iz 1864. g., a 15 000 Drajzerov "Novi opšti katalog" (NGC) iz 1888. g.

Prvi tip imao je najčešće spiralan oblik i sretao se dalje od Mlečnog Puta. Drugi se sastojao iz oko 100 zbiivenih (globularnih) zvezdanih jata na čijim su se krajevima lepo videle mnogobrojne zvezde, a u njihovim središtima se nalazilo sjajno centralno zgušnjenje. Redala su se u polukrugu, na jednoj strani neba, a središte tog polukruga bilo je u sazvežđu Stelac. Treći tip su predstavljala tzv. rasturena zvezdana jata od više stotina zvezda na većim međusobnim udaljenjima i bez središnjeg zgušnjenja. Tu su ubrojane Plejade, Hijade, Jasle i dr. Ovaj tip nam je bio najbliži, a prvi najudaljeniji.

3.0.14. Otkriće međuzvezdane materije

Kada je Trimpler 1930. g. određivao spektroskopski daljine zvezda u rasturenim jatima, pokazalo se da se odnos između sjaja i veličine jata može protumačiti samo ako postoji opšte upijanje svetlosti u vasionom prostoru. Van de Kamp, na Sprul opservatoriji, i drugi, potvrdili su da zvezde izgledaju crvenije no što bi odgovaralo njihovim spektrima, što je moguće ako postoje međuzvezdana prašina i gas koji, razume se, jače upijaju i odbijaju svetlost kraće talasne dužine. Postalo je jasno i zašto se slabe spiralne i druge magline više vide u oblastima daljim od Mlečnog Puta. To su potvrdila i novija posmatranja Šepiljeva na Harvardskoj i Hablova na Maunt Vilsonovoj opservatoriji. Ova tamna materija postala je i velika prepreka u izučavanju građe Zvezdanog sistema prebrojavanjem zvezda. Počela se sve više izučavati priroda ove međuzvezdane materije. Pored tamnih oblasti, sastavljenih iz čvrstih čestica razne veličine sastoji se ona, prema Hartmanovim dokazima iz 1904. g., i iz gasova. U spektru zvezde Delta Oriona, koja ima velike promene radijalne brzine, k linija jonizovanog kalcijuma bila je nepomična. Posle 1919. g. otkriveni su i drugi atomi — natrijuma, jonizovanog titana itd. No najzanimljivija je bila činjenica da ovi razređeni gasovi nemaju proizvoljan raspored.

3.0.15. Hipoteza o dva zvezdana potoka

Kaptajn se još u početku svojih radova trudio da iz velikog broja vlastitih kretanja zvezda ispita da li postoje u njima kakve sistematičnosti, pa je 1904. g. postavio voju hipotezu "o dva zvezdana potoka". Kad je sastavio hodograf zvezdanih brzina dobio je ovalu čiji je trend ukazivao na apeks, a sem toga isticala su se još dva pravca, upravna jedan na drugi, koji su, po njegovom mišljenju, ukazivali na to da u Zvezdanom sistemu postoje dva glavna potoka zvezda koji se kreću i suprotnim smerovima ka tačkama na nebu koje je nazvao "verteksi". Za njine galaktičke koordinate našao je (91° , $+130^\circ$) i (271° , -13°). Edingtn je potvrdio ovaj rezultat 1907. g. iz svojih istraživanja, a Švarcšild je pokazao da se to može protumačiti i elipsoidnim rasporedom brzina, pri čemu su osovine elipsoida usmerene ka verteksima, što je i potvrđeno. Kasnije su nađena još neka sistematska kretanja zvezda određenih grupa.

3.0.16. Izučavanje kretanja različitih zvezdanih grupa

Još je 1896. g. Štumpe zaključio da se položaj apeksa sistematski pomera ka severo-istoku, ka sve većim galaktičkim longitudama, ako polazimo u određivanju apeksa od zvezda sve slabija sjaja i sve manjeg sopstvenog kretanja, tj. sve daljih. Stremberg je na Maunt Vilsonovoj opservatoriji od 1923—1924. g. otkrio nesimetričnost zvezdanih kretanja i izveo pravce i brzine kretanja različitih zvezdanih grupa oslanjajući se na najudaljenija nebeska tela — zbivena jata i vangalaktičke magline. Našao je da se Sunce sa čitavim našim "Mesnim sistemom" kreće brzinom od oko 300 km/s u pravcu 70° galaktičke longitude, a da se zajedno sa još izvesnim brojem zvezda kreće kroz "Mesni sistem" brzinom od oko 20 km/s. I u samom ovom sistemu postoji jedna veća grupa zvezda koje se sve kreću u jednom pravcu, prema 234° galaktičke longitude i to brzinama od 100—200 km/s.

U isto vreme otkrivena je još jedna važna grupa pojava ove vrste, kada su radijalne brzine džinovskih, vrelih zvezda u Mlečnom Putu, spektarske kalse B, oslobođene Sunčeva kretanja, pokazalo se da nema više ni "dva zvezdana potoka". Na istim zvezdama otkriven je tzv. "k-efekt" ili "Ajnštajnov crveni pomak" spektarskih linija, za koji se pokazalo da većim delom dolazi od njihovih veoma jakih gravitacijskih polja. Ovaj se efekat menjao periodično s galaktičkom longitudom.

Najzad, Frajdliih i fon der Palen su u Ajnštajnovom institutu u Potsdamu 1922. g. otkrili da radialne brzine ovih zvezda opisuju dvostruki talas u funkciji galaktičke longitude: najviše se od nas udaljavaju one koje se nalaze na oko 0° i 180° te longitude, a najviše približuju one što se nalaze na oko 90° i 270° iste longitude. Isti je talas zatim nađen i kod dalekih zvezda drugih spektarskih tipova. On je konačno objašnjen rotacijom Galaksije kao celine.

3.0.17. Otkriće i prva izučavanja galaktičke rotacije

Inspirisan ovim otkrićem i ranijim Lindbladovim teorijskim razmatranjima o mogućnosti obrtanja čitavog Zvezdanog sistema, Ort je u Lajdenu 1927. g. pružio prvu celovitu teoriju galaktičke rotacije. Našao je da se Galaksija obrće kao celina oko središta u sazvežđu Betelge, da zvezde bliže središtu obilaze oko njega većom brzinom ne one koje se nalaze dalje od njega, da i same Sunce obilazi oko ovog središta brzinom od oko 300 km/s. Tako su objašnjeni raniji nalazi Frajdliiha i fon der Palena. Kasnije je Ort podrobno razradio ovu teoriju i pokazao da je oko galaktičkog središta zblivena masa od oko 60 milijardi Sunaca, a da približno isto toliko otpada na sve zvezde koje oko njega kruže. Dalje, da Suncu treba oko 240 miliona godina da obiđe pun krug oko ovog središta Lindblad je našao da je Sunce od ovog centra udaljeno oko 9 400 parseka, te da se nalazi na oko $2/3$ poluprečnika, računajući od središta ka periferiji Galaksije. Još nije dokazano da li je naš "Mesni sistem" samo prividna pojava, kao posledica uplivanja svetlosti u tamnoj međuzvezdanoj materiji, ili predstavlja zvezdano zgušnjeno. Dž. Plasket i Dž. Pirs, na Viktorijinoj opservatoriji, pokazali su 1936. g. iz spektarskih snimaka zvezda B tipa da i sam međuzvezdani gas učestvuje u obrtanju Galaksije.

3.0.18. Današnja stremljenja u izučavanju Galaksije

U naše vreme sakupljen je ogroman posmatrački materijal koji se odnosi na razne grupe zvezda i na zvezdana jata, pa se radovi započeti u prvoj polovini 20. veka nastavljaju i od njih očekuju i nova značajna otkrića u bliskoj budućnosti. Međutim, već poslednjih decenija učinjeno je nekoliko takvih. Da pomenemo samo neka najkrunija.

Godine 1948. su Nikonov, Kalinjak i Krasovski u SSSR dobili u infracrvenom zračenju takve fotografije iz kojih se vidi da galaktičko jezero nije neprekidno, već i pored sve svoje zblivenosti, sastojeno iz zvezda.

Već 1951. g. su Morgan, Šarples i Osterbrok u SAD i Veronsov Voljaminsov u SSSR, pokazali da je građa Galaksije spiralna na osnovi rasporeda zvezda raznih spektarskih klasa u Sunčevoj okolini. Iste godine su Ort, van der Hulst i Šklovski to isto potvrdili izučavanjem radio-zračenja vodonika. Američki, pak, teoretičar Č. S. Lin uspeo je da pokaže da je spiralna građa posledica postojanja "spiralnih talasa gustine". Tamo gde talas nalazi materija se sabija, čime se stvaraju i uslovi za postanak zvezda.

Od interesa je, naposljetku, i otkriće Iseršteta iz 1968. g. da se zvezda često javljaju u grupama u kojima su raspoređene u elipsoidnim ljuskama dužine oko 23 svetlosne godine. Na snimcima neba ti se elipsoidi vide kao zvezdani prstenovi.

Ša izgradnjom sve većih teleskopa naglo raste posmatrački materijal svake vrste koji će nam u bliskoj budućnosti pružiti mnoga otkrića, pa možda i iznenađenja.

3.0.19. Radio-astronomija zvezda i Zvezdanog sistema

Zahvaljujući ubrzanom razvoju radio-astronomije učinjena su mnoga značajna otkrića poslednjih decenija. Kad je reč o Galaksiji, treba najpre reći da se sve do nedavno nijedan radio-izvor nije mogao poistovetiti s nekom zvezdom. To je tek nedavno učinjeno. Kada je postignuta izvanredna preciznost radio-interferometara, koja danas prelazi za 3 reda veličine tačnost i najtačnijih optičkih teleskopa. Ali ako se držimo istorijskog reda, valja prvo pomenuti dva opšta zračenja našeg Zvezdanog sistema: prvo, duž Mlačnog Puta, koje je najjače duž samog galaktičkog ekvatora, a i u njemu nejednako — najjače u pravcu središta Galaksije, i drugo, koje po Šklovskom dolazi od "galaktičkog haloa" ili "korona", koja stalno obuhvata naš Zvezdani sistem i prostire se još mnogo dalje.

Samo jezgro, prema stanju njegova Infracrvenog spektra, sastoji se iz džinovskog zvezdanog jata crvenih zvezda poznatijeg sprektarskog tipa, hladnijih no što su zvezde u granama Galaksije. U njihovom središtu vidi se sjajno zgušnjene — "nukleus" u čijem se centru zapaža jedna svetla tačka. Materija iz nukleusa ističe u Zvezdani sistem. Nije isključena ni mogućnost eruptivnih procesa, pa čak i neka vrsta lančane reakcije koja se povremeno pojavljuje u njemu. Zato je danas njegovo izučavanje od izvanrednog značaja, kako za građu i dinamiku, tako i za kosmogoniju Galaksije. U nukleusu su otkrivena tri izvora termičkog i jedan (u samom centru) sinhrotronskog radio-zračenja.

Treći opšti radio-izvor u Galaksiji je neutralni vodonik, čiju su liniju na 21 cm talasne dužine otkrili skoro jednovremeno Ivn i Parsel u SAD, Miller i Ort u Holandiji i Kristijansen i Hindmen u Australiji 1952. g., a 1945. g. teorijski je predskazali van de Hulst i Šklovski, nezavisno. Kasnije je uz velike napore K. Milera, G. Vestershuta i J. Orta, u Holandiji, i F. Kerove grupe u Australiji, izučen raspored neutralnog vodonika; kasnije je izučen i raspored jonizovanog vodonika, pa je potvrđena spiralna građa Galaksije, koja je nešto ranije teškom mukom dokazana iz optičkih posmatranja, ali samo u Sunčevoj okolini.

Na poslednjim radio-astronomskim simpozijumima doneti su dokazni materijali o postojanju više vrsta diskretnih radio-izvora u Galaksiji koji su vezani za zvezde. Od netermičkih radio-izvora tu spadaju Algolidi, koje su definitivnije ispitali 1974. g. Džipson i Hjelming. Ovim zvezdama se obično pridružuju promenljive tipa CC Cas, b Per, Beta Lyr, pa i RS C Ven. Pretpostavlja se da su uzrok radio-zračenja ovih izvora džinovske erupcije gasa. Drugi izvor su zvezde koje šalju X-zračenje. Po E.R. Sekvistu i Gregoriju (1974) prototip bi njihov bio Cig X-3. Treći izvor predstavljaju ostaci supernova, bilo da su to planetne magline (Rak—maglina, V. Bade i R. Minkovski, 1953) ili zvezde tipa SS 433 (Morgan i dr., 1979; Libert i dr., 1979) ili ostaci koji šalju X-zračenje, kao Cir X-1. Najzad, u četvrtu vrstu spadaju promenljive tipa RS C Ven, koje smo ranije pomenuli.

Danas je utvrđeno i više termičkih vrsta radio-izvora zvezdanog porekla. Prvo, to su zvezde sa emisijskim linijama (C.R. Partn i dr., 1973). Drugi izvor su tzv. simbiotske zvezde (Bojarčuk, 1969), koje s prethodnim imaju kao zajedničku osobinu gasoviti usijani omotač. Treći su izvor nove (Hjelming i Vade, 1970). Četvrti su superdžinovi s velikim gasnim omotačima i odlikom da gube znatne mase. Tu možemo, najzad, priključiti i super-džinove ranog tipa kao i Volf-Rajeove zvezde.

U najvažnije termičke radio-izvore spadaju difuzne magline kao: Orionova, Detelina, Omega i dr. (Hedok, Majer i Sloneker, SAD). Američki i sovjetski radio-astronomi su 1971. g. posmatrali kompaktna tela u maglinama W3, W49, i Orionovoj (u liniji vodene pare). Posmatranja su vršena na 22-metarskom radio-teleskopu Krimске opservatorije (SSSR) i na 37 metarskom Hajstakске (SAD). Rastojanje je iznosilo 7350 km, što je omogućilo razdvajanje od 0",0036, maksimalno moguće. Izvor W49 pokazalo se da se sastoji iz razdvojenih sitnijih tela, čije razmere nisu veće od poluprečnika Jupiterove putanje. Zapažene su brze promene potoka zračenja, što svedoči o vrlo velikoj aktivnosti procesa koji se tamo događaju i oslobađaju ogromne energije. Nije isključeno da smo, baš zahvaljujući velikoj preciznosti radio-astronomije, tu na tragu postanka zvezda ili čak i planetskih sistema.

3.0.20. Otkriće pulsara

Jula 1967. g. su počela posmatranja na osnovi kojih je E. Hjuš, sa Radio-astronomске opservatorije Kembridžskog univerziteta (Engleska), otkrio sa svojom grupom još jednu vrstu diskretnog, tačkastog radio-izvora u Galaksiji — pulsare. Konstruisao je on vrlo osetljivi radio-teleskop, sposoban da prima i više promena jačine radio-zračenja u sekundi, da bi izučavao kvazare. Krajem jula saradnica Džoselin Bel, primetila je ravnomerno razmaknute signale, po 3 u sekundi, od jednog tačkastog izvora koji ima stalan položaj na nebeskoj sferi. Pošto su otklonjene sve mogućnosti drugih izvora, novembra 1967. g., je utvrđeno da su impulsi ovog izvora promenljivi, ali da stižu strogo ravnomerno u razmacima od 1,337 301 13 sekunde s tačnošću od stotimilionitog dela sekunde. Ubrzo su otkrivena još 3 ovakva izvora — koji su nazvani "pulsarima".

Uproni izučavanjem je uskoro nađeno da trajanje pojedinog impulsa iznosi samo 10—12 milisekunda, tj. da ga zrači telo čiji prečnik ne prelazi nekoliko hiljada kilometara. Raspored impulsa po talasnoj dužini ukazivao je na to da signal od pulsara prolazi kroz vliku količinu međuzvezdanog gasa — delimično jonizovanog vodonika, u blizini Mlačnog Puta. Iz poznavanja njegove gustine nađeno je da daljina pulsara, koji je bio u pitanju, iznosi nekoliko stotina svetlosnih godina. Pošto su razne pretpostavke isključene, ubrzo je nađeno da je u pitanju iz-

vanredno gusta neutronska zvezda; u dva slučaja ustanovljeno je da je ostatak supernove, koja se obrne više puta u sekundi i koja zrači samo sa jednog dela svoje površine. Ovo zračenje mi primamo samo od onih pulsara čiji je snop ka nama uperen. Danas je poznato oko 350 pulsara. Poreklo njihove energije još nije konačno objašnjeno, pretpostavlja se da se energija obrtanja zvezde pretvara u energiju zračenja, no isto tako i da postoji izvesno međudejstvo između magnetnog polja zvezde i jonizovanih gasova preostale magline koja je okružuje.

Od osobitog značaja su bili pulsari otkriveni u Rak-maglini i Vela-maglini. Za prve je nađeno da zrače slične impulse i u optičkom i u X—području spektra. Zapaženo je i sistematsko malo usporavanje impulsa koje se tumači utroškom energije. Raspored pulsara na nebu pokazuje da se nalaze uglavnom u blizini Mlečnog Puta, što sa izmerenim daljinama ukazuje jasno da oni pripadaju Galaksiji. Pored nekoliko pulsara u ostacima supernova, danas su pronađeni i mnogi za koje nije dokazano da su za njih vezani. Njihovo se izučavanje živo nastavlja a već se koriste i za niz primena.

Glava četvrta OSNIVANJE I RAZVOJ ASTROFIZIKE

Vizualna, fotografska, fotometrijska, spektroskopska, radio-astronomska i dr. istraživanja tela Sunčeva sistema, Sunca, zvezda, zvezdanih jata, maglina i glaksija. Astonomija nevidljivog. Kosmički zraci. Pozadinsko zračenje.

U 18. veku su već bile utanačene smernice astrometrijskih istraživanja, a duh vremena (racionalizam i pojačan interes za prirodne nauke) nagonio je astronome da se sve više posvećuju kvalitativnim, a zatim i kvantitativnim izučavanjima, ne samo spoljnog izgleda naših suseda, već i njihovih fizičkih osobina, da se zatim pređe na Sunce, zvezde i zvezdane sisteme. Razume se da su ova nova istraživanja bila oslonjena na nova otkrića i pronalasku u fizici, od kojih je skoro svaki krupniji odmah bio iskorišćen i za istraživanja nebeskih tela i pojava. U 19. v. postupno se rađala jedna sasvim nova grana astronomije — astrofizika, koja je sa vremenom sve više potiskivala kalsična astrometrijska istraživanja. U njoj su se jasno obrazovala 4 područja: istraživanja Planetskog sistema, Sunca, glakatičkih i vangalaktičkih tela, pa će tim redom i ovde najkrupnija istraživanja biti pregledana.

Odeljak prvi Izučavanje tela Sunčeva sistema

Prva izučavanja u ovoj novoj grani, i u njenoj prvoj oblasti bila su, prirodno, okrenuta ka najbližem nam i najpristupačnijem nebeskom telu, Zemljinom prirodnom pratiocu — Mesecu.

4.1.1. Istraživanja Meseca

Dobar deo naučne radoznalosti u 18. veku bio je pokrenut težnjom da se sazna ima li živih bića na Mesecu i drugim obližnjim nebeskim telima. I sam V. Heršel i mnogi njegovi savremenici verovali su u to. Prvi je Besel 1834. g., na osnovi posmatranja okultacija zvezda Mesecom, pokazao da Mesec praktično nema atmosfere kao prvi životni uslov. Gubitak atmosfere prvi je objasnio 1870. g. Džonston Stoni slabom Mesečevom gravitacijom, a zatim je ova teorija usavršavana i okončana Džinsovim i Milnovim radovima na dublji matematički način.

Prvi dalji zadatak bio je da se sastavi što detaljnija i preciznija karta Meseca. Najpre je Lorman, osnivač Drezdenske opservatorije, sastavio ovakvu kartu, služeći se geodetskim metodama. I Šreter, ondašnji ljubitelj, načinio je niz crteža služeći se svojim malim teleskopom. Godine 1828. V. Ber i I. G. Medler, služeći se teleskopom otvora 108 mm, započeli su obiman rad na podrobnoj i preciznoj karti Meseca, utvrdivši najpre oslone tačke u odnosu na koje su mikrometrom određivali položaje pojedinosti. Sem toga, odredili su i visine velikog broja planinskih vrhova. Rad je trajao 8 godina, a dobivena karta imala je 1 m u prečniku i objavljena je 1836. g. Nikakve promene na Mesecu za sve to vreme nisu bile zapažene. Prvu potpuniju kartu, 2 m prečnika, izradio je Julijus Šmit, u Atini, i objavljena je 1878. g. U Engleskoj je Nejsn izdao 1876. g. monografiju o Mesecu sa brojnim crtežima.

Prvu promenu na Mesecu primetio je J. Šmit 1866. g., nestanak kratera Line, na čijem se mestu pojavila beličasta zaravan, a opažane su i kasnije minimalne promene, ali nijedna nije dokazana.

Prvu dobru fotografsku kartu Meseca izradio je 1850. g. V.K. Bond, direktor Harvardske opservatorije. Voren de la Ri je, u Engleskoj, 1852. g. dobio snimak s prečnikom 28 mm takvog kvaliteta da se mogao uveličati do 20 puta. Zatim je Henri Dreper 1863. g. sopstvenim ogledalom dobio snimak prečnika 32 mm koji je uveličao na 90 cm.

Rad je unapređen sa upotrebom suvih brom-želatinskih ploča 1871. g., a naročito s dugožičnim teleskopima, kao što su bili onaj u Liku od 14,5 m žižne daljine, a zatim pariski laktasti na kome su Loevi i Plize 1894. g. dobili izvanredne snimke prečnika 18 cm, koji su dali čuvenu kartu 2,6 m prečnika. Još sitnije pojedinosti dali su kasnije reflektori od 90 cm u Jerksu i od 2,5 m na Maunt-Vilsnu.

Pokazalo se, međutim, da vizualna posmatranja, naročito manjim teleskopima, mogu dati tanane pojedinosti. Fotografski snimci sadržali su svojstvo dokumenta i služili kao rukovodstvo za dopunu vizualno očeđenih tvorevina. Otada mnogi ljubitelji ovaj posao obavljaju sa uspehom. Od profesionalaca su se u ovom radu istakli Kriger (karte iz 1898–1912. g.) i Gudakr (karta iz 1910. g.).

U 19. veku obraćena je pažnja na dva pitanja: da li postoje i otkud dolaze promene na Mesecu i zašto se oblici mesečeve površi toliko razlikuju od onih na Zemlji? Na prvo pitanje bilo je samo pogrešnih odgovora.

Razliku između Mesečeva i Zemljina reljefa, pak, Proktor je 1873. g. objašnjavao postankom Mesečevih kratera čestim udarima meteorita zbog odsustva atmosfere. Izlivi tečne Mesečeve utrobe stvarali su zatim prstenaste planine oko kratera. Zemlju od meteorskih udara, međutim, štiti atmosfera, a i erozija briše ovakve moguće tragove.

Međutim, drugi su astronomi, naročito Piize 1896. g., postavili hipotezu o postanku kratera radom unutrašnjih sila. Ebert im je dodao i jake plimske sile koje potiču od Zemlje.

4.1.2. Izučavanje Marsa

Polovinom 19. veka splasnulo je interes za Mesec, jer se videlo da on ne može biti nastanjen zbog odsustva atmosfere i vode. Tada su se astronomi bacili na izučavanje planete Mars, čija se površ vidi najbolje. Već krajem 18 veka Heršel i Šreter izradili su prve crteže Marsove površi, ali se na njima vide samo magloviti obrisi. Oni su pretpostavljali da su to oblaci u Marsovoj atmosferi. Ber i Madler su 1830. g. započeli učestano posmatranje Marsa, koje je dovelo posle 10 godina do prve Marsove karte. Na njoj se već vide oštro ograničeni oblici površi. Oni se praktično ne menjaju, te se dolazi do saznanja da je to što vidimo sama površ planete. Godine 1862. Lokajer u Engleskoj i Kajzer u Lajdenu vide većim teleskopom i više pojedinosti. Godine 1858. Seki u Rimu još većim instrumentom zapaža prvi boje — crvenkaste i tamnozelenkaste na površi planete. Upoređivanjem svojih crteža sa Hukovim i Hajgensovim Kajzer nalazi za vreme rotacije Marsa $24^{\text{h}}37^{\text{m}}22^{\text{s}},6$, dostižući tačnost od $0^{\text{s}},1$. Zatim je zapažena mala promena u prelivima boja i u oblicima pega. Crvenkaste pege su nazvane pustinjama, a tamnozelenkaste morima. Smatralo se da su ona veoma plitka i ispunjena primitivnim rastinjem. Sezonske promene polarnih kapa govorile su da su one sastavljene od snega i leda. Uslovi za život izgledali su slični onim na Zemlji sa nižom srednjom temperaturom, znatno ređom atmosferom i oskudicom u vodi. Smatralo se, rečju, da je to svet kao i naš, samo na starijem stupnju razvoja.

Godine 1877. D. Skjapareli je u Milanu pošao dalje, odredio je mikrometrom tačne položaje oko 60 tačaka i stvorio osnovu za precizno kartiranje. Odredio je i pravac obrtne ose Marsa. Na južnom polu je zapazio tanke trake koje presecaju severnije pustinjske oblasti i proglasio ih "kanalima", iako su morali imati širinu od mnogo kilometara da bi se na toj daljini videli, a i znalo se već da na Marsu ima vrlo malo vode. Godine 1881. zapazio je on udvostručavanje kanala. Godine 1892. objavio je opširan članak s obojenom kartom Marsa. Većina astronoma nije mogla ove pojave zapaziti, no neki su se, verovatno s predubedenjem, izjasnili da su videli kanale. Počelo se pomišljati na postojanje razumnih bića koja se služe vodom sa polarnih kapa za navodnjavanje velikih Marsovih pustinja.

Godine 1888. Holden i Kiler uperili su novi veliki teleskop 90 cm otvora sa Lik opservatorije na Mars. Tada se došlo do dva važna saznanja: prvo, nikakvi kanali nisu se videli; drugo, veliki instrumenti i uvećanja smanjuju kontrast na slici i nisu podesni za posmatranje planeta. Zaključilo se da su "kanali" verovatno optička obmana izazvana osobinom oka da pri slabom osvetljenju povezuje sitne pojedinosti. Ovo je dokazano i nizom oglada. Treba pomenuti i popularnu knjigu "Planeta Mars i uslovi nastanjenosti na njoj", koju je izdao čuveni francuski popularizator Kamij Flamarion 1892. g. i u kojoj s velikom maštovitošću zamišlja stanovnike Marsa i sve okolnosti na toj planeti. Ova knjiga je posejala čitavu epidemiju na svetu u prilog pogrešnoj Skjaporelijevoj pretpostavci, slično Denikenovim komercijalnim knjižicama u kojima "dokazuje" da su Zemlju nekada posetila razumna bića sa drugih svetova.

Bogati ljubitelj astronomije P. Lovel podigao je u Falgstdifu (SAD) 1894. g. opservatoriju da bi odgonetnuo zagonetku Marsa. Klarkovim teleskopom 60 cm otvora posmatrao je on Mars i "otkrio" još 180 novih kanala. Međutim, kada je Antonijadi 1909. g. započeo izučavanje Marsa na medonskom refraktoru 83 cm otvora i produžio ga 20 goidna, pokazalo se da na Marsu ne postoje nikakvi kanali, već da duž pretpostavljenih kanala postoji niz sitnih pojedinosti koje se vide razdvojene u džinovskom teleskopu. Ponekad su za kanale smatrane granice površi različite boje ili osvetljenja. Antonijadi je, sem toga, otkrio bele, retke povremene oblačiće i peščane bure, koje su i kasnije potvrđene. Najzad, sezonsku promenu boja koja je najduže ostala zagonetna.

Karajem 19. veka usavršena je fotografija i primenjena na posmatranje planeta. Slike planeta u žižnim ravnima teleskopa imale su jedva nekoliko milimetara, pa je pri većem uveličanju smetala zrnasta građa osetljivog sloja da se vide sitnije pojedinosti. Tome se pridružilo i treperenje atmosfere. No ipak, na snimcima Marsa koje su dobili 1909. g. Barnard, 1924. g. Rajt i Templer, 1928 g. Slajfer, kao i Ros na Maunt-Vilsnu, jasno su se zapazili svi oblici kao i pri vizualnim posmatranjima. Od "kanala" nije bilo ni traga. Rajt je snimao Mars pločama osetljivim na razne boje, pa se pokazalo da se najviše pojedinosti vidi u crvenoj svetlosti i infracrvenim zracima. To je objašnjeno rasejavanjem svetlosti kraćih talasnih dužina u Marsovoj atmosferi, koja lako propušta crvenu svetlost.

Bernar Lio je u Medonu otkrio novu metodu fotografskog posmatranja planeta, koja najviše obećava. Ona se sastoji u tome da se brzo, jedno za drugim, načini veliki broj snimaka kratkim izlaganjem. Smetnje od zrnaste građe pojedinih snimaka među sobom se izravnavaju i daju neprekidnu pozadinu, a sve pojedinosti, i najsitnije, na njoj su mnogo izrazitije.

4.1.3. Izučavanje ostalih planeta

Ostale planete manje su posmatrane zbog njihove daljine ili drugih nepristupačnosti. Prvi je Skjapareli 1881. g. otkrio na Merkuru tamne maglovite pege koje nisu menjale položaj prema terminatoru i zaključio da je planeta stalno okrenuta Suncu istom stranom i da ima jednak period rotacije i revolucije, što je potvrdio i Lovel. Antonijadi je od 1924–1929. g. načinio mnoštvo crteža pomoću medonskog vleikog refraktora i utvrdio gore pomenute periode na 88 dana. Potvrdio je s još većom jasnoćom i tamne oblike na površi planete koje je otkrio Skjapareli. Sem toga, zapazio je i male bele pege promenljiva položaja za koje je držao da su oblaci prašine. Da praktično nema atmosfere zbog slabe gravitacije još se ranije znalo iz računa.

Prvi je Lomonosov 1761. g. otkrio Venerinu atmosferu za vreme njena prolaza preko Sunčeva kotura. I kasnije je ovo na više načina provereno. De Viko, iz Rima je 1839. g. "zapazio" na Veneri iste pege koje i Bjankini 100 godina ranije, pa je odatle izveo za period Venerine rotacije $23^h 21^m 22^s$. Međutim, Skjapareli je našao da je uvek okrenuta Suncu istom stranom, kao i Merkur, i za period rotacije i revolucije dobio 225 dana. Posle toga mnogi su posmatrači našli da se planetina površ ne vidi od guste atmosfere.

Osnovne odlike Jupiterove površi utvrđene su već u 18. veku. U 19. veku su potvrđene tamne pruge na obema poluloptama, svetla duž ekvatora, velika brzina obrtanja (10^h) i velika spljoštenost. Otkrivene su pege koje brzo menjaju položaje, pa se odmah uvidelo da ni površ Jupitera ne vidimo od guste i visoke atmosfere. Otkrivena je i zonska rotacija. Na ovome su mnogo radili F. Bredihin i N. Žukovski. Mnogi su se posmatrači u 19. veku opredelili da prate promenljivi izgled ove planete i zapazili na njoj crvenkaste i zelenkaste mrlje koje se povremeno obrazuju i zatim nestaju. Godine 1878. zapažena je velika Crvena pega, koja povremeno pomalo menja svoju

obojenost i polako se kreće po planetinom koturu. Određen je i period njene rotacije od 9^h55^m , koji se skratio posle 1910. g. Istraživanjima je utvrđeno da je Crvena pega viđena još 1859. g., a izgleda po nekim zapisima i 1831. g.

Ni na Saturnu se ništa nije dalo zapaziti osim guste atmosfere i tamnih pruga naporedo sa ekvatorom. Ponekad se pojavi kakva svetla pega koja duže potraje, pa je mogao da se odredi i period rotacije. Tako je Asaf Hol 1876. g. našao za ekvator $10^h14^m24^s$, Stenli Vilijems 1894. g. $10^h12^m13^s$, a Dening i Barnard 1903. g. za širinu 36° , $10^h38^m - 10^h39^m$. Dakle, i tu je utvrđena zonska rotacija. Merenjem je nađena još veća spljoštenost nego kog Jupitera. O prstenu je već bilo govora, a na nj ćemo se vratiti i malo kasnije, kad budemo govorili o primeni fotometrije i spektarske analize na izučavanje planeta.

Za Uran je utvrđena zelenkasta boja i slabe pruge paralelne ekvatoru, ponekad i neka pega koja je omogućila da se odredi period rotacije. Nađeno je da mu obrtna osa leži skoro u ravni putanje. Izmerena je i velika spljoštenost (1/12).

Na Neptunu i Plutonu, zbog njihovih velikih udaljenosti, ništa se nije moglo razaznati na površima ni vizualnim ni fotografskim metodama.

4.1.4. Otkrića satelita

U 19. veku potvrđeno je da Merkur i Venera nemaju satelita, iako je više puta, kao rezultat optičke obmane, bio "viđen" Venerin satelit. Godine 1877. je Asaf Hol velikim vašingtonskim teleskopom 165 cm otvora otkrio dva mala Marsova satelita, Fobos i Dejmos, koji su astronome iznenadili ne smao sićušnim dimenzijama, već i bliskošću planeti i veoma kratkim periodima revolucija.

Godine 1892. Barnard otkriva velikim likskim teleskopom 5. Jupiterov mali satelit ($R = 80$ km), Amalteu, najbliži planeti, koji je zadavao grdne muke nebeskim mehaničarima. Na većim daljinama od prva četiri Galilejeva satelita otkrivena su fotografski još 4: Perin nalazi 1904. i 1905. Himaliju i Elaru, Melot 1908. g. Pazife i Nikolsn 1914. g. Sinope. Zatim, na znatno većim daljinama od planete, Nikolsn 1938. g. otkriva: Liziteu i Karme i 1951. g. Anake. Nedavno je Dolfis otkrio i 13. Janus, a S. Kael 14., no ovaj poslednji je izgubljen. Zato je "Voidžer I" našao 1979. g. novi i 14. koji je nazvan Leda. Ekscentričnošću i većim nagibima putanje, a neki spoljni i retrogradnim kretanjem, izazivali su velike nedoumice, kako u nebeskoj mehanici, tako i u kosmogoniji. Međunarodna astronomska unija je Jupiterovim satelitima 6. – 13. dala imena tek 1976. g. Oni čija se imena završavaju na a kreću se direktno, a oni čija se imena završavaju na e retrogradno oko planeta.

Snimci sa 13 cm Voidžera i (marta 1979. g.) su pokazali da Jupiter ima prsten čestica i prašine na visini od 57 000 km iznad atmosfere, koji leži u ekvatorskoj ravni.

Krajem 18. veka bilo je poznato 7 Saturnovih satelita: Hajgens je 1655. g. otkrio Titan, Ž.D. Kasini 1671. g. Japetus i 1672. Reu, a 1684. Tetis i Dione, a H. Hajgens 1789. Mimas i Enceladus. Godine 1848. Bond i Lasel, nezavisno, otkrivaju i 8. Hiperion. Godine 1898. Pikerin je fotografski otkrio, znatno dalje od planete, sićušni 9. satelit Febe, s velikim nagibom putanje i retrogradnim kretanjem. Nedavno su otkriveni 10. i 11., a "Voidžer I" 1979. g. otkriva sve do 15. među samim prstenima.

Posle dva Uranova satelita, Titanije i Oberona, koje je našao V. Heršel još 1787. g., otkrio je Lasel 1851. g. još dva slaba, Arjela i Umbrjela, a poslednji, Mirandu, našo je Kajper 1948. g. Zanimljivo je da su ravni kretanja ovih satelita skoro upravne na planetinoj obrtnoj osi.

Godine 1977. otkriveno je pet veoma slabačkih Uranovih prstena fotoelektrički, pomoću Kajperove opservatorije postavljene na naročitom avionu, prilikom posmatranja okultacije zvezde SAO 158 687.

Ubrzo posle Neptunova otkrića, 1846. g. je Lasel našao prvi njegov satelit, Triton, takođe s velikim nagibom putanje i retrogradnim kretanjem. Godine 1949. Kajper je otkrio i drugi, Nereid. Za astronome je bila zanimljiva činjenica da su neki od satelita veći od Meseca i Merkura, mnogi reda veličine prosečnih planetoida, dok su dva Marsova tako mala da se ne bi ni videla da nam nisu izuzetno blizu. Postojanje Plutonova satelita nije potvrđeno.

4.1.5. Istraživanje planetskih unutrašnjosti

Devetaniesti vek nam je pružio znanja i o masama planeta iz kretanja njihovih satelita ili iz poremećaja koje trpe. Iz prividnih prečnika i paralaksa nađene su i njihove zapremine, iz ovih poslednjih i masa dobivene su i srednje gustine planeta u odnosu na Zemljinu kao jedinicu. I sama Zemljina masa određena je u 18. veku iz tananih oglada privlačenja dve mase u laboratoriji (Kevendiš). Rezultat 5,5 za srednju Zemljinu gustinu, govorio je da je masa Zemljinog jezgra, znatno gušća, približno 10, tj. sastavljena od metala. Za Mesec je srednja gustina bila 3,3, a za planete po redu daljina od Sunca: 3,8; 4,9; 4,0; 1,3; 0,7; 1,3 i 1,6. Iz malih gustina džinovskih planeta zaključeno je da imaju malo čvrsto jezgro i vrlo visoke atmosfere. Još u 18. veku Kleru je pokazao da spljoštenost planete zavisi ne samo od brzine obrtanja, nego i od rasporeda gustine idući ka njenom središtu. Zato je iz merenih spljoštenosti određen i približan raspored slojeva raznih gustina u planetama. Analizom seizmograma Vihert je 1897. g. odredio i raspored Zemljinih slojeva: jezgro, omotač i kora. Džefrejs je tada računski za zemljolike planete našao manja metalna jezgra od Zemljinog, za Mesec odsustvo ovakvog jezgra, a za gornje planete potvrdio raniji nalaz.

4.1.6. Fotometrijska i polarimetrijska izučavanja planeta

Sa razvojem fotografskih, fotometrijskih, polarimetrijskih, radiometrijskih, bolometrijskih i spektraskih metoda, naročito u drugoj polovini 19. veka, astrofizika je krenula džinovskim koracima u poznavanju tela Sunčeva sistema, a zatim i zvezda. Još je 1729. g. Buge izvršio niz fotometrijskih merenja, a 1760. g. Lambert postavio prvu teoriju odbijanja svetlosti od hrapavih površina i uveo pojam "albeda". No prva praktična fotometrijska merenja zvezda izvršio je Džon Heršel počev od 1836. g. za vreme četvorogodišnjeg boravka na Rtu Dobre Nade, svojim "astrometrom". U njemu je mesto veštačke zvezde stvorio zvezoliki lik Meseca, a posmatranu zvezdu s njim izjednačavao po sjaju udaljavajući Mesečev lik. Jačinu sjaja posmatrane zvezde određivao je tada koristeći osnovni zakon optike da sjaj slabi s kvadratom daljine. Pri tom su se javljale velike greške. Osetan napredak u astrofotometriji nastupio je sa Celnerovim fotometrom, gde je sjaj veštačke zvezde slabljen okretanjem Nikolove prizme sve dok se ne izjednači sa sjajem posmatrane zvezde. Iz ugla obrtanja prizme tada je izračunavan sjaj zvezde.

Celner ga je primenio i na određivanje Mesečevog površinskog sjaja i utvrdio da oštar maksimum sjaja nastupa malo pre uštapa, a da zatim opada srazmerno uglu faze, tj. uglu koji vizura zaklapa s pravcem padanja Sunčevih zrakova na Mesec. Upoređivanjem s Lambertovom teorijom Celner je zaključio da je Mesec veoma hrapave površi i pokazao da uvećanje faznog ugla za 1° (tzv. fazni koeficijent) može služiti kao mera neravnosti posmatranog nebeskog tela. Upoređujući Mesečev sjaj sa Sunčevim našao je da je poslednji 618 000 puta veći. Kasnije je iz velikog broja merenja utvrđen na 465 000. Albedo koje je Celner utvrdio za Mesec (0,17) kasnije se pokazalo 10 puta manje, odakle je zaključeno da se njegova kora sastoji iz vrlo tamnih minerala.

Celner je od 1862–1864. g. odredio i površinski sjaj planeta. Za Mars je našao veliki fazni koeficijent, a za sve planete velika albeda. Na ovome su s još većim uspehom radili od 1877–1893. g. G. Miler i P. Kempf na Potsdamskoj opservatoriji. Veliki fazni koeficijent a malo albedo pokazali su da je Merkurova površina slična Mesečevoj i da praktično on nema atmosfere. Obrnut slučaj kod Venere ukazivao je na njenu gustu atmosferu velike odbojne moći. Mali fazni koeficijent, a veliko albedo ukazivali su na gustu atmosferu kod Jupitera, slično i kod Saturna i Urana, gde se fazni koeficijenti nisu mogli odrediti zbog malih faza, ali su velika albeda ukazivala na gornje zaključke.

Maksvelovo teorijsko predviđanje da se Saturnovi prsteni sastoje iz sitnih meteora koji se oko planete kreću po Keplerovim zakonima potvrdio je Kirkvud, koji je objasnio i razdelnice prstena na isti način kao i praznine u planetoidnom prstenu. Godine 1850. Bond je otkrio i prozračni prsten, blizak planeti. Miler je, određujući fazni koeficijent Saturna pri nevidljivom prstenu i postupno u toku njegova pojavljivanja, potvrdio Maksvelovu pretpostavku fotometrijski. Tumačenje je podrobno dao Zeliger iz Minhena.

Kada su u našem veku usavršeni polariskopi i mogli dati stupanj polarizacije svetlosti do na 0,1%, B. Lio je u Medonu, počev od 1924. g., odredio polarizacije planetskih površi u funkciji faznog ugla. Za Mesec je ova funkcija imala vrlo nejednak hod, čas pozitivan, čas negativan. Upoređujući je s odnosnim funkcijama Zemljinih minerala, videlo se da je Mesečeva površ po sastavu najpribližnija vulkanskom pepelu. Slično je dobiveno i za Merkur. Za Veneru je tim putem utvrđeno da vidimo ne samo površ atmosfere, već da naš pogled seže i duboko u njenu atmosferu koja ima građu retke bele magle, čiji se i prečnik kapljica ovom metodom da odrediti. Za Marsovu površ se dobilo da je slična peščaru. Potvrđene su i peščane bure. Za Jupiter i Saturn, zbog malog faznog ugla, mogla se utvrditi samo razlika u prirodi njihovih ekvatorskih i polarnih oblasti.

4.1.7. Radiometrijska određivanja

Tek su u 19. veku nađeni veoma osetljivi instrumenti za merenje toplotnog zračenja Meseca i planeta. Mesečevo toplotno zračenje prvi je određivao Meloni 1846. g. svojim termostubom, a od 1869–1872. g. lord Ros istim instrumentom. Sunčevo kratkotalasno toplotno zračenje odbiveno od Meseca razdvajano je od zračenja na dužim talasima, koje potiče od zaostale toplotne energije samog Meseca, propuštanjem zračenja kroz vodu, a kasnije i kroz druge materijale. Lor Rod je tako našao da 14% Mesečevog toplotnog zračenja dolazi od Sunca, a 86% od samog Meseca. Odatle je izračunao da razlika između temperature osvetljene i neosvetljene Mesečeve polovine iznosi oko 300° . Vern je 1874. g. na Opservatoriji Alegenj došao do rezultata da je temperatura osvetljene polovine znatno viša od 100° , a neosvetljene oko 100°C .

Primena vrlo osetljivog Kruksovog radiometra, i kasnije sve osetljivijih termoelemenata, dala je podatke o temperaturama planetskih površi. Nikolsn i Petit tako su našli, na Maunt-Vilsn opservatoriji, da se za vreme potpunog Mesečeva pomračenja 1927. g. njegova temperatura menja od $+70^{\circ}\text{C}$ do -120°C . Iz merenja Koblenca i Lamplanda 1926. g., na Lovelvoj opservatoriji, Mencil je izveo zaključak da podnevna temperatura na Marsu dostiže nešto više od 0°C , i to tamnih oblasti malo više od svetlih. Izjutra, temperatura počinje da raste od -100°C . Tada se već ozbiljno posumnjalo u mogućnost života na Marsu. Za Merkur je nađena temperatura od 400°C , a za osvetljeni i neosvetljeni deo Venere 60°C i -20°C . Otud je zaključeno da period njene rotacije ne može biti toliko dug koliko i period revolucije (225 dana). Za temperature Jupitera, Saturna i Urana nađeno je -130°C , -150°C , odn. -200°C . Potvrđena je Džefrejsova sumnja iz 1923. g. da Jupiterova toplota dolazi od Sunčeva zračenja, a da je vrlo neznatna njegova sopstvena toplota da bi mogla biti uzrok turbulencije u njegovoj atmosferi.

4.1.8. Spektroskopija planeta

Posle otkrića spektarske analize 1859. g. (Kirhof i Bunzen) započinju njenu primenu na zvezde i planete Heginis u Engleskoj, Seki u Italiji, Rezford u Amerlici, Fogel u Nemačkoj i Bredihin i Bjelopolski u Rusiji. Odmah je nađeno da su spektri planeta identični sa Sunčevim. Kad je krajem 19. veka, zahvaljujući fotografiji, pvoećana tačnost u merenju položaja spektarskih linija, počele su se određivati radialne brzine, pa i brzine rotacija planeta. Kad je otrov spektroskopa postavljen duž Jupiterova ekvatora, primećen je nagib spektarskih linija i odatle određena brzina planetine rotacije. Kod Saturna su otkrili 1895. g. Kiler, na Lik opservatoriji i Bjelopolski u Pulkovu, takođe ovaj nagib iz koga je izvedena brzina rotacije planete, koja se dobro slaže i s današnjim određivanjima. No tada je primećen i suprotni nagib linija dobivenih od jednog i drugog kraja prstena. Izvedene su brzine pojedinih prstena i potvrđena je Meksvelova teorija. Slajfer 1911. g. istim metodom određuje period rotacije Urana ($10^{\text{h}}7$) i iz njega dobiva spljoštenost od $1/12$, koja se slaže s neposredno izmernom. Primenujući ovaj metod na Veneru, Slajfer 1903. g. nije našao nikakav nagib spektarskih linija, što je, s obzirom na tačnost spektrografa, značilo da rotacija Venere mora iznositi bar nekoliko nedelja.

U Mesečevom spektru zapažene su 3 trake koje dolaze od upijanja Sunčeve svetlosti u kiseoniku i vodenoj pari Zemljine atmosfere. Upoređivanjem ovog spektra sa Sunčevim odbijenim od Venere i Marsa, sedamdesetih godina 19. veka, Heginis i Maunder u Grinidžu, Žansen u Medonu i Fogel u Botkampu našli su da u atmosferama ove dve planete ima kiseonika i vodene pare. Kada su načinjeni spektroskopi veće razdvojne moći, Kempbel je 1894. g. objavio da nije našao nikakve razlike između Mesečeva spektra i spektra pomenutih planeta. Koristeći

foto-ploče osjetljive na crvenu svetlost Slajfer 1908. g. nije našao nikakvo pomeranje pomenute 3 trake koje bi dolazilo iz Venerine i Marsove atmosfere u odnosu na trake iz Zemljine atmosfere. I na Maunt-Vilsnu je potvrđeno odsustvo kiseonika i vodene pare u atmosferama ovih planeta. Ali tamo je nađena u Venerinom spektru tamna traka koja potiče od ugljen dioksida.

Godine 1925. su Admas i Sent Džon na Maunt-Vilsnu našli spektrografom još veće razdvojne moći, da količina vodene pare u Marsovoj atmosferi ne prelazi 3% one na Maunt-Vilsnu, a kiseonika 16%. Utvrdivši da je kiseonika i vodene pare tamo daleko manje no na našim najvišim planinskim vrhovima, došlo se do saznanja da Mars ima suhu, pustinjsku atmosferu. Posle još većeg usavršenja spektrografa Adams i Dihem su 1933. g. utvrdili praktično odsustvo kiseonika na Marsu. Kajper je kasnije utvrdio manje količine ugljen dioksida. Tada se ozbiljno posumnjalo u mogućnost postojanja savršenijih oblika života na ovim planetama. Ostalo je otvoreno pitanje zelenkaste boje Marsovih "mora". Kajper u Americi i Tihov u SSSR nisu našli spektarske trake karakteristične za hlorofil. Međutim, izučavanjem spektra nekih lišaja i drugih primitivnih biljnih vrsta na Zemlji, koje su takođe oskudne u hlorofilu, oni su ostavili mogućnost postojanja najprimitivnijih biljaka na Marsu.

Spektarska analiza je sa uspehom primenjena i na džinovske planete. Već su šezdesetih godina prošlog veka Seki i Hegins otkrili u spektru Jupitera tamnu traku nepoznatog porekla u crvenom delu, Sedamdesetih godina otkrivene su u Uranovom spektru i druge nepoznate trake u crvenom i žutom delu. Kad su dobivene emulzije osjetljive čak i na infracrvene zrake, Slajfer je pokazao da iste trake postoje kod svih džinovskih planeta i da su sve jače što je planeta dalja od Sunca. Mnogo kasnije, R. Vild, u Getingenu, a zatim Dihem na Maunt-Vilsnu, pokazali su da ove trake dolaze od metana i amonijaka. Dž. Rasel je teorijski pokazao da u odsustvu kiseonika, azot, vodonik i ugljenik daju jedinjenja ovog tipa, koja su sve postojanija što su temperature niže. Tako je objašnjeno i povećanje intenzivnosti njihovih traka s udaljavanjem od Sunca.

Džefrejs je 1934. g. pokazao da se Jupiter i Saturn sastoje iz malog kamenog jezgra okruženog korom od čvrstog ugljen dioksida i džinovskom atmosferom od azota, vodonika, helijuma i metana po kojoj plove oblaci uglavnom od kristala amonijaka. Ova je građa kasnije utvrđena i za Uran i Neptun, a u današnje vreme sa izvesnom verovatnošću i za Pluton.

Tako se već u prvoj polovini našega veka pokazalo da se, zahvaljujući kiseoniku i vodi, život mogao razvijati po svoj prilici, samo na Zemlji, bar u granicama Sunčeva sistema. Ovo je danas potvrđeno i kosmičkim istraživanjima, kojima se došlo i do mnogih drugih zanimljivih podataka koji su nam ranije bili nepoznati.

4.1.9. Kosmička istraživanja Meseca, planeta i satelita

Astronomska posmatranja i merenja iz visokih balona i raketa, a naročito od 1957. g. iz veštačkih Zemljinih satelita, vasijskih sondi, kosmičkih brodova i laboratorija predstavljaju džinovski, skok u istraživanju nebeskih tela i pojava i vasijskog prostora. Astronautička istraživanja u najširem smislu otvorila su vrata jednoj čitavoj novoj civilizaciji, a ono čime su obogatila astronomiju, naročito saznanja o nebeskim telima Sunčeva sistema, predstavlja više no što je čovek sve do danas sakupio podataka o njima posmatrajući ih sa Zemlje.

Obletanjem Meseca, mekim spuštanjem letilica, a zatim i samog čoveka na njegovu površ sa nizom instrumenata, kao i sa ponovljenim mnogobrojnim snimanjima njegove nevidljive strane, sakupljen je ogroman broj podataka koji su nam pružili saznanja ne samo o sastavu njegove površi i o slojevima neposredno ispod nje, već i o čitavoj njegovoj građi i najverovatnije do danas podatke o njegovom postanku i razvoju. Podrobnije podatke o ovome vidi u Prilogu 2.

Radio, televizijskim i radarskim putem sakupljeni podaci o Venerinoj atmosferi, njenim fizičkim osobinama i građi, o procesima koji se u njoj zbivaju, kao i podaci o kamenitoj građi njene površi, prvi su korak dalje u njenom proučavanju. O njoj smo dosad veoma malo znali, jer se skrivala iza guste atmosfere.

Vasijske letilice su nam, isto tako, pružile i detaljne podatke o stenovitoj građi Marsove površi, o njegovim mnogobrojnim kraterima i njihovom rasporedu, o naddžinovskim vulkanima i kanjonima, o odsustvu kanala, o retkoj atmosferi, kao i mnoge druge.

Najzad, u naše dane, čovek je poslao i više letilica prema džinovskim planetama, koje su poslale mnoge snimke i merenja što se upravo sada proučavaju. Od letilica pomenimo "Pionir X i XI" i "Voidžer I i II". Poslednje su se dve približile Jupiteru marta, odnosno juna 1979. g. Na snimcima se vidi Jupiterov prsten i torus jonizovanog gasa u oblasti putanje satelita Io. Otkriven je i 14. Jupiterov satelit prečnika 30–40 km.

Novembra 1979. g. „Voldžer I“ prošao je pored Saturna registrujući više novih prstena, kao i 13, 14. i 15. Saturnov satelit.

Sličnim putem došli smo i do novih podataka o nekim satelitima.

Sada se već gradi i džinovski teleskop, koji će biti postavljen na stalnoj kosmičkoj opservatoriji, a kroje se i realni planovi za letilice koje će krenuti i dalje od Sunčeva sistema.

Datumi, imena letilica i astronauta, kao i astronomski podaci i saznanja do kojih se došlo njenom upotrebom dati su hornološki i na podroban način u Prilogu 2.

4.1.10. Radio-astronomska istraživanja planeta

Prvo planetsko radio-zračenje, u vidu bleskova, otkrili su Burke i Frenklin 1955. g. sa Jupitera, i to radio-teleskopom sa Zemlje. Da je i Zemlja radio-izvor predskazano je 1960. g. Pomoću veštačkog satelita "Elektron" sovjetski naučnici prvi su registrovali ovo zračenje u vidu bleskova. Kasnije su američki naučnici iz podataka letilica "RAE 1", "RAE 2" i "IMP 6" utvrdili da Zemlja zrači radio-talase s maksimumom jačine oko 0,3 MHz noću i oko 0,2 MHz danju. Oba dolaze iz magnetosfere, no dok je noćno sporadično, dnevno je stalno. Različitog su porekla, koje još nije tačno utvrđeno, ali je svakako u pitanju proletanje brzih elektrona iz magnetosfere ili od Sunčeva vetra kroz Zemljine polarne oblasti.

Kod Jupitera su zapažene tri vrste ovakvog zračenja. Pored sinhortonoskog, on na talasnim dužinama kraćim od 3 cm šalje i radio-zračenje toplotnog porekla.

Iz podataka sa "RAE 2" i "IMP 6" Braun je otkrio Saturnovo radio-zračenje čiji maksimum jačine pada na oko 1,1 MHz, pa se ono sa Zemlje ne bi moglo ni otkriti, jer njena jonosfera, ne propušta ovo zračenje. Ovo je, međutim, potvrdilo da i Saturn ima magnetosferu.

Iz frekvencija maksimuma jačine zračenja izračunata je i frekvencija kruženja elektrona u magnetosferama ovih planeta, a iz njih i odnos jačina njihovih magnetnih polja. Nađeno je da se ove jačine za Zemlju, Saturn i Jupiter odnose kao 1:3, 3:27. Ovi se podaci dobro slažu s neposrednim merenjima "Pionira 11".

Teorijski je predviđeno i Uranovo magnetno polje oko 1,2 gausa. Ono je nedavno potvrđeno otkrićem radio-bleskova i sa ove planete. Maksimalna jačina njegova netermičkog sporadičnog zračenja kreće se oko 475 KHz. Odatle je izračunato da je njegovo magnetno polje po odlikama slično Saturnovom.

Otkriće radio-bleskova iz planetskih atmosfera omogućuje i nova istraživanja planetskih unutrašnjosti.

4.1.11. Izučavanje kometa

Svojim neobičnim izgledom i iznadanom pojavom komete su u starom, a naročito srednjem veku izazivale strah još neprosvećenog naroda. On je nešto opao kada su Njutn i Halej našli metode da izračunaju putanje i predvide povratak kometa. No još uvek je ostao strah od sudara Zemlje s kometom. Već je Seneka, u 1. veku, zapazio da je kometin rep uvek okrenut suprotno od Sunca. To je prvi put naučno proglasio Peter Binević, zvani Apijan, 1531. g., a Kepler je 1618. g. pisao da je ovome uzrok Sunčeva odbojna sila, koja deo mase iz kometine glave izdvaja i od nje obrazuje rep. Olbers je na velikoj kometi iz 1811. g. zapazio zvezdasto jezgro okruženo magličastom komom paraboloidnog oblika koja se nastavlja u rep. On je prvi ustanovio da od jačine odbojne sile zavisi i oblik repa — ukoliko je ona manja on je više zakrivljen. Smatrao je da je priroda ove sile verovatno električna. Sve ove pojave još je bliže izučio i odredio Besel na Haljevoj kometi, pri njenom povratku 1835. g., i na sjajnoj kometi iz 1843. g. Na velikoj Donatijevoj kometi iz 1858. g. sve su ova pojave bile još upadljivije, pa je Bredihin 1860. g. mogao već razraditi svoju mehaničku teoriju kometskih oblika, gde je tačno izveo oblik komete u funkciji odbojne sile, tj. njene jačine, ali se nije upuštao u njeno objašnjenje. Prvi je Svant Arhenijus

isakzao mišljenje da ova sila može dolaziti od svtlosnog pritiska koji je teorijski predskazao Meksvel, a eksperimentalno, tj. kvantitativno, izučili P. Lebedev 1859. g. i 1908. g. i Svarčšild 1901. g.

Već šezdesetih godina 19. veka počinje primena fotografije. Godine 1858. jedan ljubitelj je za 7 sekundi dobio vrlo dobar snimak Donatijeve komete. Zatim je Dreper sa 2,5 časa izlaganja, a na kvalitetnom teleskopu, dobio 1881. g. dobar snimak Tebatove komete. U Kejptaunu je jedan ljubitelj dobio 1882. g. odličan snimak Krulsove komete. I tada se uvidelo da je za to potreban što veći relativan otvor objektiva. Kao izuzetno uspešni, navode se snimci komete Svift koje je 1892. g. načinio Barnard na Lik opservatoriji i koje je dobio 1893. g. Dž.U. Hasej za kometu Rordam. Još su bolji kasniji snimci Morhausove komete iz 1908. g. i Halejeve iz 1910. g., gde se već u repovima vidi i tamna građa sa svetlim jezgrima. Iz uzastopnih snimaka Halejeve komete iz 1910. g. H.D. Kertis, na Lik opservatoriji, izveo je brzine udaljavanja svetlih čestica u repu i našao da su one sve veće, što se ide dalje od jezgra i da se kreću od 5 i 10 km/s, pa sve do 90 km/s.

Sve je ovo još bolje objašnjeno kad je primenjena spektarska analiza. Ona je pokazala da je spektar dalekih komete slabi Sunčev spektar, tj. da one samo odbijaju Sunčeva zračenja. S približavanjem Suncu, gde se pojavljuje rep, spektar njihov dobija sjajne linije i nekoliko svetlih traka. To je zapazio Donati već 1864. g. na Tempelovoj kometi, a zatim Hegini na sjajnoj kometi iz 1868. g. Ove su se trake poklapale s trakama u spektru ugljovodonika koje je ranije opisao Svan. Hegini je objavio da se svetlost komete uglavnom sastoji iz svetlosti gasovitog ugljenika. Zatim se pokazalo da se sa zagrevanjem kometine glave iz nje oslobađaju gasovi ugljen monoksid, vodonik, ugljen dioksid i ugljovodonici koji oko jezgra obrazuju komu. Sa usavršenjem spektrografa kasnije su fotografski otkrivene u ultraljubičastom delu spektra i trake cijan-vodonika. Kasnije je na Velsovoj kometi, 1882, primećeno da s još većim približavanjem Suncu u njenom spektru iščezavaju pomenute linije i trake i da se pojavljuje samo dvostruka žuta emisiona linija natrijumova. To je zatim potvrđeno i na drugim kometama. Otkrivene su i linije gvožđa i drugih metala. S udaljavanjem komete od Sunca u njenim su se spektrima opet javile karakteristične komete linije i trake.

Švarčšild i Kron su 1911. g. izračunali, na Halejevoj kometi iz 1910. g., i masu svetlećih čestica koje se u sekundi izlivaju iz glave u rep i utvrdili da je svetlost repa fluorescentna, a ne neposredno odbijena. Odatle je nađeno da je gustina materije u repu 10^{20} puta manja od gustine naše atmosfere, jedva veća od gustine međugalaktičkog prostora (1 molekul na 1 cm^3). Zato se nije mogla sudarima objasniti razmena energije među atomima i molekulima repa, pa ni linije u njihovim spektrima, za koje se dotle mislilo da potiču od ove razmene.

Međutim, nakon Borove atomske teorije, posle 1914. g., postalo je jasno i poreklo ovih linija. Svaki atom, pri izmeni svoje energije, može izračiti ili upiti zrake određenih talasnih dužina. Posle objašnjenja molekulskih spektra, 1920. g., postale su jasne i molekulske trake u spektrima kometskih repova. Tu su bili po sredi tako gusti nizovi linija da su se u malim instrumentima one slivale u trake.

Tada se pokazalo da Svanov spektar ne dolazi od ugljovodonika, već od ugljenikova molekula C_2 . U glavi je nađeno da preovlađuje molekul cijan-vodonika (CN), a u repu jonizovanog ugljen monoksida (CO^+). Nađen je i čitav niz radikala: CH, CH_2 , OH, NH^+ i N_2^+ . Zbog velike razređenosti, atomi i molekuli jonizovani Sunčevim zračenjem ostaju nepromenjeni. Kasnije su još podrobije objašnjeni procesi u kometi i repu. Godine 1935. Karl Vurm objasnio je ovim putem i prevagu molekula CO^+ u repu.

Nađene su u Sunčevom vetru odbojne sile koje i 1 000 puta prevazilaze gravitaciju. Ovim silama objašnjeno je obrazovanje pravih kometskih repova.

4.1.12. Izučavanje meteorskih potoka

Kroz čitav srednji vek i renesansu preovlađivalo je mišljenje da su meteori proizvod Zemljine atmosfere, vrsta munje. Naučno njihovo izučavanje započelo je krajem 18. veka kada su prvi put getingenski studenti Brandes i Bencenberg odredili visine na kojima meteori ulaze u Zemljinu atmosferu i na kojima se gase, posmatranjem istih meteora sa dve međusobno udaljene stanice. Tada se uvidelo da se ove pojave događaju na visinama od nekoliko desetina, pa i stotina kilometara, a da im brzine dostižu planetske. Tada je tek utvrđeno da pojavu izazivaju čvrste čestice koje gube brzinu s ulazom u atmosferu i usijavaju se. Bencenberg je pretpostavio da je u pitanju

kamenje izbačeno iz hipotetičnih Mesečevih vulkana. Da meteori dolaze iz velikih dubina vasionkog prostora bilo je jasno tek kada se noću 12. novembra 1833. g. pojavio meteorski pljusak čiju je prividnu tačku izvora Olmsted u SAD nazvao "radijantom" i pokazao da on predstavlja stalnu tačku na nebeskoj sferi. Olmsted je pretpostavio da je to roj meteora čija putanja oko Sunca preseca Zemljinu, te da se oni moraju periodično pojavljivati. Međutim Aleksandar Humbolt je, na svom putovanju po Južnoj Americi, bio zapazio sličan meteorski pljusak 33 godine ranije, tj. 1799. g. Od domorodaca je saznano da se takva pojava dogodila i 33 godine ranije, tj. 1766. g. Olbers je računski utvrdio da je reč o meteorskom roju čija putanja preseca Zemljinu, pa se polovinom novembra ovi meteori svake godine pojavljuju, ali u manjoj meri. Što se svake 33 godine događaju njihovi pljuskovi, objasnio je G.A. Niuton iz Nju Hevna 1864. g. Razlog je u tome što je roj na jednom mestu putanje jače zgusnut. I predvideo je novi pljusak meteora za novembar 1867. g., koji se i dogodio. Po položaju radijanta u sazvežđu Lav, roj je nazvat Leonidi. Prateći pojavu unazad, na osnovi sakupljenih posmatranja G.A. Njutna je utvrdio i to da se čvorovi putanje Leonida pomeraju po dužini oko Sunca 1° svakih 70 godina. Dž. K. Adams je utvrdio da ovaj poremećaj dolazi od gravitacijskog uticaja velikih planeta.

Približno u to vreme otkriven je i avgustovski roj Perseidi i nešto kasnije je utvrđeno da je ovaj roj ravnomerno rasut po svojoj putanji. Skijapareli je 1866. g. izračunao njihovu putanju. Na njima je otkriven i efekt koji dolazi od Zemljine rotacije, da su meteori znatno obilniji u drugoj polovini noći, nego u prvoj, jer tada Zemlja ide u susret roju. Iz ove razlike je izračunato da se ovi meteori kreću 1,4 puta brže od Zemlje, tj. po putanji bliskoj paraboli. Kada je izračunao putanju potoka, Skijapareli je utvrdio njenu identičnost s putanjom nekadašnje komete 1862 III, čiji je period iznosio 119 godina. Odmah je postalo jasno da su ostaci komete i meteorski potoci u suštini jedna pojava koja se u susretu sa Zemljom vidi kao meteorski roj ili potok ako se materijal komete postupno rasturio po svojoj putanji. Pokazalo se da od sudara Zemlje s kometom ne preti Zemlji nikakva opasnost, jere je za nejni zaštitu dovoljan njen vazdušni oklop.

U Rusiji su se u to vreme ovim problemom sa uspehom bavili Švajcer i Gusev, a kasnije Bredihin.

Novembra 1866. g. ponovio se roj Leonidi po predviđanjima Olbersa i G.A. Njutna. Po Skijaparelijevim i Leverjeovim računima njihova se putanja poklopila s putanjom Tempelove komete 1866 I, samo je roj pratio kometu. Kasnije je utvrđena istovetnost putanje aprilskog roja Liridi s putanjom komete 1861 I, kao i identičnost putanje decembarskog roja Andromedidi s putanjom Bjeline komete otkrivene 1826. g., koja se 1846. g. na očigled posmatrača razdelila na dva dela. Ova podela je bila početak njena raspadanja. Po Galeovom predračunu roj se pojavio 17. XI 1872. g. u vidu velikog ognjenog pljuska, da se 26. XI 1892. g. pojave samo nekoliko sporadičnih meteora. Slično se desilo 1898. g. i 1901. g. s rojem Leonidi. Berberih i Launing su pokazali da su se ovi rojevi, zbog poremećaja, znatno udaljili od Zemlje. Tada je postalo jasno da u prostoru oko Zemlje kruži još mnogo nevidljivih rojeva i da je svaki od njih ostatak neke komete. U naše dane rađarska danonoćna posmatranja u potpunosti su potvrdila ovu pretpostavku.

4.1.13. Posmatranje i izučavanje meteora

U 19. veku opredeljuje se sve veći broj učenih ljubitelja za sistematsko merenje visina i za određivanje radijanata meteora. Posle dugogodišnjih posmatranja Dening, u Bristolu 1899. g., objavljuje svoj katalog sa 3 000 radijanata a Oliver 1920. g. katalog sa 1 200 radijanata. Polovina njihova odnosi se na realne meteorske potoke. Iz velikog broja posmatranja izveden je i zaključak o smanjenju broja meteora u potocima rasipanjem i o povećanju broja sporadičnih meteora. Na neki način komete završavaju svoj život kao sitna meteorska tela koja ispunjavaju ceo Sunčev sistem sa zgušnjem oko Sunca. U staro vreme više puta je zapaženo odbijanje Sunčeve svetlosti od ovih sitnih meteora koji prelaze u međuplanetsku prašinu. Prvi je Kasini ovu pojavu opisao 1683. g. i nazvao je "zodijačka svetlost". Godine 1854. Brorsen je primetio sličnu svetlost na suprotnoj strani neba i nazvao je "protivsaj". Objasnjen je po Celneru najjačim osvetljavanjem ovih telašaca kada su u opoziciji sa Suncem. U 20. veku je utvrđeno da ova međupaletska telašca završavaju padanjem na Sunce, a samo mali deo se rasejava u međuplanetski prostor.

Preciznije određivanje položaja i brzina meteora omogućeno je kad je na Harvardskoj opservatoriji konstruisana fotografska komora s obrtnim sektorom, koji u toku izlaganja prekida trag meteora, a za svaki se prekid registru-

je tačan trenutak. Još je veći uspeh u kvantitativnom i kvalitativnom izučavanju meteora postignut u naše vreme primenom radara.

4.1.14. Sakupljanje i proučavanje meteorita

Samo od izuzetno velikih meteora stižu delovi do same Zemljine površi u vidu meteorita – gvozdениh, stenovitih i mešovitih. U drugoj polovini prošlog i prvoj polovini našeg veka sakupljen ih je veći broj po čitavoj Zemlji, klasifikovani su, fizički i hemijski ispitani i svrstani u zbirke koje se nalaze u prirodnjačkim muzejima i mineraloškim institutima svih velikih gradova Evrope i SAD. Naročito je bogata i raznovrsna zbirka Vatikanske opservatorije u Kastel Gandolfu. U njoj su meteoriti nađeni na 430 mesta širom Zemlje. Njihov katalog izišao je 1957. g. Najveći deo je poklonio strasni njihov sakupljač, mineralog Adrijen del. Moroa. U njoj se nalaze i meteoriti sa jugoslovenske teritorije. Sokobanjski, pao 3.10.1877. g.; Jelički, pao 1.12.1889. i Zvornički, pao 1.8.1897. g. Težine pojedinačnih meteorita u zbirci kreću se od 0,5 do 5 kg.

I u našoj zemlji se nalaze manje zbirke meteorita. Prema katalogu Mehmeda Ramovića iz 1965. g. u našim zbirkama se nalazi ukupno 112 meteorita, od toga najviše u Sarajevskom zemaljskom muzeju (65), zatim u Prirodnjačkom muzeju srpske zemlje u Beogradu, u Petrografsko-mineraloškom muzeju Rudarsko-geološkog fakulteta u Beogradu, Mineraloško-petrografskom zavodu u Zagrebu i Prirodoslovnog muzeju u Ljubljani. U katalogu su podrobni podaci o svakom primerku, naročito o onim nađenim u našoj zemlji.

U 20. veku je još dokazano da gvozdeni meteoriti potiču uglavnom od asteroida u raspadanju zbog sudara među njima. Oni obično eksplodiraju pre pada i vide se u obliku sjajnog bolida čiji ostatak pri padu stvara manji ili veći krater na zemljištu. Stenoviti su meteoriti, međutim, ostaci kometa i vrlo retko dospevaju do Zemljine površi u većim komadima. Dok najveći gvozdeni meteorit, nađen u Gobi (Jugozapadna Afrika), teži 60 tona, najveći stenoviti meteorit, pao 17.2.1930. g. u Arkanzasu, ima samo 338 kg.

Od većih meteoritskih kratera nađen je na Zemlji 41, i to: 15 u Australiji, 17 u SSSR, 2 u Arabiji, 2 u Africi, 5 u SAD i mnogo manjih u Argentini. Oko njih je nađeno više većih i manjih gvozdениh meteorita. Najveći je "Đavolji krater" u Arizoni, prečnika 1245 m, dubok 171 m, iz praistorijskog vremena, koji je proučio Barindžer 1891. g. Pažnju zaslužuju i 10 manjih kratera u Tunguziji za koje se izučavanjima L.A.Kulika, Huipla i Astapoviča, iz tridesetih godina ovog veka, smatra da su posledice sudara Zemlje s manjom kometom. Njena se eksplozija nad samom Zemljinom površi dogodila 30.6.1908. g. u $0^h 17^m 11^s$ svetskog vremena. Vazdušni talas načinio je pustoš u tajgi na 80 km daljine i registrovan je 3 puta oko cele Zemlje.

Značaj izučavanja meteorita je vrlo veliki. Fizičkim, hemijskim i mineraloškim analizama utvrđeno je preko njih jedinstvo materije u Vasioni. Značaj je njihov veliki i za kosmogoniju Sunčeva sistema. Zato je, u vezi s tim proučavanjima, u našem veku ponikla jedna nova grana astronomije – meteoritika. Njeni podrobni rezultati, iako od velika istorijskog značaja, prelaze okvire ove knjige.

Odeljak drugi Izučavanja Sunca

Naporedno sa izučavanjem planeta i drugih tela Planetskog sistema astronomi su veliku pažnju poklonili i izučavanju najbliže zvezde – Sunca zbog njegova ogromnog značaja za život na Zemlji. Ova se izučavanja danas već svrstavaju u posebnu granu astrofizike – fiziku Sunca.

4.2.1. Posmatranja i izučavanja Sunca do primene fotografije

Već su stari narodi приметili da nam od Sunca dolazi skoro sva toplota i svetlost, energija i život. Zato je u svakoj veri postojao po jedan bog Sunca. I stari naučnici su se zanimali za Sunce. Već u kineskim analima iz 321. g. pominju se Sunčeve pege, a u arapskim zapisima se o njima govori 807. g., samo se misli da je to planeta Merkur. U zapisima hroničara iz 1239. g. govori se o pojavama zapaženim za vreme potpunog Sunčeva pomračenja koje odgovaraju protuberancama i koroni. Gijom de Sen Klu već 1265. g., povodom jednog oštećenja oka, predlaže

da se, u cilju posmatranja Sunca, primaju njegove projekcije, a Peter Binević—Apijan predlaže 1540. g. da se posmatra kroz tamana stakla. Hristifor Klavije opisuje 1560. g. kroonu za jednog potpunog Sunčeva pomračenja, a 1598. g. u sličnim okolnostima je posmatrana krona u Torgau, za koju Kepler tvrdi da predstavlja gornje delove Sunčeve atmosfere. Godine 1607. primećuje on u durbinu jednu Sunčevu pegu, no misli da je to planeta Merkur.

Pege otkriva, u pravom smislu, 8.12.1610. g. Tomas Heriot, a 1.12.1611. g. počinje s redovnim posmatranjima. Istih dana otkriva ih, nezavisno, i Johan Fabricijus. Naredne godine posmatraju ih i glože se o prvenstvo u otkriću Cizat, Šajner i Galilej. Trećeg 8. 1611. g. i Simon Majer Marijus počinje njihova redovna posmatranja. Godine 1613. Kepler piše da su pege slične oblacima u Zemljinoj atmosferi. Galilej i Šajner određuju 1630. g. položaj Sunčeva ekvatora i trajanje njegove rotacije od 25 ± 1 dan. Velik broj posmatranja pega sakupio je Jan Hevelijus od 1642—1645. g. Iz ovog materijala je kasnije Rudolf Volf izveo minimum iz 1845. g. Te godine Hevelijus otkriva fakule i daje im taj naziv. Godine 1673. Ž.D.Kasini i O. Remer određuju Sunčevu sinodičku rotaciju ($27^d 10^h, 5$) i sideričku rotaciju ($25^d 12^h$). Njih Kasini potvrđuje 1683. g., a njegov saradnik N. Falis daje im objašnjenje. Godine 1703. Filip de la Hir i Šajner utvrđuju da su pege udubljenja na Sunčevoj površi. Ovom mišljenju se priključuje 1717. g. i Ž.D. Kasini, a kasnije i drugi. Godine 1706. Stenjen otkriva Sunčevu hromosferu posmatrajući potpuno Sunčevo pomračenje. Iste godine Jakov Šojhcer otkriva protuberance iz posmatranja iste vrste. Godine 1724. Maraldi utvrđuje, iz posmatranja potpunog Sunčeva pomračenja, da korona ne pripada Meseću, kako su dotle većinom smatrali, nego Suncu.

Dve godine kasnije Pjer Buge, osnivač astronomske fotometrije, prvi određuje da je Sunčeva svetlost 300 000 puta jača od Mesečeve, što dosta dobro odgovara stvarnosti; a 1729. g. prvi meri Sunčevo potamnjenje prema rubu. Naredne godine P. Pezena otkriva pojavu "protivsjaja" zaodijačke svetlosti, koja je već i ranije bila sa izvesnom sigurnošću zapažena. Godine 1733. Vasenijus, iz Gateborga, posmatra 3 protuberance za vreme potpunog Sunčeva pomračenja a i Seki ih pominje pod sličnim uslovima 1739. g. Ruder Bošković nalazi 1736. g. metodu za određivanje položaja Sunčeva ekvatora iz 3 posmatranja iste pege. Godine 1748. optičar Šarp otkrio je zrnastu građu Sunčeve fotosfere. Godine 1769. Aleksandar Vilsn, astronom iz Glazgoa, zapazio je da se jezgro pege i njena istočna polovina sužavaju kad se ona bliži zapadnom Sunčevu rubu. Odakle zaključuje da je potvrdio shvatanje da su pege udubljenja u fotosferi. Godine 1795. V. Heršel piše da su pege vrhovi hladne Sunčeve kore, podesne za stanovanje, koji probijaju plameni okean iznad Sunca. I Laland zastupa slično shvatanje. Ovo pokazuje koliko je bilo slabo znanje fizike u poređenju s visokim nivoom astronomskih znanja. Tek u drugoj polovini 19. veka kad je fizika koraknula napred, i tumačenje posmatranih astronomskih pojava dobija mnogo sigurniju osnovu.

Godine 1815. Anri Moris prvi utvrđuje da je temperatura pega niža od fotosferske. Od 1826—1868. apotekar Hajnrh Švabe, iz Desaua, vrši sistematska. posmatranja pega, a 1838. g. već nalazi zakon njine cikličnosti. Nalazi da njihov ciklus iznosi oko 10 godina. Godine 1834. Dž. Heršel pronalazi aktinometar i meri Sunčevo zračenje, a 1837. g. Mod Serve i Matijas Puje određuju vrednost Sunčeve konstante. Godine 1841. Ložije otkriva zonsku rotaciju Sunca (24, 28—26, 23 dana). Naredne godine Eri, Bejli, Arago i F.V. Struve, nezavisno, posmatraju prvo potpuno Sunčevo pomračenje u svim pojedinostima (korona, hromosfera, protuberance). Godine 1852. R. Volf iz velikog broja starih posmatranja izvodi ciklus Sunčevih pega od $11 \frac{1}{9}$ godina i nalazi da se on može menjati u širokim granicama od 7—17 godina. Kad se prešlo na merenje položaja pega na Sunčevom katuru, dobiveni su precizniji podaci o Sunčevoj zonskoj rotaciji. Tako je 1853. g. Keringtn, ljubitelj astronomije iz Redhila, našao da se Sunčeva rotacija menja po pojasiima od ekvatora ka polovima od 25, 0—27,5 dana. Iz posmatranja od 1860—1873. g. nemački astronom Gustav Šperer, iz Anklama u Pomeraniji, potvrđuje ove iznose. Uz to dolazi do zakonitosti o pojavljivanju pega na Sunčevim širinama od $25-30^\circ$ i o njihovom spuštanju do $\pm 5^\circ$ nad njegovim ekvatorom pri kraju ciklusa.

Godine 1854. Helmholt objašnjava konstantnost Sunčeva zračenja svojom teorijom sažimanja, po kojoj se s približavanjem čestica Sunčevom središtu smanjuje njihova potencijalna energija i pretvara u odnosnu količinu toplote. Kasnije je izračunato da ovaj mehanizam nije ni blizu dovoljan da nadoknadi Sunčev gubitak energije zračenjem. Iste godine Teodor Brorsen, na Opsevatoriji Zenftenberg, potvrđuje pojavu "protivsjaja". Godine 1859. Keringtn iz 5 300 posmatranja izvodi zakone Sunčeva obrtanja i zaključke o pravcima strujanja, o rasporedu pega i položaju Sunčeva ekvatora. Godine 1861. Faj smatra pege za obične procepe u Sunčevoj atmosferi, koji nastaju tamo gde je uzlazna strujanja probiju. Kasnije se pokazalo da su pege mnogo složenije prirode.

Trećeg 5. 1862. g. Skjapareli posmatra zodijačku svetlost koja pokriva sazvežđa: Blizanci, Lav, Devojka, Vaga i Skorpija. Godine 1866. Celner nalazi, pomoću svog fotometra, da Sunce zrači svetlost 56 milijardi puta jaču od Kapele. Za Sirijus nalazi da zrači 11 milijardi puta slabiju svetlost od Sunca.

4.2.2. Otkrivanje Sunčeva uticaja na geofizičke pojave

Sistematska posmatranja polarne svetlosti započeo je Pjer Gasandi, Keplerov prijatelj. On ju je nazvao "aurora borealis". Godine 1716. Edmund Halej naslućuje vezu između polarne svetlosti i Zemljinog magnetizma. Ž.Ž. de Meran objavljuje raspravu o fizičkoj prirodi polarne svetlosti, a 1740. g. meri njenu visinu i za nju nalazi oko 100 milja. Godine 1741. A. Celzijus i O.P.Hjerter, iz Upsale, otkrivaju uticaj polarne svetlosti na magnetnu iglu, tj. na Zemljin magnetizam, što Arago još jače ističe 1810. g. Godine 1833. na Gausovo zauzimanje, podiže se u Getingenu prva geomagnetska opservatorija. Godine 1851. Johanes Lamont objavljuje krivu promena Zemljinih magnetnih elemenata, a E. Sebjajn, a zatim F.P. Gotje, iz Liona, i R. Volf, iz Berna, primećuju upadljivu njenu podudarnost s krivom broja Sunčevih pega. Prvog 9. 1959. g. Keringtn i Džon Hodžsn, nezavisno primećuju prvu hromosfersku erupciju koja je trajala 5^m. U istom vremenskom razmaku primećen je i poremećaj na magnetnim instrumentima opservatorije. Između 28.8. i 4.9. iste godine zabeležena je i prva velika magnetna bura. Telefonski saobraćaj je bio prekinut, primećene su varnice na žicama i jaka polarna svetlost. Iste godine Keringtn posmatra bez spektroskopa kratak i sjajan blesak na Suncu, ali ga pripisuje padu velikog meteorita. Godine 1867. A.J. Angstrom posmatra, a Adam Paulsen snima, spektar polarne svetlosti. Angstrom iste godine primenjuje spektarsku analizu i na zodijačku svetlost i ukazuje na njeno zemaljsko poreklo. Godine 1887. Herman Fric utvrđuje da postoje određene periode u pojavama polarne svetlosti i da postoji veza između njih i perioda Zemljinog magnetizma. Zatim da pojave polarne svetlosti stoje u vezi s pojavom Sunčevih pega i da im broj i veličina rastu i opadaju u jedanaestogodišnjim ciklusima.

4.2.3. Otkriće i izučavanje jonosfere i njene veze sa Suncem

Još 1878. g. je škotski naučnik B. Stjuart, da bi objasnio dnevne promene Zemljinog magnetnog polja, pretpostavio da u gornjim predelima Zemljine atmosfere postoji sloj koji provodi elektricitet. Smatrao je on da kretanje ovakvog vazduha u Zemljinom magnetnom polju stvara električne struje, a one proizvode magnetna polja koja izazivaju uočene dnevne promene elemenata Zemljinog magnetizma. Krajem prošlog veka je i Nikola Tesla, na osnovi svojih eksperimenata sa radio-talasima, izrazio sličnu pretpostavku.

Da bi objasnili Markonijeve radio-veze između Engleske i Amerike 1901. g., američki naučnik A.E. Keneli i engleski O. Hevisajd nezavisno su pretpostavili da u visokoj atmosferi postoji provodljiv sloj od koga se radio-talasi odbijaju natrag ka Zemlji. Dok su stručnjaci radili sa radio-talasima velikih dužina male energije, u Americi je 1920. g. bilo dopušteno da se kratkim talasima, do 200 m, služe radio-ljubitelji. Međutim, oni su talasima velike energije, a malih talasnih dužina od oko 100 m, uspostavili tih godina vezu između Evrope i Amerike, a 1924. g. i najdalju moguću vezu na Zemlji, između Evrope i Novog Zelanda.

Najzad, decembra 1924. g., svojim eksperimentima otkrivaju jonosferu engleski naučnici E.V. Eplton i M.A.F. Barnet, da 1925. g. otkriće potvrde američki naučnici G. Brejt i M.Tjuv. Njihov metod merenja visine jonosfere bio je preteča otkriću radara. Sloj je nazvan "jonosfera" po predlogu engleskog naučnika V. Vata. Shvatajući neizmeran naučni i praktični značaj otkrića, velik broj naučnika baca se na izučavanje jonosfere i njenih svojstava — S.K. Mitra, E. Eplton, K. Raver, V. Bajnon, i kasnije mnogi drugi. Od 1958. g. jonosfera se izučava sa uspehom i kod nas na sistematski način.

4.2.4. Primena fotografije na izučavanje Sunca

Skokovit napredak u izučavanju Sunca učinjen je sa upotrebom fotografije, koja je u astronomiji primenjena već 1839. g., čim je pronađena. Prvi dagerotipski snimak Sunca dobio je Lerebur 1842. g. Na njemu se jasno video nejednak raspored sjaja na koturu. Na Pariskoj se opservatoriji i danas nalazi jedan od snimaka Sunca načinjen neposredno posle otkrića fotografije. Iste godine je, u Milanu, Majoki dobio uspeo dagerotipski snimak Sunca za vreme njegova pomračenja služeći se portretnim objektivom. Ubrzo se nižu sve uspešiji rezultati. Go-

dine 1843. Dž.V. Dreper dobiva dagerotipski snimak Sunčeva spektra s novim tamnim linijama u infracrvenom i ultraljubičastom delu. I Bekerel ih otkriva, nezavisno, nešto kasnije. Godine 1845. su H. Fizo i Ž. Fuko dobili fotografiju Sunca na kojoj se već jasno vide pege i fakule, a Buš u Kenigsbergu, 1851. g. i prvi uspeli snimak korone za vreme Sunčeva potpunog pomračenja od 18. jula iste godine. Protuberance je prvi snimio Berkovski, u Kenigsbergu za vreme istog pomračenja. Ovi su uspeli ohrabriti Dž. Heršela da istupi 1854. g. s predlogom da se vrši svakodnevno, tzv. patrolno, snimanje Sunca u cilju izučavanja promena u fotosferi. Britansko astronomsko društvo je prihvatilo predlog, pa je zavelo redovno fotografisanje Sunca na Opservatoriji Kju, gde je u tu svrhu izgrađen i prvi heliograf s otvorom 86/1270 mm, kojim je dugo radio njegov tvorac Voren de la Ri. Sunčev lik je bio povećavan Hajgensovim okularom na 10 cm prečnika. Tako je fotografska metoda prvi put uvedena u redovna astronomska posmatranja. Kasnije je ova služba prešla na Griničku opservatoriju, gde se neprekidno odvijala decenijama. Za pojave u Sunčevoj atmosferi u ono vreme mogla su se koristiti samo potpuna Sunčeva pomračenja. U ovom esu imali velikog uspeha H. Faj 15. 3. 1858. g. i Aleksander 1869. g. koji su dobili izvanredno jasan snimak korone, gde se već vide i neke pojedinsoti.

Može se reći da je fotografska metoda, redovna posmatračka metoda za izučavanja Sunca u toku njegovih potpunih pomračenja već počev od 1860. g. Te godine, Voren de la Ri i Anđelo Seki, nezavisno, izvode zaključke, iz posmatranja Sunčeva pomračenja u Španiji, da su protuberance stvarne i da pripadaju Suncu, a da su pege udubljena u fotosferi čiji su rubovi nagnuti. Naredne godine Voren de la Ri dobiva prvi spektroskopski snimak Sunčeve pege iz koga se vidi da su pege šupljine, a da se fakule nalaze iznad fotosfere. Već 1866. g. L.M. Raderford dobija preko 2 m dug snimak Sunčeva spektra.

Na viši nivo je bilo podignuto snimanje Sunca 1878. g., kada je Žil Žansen, u Medonu, prvi upotrebio naročito ahromatizovan objektiv za okolinu spektarske linije G. Sada je dobiven jasan lik Sunca od 30 cm prečnika. Žansen je koristio vrlo kratka izlaganja ($0^s,003-0^s,005$), jer je raspolagao kolodijumskim pločama koje još nisu bile dostigle kakvoću današnjih. Ova snimanja vršena su neprekidno 20 godina, a snimci se odlikuju bogatstvom pojedinosti i kontrastom. Zbirka Žansenovih snimaka broji danas oko 6 000 ploča. No sa njom smo već zašli u savremene primene fotografije na izučavanju Sunca.

4.2.5. Spektroskopija Sunca ili prvi korak u fiziku Sunca

Kada su Kirhof i Bunsen od 1859—1862. g. postavili osnovne zakone spektarske analize, Kirhof je izmerio položaje nekoliko hiljada Fraunhoferovih linija u Sunčevu spektru i otkrio na Suncu desetak hemijskih elemenata poznatih na Zemlji. Ovu je mogućnost pozitivistička filozofija sve dotle kategorički odbacivala. Godine 1868. Angstrom zamenjuje proizvoljnu Kirhofovu lestvicu položaja spektarskih linija prirodnom u kojoj je jedinica (koja je kasnije dobila njegovo ime) 1 angstrom = 10^{-10} m).

Polazeći neposredno od zakona spektroskopije Kirhof je potvrdio da je Sunce usijana tečna lopta omotana razređenom usijanom gasovitom atmosferom. A. Seki i Dž. Heršel smatrali su 1864. g. da je i samo Sunce, pa i njegovo jezgro u gasovitom stanju, a da odašilje neprekidni spektar zato što se u njegovoj atmosferi nalaze kondenzovane kapljice njenih gasova. Iako je Endrjus još 1869. g. otkrio da postoji kritična temperatura gasova, 1882. godine je još uvek Jung pisao da je fotosfera nesumnjivo sloj oblaka. Da je Sunce gasovito postalo je ubedljivo kad je dokazano da i gasovi emituju neprekidan spektar ako su pod vrlo velikim pritiskom. Kada su spektrografi počeli istiskivati spektroskope dolazilo se do sve novijih rezultata.

Kada je 1887. g. G.A. Raulend, iz Baltimora, uspeo da na metalno ogledalo svog teleskopa nanese po 1 000 tankih linija na svaki milimetar i tako načini optičku rešetku, pošlo mu je za rukom da 1888. g. snimi atlas Sunčeva spektra u razmeri 3 mm/Å, od 3 000 Å—6 900 Å. Spektar je bio dug 13 1/2 m sadržao preko 20 000 Fraunhoferovih linija, od najintenzivnijih do jedva primetnih. Po njemu je 1896. g. sastavio katalog Sunčeva spektra (koji je prevazišao kataloge Angstrema i Raderforda) s talasnim dužinama svih linija do na 3 decimalna mesta i brojnim vrednostima za jačine linija. Ovaj katalog je i danas u upotrebi. Po njemu je Raulend na Suncu našao 36 hemijskih elemenata koje poznajemo na Zemlji. Sent-Džon je na Maunt-Vilsnu ovaj broj 1928. g. povisio na 51. Naročitim uspehom smatra se Utrehtski fotometrijski atlas Sunčeva spektra, koji je izradio Minart sa svojim saradnicima. U njemu je data duž celog spektra kriva intenzivnosti iz koje izlaze podaci, ne samo o polo-

žaju, već i o širini svake linije, njenom profilu, rasporedu intenzivnosti i drugim odlikama svake linije u spektru.

Po pronalasku spektraske analize, a prilikom posmatranja prvog potpunog Sunčeva pomračenja u Indiji 18. 8. 1868. g. Žansen otkriva da protuberance emituju svetle linije vodonika i jednu nepoznatu, blizu dvostuke natrijumove, koju pripisuje novom hemijskom elementu "helijumu". Isto to primećuje i N. Lokajer. Tek je kasnije, 1895. g., helijum pronašao Remzi na Zemlji iz minerala klevaita. I Žansen i Lokajer tom prilikom su utvrdili da se protuberance sastoje iz usijanih gasova nekoliko desetina hiljada kilometara visine, da se kreću ogromnim brzinama i da većina brzo menja svoj oblik i položaj. Njine svetle linije bile su toliko sjajne da je to Žansena navelo na misao da se one mogu, kod ivičnih protuberanaca, posmatrati i van pomračenja. I doista, kad je prorez spektroskopa doveo da dodiruje Sunčev rub i pustio da po njemu klizi, pojavile su se ivične protuberance u punom sjaju. Isto to je doživio i Lokajer. Tako je otkriven spektroskop za protuberance. No odmah je zatim Heginš zapazio da se prorez ne mora udaljavati postepno od ruba Sunčevog paralelno samom sebi da bi se ocrtao obris protuberance. Dovoljno je široko ga otvoriti, pa će se videti cela protuberanca, ako je dispersija velika i osnovni spektar dovoljno slaba sjaja. Zatim su sva tri astronoma zapazili da se protuberance javljaju najčešće u blizini pega i da u njih uviru, no da ih ima i sve do Sunčevih polova. Godine 1870. Lokajer, Celner i Vespigi, nezavisno, predlažu da se protuberance podele na "mirne" i "eruptivne", a Lokajer, sem toga, predlaže da se sloj u kome se one javljaju nazove "hromosfera". Duže vremena vladalo je pogrešno mišljenje da su pege uzroci protuberanaca.

Jung le 1870. g., za vreme pomračenja u Španiji, otkrio zelenu koroninu liniju (3303 Å), koja nije pripadala nijednom poznatom hemijskom elementu. Pretpostavljeni je element nazvan "koronijum". Sem toga, zapazio je da se na samom početku potpune faze pomračenja, pri tangentsnom položaju proreza na spektroskopu, sve tamne Fraunhoferove linije pretvaraju u svetle i da to traje nekoliko sekunada. Smatrao je da ove linije pripadaju jednom naročitom sloju između fotosfere i hromosfere, debljine oko 500 km, koji je nazvao "obrtni sloj". Ubrzo zatim on je u planinskim uslovima posmatrao spektar hromosfere i otkrio da je u njemu većina linija koje pripadaju metalima. Najsajnije su se pojavljivale i u eruptivnim protuberancama. U mirnim protuberancama javljale su se samo vodonikove linije, helijumova linija D_3 i još nekoliko za koje se kasnije pokazalo, kad je helijum nađen i na Zemlji, da takođe pripadaju helijumu.

U fotografskom spektru protuberanaca i hromosfere Heginš je 1875. g. otkrio, pored 4 poznate vodonikove linije, još čitav niz linija pravilno i sve gušće raspoređenih, koji se završavao na talasnoj dužini oko 3700 Å. Našao je još dve, najsajnije, u ljubičastom delu, koje su se poklapale s kalcijumovim linijama H i K od 3968 Å, odnosno 3934 Å.

Džozef Norman Lokajer, koji je počeo kao ljubitelj, da završi kao znameniti astronom, slično Heršelu, Beselu, Laselu, Rosu, Heginšu i mnogim drugim, izradio je svoju komoru s objektiv-prizmom i primenio je na posmatranje Sunčevih pomračenja. Fotografisao je Sunce na samom početku potpune faze, kad se "obrtni sloj" javlja u vidu bleska našao u svima protuberancama vodonične linije i linije H i K. Fotografije su pokazale da se nekoliko sekunada posle bleska gube linije metala, a ostaju samo vodonikove, helijumove i H i K. Još je potpunije rezultate dobio Mičel 1905. g. kad je, mesto prizme, upotrebio Raulendovu rešetku.

I koroni je obraćena velika pažnja, jer se u to vreme mogla videti samo za potpunih Sunčevih pomračenja. U njoj su sad, osim zelene, nađene još po dve crvene i ljubičaste linije, pa je postalo sumnjivo da može postojati toliko raznih "koronijuma".

Pri redovnom snimanju protuberanaca zapaženo je da se sjajne linije vodonika i kalcijuma vide ne samo u protuberancama na rubu, već i u nekim aktivnim oblastima blizu pega, na samom koturu. Tu su se one javljale kao uske svetle linije u širokim tamnim, pa se smatralo da na tim mestima, iznad fotosfere, postoje velike mase usijanih gasova. Godine 1890. i 1891. A. Delandri, u Parizu, i Dž. E. Hejl, u Čikagu, pronašli su, nezavisno i raznim putevima, moćni instrument za snimanje Sunca u jenobojnoj svetlosti — spektroheliograf. Prvi su snimci dobiveni na Jerks opservatoriji, a ohrabren njima, Hejl se početkom ovog veka založio za podizanje velike Maunt-Vilsn opservatorije, koja se prvobitno bavila naročito izučavanjima Sunca. Sistematsko istraživanje Sunčevih snimaka, najviše u svetlosti linija K, H_α i H_γ , otkrio je vrtložnu građu pega, kao i vezu dveju susednih pega linijama koje su podsećale na magnetne linije sila između dva magnetna pola.

žaju, već i o širini svake linije, njenom profilu, rasporedu intenzivnosti i drugim odlikama svake linije u spektru.

Po pronalasku spektraske analize, a prilikom posmatranja prvog potpunog Sunčeva pomračenja u Indiji 18. 8. 1868. g. Žansen otkriva da protuberance emituju svetle linije vodonika i jednu nepoznatu, blizu dvostuke natrijumove, koju pripisuje novom hemijskom elementu "helijumu". Isto to primećuje i N. Lokajer. Tek je kasnije, 1895. g., helijum pronašao Remzi na Zemlji iz minerala kleveita. I Žansen i Lokajer tom prilikom su utvrdili da se protuberance sastoje iz usijanih gasova nekoliko desetina hiljada kilometara visine, da se kreću ogromnim brzinama i da većina brzo menja svoj oblik i položaj. Njine svetle linije bile su toliko sjajne da je to Žansena navelo na misao da se one mogu, kod ivičnih protuberanaca, posmatrati i van pomračenja. I doista, kad je prerez spektroskopa doveo da dodiruje Sunčev rub i pustio da po njemu klizi, pojavile su se ivične protuberance u punom sjaju. Isto to je doživeo i Lokajer. Tako je otkriven spektroskop za protuberance. No odmah je zatim Hegers zapazio da se prerez ne mora udaljavati postepno od ruba Sunčevog paralelno samom sebi da bi se ocrtao obris protuberance. Dovoljno je široko ga otvoriti, pa će se videti cela protuberanca, ako je dispersija velika i osnovni spektar dovoljno slaba sjaja. Zatim su sva tri astronoma zapazili da se protuberance javljaju najčešće u blizini pega i da u njih uviru, no da ih ima i sve do Sunčevih polova. Godine 1870. Lokajer, Celner i Vespigi, nezavisno, predlažu da se protuberance podele na "mirne" i "eruptivne", a Lokajer, sem toga, predlaže da se sloj u kome se one javljaju nazove "hromosfera". Duže vremena vladalo je pogrešno mišljenje da su pege uzroci protuberanaca.

Jung le 1870. g., za vreme pomračenja u Španiji, otkrio zelenu koroninu liniju (3303 Å), koja nije pripadala nijednom poznatom hemijskom elementu. Pretpostavljeni je element nazvan "koronijum". Sem toga, zapazio je da se na samom početku potpune faze pomračenja, pri tangentnom položaju proreza na spektroskopu, sve tamne Fraunhoferove linije pretvaraju u svetle i da to traje nekoliko sekunada. Smatrao je da ove linije pripadaju jednom naročitom sloju između fotosfere i hromosfere, debljine oko 500 km, koji je nazvao "obrti sloj". Ubrzo zatim on je u planinskim uslovima posmatrao spektar hromosfere i otkrio da je u njemu većina linija koje pripadaju metalima. Najsajnije su se pojavljivale i u eruptivnim protuberancama. U mirnim protuberancama javljale su se samo vodonikove linije, helijumova linija D_3 i još nekoliko za koje se kasnije pokazalo, kad je helijum nađen i na Zemlji, da takođe pripadaju helijumu.

U fotografskom spektru protuberanaca i hromosfere Hegers je 1875. g. otkrio, pored 4 poznate vodonikove linije, još čitav niz linija pravilno i sve gušće raspoređenih, koji se završavao na talasnoj dužini oko 3700 Å. Našao je još dve, najsajnije, u ljubičastom delu, koje su se poklapale s kalcijumovim linijama H i K od 3968 Å, odnosno 3934 Å.

Džozef Norman Lokajer, koji je počeo kao ljubitelj, da završi kao znameniti astronom, slično Heršelu, Beselu, Laselu, Rosu, Hegersu i mnogim drugim, izradio je svoju komoru s objektiv-prizmom i primenio je na posmatranje Sunčevih pomračenja. Fotografisao je Sunce na samom početku potpune faze, kad se "obrti sloj" javlja u vidu bleska našao u svima protuberancama vodonične linije i linije H i K. Fotografije su pokazale da se nekoliko sekunada posle bleska gube linije metala, a ostaju samo vodonikove, helijumove i H i K. Još je potpunije rezultate dobio Mičel 1905. g. kad je, mesto prizme, upotrebio Raulendovu rešetku.

I koroni je obraćena velika pažnja, jer se u to vreme mogla videti samo za potpunih Sunčevih pomračenja. U njoj su sad, osim zelene, nađene još po dve crvene i ljubičaste linije, pa je postalo sumnjivo da može postojati toliko raznih "koronijuma".

Prilikom redovnom snimanju protuberanaca zapaženo je da se sjajne linije vodonika i kalcijuma vide ne samo u protuberancama na rubu, već i u nekim aktivnim oblastima blizu pega, na samom koturu. Tu su se one javljale kao uske svetle linije u širokim tamnim, pa se smatralo da na tim mestima, iznad fotosfere, postoje velike mase usijanih gasova. Godine 1890. i 1891. A. Delandru, u Parizu, i Dž. E. Hejlu, u Čikagu, pronašli su, nezavisno i raznim putevima, moćni instrument za snimanje Sunca u jenoboju svetlosti — spektroheliograf. Prvi su snimci dobiveni na Jerks opservatoriji, a ohrabren njima, Hejl se početkom ovog veka založio za podizanje velike Maunt-Vilns opservatorije, koja se prvobitno bavila naročito izučavanjima Sunca. Sistematsko istraživanje Sunčevih snimaka, najviše u svetlosti linija K, H_{α} i H_{γ} , otkrio je vrtložnu građu pega, kao i vezu dveju susednih pega linijama koje su podsećale na magnetne linije sila između dva magnetna pola.

Već 1866. g. Lokajer je utvrdio da tamnija boja pega dolazi otud što je u njima većina Fraunhoferovih linija tamnija, a pojavljuje se i niz novih slabijih tamnih linija. Posle 1920. g. načinjen je na Maunt-Vilsn opservatoriji velik broj fotografija s visokom dispersijom, a 1933. g. Šarlota Mur je objavila izvanredno potpun katalog spektarskih linija Sunčevih pega. Kad je upoređen s Raulendovim, videlo se da su linije metala slabije u spektrima pega nego u spektru fotosfere, dok je s tzv. "niskotoplotnim linijama" bio obrnut slučaj. Sem toga, u spektru pega javilo se mnogo jakih molekularskih traka, što je bio dokaz da je temperatura pega osetno niža od fotosferske. U sredini većine metalnih tamnih linija nalazila se uska svetla linija. Mislilo se da je i tu uzrok što se u višim slojevima nalaze usijani gasovi. Međutim, 1908. g. Hejl je na Maunt-Vilsn opservatoriji otkrio da je po sredi cepanje linija usled Zemanovog efekta. Obe komponente bile su kružno polarizovane u suprotnom smeru. To je bio dokaz da u oblasti pega postoje jaka magnetna polja. Pega vodilja i pega pratilja, koje imaju vrtložnu građu suprotnog smera, uvek su imale i suprotna magnetna polja. Na južnoj Sunčevoj polusferi polarnost je bila obrnuta. Još je veće bilo iznenađenje kad se 1912. odnosno 1922. g. pri promeni cikla, pokazalo da se s tom promenom menja i polarnost pega na obema polusferama. Uzrok ovih pojava još nije utvrđen. Hejl je u vreme njihova otkrića pretpostavilo da suprotna polarnost susednih pega dolazi otud što pege treba shvatiti kao krajeve vrtložnog cilindra koji svojom sredinom leži dublje u fotosferi. I tako je do 20. veka, zahvaljujući upornim istraživanjima, sakupljena masa činjenica i znanja, no fizika Sunca nalazila se na stupnju prednjutnovske astronomije, kada još nije bilo sigurne i sveobuhvatne naučne teorije koja će sve pojave da objasni i poveže u skladnu celinu ulazeći u procese do te mere da ih može i predskazivati.

4.2.6. Rađanje teorijske astrofizike i njena primena na izučavanje Sunca

Ovakva se prilika pružila tek u našem veku sa stvaranjem teorijske astrofizike. Ono je započeto sa stvaranjem teorije zračenja u fizici. Osnovni zakon zračenja izveo je 1879. g. slovenački fizičar Jožef Stefan, a 1884. g. ga je teorijski potvrdio Bolcman. Zatim je 1893. g. drugi zakon izveo V. Vin. Ovi zakoni su omogućili izračunavanje površinske temperature Sunca na oko $6\ 000^{\circ}$, što je odgovaralo izmerenim vrednostima. Najzad je Maks Plank 1906. g., zasnivajući svoju teoriju kvanata, dao i treći zakon zračenja u kome se javlja i talasna dužina zračenja. Prvu zakonitost jednobojnog zračenja otkrio je 1885. g. I.I. Balmer, našavši formulu po kojoj se ređaju talasne dužine vodonikovih linija. Kad su Hegers i Dreper dobili snimke Vege i Sunčeve hromosfere u ultraljubičastom opsegu, otkrivene su vodonikove linije koje se povinuju Balmerovom obrascu, sve više se zgušnjavaju i teže granici od 3645 Å. Kasnije su Kajzer i Runge, a zatim Ridberg, našli formule po kojima se ređaju nizovi spektarskih linija i drugih elemenata i zapazili da njihovi položaji zavise od položaja elementa u periodnom sistemu.

No konačno tumačenje spektara postalo je moguće tek kad je Nils Bor 1913. g. predložio model atoma na osnovi Raderfordovih oglada iz 1911.g. Nađeno je da svaka svetla ili tamna linija postoji samo pri prelazu atoma s jednog na drugi energijski nivo, i tako je mnogo stotina spektarskih linija svedeno na nekoliko desetina "termova", pojam koji nam je poznat iz fizike. Zato je spektar mogao da da podatke o fizičkom stanju zvezdanih ili Sunčeve atmosfere, odakle nam zračenje dolazi.

Godine 1903. Karl Švarcšild je razradio teoriju Sunčeve atmosfere na osnovi pretpostavke o ravnoteži zračenja u njoj. Po njoj su temperatura i pritisak rasli s dubinom. Miln 1921. g. i Edingtn 1923. g. dali su svoje teorije po kojima Sunčevu atmosferu treba smatrati rezultatom dubljih, gušćih i toplijih slojeva. Neprekidni i linijski Sunčev spektar samo su odraz fizičkog stanja Sunčevih omotača.

Po Unseldovoj teoriji iz 1937. g. pošlo je za rukom da se izračuna i objasni i raspored intenzivnosti u profilima Fraunhoferovih linija. I obrnuto, da se iz ove intenzivnosti izvedu fizički uslovi u Sunčevoj atmosferi: temperatura, pritisak, jonozovanost i zastupljenost hemijskim elementima. Tako je nađeno da broj vodonikovih atoma u Sunčevoj atmosferi mnogo hiljada puta prevazilazi broj svih ostalih elemenata.

Godine 1926. Hejl je napravio spektrohelijskop kojim su se mogle bolje no spektroheliografom otkrivati promene u Sunčevim slojevima. Već prvih dana njegove upotrebe otkriva Hejl jednu sjajnu hromosfersku erupciju i podseća se one koju je video Keringtn 1859. g. i smatrao je posledicom pada velikog meteorita na Sunce. Hej-

lova erupcija razvijala se 10^m , a zatim smirivala u toku pola časa. Godine 1933. otkriveno je da se sa smirivanjem hromosferske erupcije prigušuju i kratki radio-talasi — učinjeno je otkriće od ogromnih posledica i velikog praktičnog značaja. Kasnije je nađeno da čestice emitovane sa Sunca u ovakvim slučajevima vrše jaku jonizaciju Zemljine atmosfere sa rečenim posledicama.

Izučavanjem širine hromosferskih linija pokazalo se da je temperatura u hromosferi reda vleičine $30\ 000^\circ$, a kada je Lio 1930. g. izradio koronograf i omogućio podrobno izučavanje koroninih linija, videlo se iz njine širine da u koroni mora vladati temperatura od milion i više stepena. To je izgledalo neverovatno, ali je 1941. g. tajna koroninih linija objašnjena. Po Grottrijanovoj sugestiji švedski fizičar Bengt Edlen utvrdio je da najsjanije koronine linije potiču od 9, 10 i 13 puta jonizovanog gvožđa, 11 i 12 puta jonizovanog kalcijuma i od 11–15 puta jonizovanog nikla. Da se izbací ovako veliki broj stabilnih elektrona upravo je potrebna temperatura od milion i više stepena. Kasnije, pokazalo se i drugim metodama da korona ima tako visoku temperaturu.

Otkriće tako visokih temperatura u Sunčevim omotačima obavezalo je astrofizičare da se više pozabave materijom u jonizovanom stanju — plazmom. Osim toga od 1950. g. otkriveno je da, sem Sunca, mnoge zvezde, pa i međuzvezdana materija imaju magnetno polje. Sve je to pokazivalo da teroija zračenja i spektara, i pored velikih uspeha, nije dovoljna da objasni složene pojave na Suncu i drugim zvezdama. Tako je od sredine 20. veka teorijska astrofizika počela da se razvija u pravcu magneto-hidrodinamike, odnosno kosmičke elektrodinamike. Ako tome dodamo termonuklearne reakcije, koje se kao izvor zvezdane energije proučavaju od 1939. g., onda smo naveli osnove teorijske astrofizike koja je primenjena na Sunce dala vrlo značajne rezultate.

4.2.7. Izučavanja Sunčeve unutrašnjosti

Da se prodre i u samu Sunčevu unutrašnjost uspelo je tek 1920. g. kada su otkriveni zakoni zračenja. Još je A. Riter to pokušao teorijski 1878–1883. g., ali bez uspeha, baš zbog nepoznavanja zakona zračenja. Ni Emdenu to nije pošlo za rukom 1907. g., ali je on sa uspehom odgonetnuo prirodu granula. Edington je, međutim, počeo 1916. g. niz teorijskih radova polazeći kao i Švarcšild od ravnoteže zračenja i koristeći Emdenove račune. On je izveo temperaturu, gustinu, pritisak, stupanj jonizovanosti i koeficijent upijanja. On je prvi za Sunčevo središte našao temperaturu od 18 miliona stepena i pritisak od 9 milijardi atmosfera. Stanje materije pod ovakvim fizičkim uslovima prevazilazilo je mogućnost naše provere ogledima ali je prvi put omogućeno da se materija razmatra pod takvim uslovima.

4.2.8. Najnovija izučavanja Sunca

Ona se najviše odnose na izučavanja njegovih zračenja u ostalim opsezima spektra, van vidljivog. J. Vilsing i J. Šajner su prvi pokušali 1896. g. da dokažu postojanje Sunčeva radio-zračenja, ali bez uspeha. To nije pošlo za rukom ni Oliveru Lodžu 1894. g., ni Š. Nordmanu, u Medonu 1902. g. Karl Janski je slučajno otkrio 1931–1932. radio-zračenje Mlečnog puta. Njega posle nekoliko godina potvrđuje Grot Riber. Godine 1942. Dž.S. Hej i Sautvort jako zračenje, koje je pretpostavljeno da dolazi od neprijatelja, poistovećuju sa Sunčevim. To je bilo prvo registrovano Sunčevo radio-zračenje. Zatim se obrazuju grupe istraživača, od kojih valja pomenuti najranije: onu u Kembridžu (Engleska), pod rukovodstvom M. Rajla, onu u Džodrel Benku (Mančester) pod upravom N.S. Lovela i, naročito, onu u Sidniju (Australija). U toku višegodišnjih merenja utvrđeno je da nam Sunce šalje 4 vrste radio-zračenja: osnovno, koje je stalno prisutno, i 3 povremena, i to zračenje iz aktivnih oblasti bliskih pegama, drugo u vezi sa hromosferskim erupcijama, koje je i neuporedivo najjače, i treće koje se ispoljava u vidu izolovanih impulsa. Kasnije je utvrđeno da postoji Sunčevo radio-zračenje toplotnog i netoplotnog porekla, zatim da radio-zračenje fotosfere upijaju hromosfera i korona, a da do nas dopiru samo ona koja nam šalju ova dva Sunčeva sloja. Zatim su se nizali pokušaji da se objasne i mehanizmi povremenih zračenja i mnogi drugi, ali sa njima smo već daleko prekoračili prag istorije i zašli u savremena istraživanja o kojima se govori na drugom mestu.

Iz istog razloga ovdce ćemo samo pomenuti istraživanja Sunčevog opšteg magnetnog polja od izuzetne važnosti, kao i magnetnih polja pega. Pomenimo zapaženi novi pronalazak oca i sina Bebkok—Sunčev magnetograf, kojim su poslednjih decenija izvršili jak prodor u istraživanju Sunčevog magnetizma. Samo pomenimo, isto tako,

snimanja Sunca iz balona i raketa, koja su dala i izvanredne snimke i olakšala izučavanje pega i granula. Zatim omogućila Tausiju u SAD da dobije snimke Sunčeva spektra sve do 1000 Å zahvaljujući upotrebi rakete "Aerobi-Hi" 19. aprila 1960. g. Najzad prve rendgenske snimke Sunca koje je dobio Fridman. I, na kraju, tražnja za Sunčevim noutronima.

Odeljak treći Istraživanja u galaktičkoj astrofizici

Naporedo sa izučavanjem Sunca astronomi su se zanimali i za zvezde i na njihova izučavanja primenjivali po redu mnoga dostignuća i instrumente koje im je stavila na raspolaganje fizika. Zatim su prešli na izučavanje zvezdanih jata i maglina i, najzad, na isplćivanja međuzvezdane materije. Tako je stvorena čitava jedna grana astrofizike koja se bavi telima u našem Zvezdanom sistemu, nazvana galaktička astrofizika. Ovde će biti izložene po istorijskom redu samo njene najkrupnije tekovine.

4.3.1. Zvezdana fotometrija

Još je Ptolemej po stupnju sjajnosti delio sve zvezde vidljive golim okom na 6 prividnih veličina i izbrojao ih po tim veličinama: 15, 45, 208, 474, 217 i 49. Mnogo vekova zatim nije se poklanjala velika pažnja prividnim veličinama. Tek u 19. veku Argelander: 1837. g., u Bonu, započinje sistematsko njihovo merenje upoređivanjem "od oka" i nalazi u prvih 6 prividnih veličina respektivno: 14, 51, 153, 325, 810 i 1871 zvezdu ili ukupno 3256. Rezultat ovoga rada je njegova "Uranometria nova" iz 1843. g., koja je zamenila Bajerovu. I Eduard Hejs, iz Minstera, stvara 1872. g. svoj "Atlas celestis novus" sa 5421 zvezdom. Oba nisu išla dalje od 40° južne deklinacije. Ovaj je nedostatak popunio Bendžamin Guld, koji je pozvan u Kordovu da organizuje opservatoriju. Tamo je sa svojim saradnicima izradio 1879. g. atlas i katalog zvezda do 7 veličine pod nazivom "Uranometria Argentina". Značajno je da je prvi vršio procene na deseti deo prividne veličine i da su mu procene vrlo precizne. Kasnije su u Heršelovoj zaostavštini nađene i njegove procene na deseti deo. Njegov sin, Džon Heršel, služeci se teleskopom žižne daljine 20 stopa, na Rtu Dobre Nade, od 1834—1837. g. izradio je svoj katalog u kome su prvi put prividne veličine date na dva decimalna mesta, pa se sad s njima moglo kvantitativno računati. Ali svojim prvim fotometrom, tzv. "astrometrom", mogao je on izmeriti prividne veličine samo 65 sjajnih zvezda, jer ih je upoređivao sa sjajem Meseca.

I Vilijam i Džon Heršel smatrali su da bi zvezda 1. prividne veličine, udaljena 2, 3, 4, ... puta, postala zvezdom 2, 3, 4, ... prividne veličine. Štajnhajl je 1835. g. prvi uvideo da prividne veličine ne predstavljaju razlike u količini svetlosti već odnos njihovih jačina. Za taj odnos bio je uzeo 2,83, što se kasnije složilo i sa Fehnerovim psihofizičkim zakonom.

Za Dž. Heršelom fotometrijska merenja je, drugi po redu, vršio od 1852—1860. g. L. Cajdel Štajnhajlovim fotometrom, gde su se ogledalima u teleskop dovodili likovi dve zvezde radi upoređenja. Likovi su dovodeni van žiže, pa ih je tada bilo lakše porediti. No i on je uspeo da fotometriše samo 208 sjajnih zvezda, doduše vrlo precizno. Masovnija i tačnija fotometrijska merenja omogućio je zatim Celnerov meridijanski fotometar s nikolima. Tada je Štajnhajl utvrdio da se zvezde prve i druge veličine znatno razlikuju po sjaju, kao i to da se odnos dve uzastopne prividne veličine kreće između 2,2 i 2,5. Godine 1850. Pogson, iz Oksforda, predložio je da se poslednja vrednost unese u definiciju i otada je u opštoj upotrebi. Tada su uvedeni nula i negativne vrednosti za sjajnije zvezde, planete, Mesec i Sunce.

Od 1886—1905. g. Gustav Miler i Paul Kempf odredili su Celnerovim fotometrima s tačnošću od $\pm 0^m,07$ prividne veličine svih zvezda do $7^m,5$ na Potsdamskoj astrofizičkoj opservatoriji, doduše samo zvezda na severnoj polulopti. Međutim, od 1879. g. Edvard Pkering, na Harvarskoj opservatoriji, započeo je svojim fotometrom fotometriju zvezda do $7^m,5$, s nešto nižom tačnošću ($0^m,10-0^m,15$), ali obuhvatajući celo nebo, što se kasnije pokazalo od velika značaja. Južne zvezde fotometrisao je sa Opservatorije Arekvipa (na Peruanskim Andima). Ne možemo a da ne pomenemo i Pričardov oksfordski katalog iz 1885. g., izrađen fotometrom s

neutralnim optičkim klinom, nešto niže tačnosti.

Posebno mesto u istoriji zvezdane fotometrije zauzima Švarcšildov katalog izrađen od 1904–1908. g., jer je tada prvi put uvedena fotografska fotometrija, a pocrnjenja vanžičnih likova upoređivana su njegovom "štrafir-kasetom" načinjenom za tu svrhu. Tačnost ovog kataloga popela se na $0^m,02$. Ali nažalost uspeo je da završi samo prvu zonu, do 20° nad ekvatorom, uključujući sve zvezde do $7^m,5$, njih 3500.

Još se ranije sumnjalo da prividna veličina nije merilo pravog sjaja zvezda, da tu utiče i njena daljina. To je potvrđeno kad su Proktor 1869. g., a zatim još tačnije Kinkerfus,, u Getingenu 1878. g., pokazali da se 5 zvezda iz Velikog Medveda kreću zajednički, a naročito kad je Hercšprung 1909. g. pokazao da toj grupi pripada i Sirijus. Kasnije je nađeno više takvih grupa. Uskoro izmerene paralakse pokazale su napr. da Alfa Kentaura, Sirijus, Vega i dr. izgledaju izvanredno sjajne samo zbog njihove blizine, a da su npr. Kanopus, Betelgez, Rigel i dr. veoma sjajne i pored njihove ogromne daljine :zato što su to stvarno zvezde ogromnog sjaja. Kad su u dovoljnom broju dobivene i prividne veličine i paralakse, uveden je pojam "apsolutne veličine" za upoređenje zvezda po sjaju. Tada se videlo da se zvezde po apsolutnoj veličini mogu razlikovati i za 18^m-20^m , tj. za 16–100 miliona puta. Kad je nađena i apsolutna veličina Sunca videlo se da se ona nalazi negde po sredini aposlutnih veličina zvezda. Ima ih koje su i 10 000 puta sjajnije, a i takvih koje su i 10 000 puta slabija sjaja.

4.3.2. Zvezdana kolorimetrija

Još je Ptolemej razlikovao zvezde po boji, a V. Struve je zapazio velike kontraste, često i prividne, kod komponentata dvojnih zvezda. Da određuje boje zvezda instrumentom prvi je pokušao Fridrih Celner. On je u tu svrhu prepravio svoj fotometar tako da je veštačkoj zvezdi mogao dati proizvoljnu boju. Ali ove boje nisu potpuno odgovarale bojama zvezda, koje su se kretale, preko mnogih prelaza, od crvene, preko narandžaste i žute do bele i plavičaste. One su odgovarale bojama koje se postupno javljaju pri usijavanju metala. Zato se tada pojavila misao da boje zvezda zavise od njihove temperature.

Prve oznake boja ciframa od 0–10 uveli su Julijus Smit i Herman Klajn. Pri fotometrijskim merenjima u Potsdamu određivana je i boja početnim slovima nemačkih naziva za boje i sa dva slova za prelaznu nijansu. Najdlaje je otišao ljubitelj astronomije iz Kelna, H. Osthof, koji je odredio u Smitovoj škali boje za 1 000 zvezda do 5^m . On je nijanse ocenjivao na 0,1 pomenute lestvice i postigao tačnost od $\pm 0,2$. Obiman je rad na oceni boja krajem 19. veka izvršio i F. Kriger.

Za određivanje boje K. Graf je konstruisao "kolorimetar" u kome se, pomoću klina od crvenog stakla, mogla dati veštačkoj zvezdi svaka željena boja. Ocene su uvek vršene "od oka". U to vreme primećeno je da razlika između vizualne i fotografske prividne veličine, tzv. "indeks boje", daje boju zvezde. Druga je karakteristika za boju nađena u tzv. "efektivnoj talasnoj dužini" – srednjoj od svih koje učestvuju u obrazovanju fotografskog lika zvezde. Zapažena su ostala određivanja H. Komstoka. Obe su karakteristike predstavljale borjeve koji pokazuju raspored intenzivnosti u spektru. One su davale i temperaturu zvezde, jer po Plankovoj i Inovoj formuli i s račćenjem temperature jače raste intenzivnost kraćih talasnih dužina.

4.3.3. Zvezdana spektroskopija i spektrografija

Povećanju obima znanja o zvezdama najviše su doprinele spektroskopija i, kasnije, spektrografija. Još je Fraunhofer 1817. g. primetio da se u spektrima Sirijusa i Kastora pojavljuju druge spektarske linije no u Sunčevom. Ubrzo po Kirhoflijevu otkriću spektarske analize načinjeni su i prvi spektroskopi. Prvi su ih primenili na izučavanje zvezda Rezeford u Americi, Donati u Italiji, V. Hegini u Engleskoj, A. Seki na Vatikanskoj opservatoriji, Ž. Žansen u Francuskoj i F.A. Bredihin i N.G. Jegorova u Rusiji. Hegini je izučio mnoge zvezdane spektre i 1868. g. ustanovio da su zvezde sastavljene iz istih hemijskih elemenata kao i Sunce, i Zemlja. Ovim je dao neoboriv dokaz o jedinstvu materije u prirodi.

Seki je od 1863–1868. g. proučio spektre 4 000 zvezda i podelio ih u 4 tipa s nekoliko prelaza. Prvi je tip obuhvatio bele i plavičaste zvezde s vodonikovim linijama, drugi zvezde Sunčeva tipa, a treći i četvrti zvezde s trakama u spektru, odn. sa tamnim trakama. Zapazio je još neke izuzetne zvezde, kao Gama Kasiopeje ili Delta Lire, u čijim su se spektrima javljale jake svetle linije kao i kod nove iz 1866. g. u Severnoj Kruni.

Godine 1864. Hégins je dobio spektar planetne magline u Zmaju i našao u njemu samo 3 zelene svetle linije. Isto to je našao i u spektru Orionove magline i time rešio Heršelovu zagonetku: da li su ove magline razređeni usiljeni gasovi ili se sastoje iz mnoštva nerazlučivih zvezda, u korist prve alternative. On je izučio i spektre više vangalaktičkih maglina, sličnih Andromedinoj i ovaj put dao odgovor u korist druge alternative. Hégins je prvi izmerio i radljalne brzine zvezda, za koja su se istraživanja ubrzo opredelile Grinička i Pulkovska opservatorija. A kada su Fogel i Šajner 1887. g. načinili prvi spektrograf, započelo je preciznije i masovnije izučavanje zvezdanih spektara. Najpre je zapaženo da se pomoću radljalnih brzina može još jednom dokazati Zemljino kretanje oko Sunca. Ovim je putem potvrđen i sam Doplerov princip u koji su neki fizičari sumnjali.

4.3.4. Razvrstavanje zvezda po spektrima

Sekljeva spektarska podela zvezda bila se dosta dugo odomacila kad ju je Fogel još podrobnije razradio i izrekao misao da ona prikazuje razvojni put zvezda, iako je ovaj zamisli bilo i dosta protivljenja. U Potsdamu je započet spektroskopski katalog po Fogelovoj podeli, ali su objavljeni rezultati samo za pojas od 0° – 20° deklinacije, pa je rad prekinula primena fotografije koja je mnogo više obećavala.

Pioniri ove primene bili su Henri Dreper, u SAD, i Hégins u Engleskoj. Dreperu je pošlo za rukom, pošto je sam izradio teleskop 72 cm otvora i izbrusio za nj objektiv—prizmu od kvarca, da snimi prvi spektar zvezde (Vege). Zatim je drugim instrumentom dobio snimke još 50 zvezdanih spektara. Uskoro je i Hégins dobio snimke i iz njih otkrio produžetak niza vodonikovih linija u ultraljubičastom opsegu. To je bio niz koji je već posmatran u spektru Sunčeve hromosfere i za koji će kasnije Balmer naći formulu rasporeda.

Posle Dreperove smrti, 1882. g., E.K. Pikerling je nastavio rad objektiv-prizmom i prvi ostvario masovnu zvezdanu spektrografiju uvodeći svoju podelu s oznakama A, B, F, G, K, M i N. Prvi tzv. Dreperov katalog zvezdanih spektara, koji je Pikerling izradio, sadržao je spektre preko 10 000 zvezda. Rad je nastavio na teleskopu otvora 25 cm i proširio ga u Arekvipi na celo nebo.

Pomno izučavajući zvezdane spektre Anotnija Morijah je 1897. n. podelila na 24 zvezdane klase, no ova podela nije bila prihvaćena. U 13 zvezda iz Oriona otkrila je ona, a zatim i Fogel i Šajner u drugim zvezdama, izvesne karakteristične linije za koje je tek posle Remzijevo otkrića helijuma na Zemlji 1895. g. utvrđeno da pripadaju helijumu. A. Mori je zapazila u svim klasama zvezde sa širokim tamnim linijama (a), one s vrlo širokim tamnim linijama (b) i sa jakim svetlim linijama (c), koje su nazvane zvezde s "pojačanim linijama" ("enhanced lines"). Zvezde sa linijama svrstale je ona u zasebnu klasu, no njina je tajna tek kasnije razjašnjena.

Kada je objektiv — prizma ušla u tokuću upotrebu, preduzeto je na Harvardskoj opservatoriji snimanje spektara svih zvezda do 9. prividne veličine. Ovu podelu izvršila je Ana Kenon uvodeći šifre od 0–9 iza slovne oznake spektra za prelazne oblike. Tom prilikom je klasa B stavljena po prirodnom redu ispred A, a ispred B stavljena je nova klasa O zvezda s jakim svetlim linijama kakve su davale i gasovite magline. Iza M klase stvoren je za naročite zvezde pobočan niz R, N, S zvezda. Posle mnogo godina trudnog rada izišli su rezultati ove podele kao drugi "Henri Dreper katalog" sa spektrima 225 000 zvezda od 1918–1924. g. u 9 knjiga Harvardskih anala. Vrele zvezde O tipa nazvane su još i Volf-Rajeove po imenima dva pariska astronoma koji su ih otkrili još 1867 g. Krajem 19. veka Pikerling je u nekim O zvezdama, pored vodonikova niza, našao još jedan, koji se dobija po Balmerovoj formuli kad se u nju mesto 3, 4, 5 ... stavi $3, 1/2, 4, 1/2, 5, 1/2, \dots$. Mislilo se da njega emituje vodonik pod posebnim uslovima, ali je kasnije dokazano da to nije slučaj.

4.3.5. Prve pretpostavke o razvoju zvezda

Kako je sa spektarskim klasama od O do M opadala i temperatura zvezda, to je Fogel izneo pretpostavku da je prolaz kroz spektarske klase razvojni put skoro svake zvezde usled hlađenja, pa se govorilo o "ranim" i "pozanim" spektarskim klasama. No kako se mala tela brže hlade, to bi u dvojnih zvezda, po ovoj pretpostavci, mali pratilci trebalo da budu uvek "poznije" spektarske klase. Munk je 1892. g. međutim, pokazao da ovo nije ni približno slučaj, pa je ova pretpostavka napuštena.

Godine 1864. Hegins je dobio spektar planetne magline u Zmaju i našao u njemu samo 3 zelene svetle linije. Isto to je našao i u spektru Orionove magline i time rešio Heršelovu zagonetku: da li su ove magline razređeni usiljeni gasovi ili se sastoje iz mnoštva nerazlučivih zvezda, u korist prve alternative. On je izučio i spektre više vngalaktičkih maglina, sličnih Andromedinoj i ovaj put dao odgovor u korist druge alternative. Hegins je prvi izmerio i radijalne brzine zvezda, za koja su se istraživanja ubrzo opredelile Grinička i Pulkovska opservatorija. A kada su Fogel i Šajner 1887. g. načinili prvi spektrograf, započelo je preciznije i masovnije izučavanje zvezdanih spektara. Najpre je zapaženo da se pomoću radijalnih brzina može još jednom dokazati Zemljino kretanje oko Sunca. Ovim je putem potvrđen i sam Doplerov princip u koji su neki fizičari sumnjali.

4.3.4. Razvrstavanje zvezda po spektrima

Sekljeva spektarska podela zvezda bila se dosta dugo odomaćila kad ju je Fogel još detaljnije razradio i izrekao misao da ona prikazuje razvojni put zvezda, iako je ovaj zamisli bilo i dosta protivljenja. U Potsdamu je započeo spektroskopski katalog po Fogelovoj podeli, ali su objavljeni rezultati samo za pojas od 0° – 20° deklinacije, pa je rad prekinula primena fotografije koja je mnogo više obećavala.

Pioniri ove primene bili su Henri Dreper, u SAD, i Hegins u Engleskoj. Dreperu je pošlo za rukom, pošto je sam izradio teleskop 72 cm otvora i izbrusio za nj objektiv–prizmu od kvarca, da snimi prvi spektar zvezde (Vege). Zatim je drugim instrumentom dobio snimke još 50 zvezdanih spektara. Uskoro je i Hegins dobio snimke i iz njih otkrio produžetak niza vodonikovih linija u ultraljubičastom opsegu. To je bio niz koji je već posmatran u spektru Sunčeve hromosfere i za koji će kasnije Balmer naći formulu rasporeda.

Posle Dreperove smrti, 1882. g., E.K. Piking je nastavio rad objektiv-prizmom i prvi ostvario masovnu zvezdanu spektrografiju uvodeći svoju podelu s oznakama A, B, F, G, K, M i N. Prvi tzv. Dreperov katalog zvezdanih spektara, koji je Piking izradio, sadržao je spektre preko 10 000 zvezda. Rad je nastavio na teleskopu otvora 25 cm i proširio ga u Arkvipi na celo nebo.

Pomno izučavajući zvezdane spektre Anotnija Mori ih je 1897. n. podelila na 24 zvezdane klase, no ova podela nije bila prihvaćena. U 13 zvezda iz Oriona otkrila je ona, a zatim i Fogel i Šajner u drugim zvezdama, izvesne karakteristične linije za koje je tek posle Remzijevo otkrića helijuma na Zemlji 1895. g. utvrđeno da pripadaju helijumu. A. Mori je zapazila u svim klasama zvezde sa širokim tamnim linijama (a), one s vrlo širokim tamnim linijama (b) i sa jakim svetlim linijama (c), koje su nazvane zvezde s "pojačanim linijama" ("enhanced lines"). Zvezde sa linijama svrstala je ona u zasebnu klasu, no njina je tajna tek kasnije razjašnjena.

Kada je objektiv – prizma ušla u tekuću upotrebu, preduzeto je na Harvardskoj opservatoriji snimanje spektara svih zvezda do 9. prividne veličine. Ovu podelu izvršila je Ana Kenon uvodeći šifre od 0–9 iza slovne oznake spektra za prelazne oblike. Tom prilikom je klasa B stavljena po prirodnom redu ispred A, a ispred B stavljena je nova klasa O zvezda s jakim svetlima i linijama kakve su davale i, gasovite magline. Iza M klase stvoren je za naročite zvezde pobočan niz R, N, S zvezda. Posle mnogo godina trudnog rada izišli su rezultati ove podele kao drugi "Henri Dreper katalog" sa spektrima 225 000 zvezda od 1918–1924. g. u 9 knjiga Harvardskih anala. Vrele zvezde O tipa nazvane su još i Volf-Rajeove po imenima dva pariska astronoma koji su ih otkrili još 1867 g. Krajem 19. veka Piking je u nekim O zvezdama, pored vodonikova niza, našao još jedan, koji se dobija po Balmerovoj formuli kad se u nju mesto 3, 4, 5 ... stavi $3, 1/2, 4, 1/2, 5, 1/2, \dots$. Mislilo se da njega emituje vodonik pod posebnim uslovima, ali je kasnije dokazano da to nije slučaj.

4.3.5. Prve pretpostavke o razvoju zvezda

Kako je sa spektarskim klasama od O do M opadala i temperatura zvezda, to je Fogel izneo pretpostavku da je prolaz kroz spektarske klase razvojni put skoro svake zvezde usled hlađenja, pa se govorilo o "ranim" i "poznim" spektarskim klasama. No kako se mala tela brže hlade, to bi u dvojnih zvezda, po ovoj pretpostavci, mali pratilac trebalo da bude uvek "poznije" spektarske klase. Munk je 1892. g. međutim, pokazao da ovo nije ni približno slučaj, pa je ova pretpostavka napuštena.

Lokajer je, pak, još 1878. g. iskazao drugu jednu pretpostavku – da hemijski elementi nisu prosti, već sastavljeni od delića prvobitne materije "praelementa", na koje se elementi raspadaju na vrlo visokim temperaturama ili pri električnim praženjenjima. Godine 1900. on je tvrdio da su ovi procesi uzroci nastanka s linija Anotnije Mori. Lokajer je našao da su skoro u svakoj klasi kod nekih zvezda ove linije jače, a kod drugih slabije. Tada je postavio svoju pretpostavku o razvoju zvezda (koja se slagala sa Lejnovim teorijskim zaključcima) o uzlaznoj i silaznoj liniji. Nebeska tela, po toj pretpostavci, počinju kao hladne razređene magline, zatim se od zgušnjavanja sve više zagrevaju prelazeći iz kalse u klasu. Kad dostignu izvestan maksimum temperatue one se i dalje zgušnjavaju, ali se i hlade sve više i više da završe kao sićušne tamne zvezde. U vreme porasta temperature u spektrima se javljaju pojačane svetle linije, a u doba hlađenja tamne. Ova pretpostavka o razvoju i podeli zvezda nije prihvaćena, jer se Lokajer oslonio na tzv. "meteorsku hipotezu" po kojoj je u početku postojao meteorski roj, usled sudara se on zagrevao i postupno pretvrao u gas, a zatim se oblikovao u zvezde.

4.3.6 Hercšprung–Raselov dijagram

Više svetlosti u ovo područje uneto je kad se preko paralaksa i sopstvenih kretanja, došlo do apsolutnih veličina, pravih veličina i gustina zvezda. Ogromne razlike u sjaju zvezda postale su jasne kad su zvezde podeljene u spektarske klase. Bilo je jasno da sjaj od O do B zvezda opada zbog opadanja njihove temperature, ali nije bilo jasno da kod još hladnijih zvezda K i M klase sjaj ponovo raste. To je objasnio E. Hercšprung 1905. g. kad je otkrio dva itpa G, K i M zvezda: vrlo sjajne (s velikom površinom) i vrlo slabe (s malom površinom). Prve je nazvao "zvezde džinovi", a druge "zvezde patuljci". Za džinove se ispred oznake za spektarsku klasu stavlja slovo g, a za patuljke d. Broj crvenih patuljaka K i M bio je mali, jer su se zbog slaba sjaja videli samo oni u Sunčevoj okolini, dok je broj džinova bio mnogo veći, jer su se videli i na hiljadama puta većim daljinama. Hercšprung je dalje našao da sve c zvezde mis Mori imaju vrlo malu paralaksu i sopstveno kretanje, što je značilo da su izvanredno sjajne. Kasnije su nazvane "naddžinovima", a uvidelo se da njima pripadaju i cefeide. Sva ova istraživanja, kojima se pridružio i Rasel, iz Prinistona, saželi su oni u svoj čuveni dijagram iz 1913. g. Na apscisnu osovinu nanete su spektarske kalse, a na ordnatnu apsolutne veličine zvezda, pri čemu su velike skupine zvezda iste vrste označene tačkom, a skupine džinova i naddžinova kružićima. Došlo se do zaključka da se skoro sve zvezde raspoređuju u dve trake. Jedna je ležala približno horizontalno na $M = 0$ i prolazila kroz sve spektarske kalse – tu su džinovi oko 100 puta sjajniji od Sunca. Druga je išla koso na niže, s leva u desno. Ona sadrži pri vrhu A zvezde s apsolutnom veličinom 0, zatim se ređaju F (3^m), G (5^m), K (7^m) i M (10^m). Kasnije je ova traka nazvana "glavni niz", jer sadrži veliku većinu zvezda. Više nje nalaze se B i O zvezde s apsolutnim veličinama od -1^m do -5^m . Autori su za sve ove vrste našli zanimljive primere među zvezdama. No jedna čudna zvezdica nigde se nije dala svrstati. To je bila dvojna α^2 Eridani s periodom od 200 godina i velikom paralaksom i sopstvenim kretanjem. Pratilac je bio patuljak 400 puta slabija sjaja od Sunca i s masom samo 0,4 Sunčeve, kako je pokazivalo njegovo putanjsko kretanje. Sve su to odlike crvene zvezde klase M, međutim to je bila bela zvezda klase A. Tako je otrkivena prva zvezda "beli patuljak", a 1915. g. je na Maunt-Vilsn opservatoriji Adams našao da je i Sirijusov pratilac takođe beli patuljak. Ove zvezde svrstane su u HR dijagram s leve strane glavnog niza, pri dnu. Ove su zvezde bile malog sjaja i umerene mase, a silno su zračile. Pretpostavilo se da je zvezda ili doista vrlo mala, a tada 60 000 puta gušća od vode, ili predstavlja izuzetno aktivno mesto na velikoj znatno tamnijoj zvezdi. Oba slučaja izgledala su tada nemoguća.

Rasel je već 1913. g. uporedio svoj dijagram s Lejnovom pretpostavkom zvezdanog razvoja i našao da uspona grana odgovara njegovoj horizontalnoj traci zvezda džinova, u kojoj je porast temperature u tolikoj meri nadoknađen smanjenjem površine da je sjaj ostajao isti, iako se zvezda pretvarala iz crvenog u belog džina. Silazna grana odgovarala je glavnom nizu u kome su se i temperatura i površina smanjivale, pa je sjaj osetno opadao. Rasel je smatrao da je Lokajer sa svojom pretpostavkom o razvoju zvezda bio u pravu i da je sada ona samo još čvršće argumentovana. Međutim u naše vreme pokazalo se da je razvoj zvezda znatno složeniji. O njemu će biti govora u poslednjoj glavi.

Srazmernost između sjaja zvezde i sjaja linija u spektru bila je odavno zapažena. Ali sada je ona i kvantitativno izražena, pa su se mogle i apsolutne vlačine zvezda određivati iz sjaja njihovih linija u spektrima. A kada se došlo do apsolutne veličine iz spektra i do prividne veličine fotometrijski, onda je bilo lako izračunati i paralaksu ili daljinu zvezde. Ovaj su metod razradili Adams i Kolšiter, na Maunt-Vilsn opservatoriji, od 1914—1918. g. i dali empirijske tablice za određivanje apsolutne veličine iz sjaja spektarskih linija. Na taj način mogle su se odrediti i sasvim male paralakse nepristupačne drugim metodama, doduše s greškom od 20% merene veličine. U pomenutom razdoblju na istoj opservatoriji određene su paralakse za oko 1400 zvezda klasa F, G i K., a zatim su se na ovaj rad bacile i druge opservatorije.

4.3.7. Posmatrane činjenice i teorija jonizacije

Čim je Bōr 1913. g. postavio svoju atomsku teoriju, mogao je objasniti Pickeringov niz spektarskih linija u O zvezdama, kao niz koji dolazi od jonizovanih atoma helijuma. Pokazalo se isto tako da i drugi elementi daju Lokajerove pojačane linije ili c linije mis Mori. Dok je on pretpostavljao da su se elementi na visokim temperaturama i pri električnim pražnjenjima raspadali na praelemente, njihovi su se atomi ustvari raspadali na jone i slobodne elektrone.

Kad je Megnad Saha izveo 1920. g. formulu za jonizaciju, ona je mogla dati stepen jonizacije kao funkciju temperature i pritiska. Jačina spektarskih linija mogla se izračunati iz fizičkih uslova u zvezdanoj atmosferi koja zrači, pa i obrnuto, ovi su se uslovi mogli odrediti iz jačine linija. Tako je formula jonizacije postala glavno sredstvo za kvantitativno izučavanje zvezdanih spektara. Saha je mogao odmah objasniti niz spektarskih klasa od O do M kao posledicu temperaturskih razlika. Ranije je razlika u ovim klasama pripisivana različitom hemijskom sastavu a sada je postalo jasno da sve te razlike i pri istom hemijskom sastavu dolaze od različitih temperatura. Saha je formula objasnila i zašto zvezde džinovi imaju pojačane linije. U pitanju je pojačanje jonizacije sa povećanjem zapremine i smanjenjem pritiska, džinova. Zahvaljujući Raselu, Milnu i njegovoj teoriji zvezdanih atmosfera, kao i Ceciliji Pejn, koja ju je od 1914. g. primenila na harvardske spektre, spektarska analiza je stala na egzaktno osnove.

Pokazalo se da spektar može dati efektivnu temperaturu kao meru jačine zračne energije na površini zvezde iz koje se može izračunati njena masa iako nije dvojna.

4.3.8. Zvezdana termometrija

Prva određivanja temperature zvezda izvršena su po rasporedu/intenzivnosti u spektru. Kod većih zvezda od Sunca najveća se intenzivnost nalazila u plavom i ljubičastom delu spektra, a kod zvezda hladnijih od Sunca u crvenom. Vinova formula omogućavala je da se izračuna temperatura iz merenih razlika najveće intenzivnosti. Račun je postao siguran tek s razvojem teorije zvezdanih atmosfera. Za zvezde klase A₀ dobivena je temperatura od 10 000—11 000°, a za M₀ oko 3000°. Za zvezde A, B i O, zbog apsorpcije njene svetlosti koja dolazi sa velikih daljina, temperatura se nije mogla odrediti na ovaj način. Nju je Cecilija Pejn 1924. g. odredila po linijama jedanput, dvaput i tiput jonizovanih atoma silicijuma. Za zvezde od B₅—B₀ ona je iznosila 15 000—20 000°, a za zvezde O₉—O₈ 25 000—30 000°.

U daljim klasama nađene su linije jonizovanog helijuma, kiseonika, azota i ugljenika, što je dalo još više temperature. Njih je odredio Zanstra 1925. g. Najveća intenzivnost zračenja tih zvezda pada na oko 1000 Å, a sve ispod 3000 Å oko ne vidi, jer ovo zračenje upija sloj ozona u Zemljinj atmosferi. Ali zvezde s ovako visokom temperaturom jonizuju vodonik oko sebe. Rekombinacijom u neutralne atome vodonik zrači razne linije (npr. Balmerov niz). Mi vidimo razređenu materiju oko tako vrelih zvezda kao planetne magline koje u spektru daju sjajne vodonikove linije. Rajt je, na Lik opservatoriji 1918. g., utvrdio da su sve centralne zvezde u planetnim maglinama O tipa. Jako nevidljivo zračenje izaziva vidljivo zračenje okolnog gasa koji nam izgleda svetliji i od same zvezde, a često se zvezda u njemu i ne vidi. Tim putem je Zanstra za ove zvezde našao temperature od 34 000—40 000°, a u jednom slučaju i do 70 000°.

Dalje je Ajra Bouen 1926. g. rešio i zagonetku, "nebulijuma" i našo da sjajna zelena Heginsova "zabranjena linija" pripada ustvari jedanput i dvaput jonizovanim atomima kiseonika i azaota. Bouen je pokazao da kvanti svetlosti najmanjih talasnih dužina unose u zračenje zvezde više energije no što je potrebno za jonizovanje vodonika, pa se višak energije troši na jonizovanje atoma kiseonika i azota. Što je temperautra zvezde viša, to je intenzivnost ovih linija veća od vodonikovih. Uvidelo se da difuzne i planetne magline svetle usled zračenja jedne ili više vrelih, najčešće O zvezda u njima, kao npr. velika Orionova maglina koju pobuđuje zvezda θ^2 Oriona čije je temperatura do $30\ 000^\circ$. Zato su i njene svetle linije slabe jačine. Nađeno je, međutim, nekoliko planetnih maglina čija nevidljiva zvezda u središtu ima temperaustru i do $100\ 000^\circ$.

S druge strane temperaturske skale nalaze se M zvezde s temperaturom do 3000° , kao što je Betelgez. Još je Seki otkrio njihove tipične trake u spektrima, a A. Fauler našao 1907. g. da one dolaze od titanovog oksida. Njihovi su spektri obuhvatali infracrveni opseg i jedva nešto crvenog. Za tamno-crvene N zvezde nađena je temperatura od 2000° , Petit i Nikolsn našli su 1928. g. i za Miru i još neke slične zvezde temperaturu od $2400\text{--}2000^\circ$, koja se u minimumu spuštala i do $1300\text{--}1400^\circ$. Na granici od 1000° našle su se zvezde sa granice vida. Utvrđeno je da su njine mase samo 0,1 Sunčeve. Pretpostavlja se da postoje još hladnije, nevidljive zvezde, ali o njihovim masama još ništa ne znamo. Odatle je zaključeno da vrlo sjajne, a crvene, zvezde moraju biti džinovske. Pojavio se problem određivanja pravih veličina zvezda. Tek s teleskopom 10 m otovra mogle bi se samo najveće zvezde videti kao koturi s prečnikom $0'',01$.

I Neposredno merenje njihovih prividnih prečnika, pa dakle i izračunavanje pravih, bilo je nemoguće sve dok A.A. Majkelsn nije 1890. g. izumeo svoju interferencijsku metodu, po kojoj su likove zvezde slala u teleskop dva ravna ogledala razmaknuta 10 m. Iz razmaka tamnih i svetlih pruga u tako dobivenoj interferencijskoj slici mogao se nepsoredno izračunati prividni prečnik zvezde. Andersn i Piz su ovu metodu praktično primenili 1919. g. na Maunt-Vilsn opservatoriji i dobili prve prividne prečnike zvezda: za Betelgez $0'',045$, Antares $0'',040$, Arktur $0'',022$, Miru $0'',056$. Znajući njihove paralakse, tj. daljine, sada je bilo lako izračunati i njihove prave prečnike.

4.3.9. Izučavanja zvezdanih unutrašnjosti

Bilo je već govora o Edingtonovoj teoriji Sunčeve unutrašnjosti. On je bio prvi koji je postavio i ozbiljnu teoriju o unutrašnjostima zvezda 1925. g. u svojoj čuvenoj knjizi "Unutrašnja građa zvezda". On je najpre utvrdio da se u zvezdama prenos energije vrši uglavnom zračenjem, zatim da kod ogromne većine zvezda postoji ravnoteža zračenja. Dalje je utvrdio mehanizam prenosa energije iz središta ka periferiji i u prostor i omogućio da se na svakoj daljini od središta izračunaju temperatura, pritisak, gustina, koeficijent upijanja i jonizacija svih tipova atoma.

Najvažniji mu je rezultat bio postavljanje zakona "masa-sjaj". Još su stari posmatrači dvojnih zvezda zapazili da, skoro nezavisno od spektarske klase, većem sjaju odgovara i veća masa zvezde. Sad je to postalo zakon i omogućilo novo tumačenje HR-dijagrama i novu teoriju o razvoju zvezda. Kako je u zvezda s postojanom masom ostajao i sjaj stalan, to se one nisu mogle razvijati po liniji glavnog niza, hlađenjem, pa je stara teorija razvoja zvezda morala biti odbačena. Novo se objašnjenje sastojalo u ovome: zvezde se pri svom razvoju pomeraju po horizontalnoj liniji jednakog sjaja, s desna u levo, zagrevajući se pri skupljanju, a kad se jako sabiju, na kraju linije, pomeraju se udesno, duž linije glavnog niza. Što je manja masa zvezde, to je manji i njen sjaj, pa je utoliko niža horizontalna grana njena razvoja i utoliko niža maksimalna temperatura koju ona dostiže.

Edingtn je svoju teoriju izveo pod osnovnom pretpostavkom da se zvezda ponaša kao idealni gas. Međutim, to je moglo važiti samo za vrlo razređene zvezde džinove. No kad se nakupio dovoljan posmatrački materijal o zvezdama patuljcima, Edingtn je sa vleikim iznenađenjem utvrdio da se i oni povinuju njegovoj teoriji. Ubrzo je postalo jasno da u njihovoj unutrašnjosti, zbog visoke temperature i jonizovanosti, uprkost njine ogromne gustine, postoji dovoljno prazan prostor za slobodno kretanje njihovih čestica. Neočekivana je bila i njihova gustina koja je i do 60 000 puta prevazilazila gustinu vode, kako je izračunato za bele patuljke.

Ajnštajn je, na osnovi teorije relativnosti, zaključio da svetlost koja dolazi iz jakog gravitacijskog polja mora menjati talasnu dužinu, što je Adams i praktično proverio na Sirijusovu pratiocu. Tako je potvrđeno da mate-

rija s gustoćom 60 000 doista postoji, a fizičari su otvorili novu oblast — izučavanje "izrođene materije".

U nastavku Edingtonovih radova Miln se 1928. g. bavio opštijim modelom zvezdane građe. Pritom se pokazalo da postoje zvezde koje usled nagle eksplozije gube velike količine potencijalne gravitacijske energije, pa su timo objašnjene i eksplozije novih zvezda, a i nastanak belih patuljaka, sličnih O zvezdama, u središtima planetarnih maglina. Tako se došlo do zaključka da su planetne magline i nastale posle ovakvih eksplozija.

4.3.10. Modeli zvezdane građe

Zvezdana građa proračunata je za nekoliko tipičnih modela. Prvi je bio Edingtonov ili standardni model u kome se sve osobine postupno menjaju od središta zvezde ka površi. Ovaj model je stvoren pre otkrića termonuklearnih reakcija kao izvora zvezdane energije i ne odgovara stvarnim zvezdama, ali se dosta približava zvezdama s glavnog niza. Kaulingov model opisuje zvezdu vrlo malog i gustog jezgra, a retkog i prostranog omotača, koji odgovara crvenim džinovima.

Kasnije su dva otkrića bitno uticala na izračunavanje zvezdanih modela:

- I — 1937—39. Valcoker i Bete otkrivaju termonuklearne reakcije kao mogući izvor zvezdane energije,
- II — krajem pedesetih godina nekoliko autora (Pranti, Vitenze i dr.) zaključuju da je i konvekcija značajan mehanizam prenošenja energije kod zvezda, naročito džinova.

Tako su za crvene džinove, uzimajući u obzir termonuklearne reakcije kao izvor zvezdane energije, stvorili model M. Švarcšild i H. Selberg, uzevši za početni sadržaj vodonika 90%. U središtu je njegovom vrlo malo izotermno jezgro od izrođenog gasa velike gustine. Tu više nema vodonika, masa mu iznosi 76% mase zvezde, a poluprečnik 0,001 njenog poluprečnika. Oko jezgra je tanka ljuska u kojoj je izvor energije i gde dolazi do velikih promena: pritisak i gustina naglo, a temperatura nešto sporije, opadaju. Oko nje je malo deblja druga ljuska u zračnoj ravnoteži i bez nuklearnih reakcija. Spoljni debeo omotač je od razređenog vodonika u kome dolazi do konvekcije. Sjaj zvezde je 226 puta veći od Sunčeva, poluprečnik 26 puta veći od njegova, dok temperatura na površi iznosi 4790°K, a u središtu 40 miliona Kelvinovih stepena.

Model plavog džina, mase 10 puta veće od Sunčeve, dao je R.S. Kušvaha. Zvezda sadrži 90% vodonika i hemijski je homogena. U jezgru se odvija prenos energije konvekcijom, dok su spoljni slojevi u zračnoj ravnoteži. Energija se oslobađa na daljini do 24% poluprečnika zvezde CN-ciklusom. Temperatura opada sporije no pritisak i gustina. Sjaj zvezde je 3000 puta veći od Sunčeva, a poluprečnik samo 3,36 puta. Efektivna temperatura na površi je 22 400°K, a u središtu 28 miliona Kelvinovih stepena.

Zadržimo se na kraju na Sunčevu modelu koji je stvorio R. Vajmen. Pretpostavka je da je u početnom stupnju razvoja ono sadržalo 74,4% vodonika. Model odgovara i svim zvezdama patuljcima s donjeg dela glavnog niza. U unutrašnjosti se prenos energije vrši zračenjem, pa je zvezda u zračnoj ravnoteži. U spoljnim, podpovršinskim, pak, slojevima prenos se vrši konvekcijom. Zbog zračne ravnoteže u jezgru i dubljim slojevima nema mešanja, pa se hemijski sastav menja od mesta do mesta. Vodonik se pretvara u helijum samo do 38% poluprečnika zvezde, i to dok je procenat u središtu pao na 50%, na daljini od 38% poluprečnika procenat se jedva promenio. Pritisak i gustina opadaju naglo ka periferiji, a temperatura mnogo sporije. Energijski izvor je p-p ciklus. Sjaj Sunca je $3,8 \cdot 10^{33}$ erg/s, poluprečnik $6,16 \cdot 10^{10}$ cm, a efektivna temperatura na površi 5780°K, a u središtu 14,6 miliona.

4.3.11. Izvori energije u unutrašnjostima zvezda

I pored odgovora na mnoga pitanja iz života zvezda, bilo se zašlo u 20. vek bez odgovora na kurpno pitanje izvora njihove energije. Još u prošlom veku se pokazalo da je sažimanje proces koji ne može ni iz bliza nadoknaditi Sunčevu energiju rasutu zračenjem. Po Edingtonovoj teoriji svaki je sloj zvezdine unutrašnjosti zračio u prostor onoliko energije koliko je primao od dubljih slojeva. Da bi saznao gde je njen izvor Edington je izveo račun polazeći od dveju pretpostavki: da se energija stvara ravnomerno u čitavoj masi i da se stvara samo u središtu zvezde. Oba su se rezultata razlikovali samo neznatno. No o izvoru energije moglo se govoriti tek kad je Ajnštajn dokazao ekvivalentnost između mase i energije i utvrdio da je i gram mase ekvivalentan $9 \cdot 10^{20}$ erga. Koliko je

to nezamislivo veliki iznos vidi se kad se uporedi s energijom koju oslobađa gram ugljenika pri običnom sagoravanju, a koja je ekvivalentna jednom njegovom desetomilijarditom delu (10^{10}). Postalo je jasno da se ogromna energija zvezda, koja se oslobađa zračenjem, može nadoknaditi jedino ovakvim procesima, gde se jedan deo zvezdane mase pretvara u energiju. Edington je 1926. g., u svojoj napred pomenutoj knjizi, pretpostavio dve mogućnosti za ovo pretvaranje: ili neposredno spajanje pozitrona s elektronom ili spajanje (fuzija) 4 vodonikova jezgra u jezgro helijuma (u kome se slučaju gubi 1/320 deo ukupne mase). Pokazalo se, s obzirom na uslove koji vladaju u zvezdanim unutrašnjostima, da je po sredi ova druga reakcija. Da bi se sadašnje zračenje Sunca (30 miliona erga na gram za godinu) nadoknadilo ovim procesom dovoljno je da se za godinu pretvori u helijum samo $1/10^{11}$ Sunčeva vodonika. To bi ostavljalo Suncu da živi više milijardi godina.

Da se ovaj proces doista može odigravati u zvezdanim unutrašnjostima računski su pokazali teoretičari fizike jezgra. Za nj je potrebna temperatura od više miliona, pa i stotina miliona stepena, koja po Edingtonovoj teoriji doista i postoji u unutrašnjostima zvezda i raste ka njihovu središtu. Tako je fizika jezgra pomogla razvoj astrofizike, ali i obrnuto, astrofizička istraživanja unapredila su fiziku atomskog jezgra.

Godine 1929. Gamov je otklonio i prigovor da temperature od više miliona stepena u središtima zvezda još uvek nisu dovoljne za procese u atomskim jezgrima koji oslobađaju energije dovoljne za održavanje života zvezde. Metodama talasne mehanike on je pokazao, iako brzina čestica u središtu zvezda nije dovoljna za prodiranje u atomska jezgra, da izvestan procenat čestica ipak prodiere i pri manjim brzinama.

Zatim su Vajcseker 1938. i Bete 1939. g. pokazali da još jedan proces može nadoknađivati energiju zvezda, a to je prelaz vodonika u helijum preko stvaranja i razbijanja ugljenika, azota i kiseonika. Pokazalo se da je glavni izvor energije zvezda u ovim procesima koji se odigravaju u samim njihovim središtima.

Sad je bilo moguće poći i dalje od Edingtona, pa načeti samu teoriju o razvoju ili evoluciji zvezda. O njenom današnjem stanju biće govora u narednoj glavi.

4.3.12. Izučavanja dvojnih zvezda

Sve dosad rečeno odnosilo se na sve zvezde. Osvrnimo se sada iz istorijske udaljenosti na izučavanje naročitih, tzv. pekulijarnih zvezda, kao što su: dvojne, višestruke, promenljive i dr. One su još u prvoj polovini 19. veka pivukle pažnju astronoma, u vreme kad se prelazilo sa izučavanja tela Sunčeva sistema na izučavanje fizičke prirode zvezda. Po otkriću dvojnih zvezda vladalo je veliko iznenađenje, jer su ljudi bili naviknuti na pojedinačne zvezde. Odmah zatim one su postale probni kamen za proveru zakona gravitacije. Po njemu bi one morale opisivati elipse oko zajedničkog težišta. Zato se prvo postavilo pitanje da se iz posmatranih relativnih položaja komponenata izračunaju njihove prividne putanje, a zatim da se pređe na prave putanje.

Već je V. Heršel objavio katalog s nekoliko stotina dvojnih, a kod 53 je jasno zapaženo i relativno pomeranje. Tačna merenja prvi počinje da vrši, 1813. g. u Dorpatu, Vilhelm Struve. Upotrebom Fraunhoferova refraktora otvora 23 cm, najvećeg onog vremena, ubrzo dolazi on do svog kataloga od 3000 dvojnih koji izlazi 1827. g. Narednih 10 godina se služi novim Fraunhoferovim mikrometrom i rastojanja komponenata meri u stotim sekunde. Njemu se pridružuju Dž. Heršel, Saut i Devis u Engleskoj, Besel u Nemačkoj, Medler u Dorpatu, Kajzer u Lajdenu i, kasnije, Oto Struve, koji je smenio oca na položaju direktora Pulkovske opservatorije. Počinje i računanje prvih putanja. Godine 1850. ih je već 20. Najkraći period pokazao se kod zvezde Džeta Herkula (31 godina). Izmerena elipsa imala je veliku poluosu $2''{,}4$. Sve više astronoma uzgredno posmatraju dvojne zvezde. Ali se njima isključivo bave Dembrovski u Napulju i Bernhem u Čikagu. Velik broj posmatrača doprinio je smanjenju ličnih grešaka u srednjim vrednostima. No pravo unapređenje započelo je s upotrebom refraktora s velikom razdvojnomoć, koji su sem toga omogućavali i da se vide dotle nevidljivi pratioci. Tako je prvo Oto Struve upotrebom refraktora s otvorom 375 mm znatno proširio katalog svog oca, a zatim je Bernhem upotrebom likskog i jerkskog giganta povećao broj dvojnih zvezda još za hiljadu. To su bili većinom tesni parovi s rastojanjima manjim od $1''$. Najmanji period od 5,5 godina otkriven je kod Delta Ždrebeta s rastojanjem od $0''{,}3$. Oko 5% svih posmatranih zvezda bile su dvojne.

U to vreme razrađivane su i metode za računanje putanja dvojnih zvezda. Prvu metodu dao je Savari 1828. g. Nju je kasnije razradio Enke 1830. g. U isto vreme razrađivane su i metode za računanje planetskih i kometskih

putanja, ali kod dvojnih zvezda je i najmanja greška merenja izazivala velike greške u elementima putanje. Zato je u početku, kada još posmatranja nisu bila dostigla visoku tačnost, davano prvenstvo grafičkoj metodi za određivanje prividne putanje, a iz nje je geometrijski nalažena i prava. Za veoma izdužene putanje ipak je bila prikladnija računaska metoda.

Kada su P.K. Šternberg u Moskvi, i Ajnor Hercšprung, u Potsdamu, 1914–1919. g. započeli s primenom fotografije na posmatranje dvojnih i dostigli tačnost od nekoliko stotih uglovne sekunde, preovladale su računske metode. Fotografija je otvorila novo poglavlje u izučavanju dvojnih. Prvi uspeh bilo je otkriće nevidljivog pratioca zvezde 61 Labuda iz telesaste putanje glavne zvezde. Taj je pratilac imao masu $1/60$ Sunčeve. Već je 1825. i 1833. g. Pond, u Grinidžu, ovo primetio, ali je smatrao opštom osobinom zvezda usled međusobnog privlačenja. Besel je prvi 1844. g. ocenio da je ova sila zanemarljiva i da je tu po sredi nevidljivi tamni pratilac velike mase. H.A.F. Peters je izveo 1850. g. njegovu putanju i za period našao 50 godina, a za veliku poluosu $2''{,}4$.

Godine 1862. A. Klark, proveravajući svoj novi objektiv prečnika 45 cm, zapazio je Sirljusovog pratioca kao jedva vidljivu zvezdicu. To je bila Beselova "tamna zvezda". Ustvari zvezda B. prividne veličine koja zrači 10 000 puta manje svetlosti od Sirljusa. Tek su kasnije u njemu astrofizičari pozanli belog patuljka. Da i Prokion ima sličnog pratioca 13. prividne veličine, otkrio je 1895. g. Šeberle likskim teleskopom otovra 90 cm.

Dvojne zvezde su od značaja i po tome što su prve omogućile da se izračunaju mase zvezda, a kod onih čija je paralaksa poznata, i prave veličine njihovih putanja. Tim putem se otkrilo da mase zvezda mogu biti najviše 10 puta veće ili manje od Sunčeve, dok njihov sjaj može prevazilaziti i milion puta Sunčev.

Kada je primenjena fotografija na izučavanje zvezdanih spektara, Antonija Morí je 1889. g., na Harvardskoj opservatoriji, zapazila periodično razdvajanje K linije u spektru zvezde Dzeta Velikog Medveda, a kasnije još pravilnije kod Beta Kočljaša. Tako su bile otkrivene spektroskopske dvojne kao posebna klasa dvojnih sa sasvim bliskim pratiocem, koji se nije mogao razdvojiti od glavne zvezde ni najvećim teleskopom. Kod poslednje je zvezde npr. period iznosio samo 4 dana. Uskoro je bilo otkriveno mnogo takvih zvezda.

Fogel i Šajner su 1890. g., ubrzo posle pronalaska spektrografa, otkrili da se radijalne brzine Spike i Algola periodično menjaju, iako se spektar pratioca ne vidi. U pitanju je bila nova klasa dvojnih s tamnim ili skoro tamnim pratiocem.

Kasnije je Kempbel, 1924. g., na Lik opservatoriji, otkrio preko 1 000 spektroskopskih dvojnih, pa je smatrao da su trećina svih zvezda dvojne. Tada je nikla pretpostavka o postanku dvojnih deobom, koja je pretrpela neuspeh kad je trebalo objasniti postojanje vrlo širokih parova.

4.3.13. Otkrivanje različitih vrsta promenljivih

Prototipovi raznih vrsta promenljivih zvezda otkriveni su već u 18. veku i ranije, ali sistematsko njihovo posmatranje i izvođenje krivih sjaja počinje s F.V.A. Argelanderom, koji je za tu svrhu usavršio Heršelovu metodu stupljeva za upoređenje prividnih veličina zvezda. Prve svoje rezultate o zvezdi Beta Lire objavio je on 1843. g., a za narednih 25 godina izposmatrao je sve poznate promenljive uključujući i mnoge koje je sam pronašao. Godine 1844. objavljuje on "Poziv prijateljima astronomije" u kome privlači pažnju ljubitelja na posmatranja meteora, zodijske svetlosti, Mlečnog puta, sjaja i boje zvezda, a naročito na promenljive za koje daje potrebne podatke za posmatranje slobodnim okom ili malim durbinima. Odziv je bio velik. Pomenimo samo 3 čuvena posmatrača: Eduarda Hejsa, iz Minstera, Julijusa Šmita, koji je kasnije posmatrao u Atini, i Eduarda Šenfelda. Broj promenljivih brzo je rastao. U Čendlerovom katalogu iz 1889. g. ih je već 225, i to raznih tipova. U obimnom katalogu Gustava Milera i Ernsta Hartviga iz 1919. g. bilo je: 131 algolid, 22 zvezde tipa Beta Lire, 169 cefeida, 600 dugoperiodičnih tipa Mira i izvestan broj nepravilno promenljivih tipa Alfa Herkula koje je otkrio V. Heršel još 1795. g. i tipa Betelgeza koje je otkrio Dž. Heršel 1836. g.

4.3.14. Izučavanje algolida i usavršenje fotometrije

Još kada je Džon Gudrajk 1792. g. otkrio pravilnu promenu Algolove prividne veličine pretpostavio je da je u pitanju dvojna čije se komponente periodično pomračuju, te da je ovde po sredi tip prividno promenljivih zvez-

da, ali od višestrukog značaja za istraživače. Godine 1889. Fogel i Šajner su utvrdili spektrografski periodičnu promenu radijalne brzine glavne zvezde kod Algola, odakle je izlazilo da se u maksimumu slabija komponenta nalazi ispred sjajnije. To je nađeno i kod drugih algolida. Dotle je mogao da se meri samo ukupan sjaj zvezde, sad je omogućeno da se ispituje i raspored sjaja po disku. To su bile jedine zvezde kod kojih se mogla ispitivati razlika sjaja između sredine i kraja kotura. Usled razlika u veličinama diska, njihova sjaja i orijentacije i položaja putanje dobivale su se vrlo raznovrsne krive sjaja za algolide, pa su se i obrnuto iz ove raznovrstnosti mogli izvoditi mnogi zaključci o fizičkim i geometrijskim odnosima kod ovih zvezda.

Već 1880. g. prešli su na Potsdamskoj i Harvarskoj opservatoriji na posmatranja algolida fotometrom, a Dagan je, u Prinstonu, od 1905—1910. g. odredio krive sjaja mnogih algolida, ali samo do tačnosti od $0^m,05$ ili 5% sjaja Godine 1910. Stebins je konstruisao selenski fotometar, znatno veće osetljivosti, pa je mogao registrovati i drugi minimum krive Algolova sjaja, koji odgovara položaju slabije komponente iz glavne zvezde, a čija je dubina samo $0^m,06$. Da se iz oblika ove krive odrede odnos razmera diskova i njihova sjaja, kao i nagib i veličina putanje, bilo je vrlo teško sve dok Piking 1880. g., Majers 1895. g., Blažko 1910. g. i, naročito, Henri Noris Rasel 1912. g. nisu dali proste formule i tablice za ovu svrhu. Koristeći njih je Harlou Šepli 1913. g. odredio geometrijske elemente svih dotad dovoljno posmatranih algolida. Kako nije bio još poznat raspored sjaja po koturu, Šepli je ostale elemente izračunao za dva slučaja: kad je raspored sjaja ravnomeran i kad od središta naglo opada do nule na periferiji kotura. Dotadnja merenja nisu pružala dovoljnu tačnost. Trebalo je usavršiti fotometre.

Međutim, 1911. g. su Elster i Kajtel usavršili foto-element i stvorili prvi foto-električni fotometar, a uskoro zatim su ga Gutnik i Prager na Berlinskoj opservatoriji, i Rozenberg, u Tibingenu, primenili na promenljive i pokazali da je merenje ovim fotometrom bar 10 puta tačnije od merenja vizualnim fotometrom, te da ubuduće prividne veličine treba izražavati na tri decimalna mesta. Oni su otkrili slabe promene kod mnogih zvezda za koje se dotle nije znalo da su promenljive. Ali primena ovog fotometra na precizno posmatranje algolida donela je izuzetne uspehe. Džerold Kron, na Lik opservatoriji, posmatrao je 1937—1938. g. zvezdu 21 Kasiopeje s tačnošću do na $0^m,002$ i prvi izveo pouzdani koeficijent potamnjenja zvezdinog kotura od središta prema kraju ($0,58 \pm 0,04$).

Dalje su algolidi poslužili i da se izvede gustina zvezde bez određivanja njene prave veličine (zapremine) i paralakse, jer je kub poluprečnika zvezde davao njenu zapreminu, a kub poluprečnika putanje njenu masu. Pojedini su se podaci izvodili iz perioda obrtanja i obilaženja, tj. iz krive sjaja.

Vrlo neobičnu zvezdu ovog tipa, Epsilon Kočijaša, otkrio je Julijus Šmit 1843. g. Mnogi su posmatrali njene nepravilne promene, a tek je Ludendorf, u Potsdamu, mereći 1903. g. radijalne brzine pokazao da je to redak algolid s periodom od 27 godina.

Sem toga zapaženo je da se kod algolida pojačava ukupan sjaj neposredno oko pomračenja, što je objašnjeno osvetljavanjem tamnije zvezde sjajnijom. Zatim su Bjelopolski 1892. g. i Lokajer 1893. g., izučavajući periodične promene sjaja i radijalne brzine algolida, utvrdili da kod tesnih parova, zbog jakog gravitacijskog uticaja, dolazi do velikog izduženja, takoreći do spajanja komponenata. U novije je vreme čak utvrđeno da dolazi kod izvesnih parova i do pretakanja materije. Ovo otkriće imalo je i širi, kosmogonski značaj. Utvrđeno je, sem toga, da Beta Lire predstavlja granični slučaj zvezde Algolova tipa, ali mnoge osobenosti njena spektra i danas predstavljaju zagonetke.

4.3.15. Izučavanje cefeida. Primena fotografske fotometrije

Poznate karakteristične promene sjaja zvezde Delta Cefeja otkrio je Džon Gudrajk još 1784. g. Bjelopolski je 1894. g. otkrio promene njene radijalne brzine koje se slažu s promenama sjaja (što je kasnije zapaženo i kod drugih zvezda ovog tipa). On je pretpostavio da je u pitanju spektroskopska dvojna. Ova je pretpostavka morala ubrzo otpasti, jer se nije slagala s načinom promene sjaja. Godine 1899. Švarcšild je otkrio da su promene sjaja cefeida praćene promenom efektivne temperature. Edi je smatrao da poslednja promena dolazi do plimskog trenja, Roberts da se u periastru tamna zvezda vidi osvetljena sjajnom, Kertis da je u pitanju prolaz zvezde kroz otpornu sredinu, a Dankan da je i ovaj otpor u atmosferi glavne zvezde promenljiv. Emden 1905. g. i Maultn 1909. g. postavili su hipoteze o promeni oblika zvezde od izduženog ka spljoštenom elipsoidu bez promene zapremine.

Sve su ove hipoteze morale otpasti, jer su se sukobljavale s novim posmatranim činjenicama, kojih je bilo sve više i sve tačnijih kad se počela primenjivati 'fotografska fotometrija. Oko 1890. g. Šarrije, Šajner i dr. izveli su obrasce po kojima se prividna veličina zvezde mogla izvesti iz merenog prečnika njena lika na fotoploči, ali se ovaj poslednji nije mogao nikad precizno izmeriti. Bitan je napredak u fotografskoj fotometriji učinjen kad je Švarcšild 1899. g. uveo vanžližno snimanje i određivanje prividne veličine upoređenjem stepena pocrnjenja likova poznate i nepoznate (najčešće promenljive) zvezde, za koje je Hartman, u Getingenu, ubrzo sagradio mikro-fotometar. Kad je u njemu kasnije vizualni fotometar zamonio osetljivom fotočelijom i kad je 1910. g. Švarcšild uveo rešetku pred objektivom koja od svake zvezde daje još po dva difrakcijska lika s tačnim odnosom sjaja prema glavnom; tačnost se fotografske fotometrije približila tačnosti fotoelektrične ($0^m,002$). Cefeide sve više i sve tačnije posmatraju i stručnjaci i ljubitelji. Naročito kada je godine 1908. Henrijeta Livit otkrila vezu: srednja apsolutna zvezdana veličina — period preomene sjaja, koja je cefeide učinila "vasionskim metrima".

Još je 1879. g., kad su proverene promene radijalne brzine kod cefeida, Riter pretpostavio pulsaciju zvezde, tj. oscilatornu promenu njene zapremine i gustine, kao uzrok promene sjaja. Kad je 1914. g. Šepli ovu hipotezu podržao i razradio, zadat je smrtni udarac pretpostavci o dvojnosti cefeida. Pulsacije je Edingtn 1918. g., u svojim radovima o unutrašnjoj građi zvezda, podigao na stepen matematičke teorije. No ostale su još neke posmatrane činjenice koje ni ova teorija ne može da objasni. Npr. zašto se najveći sjaj ne poklapa vremenski s najmanjom zapreminom, već za njom zaostaje za $1/4$ perioda i dr. Istina, 1938. g. Švarcšild je dokazivao da to nastupa zato što se unutrašnji slojevi povinuju otme zakonu, ali spoljašnji trpe izvesne poremećaje. Utvrđene su i formalne analogije pulsacije sa podvodnim erupcijama i druge zakonitosti, no ni do danas još teorija pulsacije nije objasnila sve posmatrane pojedinosti.

4.3.16. Druge promenljive koje pulsiraju

Od otkrića promenljivosti Mire Kita, o kojoj je ranije bila reč, otkrivene su mnoge slične dugoperiodične promenljive s velikom amplitudom promene sjaja, koji se ne menja ni strogo pravilno, tako da su za njih dovoljni i vizualni fotometri. Ovo je privuklo mnoge ljubitelje posmatranju promenljivih, pa je otkriveno mnoštvo polupravilno i nepravilno promenljivih zvezda koje su kasnije razvrstane u više podklasa, kao što su tipovi: pravih kratkoperiodičnih, klasičnih cefeida i vrste, Cefeida II vrste ili W Devojke, Beta Velikog Psa, RR Lira, RV Bika i dr.

Za dugoperiodične i mnoge polupravilne nađeno je, metodom radijalnih brzina i drugim fotometrijskim i spektroskopskim metodama, da je uzrok promenljivosti takođe pulsacija. U izvrsnoj knjizi Cecilije Pejn-Gapoškin ("Variable Stars and Galactic Structure", London, 1954) nalazi se dijagram na kome su prikazane sve ove vrste promenljivih na Dekartovom koordinatnom sistemu na čiju su apscisnu osovinu naneti periodi, a na ordinatnu broj otkrivenih zvezda do 1950. g.

4.3.17. Eruptivne promenljive

Između pomenutih klasa i novih zvezda stoji klasa fizički nepravilno promenljivih koje se nazivaju eruptivne. Njihov se sjaj povremeno poveća za $0^m,5-6^m$ i to za oko pola minute, da se postupno, za nekoliko minuta ili časova, a kod nekih tipova i za nekoliko dana, vrati na prvobitnu vrednost. Njihovo je otkriće novijeg datuma (E. Hercšprung, 1924). Na daljini od 500 parseka do 1976. g. ih je nađeno 2 000, a u Galaksiji se računa da ih ima oko milion. To su vrelе zvezde O—A tipa, Volf-Rojeove zvezde, tzv. "Orionove zvezde", kojih je $2/3$ među eruptivnim. To su mlade zvezde koje se nalaze blizu difuznih maglina ili u mladim asocijacijama. Među poslednje spada podklasa T Bika. U eruptivne zvezde spada i tip zvezda UV Kita (Karpenter, 1947. g.), kod kojih je pri razbuktavanju utvrđena i promena polarizacije, a kod nekih i radio-zračenje.

Promene sjaja kod ovih tipova su erupcije, slične Sunčevim, samo mnogo jače, koje zahvataju veće delove zvezdanih atmosfera. Objasnjavaju se danas na ovaj način. Posle stupnja "prazvezde" ili "protozvezde" mlada zvezda nastavlja sa sazimanjem. U njenoj unutrašnjosti nastavlja se privremena konvektivna ravnoteža. Konvektivno kretanje iznosi na površinu zvezde zgušnjavanja vrelе plazme, što dovodi do razbuktavanja. Samtra se da je i Sunce prošlo kroz stupanj "Orionove zvezde" i da su se s vremenom ovi procesi smirili i nastali pozniji u kojima se javljaju manje erupcije, a već i puge. Starije "Orionove zvezde" napuštaju asocijacije, u njima se završava stupanj

zgušnjavanja i prelaze na glavni niz, dok vrela eruptivne Be zvezde silaze sa njega.

Ranije su u eruptivne svrstavane i supernove, nove, novolike i simbiotske zvezde. To su sve dvojne s omotačem, izuzev supernovih. Međutim, danas se smatra da su ove zvezde, kao i pulsirajuće, u poznijem stupnju razvoja, kada su već sišle s glavnog niza.

4.3.18. Nove i supernove

Najneobičnije su po svom iznenadnom i džinovskom razbuktavanju nove i supernove zvezde. Zar nije nova podstakla Hiparha da kataklizuje nebo, a nove iz 1572. u 1604. g. uticale na Tiha da se oda astronomiji. One su nadahnule i Keplera i Galileja. Dugo zatim nije bilo sjajnih novih koje bi privukle pažnju astronoma, sve dok Džon Heršel nije 1838. g. primetio da se zvezda Eta Brodske školjke, 4. prividne veličine, iznenada razbuktala do prve, da odmah zatim oslabi i da se 1843. g. ponovo razbukti do Sirijusove veličine. Posle toga se stabilizovala na 6^m. Godine 1848. Hind je otkrio novu 5. veličine u Zmijonoši, 1866. g. pojavila se nova 2. veličine u Severnoj Kruni, 1876. g. nova 3. veličine u Labudu, 1892. g. 4. veličine u Kočijašu, 1901. g. prve veličine u Perseju, zatim niz novih manje veličine, pa 1918. g. nova 1. veličine u Vodoliji, 1934. g. 2. veličine u Herkulu itd. Fric Cviki je 1964. g. dao "Pregled supernovih pronađenih od 1885" u izdanju Kalifornijskog tehnološkog instituta u Pasadeni.

Povodom nove Kočijaša iz 1892. g. Zeliger je zamenio prvu pretpostavku o postanku novih sudarom zvezda, novom, koja je pojavu objašnjavala prolazom zvezde s trenjem kroz oblak međuzvezdanog gasa i prašine različite gustine. Ona je u našem veku napuštena. Godine 1928. Miln je, u sastavu svoje teorije o unutrašnjoj građi zvezda, objašnjavao pojavu novih rušenjem zvezde zbog njene nestabilne unutrašnje građe. Šezdesetih godina je otkriveno da su sve bivše nove tesni dvojni sistemi sastavljeni od belog patuljka i patuljka pozne spektarske klase, pa se smatra da se vrši pretakanje mase s ovog poslednjeg na beli patuljak. Kad ova masa dostigne kritičnu vrednost (oko 10^{30} g) razviju se termonukeusne reakcije. Javlja se oslobađanje velike energije i zbacivanje gornjih slojeva udarnim talasom.

Spektri pokazuju da se u džinovskim erupcijama od zvezde odvajaju u talasima gasoviti omotači koji se šire u vasioni prostor, a da pri svakoj erupciji zvezda gubi masu znatno manju od Sunčeve. Kako je rezultat ovih eksplozija uvek beli patuljak male mase, to se posumnjalo da se eksplozije novih povremeno ponavljaju. Ovo je kasnije i viđeno na nekoliko zvezda. Parenago i Kukarkin su 1934. g. pokazali da postoji korelacija između moćnosti erupcije i vremenskog razmaka između uzastopnih razbuktavanja. Pošto ova moćnost zavisi od količine materijala, obična nova može za nekoliko milijardi godina da doživi i više hiljada eksplozija, čiji je onda krajnji rezultat, razume se, beli patuljak.

Ako je razmera eksplozije tolika da se sjaj zvezde promeni do deset prividnih veličina, govori se o novim, a ako je ova promena veća, između 10 i 20 prividnih veličina, zvezda se naziva supernova. I njih ima dve vrste. Kod II vrste reč je smo o jačini eksplozije, a kod I vrste, gde je ne samo porast veći pad sjaja nagao, procesi još nisu objašnjeni. Supernove su prvo otkrivene u drugim galaksijama, o čemu će biti govora kasnije. U našoj Galaksiji identifikovana je kao supernova, nova iz 1054. g. čiji se omotač do danas proširio i dobio oblik Rak-magline u Biku. I računari ovo potvrđuju. Šklovski je primetio da su 6–7 supernovih, primećenih za poslednjih 2 000 godina u našoj Galaksiji, sve u okolini Sunca, na daljini do 10 000 parseka, gde se nalazi oko 10 milijardi zvezda. Druge su ostale nezapažene zbog gustih oblaka kosmičke prašine. Po računima Šklovskog u proseku se u našoj Galaksiji dogodi po jedna eksplozija supernove u 30–60 godina.

Zvezda R Labuda, otkrivena 1600. g., doživela je za nekoliko vekova više eksplozija. Ovakvih je zvezda nabrojano 69 i one su u tesnom sreodstvu sa novim zvezdama, kao i mlade, vrela, džinovske zvezde Volf-Raje, koje izbacuju materiju.

Postoje i nove, odn. supernove koje su izvori radio-zračenja, no o njima će takođe na svom mestu biti govora.

Od velikog kosmogonskog značaja su povratne nove, čije se razbuktavanje povremeno obnavlja u istorijskom periodu. Takvih je zapaženo nekoliko, a prva je bila T Severne Kruně. Danas se one nazivaju zvezde tipa SS Labuda ili U Blizanaca i smatra se po mnogim posmatranim činjenicama da predstavljaju prelaz između novih i eruptivnih, odnosno šire, između novih i pulsirajućih zvezda.

4.3.19. Na granicama Galaksije i prvi korak izvan nje

Krajem prošlog, i u našem veku, pažnju astronoma su sve više privlačila tela na granicama Galaksije i ona izvan nje. Time je učinjen nov kvalitativan skok u izučavanju Vasiona. Početkom ovog perioda još se smatralo da su Magelanovi Oblaci gasne magline, a druge galaksije ili magline ili zvezdana jata koja pripadaju našoj Galaksiji. Bilo je poznato (na južnoj polulopti) najsjanije zblveno jato — Omega Kentaura, sjajno kao zvezda 4. prividne veličine i još nekoliko (na severnoj polulopti) 6. veličine. Međutim još je Džon Heršel, za vreme boravka na Rtu Dobre Nade, otkrio u Magelanovim Oblacima zvezde svih tipova, zvezdana jata i gasovite magline.

Godine 1895. Harvardski astronom Bejll otkrio je u zblvenim jatima M3, M5 i Omega Kentaura veliki broj cefelida s periodama od pola do nekoliko dana. To je ubrzo zapaženo i u još 30 ovakvih jata. Izvedene su njihove periode i krive sjaja iz fotografskih snimaka. Nađene su one i u Malom Magelanovom Oblaku, a 1908. g. je Henrijeta Livit, na Harvardskoj opservatoriji, našla i korelaciju između njihove periode i srednje prividne veličine. Kako su sve cefelde iz jednog jata praktično na istoj daljini, to se iz ove korelacije ona mogla i odrediti. Hercšprung je 1913. g. tako našao da je srednja apsolutna veličina cefelida $-2^m,3$ pri srednjem periodu od 6,6 dana. Livitova je za Mali Magelanov Oblak našla daljinu od 11 000 parseka. Šepil je s novim, tačnijim podacima izvršio 1918. godine njenu reviziju i dobio za daljinu 29 000 parseka. Tako se došlo do saznanja da su Mali Magelanov Oblak, a zatim i Veliki, u stvari zvezdani sistemi, pratilci naše Galaksije.

Šepil je od 1916—1917. g. izvršio određivanja fotografskih i foto-vizualnih veličina cefelida u 86 zblvenih zvezdanih jata, pa su od 1918—1919. g. određene njihove daljine, za bliža po cefeldama, a za dalja po prividnom prečniku i ukupnom sjaju. Pokazalo se da su ona raspoređena na daljinama od 6500—67 000 parseka, da ispunjavaju sfernu oblast s jedne strane Galaksije sa središtem u pravcu Strelca i na daljini od oko 20 000 parseka. Po Šepiljevim istraživanjima sva ova jata pripadaju Galaksiji, no nalaze se na njenoj periferiji. Time je obim našeg Zvezdanog sistema znatno proširen.

Godine 1921. Šepil je procenio prečnik Galaksije na 100 000 parseka, što je bilo preterano prema Ortovom nalazu od 6 000 parseka do njena središta. I ovaj je broj izmenjen kasnije kad je uzeto u obzir uplivanje svetlosti u međuzvezdanoj materiji. Za Veliki i Mali Magelanov Oblak nađene su daljine od 26 000, odnosno 20 000 parseka i prečnici od 4000, odnosno 2000 parseka. Tako se konačno izišlo iz naše Galaksije i u 20. veku prešlo na intenzivnije izučavanje vangalaktičkih tela — drugih galaksija ili zvezdanih sistema.

Odeljak četvrti ISTRAŽIVANJA U VANGLAKTIČKOJ ASTROFIZICI

Od početka 20. veka veliki broj astronoma i velikih teleskopa posvećuje se izučavanju zvezdanih sistema izvan Galaksije — rađa se nova grana astrofizike, vangalaktička astronomija. S naglim napretkom fizike i tehnike instrumenata i pribora za ova istraživanja bogate se naglo i tekovine vangalaktičke astronomije. U ovom 4. odeljku istorije astrofizičkih istraživanja, ovi će rezultati biti prikazani samo u najkraćim potezima.

4.4.1. Izučavanje zvezdanih sistema

Početkom 20. veka još je vladala nedoumica da li sitne magline pripadaju našoj Galaksiji, kao što pripadaju zvezdana jata, gasovite magline i međuzvezdana materija. Kertis 1921. g. izražava mišljenje da su to drugi zvezdani sistemi, slični našem, no veoma udaljeni od njega. To potkrepljuje spektrima i pretpostavlja da njihovi prečnici ne prelaze 10 000 parseka. Šepil u to vreme još sumnja u to i smatra da ova tela pripadaju Galaksiji, jer se grupišu oko njenih polova. Kasnije je utvrđeno da ih ima po čitavoj Vasioni, samo se oko galaktičkog ekvatora ne vide zbog uplivanja svetlosti u tamnoj međuzvezdanoj materiji.

Posle NGC Kataloga iz 1888. g., koji sadrži 13 000 ovakvih tela, otkriveno ih je narednih decenija još mnogo hiljada novih, zahvaljujući izvrsnim fotografijama Volfa i Palize, u Boču, i Franklina Adamsa, na Harvardskoj opservatoriji. Otkriveno je da među galaksijama postoje 3 glavna tipa: elipsoidne, spiralne i nepravilne. Najočič-

gledniji primeri za prve bile su galaksije pratilje Andromedinoj, za spiralne koje se vide pljoštice M33 u Trouglu i M99 u Lovačkim Psima, za one koje se vide koso — Andromedina M31 (poznata još od 1619. g.), a za nepravilne Mali i Veliki Magelanov Oblak.

Godine 1885. otkrivena je prva nova u Andromedinoj galaksiji, a kasnije, na Maunt-Vilsn opservatoriji, velik broj novih od 15—18. veličine, koje su pomogle da se prvi put doznaju približne daljine najbližih galaksija i da se uverimo da su to doista tela vrlo daleko od našeg Zvezdanog sistema.

Habl je od 1919—1926. g. dobio reflektorima od 150 do 250 cm otvora Maunt-Vilsn opservatorije snimke spoljnih oblasti galaksija u Andromedi i Trouglu i prvi put očigledno pokazao da se one sastoje iz zvezda. Sem toga, otkrio je u Andromedinoj galaksiji 67 novih, a u obema 40 cefeida s periodama od 10—80 dana. Tako mu je pošlo za rukom da utvrdi da je galaksija M33 udaljena 9 puta više od Malog Magelanovog Oblaka, tj. 260 000 parseka, a M31 275 000 parseka. Prečnik prve iznosio je oko 5000, a druge oko 14 000 parseka. Ubrzo zatim otkrivene su spiralne galaksije 11. prividne veličine na daljini od 3 miliona parseka.

Kada je Šepi postao 1921. g. direktor Harvardske opservatorije podvrgao je ponovnom pregledu mnoge izvrsne foto-ploče koje je snimio još Pikerin u potrazi za slabim galaksijama 13—16. prividne veličine i našao mnoge na daljinama od 20, 30 i 50 miliona parseka. U novootkrivenom prostoru ocenjen je broj galaksija na mnogo miliona. Nađeno je i da se one grupišu u grupe, a ove u jata. Takve dve grupe poistovećene su sa ranije poznatim u Bereničinoj kosi i Devojci.

Tada se postavilo pitanje da li se galaksije nižu u beskonačnost i da li je sam vasioni prostor beskonačan? Već početkom 19. veka Gaus, a kasnije Lobačevski, Riman i dr. razradili su geometrije neeuklidskih prostora. Pokazalo se da nema dokaza da se na Vasionu smeju primeniti Euklidove geometrijske teoreme. A u novim geometrijama paralelne su se sekle u konačnosti, zbir uglova u trouglu bio je malo manji, odnosno veći od 180° , a prostor je bio neograničen, ali ne i beskonačan. Postojala je zakrivljenost samog prostora. Na daljinama u našoj Galaksiji ova odstupanja od Euklidova prostora nisu bila merljiva, ali u svetu galaksija, u velikoj Vasioni, ona su došla do izražaja.

Slajfer, na Lovelovoj, i Piz, na Maunt-Vilsn opservatoriji, merili su od 1916—1917. g. radijalne brzine dalekih, slabih spiralnih galaksija. Pokazalo se da su sve pozitivne, tj. da su se sve galaksije udaljavale od nas i međusobno brzinama većim od 1000 km/s. Habl je 1929. g. pokazao da je ova brzina udaljavanja srazmerna samoj daljini galaksije. Kada je snimio spektre ovako slabih galaksija, na zaleđu neprekidnog spektra od zvezda videle su se dvojne linije jonizovanog kalcijuma H i K, a ponekad i grupe linija G i H_γ , no bile su pomerene ka crvenom delu spektra za desetine i stotine angstrema. Najveća brzina, od 42 000 km/s, izmerena 1936. g., odnosila se na slabu galaksiju 17,9 prividne veličine iz grupe u Velikom Medvedu, čija je daljina po Hablu iznosila 72 miliona parseka. Ovo veliko i neočekivano otkriće dovelo je do novog kvalitativnog skoka u izučavanju neba i nebeskih tela, do prelaza sa galaksija na izučavanje Vasiona kao celine, dovelo je do osnivanja kosmologije, najnovije astronomske grane o čijim će osnovnim tekovinama biti govora u narednoj glavi. No istraživanja galaksija, kako optičkim, tako i radio-teleskopima, nastavljeno je i još pojačano, pa je u poslednje vreme dovelo do niza novih otkrića u vangalaktičkoj astronomiji.

4.4.2. Novija otkrića u vangalaktičkoj astronomiji

Još početkom tridesetih godina našeg veka Habl je našao metodu da iz crvenog pomaka odredi daljine galaksija i odredio mnoge. Za najdalje, sitne galaksije, primenjena je približna metoda prividnog prečnika i prividne veličine, pa je tako znatno povećan broj galaksija čije daljine znamo, a uz njihove položaje, to je pružilo mogućnost da se stvori i prostorna slika o rasporedu galaksija.

Na osnovi istraživanja opservatorija s džinovskim teleskopima, pre svega naučnih grupa sa opservatorija Maunt Vilsn i Maunt Polomar, pokazalo se, pre svega, da se po obliku sve galaksije mogu podeliti u elipsoidne, spiralne i nepravilne, da se prve mogu po spljoštenosti podeliti u sferne, elipsoidne u užem smislu i sočivaste, a da se spiralne mogu poredati u dve grane. Obe počinju od sfernih spiralnih, a zatim se ređaju one sa sve ređim spiralama, samo se duž jedne grane ređaju tzv. normalne, a duž druge galaksije sa prečagom (Hablova viljuška). Dok su elipsoidne bez jezgra i gustina zvezda u njima opada ravnomerno ka periferiji, dotle su spiralne s jezgrima s veoma gustim zvezdanim sistemom obavijenim maglinom od kosmičke prašine i gasa, a u središtima često imaju masiv-

no zgušnjene = "kern", koje se obrće kao čvrsto telo i za koje ima izgleda da predstavlja crnu jamu. Nepravilno galaksije nemaju grana ni jezgra, nastanjene su uglavnom mladim zvezdama i zvezdama u nastajanju i vrlo su različitih oblika. Među spiralnim ima i dvojnih ili, kako se doskora pretpostavljalo, galaksija u sudarima.

Po sjaju dele se u B podvrsta = od sjajnih, superdžinovskih do pigmejskih.

Po svom rasporedu u prostoru galaksije se grupišu hijerarhijski = počev od pojedinačnih, dvojnih i višestrukih, preko grupa i manjih i većih jata, do oblaka galaksija koji se još nazivaju i super-jatima. U našu grupu spada naša Galaksija, Mali i Veliki Magelanov Oblak, Andromedina i još nekoliko patuljastih. Susedne grupe su blizu južnog galaktičkog pola i u Kentauru, kao i grupe u Velikom Medvedu i Lovačkim Psiima. Sve one imaju po nekoliko galaksija, od kojih neke veće imaju i svoje pratilce. Jata galaksija, međutim, sadrže po više stotina, pa i hiljada članova. Najbliže nam je takvo jato u Devojci sa oko 200 članova, udaljeno 3 megaparseka. Ono predstavlja središnje zgušnjene jednog superjata, kakvih je veoma mnogo u vidljivom delu Vasilone. Sjajne galaksije nisu slučajno raspoređene, već obrazuju na nebu pojas sličan Mlečnom putu = Mlečni put galaksija. Sveukupnost galaksija, međugalaktičke materije i zračenja sačinjava MetaGalaksiju, koja ima svoju građu i svoje zakonitosti, o čemu će biti više govora u narednoj glavi.

Za spiralne galaksije, kojih je većina u našoj okolini, karakteristični su jezgro i spiralne grane. U ovim poslednjim pod udarnim talasima gravitacije, raspadaju se oblici međuzvezdane materije u zvezde. Za jezgra, pak, karakteristična su veoma živa kretanja relativističkih čestica i isticanje materije u dva suprotna pravca iz jezgra. Ona su najčešće i sedišta stvaranja radio-emisija.

4.4.3. Radio-astronomska istraživanja galaksija

Videli smo da su otkriveni mnogi izvori radio-zračenja u našoj Galaksiji, kao i da ona u celini emituje radio-talase. Skoro istovremeno je otkriveno da i bezmalo sve druge galaksije, u 90% slučajeva elipsoidne, odašilju u celini radio-zračenje. I neutralni vodonik u galaksijama emituje na talasnoj dužini 21 cm. Odsustvo ovog zračenja zapaženo je, obrnuto, baš kod elipsoidnih galaksija. Godine 1951. otkrivene su i galaksije koje milionima puta snažnije zrače u radio-opsegu od običnih. One su nazvane "radio-galaksijama". Samo ih je nekoliko stotina polstovećeno s vidljivim galaksijama, ostale su znatno dalje i nepristupačne i najvećim optičkim teleskopima. Među njima su zapažene tzv. radio-galaksije uređene moći zračenja (npr. Devojka A) i moćne radio-galaksije (npr. Labud A). Za razliku od običnih galaksija njihov raspored na nebu je ravnomeran. Uzrok ovom još nije otkriven. Zapaženo je jako radio-zračenje njihovih jezgara i njihove kome. Ono je sinhrotronsko. Iz njihovih jezgara često izbijaju u obe strane džinovske erupcije radio-zračenja.

Poreklo njihovo još nije tačno utvrđeno. Dosad su opovrgnute posmatranim činjenicama dve hipoteze: prva, o sudaru galaksija, i druga, o lančanoj erupciji zvezda izazvanoj eksplozijom kakve supernove u jezgru. Danas se smatra za najverovatnije da je tu reč o izbacivanju oblaka relativističke plazme iz jezgra pod uticajem gravitacionog sažimanja koje je stabilizovano brzim, obrtnim kretanjem, magnetnim poljem i makrokretanjima.

4.4.4. Otkriće i izučavanje kvazara

Krajem pedesetih godina ovog veka pažnju kalifornijskog radio-astronoma Metjusa privukla su 3 radio-izvora: 3C 48, 3C 196 i 3C 286, zbog jakih radio-emisija i zbog odsustva ikakvih sumnjivih tela na tim položajima. Sandedž je na snimku palomarskim teleskopom našao na položaju 3C 48 samo zvezdicu 16. prividne veličine, ali praćenu magličastim pramenom. Grinštajn i Minh su našli u spektru ovog tela ultraljubičasto zračenje i niz linija koje nisu pripadale nijednom poznatom elementu. Godine 1960. smatralo se da je tu reč o prvoj pravoj radio-zvezdi. Odbačena je mogućnost da je to daleka galaksija zbog izrazito zvezdolikog izgleda.

All se ubrzo pokazalo da se ovo telo ne kreće na nebeskoj sferi i da ima izrazite promene prividne veličine. Sem toga; 1962. g. je došlo do 3 okultacije tela 3C 273 Mesecom, pa je iz toka promene njegova radio-zračenja zaključeno da se sastoji iz 2 komponente = sjajnije A, duguljasta oblika, i slabije B, sferna oblika, udaljene oko 20" od A. Na novom Šmitovom snimku nađena je na položaju A zvezdolika maglina iste oblika kao i radio-izvor. On je, zatim, uspeo da niz spektarskih linija ovog tela identifikuje s vodonikovim, ako usvoji da se telo udaljuje brzinom koja predstavlja dobar deo brzine svetlosti. Srazmerno brze promene njihovih prividnih veličina pokazale su da oni ne mogu biti veliki kao galaksije. Još u nedoumici o njihovom fizičkom stanju, procesima i poreklu, astronomi su ih nazvali "kvazi=zvezdanim vangalaktičkim radio-izvorima" ili kratko "kvazarima".

Ubrzo je, zahvaljujući Sandedžu i dr. nađeno još nekoliko stotina kvazara. Zbog vlekkih crvenih pomaka astronomi smatraju, pod pretpostavkom da je on posledica širenja vasiona, da su to najdalja, najsajnija i najstarija nebeska tela, udaljena od nas deset i više milijardi svetlosnih godina, čija se ogromna energija zračenja nijednim poznatim fizičkim mehanizmom nije dala objasniti. Zbog velikog broja kvazara napuštena je hipoteza da su to možda tela izbačena iz naše Galaksije, kao i druga da je njihov crveni pomak posledica jakog gravitacijskog polja, jer je račun pokazao da su kvazari mnogo sjajniji no što ova pretpostavka dopušta.

Poslednjih godina utvrđena je njihova sličnost sa Saffertovim i N. galaksijama s veoma sjajnim aktivnim zvezdolikim jezgrićima. Čak se pretpostavlja da su to razni stepeni razvoja istog tela. Proces u jezgri, koji oslobađa ogromne energije, danas se smatra da je "magnetoid", tj. supermasivna magneto-hidrodinamička konfiguracija plazme, koja ima brzo obrtno kretanje i jako magnetno polje ili crna jama koja guta okolnu materiju i energiju.

U naše dane pojavila se i Peker-Roberts-Vižijeova hipoteza koja deo velikog crvenog pomaka objašnjava postojanjem mase fotona u miru. Čak i mala njihova masa, putem neelastičnih međusobnih sudara, može dovesti do smanjenja energije zračenja, tj. do pomaka ka crvenom. U ovakvom slučaju sve osobine kvazara postaju manje neobične i bolje se uklapaju u sliku stanja vangalaktičkih tela.

4.4.5 Izučavanje infracrvenog zračenja

Poslednjih decenija posebna je pažnja obrađena primanju elektromagnetnog zračenja nebeskih tela van opsega svetlosti i radio-zračenja, zahvaljujući mogućnosti da se njini prijemnici iznesu van Zemljine atmosfere u balonima, raketama, veštačkim satelitima i kosmičkim brodovima ili opservatorijama.

To je na prvom mestu infracrveno zračenje (od $0,74\mu$ — 2 mm), koje dolazi od tela s površinskim temperaturama između 20°K i 5000°K . Već dvadesetih godina ovog veka mereno je infracrveno zračenje Venere, Merkura i najsajnijih zvezda termoparovima, kao i najmoćnije infracrveno zračenje—Sunčevo. Zatim su u vasionkim letelicama najčešće korišćeni naročiti fotoelektrični prijemnici. Tada su ovim putem izučena i svojstva Jupiterove atmosfere i Mesečeve površi. Zatim su otkrivene infracrvene zvezde. Katalog američkih astronoma Dž. Nojgebauera i R. Lejtna sadrži ih preko 5500.

Infracrveno zračenje šalju najčešće mlade zvezde u nastajanju i crveni superdžinovi u ravni Mlečnog Puta, zatim samo središte naše Galaksije i nekoliko kompaktnih izvora ovog zračenja u njemu. Izvor njegov su i neke mlade zvezde tipa T Bika i dugoperiodične promenljive.

Za najverovatniji mehanizam njegov smatra se pretvaranje kratkoperiodičnog zračenja zvezda s omotačima gasa i prašine (koje oni upijaju) u infracrveno zračenje. Pretpostavlja se da su to zvezde oko kojih se obrazuju planete. Za neke infracrvene zvezde nije isključen ni netoplotni izvor postanka ovakvog zračenja. Njegovo izučavanje donosi mnogo koristi. Ono se npr. koristi za određivanje debljine galaktičkog diska, gustine zvezda i dr.

4.4.6. Izučavanje ultraljubičastog zračenja

To je zračenje na talasnim dužinama od 4000 do oko 100 \AA i njega skoro potpuno upijaju kiseonik i azot, a naročito ozon u Zemljinj atmosferi do visine od nekoliko desetina kilometara. Iznad nje ono se prima fotoelementima, brojačima fotona i foto-množiteljima. Najjači je njegov izvor Sunce (9% od ukupnog zračenja). Ono stvara Zemljinu jonosferu i jonosfere planeta. Do 1900 \AA ultraljubičasti spektar Sunca sličan je vidljivom, ima niz apsorpcijskih linija. Pri prelazu na kraće talasne dužine jačina neprekidnog spektra naglo opada i pojavljuju se svetle linije elemenata H, He, C, N, O i Si. One nastaju u hromosferi i u prelaznom sloju između nje i korone.

U Galaksiji su glavni izvori ovog zračenja vrela zvezde O i B tipa. Njihovo ultraljubičasto zračenje upija međuzvezdani vodonik koji se jonizuje. Oko svake zvezde obrazuje se oblast jonizovanog vodonika. On obavlja i zgušnjavanja međuzvezdanog gasa i prašine i u njima stvara povišen pritisak i obrazuje globule. Ultraljubičasto zračenje talasnih dužina od 912 — 2000 \AA jonizuje i teške elemente u međuzvezdanom gasu. Njega jako upija međuzvezdana prašina.

4.4.7. Izučavanje rendgenskog i gama zračenja

Izučavanje rendgenskog zračenja (s talasnim dužinama od 1–50 Å) i gama zračenja (s talasnim dužinama manjim od 0,1 Å) načinilo je u vanatmosferskoj astronomiji poslednjih decenija čitavu revoluciju, pokazavši da u tumačenju vasionkih pojava, pored gravitacije i gasnog pritiska, pored visokih temperatura, ogromnu ulogu igraju jaka elektromagnetna polja i osobine plazme. Za izučavanje pomenutih zračenja koriste se na raketama veštačkim satelitima i vasionkim brodovima (laboratorijama) posebno podešeni Geigerovi brojači i drugi instrumenti. Prva rentgenska posmatranja Sunca izvršena su 1948. g., ali se za početak rentgenske i gama-astronomije uzima 1962. g., kada su otkriveni prvi udaljeni rentgenski izvori i izvršena prva merenja kosmičkog gama zračenja.

Merenja rentgenskog zračenja Sunca pokazala su da dolaze iz Sunčeve korone i da su prouzrokovana njenom visokom temperaturom. No u trenucima Sunčevih erupcija ona se pojačavaju, a zatim slabe. Ova impulsna komponenta dolazi od rendgenskog zračenja nastalog u jakim magnetnim poljima aktivnih oblasti i netoplotnog je karaktera.

Godine 1962. i 1963. merenja iz raketa su otkrila izotropno "pozadinsko" rendgensko zračenje. Potok energijskih fotona je desetnoma hiljada puta slabiji od potoka energije kosmičkog zračenja, koji stiže na gornju granicu atmosfere, ali je jači od onoga koji nam stiže od svih zvezda i svih galaksija.

U isto je vreme otkriven i prvi diskretan izvor rendgenskog zračenja Sco X1, kasnije poistovećen s jednom zvezdom velike promenljivosti. On je bar deset milijardi puta efektivniji od Sunca.

Do danas je otkriveno preko 200 diskretnih rendgenskih izvora, od toga oko 100 galaktičkih, i to 25 tačkastih (zvezdolikih), 5 ostataka supernovih, 4 u zvezdanim jatima, zatim 20 u galaktičkim jatima, 8 od aktivnih galaksija, 2 kvazara i dr. Galaktički izvori grupišu se uglavnom oko galaktičke ravni. U rendgenske izvore naše Galaksije spadaju: niz pojedinačnih zvezda, ostaci supernovih (i omotači i rendgenski pulsari u njima), naročito moćni izvori u sistemima dvojnih zvezda, gde je jedna obična a druga mahom nevidljiva, vrlo male zapremine i velike mase (ili crna jama, ili neutronska zvezda, ili beli patuljak, npr. Cyg X 1) i, najzad, kratkotrajni (6–8 meseca), mahom jaki rendgenski izvori.

Među vangalaktičkim rendgenskim izvorima zapažene su Šajfertove galaksije, neki kvazari, neke radio-galaksije i neke obične galaksije, uključujući i rendgenski izvor u središtu naše Galaksije.

Na osnovi rendgenskog spektra razlikuju se rendgenski izvori toplotnog porekla (npr. Sco X 1) ili netoplotnog (npr. Rak maglina).

Otkriveni su i još energičniji fotoni, nastali pod uticajem kosmičkog zračenja, kao i za ocenu količine relativističkih elektrona i antimaterije u međugalaktičkom prostoru. Posmatrane su i eksplozije gama-zračenja čija priroda još nije objašnjena.

Fizika dosad poznaje nekoliko načina za postanak rendgenskog i gama-zračenja. Prvi je pri prelazu elektrona na niske energetske nivoe u atomima težih elemenata. Ovako zrači npr. Sunčeva korona. Drugi je način pri sudaru energičnih protona s atomima međuzvezdanog gasa. Tako se oslobađa gama-zračenje. To se npr. događa u Sunčevoj atmosferi pod uticajem potoka jakog zračenja Sunčevih kosmičkih zraka niske energije. Gama zraci obrazuju se i pri anihilaciji elektrona i pozitrona. Ovakvo je zračenje nađeno u Sunčevim erupcijama, a nedavno i u zračenju međuzvezdane sredine. Energični fotoni postaju i pri kočenju brzih elektrona pri njihovom sudaru s naelektrisanim česticama. Tim putem se stvara rendgensko zračenje kod neutronske zvezde. Elektroni s brzina ma bliskim brzinama svetlosti mogu biti izvor fotona visoke energije usled njihova rasipanja na svetlosnim ili radio-talasma. Ovakav se efekt javlja svuda gde se javljaju relativistički elektroni i visoka gustina energije zračenja. Zato su kvazari ne samo jaki optički i radio-izvori, već i jaki izvori gama-zračenja. Ono se javlja i pri sudaru kosmičkih zrakova s jezgrama atoma međuzvezdanog gasa, kada se prvoro stvaraju π mezoni, a zatim se oni raspadaju na fotone. Najjači izvor ovih gama-zrakova je iz središnje oblasti Galaksije. Oni su iskorišćeni da se ispita raspored međuzvezdane materije. Po osobinama se lako razlikuju od vangalaktičkih kosmičkih zrakova pa omogućavaju i izučavanje ovih poslednjih. Rendgenski zraci, najzad, mogu nastati i pri kretanju vrlo energičnih (relativističkih) elektrona u jakim magnetnim poljima. Takvo poreklo ima i netoplotno kosmičko radio-zračenje i optičko

zračenje. Za sva tri je tipičan primer Rak maglina.

4.4.8. Još neka savremena otkrića

U najskorijoj prošlosti rodila se i neutrino-astronomija. Zasada su otkriveni samo neutritni sa Sunca, i to uz velike teškoće, jer neutritni veoma retko stupaju u dejstvo sa materijom, tako da ih je teško "uhvatiti". No baš zato se očekuje, kad budu primijeni iz dubina Vasione, da će doneti podatke o unutrašnjosti zvezda jer iz njih izlaze nedirnuti.

Godine 1969. američki astronom Veber objavio je da je primio gravitacijske talase, koje je predvideo Ajnštajn u opštoj teoriji relativnosti. S poboljšanom aparaturom Veber je uspeo da ih ponovo primi i da utvrdi da su upravo onakvi kakve ih je predvideo Ajnštajn. Pošto se oni javljaju prilikom ubrzavanja tela, njihovo je otkriće potvrdilo burne procese koji se odigravaju u središtu Galaksije. Ostaje da se ovo usamljeno otkriće potvrdi.

Približno u isto vreme nikla je i teorija američkog astronoma Lina, kojom je uspeo da pokaže da je spiralna građa galaksija posledica postojanja spiralnih talasa gustine, čime se stvaraju uslovi za postanak zvezda.

Pomenimo, najzad, i Iserštetovo otkriće iz 1968. g. da se zvezde u Galaksiji grupišu u elipsoidne ljuske prečnika desetina svetlosnih godina. One se na nebeskoj sferi projektuju u obliku zvezdanih prstena.

U međuzvezdanom gasu otkriveni su brojni molekuli organskih jedinjenja. Učinjen je još čitav niz manjih otkrića koja izlaze iz okvira jednog udžbenika.

4.4.9. Izučavanje kosmičkog zračenja

Pored izučavanja elektromagnetnog zračenja poslednjih decenija poklonjena je velika pažnja i upoznavanju s tzv. korpuskulskim ili čestičnim. Još početkom 20. veka Č. Vilsn, u Engleskoj, J. Elster i K. Kajtel u Nemačkoj i dr. otkrili su da vazduh pod uticajem nekih činilaca koji jonizuju postaje provodnik elektriciteta. Nemački fizičar V. Hes je 1912. g. utvrdio da jonizovanje vazduha raste sa visinom i prvi postavio pretpostavku o postojanju nove vrste zračenja kosmičkog porekla. Nemački fizičar V. Kolherster 1913—1914. g. potvrdio je Hesove rezultate. Sovjetski fizičar L.V. Mislovski i američki R. Milliken odredili su 1925. g. koeficijente apsorpcije ovog zračenja u vazduhu i vodi. Mislovski je 1926. g. utvrdio da postoji i tzv. "barometarski efekat" ili zavisnost između jačine kosmičkog zračenja i barometarskog pritiska, tj. mase vazduha.

Sovjetski fizičar D.V. Skobeljcin utvrdio je 1927. g. primenjujući Vilsnovu komoru u magnetnom polju, da je energija kosmičkog zračenja mnogo puta veća od energije čestica svih poznatih radioaktivnih izvora. Uskoro je otkrio i da ove čestice često stižu u vidu pljuskova. Godine 1929. su V. Bete i V. Kolherster, u Nemačkoj, potvrdili, upotrebom Gajger-Milerovih brojača, veliku energiju čestica kosmičkog zračenja.

Milliken je skoro naporedo sa S.N. Vernovom otkrio novu metodu za merenje energije kosmičkog zračenja na visinama od 25—30 km pomoću balona. Vernov je, pritom, prvi vršio predažu merenja na Zemlju putem radija (metoda radio-sondi). Dokazali su da naelektrisane čestice sačinjavaju preko 75% primarnog zračenja i da njihova energija dostiže 3—15 biliona elektron-volti. Usavršenom metodom Vilsnove komore američki fizičar K. Andersn otkriva 1932. g. u kosmičkom zračenju novu česticu — pozitron. Dalje proučavanje razmnožavanje čestica u tzv. "kaskadnom procesu" izvršili su 1937—1938. g. Dž. Karlsn i Dž. Openhajmer u SAD, H. Baba i V. Kajtler, u Engleskoj. L.D. Landau, J.B. Rumer i dr., u SSSR, a u Francuskoj Pjer Ože otkriva 1938. g. tzv. "široke kaskadne atmosfere pljuskove" od značaja za dalje izučavanje kosmičkog zračenja. Približno u isto vreme K. Andersn i S. Nidermajer, u SAD, otkrivaju u kosmičkom zračenju μ -mezone. Godine 1937. Ože otkriva anomalno upijanje mezona u atmosferi, a Kulenkampf, u Nemačkoj, 1938. g. i E. Vilijems, u Engleskoj, 1940. g. pokazuju da ovo dolazi od spontanog raspadanja mezona na deutrone i neutritna.

Godine 1941. američki fizičar Šajn otkriva protonski karakter primarnog zračenja. Ovo su potvrdili 1947—1949 g. stratosferskim ispitivanjem C.N. Vernov i njegovi saradnici, 1948. g. su američki fizičari H. Brant i V. Peters otkrili, upotrebom foto-ploča s debelim osetljivim slojem, da u sastav primarnog kosmičkog zračenja ulaze, pored vodonikovih, helijumova jezgra i jezgra težih elemenata, srazmerno njihovoj rasprostranjenosti u Vasioni. Od 1944—1945. g. sovjetski fizičari A.J. Alihanov i A.J. Alihanjan selektivnim upijanjem izdvajaju tvrdi (mezonu) komponentu od meke (prežno elektronsko-protonske) u primarnom kosmičkom zračenju. Od 1945—1949. g. D.V. Skobeljcin i saradnici, na Pamiru, proučavali su elektronsko-jezgarske pljuskove reda

10^{10} eV i zaključili da oni u sudaru s atomima izazivaju "razmnožavanje čestica", tj. stvaranje sekundarnog kosmičkog zračenja u Zemljinoj atmosferi. Odmah zatim utvrđena je i čitava grupa novih čestica (π^{\pm} , π^0 mezoni i dr.) koje se tom prilikom stvaraju i proučena su njihova međudejstva. Tako je kosmičko zračenje u mnogome doprinelo i danas doprinosi izučavanju procesa u fizici jezgra. Tako su npr. 1960. g., u Engleskoj, A. Karisn, T. Huper i D. King otkrili proces obrazovanja fotona na račun raspadanja neutralnih π mezona.

Drugo osnovno pitanje, od još većeg značaja za astrofiziku, bilo je pitanje porekla kosmičkog zračenja. Bilo je postavljeno više pretpostavki, na kojima se ovde ne možemo zadržavati, tim pre što se poslednjih godina kosmičkim istraživanjima i predračunom energija došlo do mnogo verovatnijih pretpostavki. Danas se smatra da je izvor tzv. "meke komponente" kosmičkog zračenja u Sunčevim erupcijama, za koje se drži da su toplotnog karaktera i da su izazvane jezgarskim procesima u Sunčevoj unutrašnjosti. Za tzv. "tvrdu komponentu" se smatra da je galaktičkog porekla, jer su njeni izvori iz drugih galaksija određenim predračunima isključeni. Smatra se da su izvori ove komponente u Galaksiji uglavnom supernove i erupcije u galaktičkom jezgru, koje su netoptnog, sinhrotrnoskog karaktera. Tu se džinovsko ubrzanje čestica stvara međudejstvom jakih i promenljivih magnetnih polja s plazmom.

4.4.10. Otkriće pozadinskog zračenja

Na kraju istorijskog pregleda astrofizičkih otkrića pomenimo i "pozadinsko ili reliktno mikrotalasno zračenje", otkriveno 1965. g., od vrlo velikog značaja za kosmologiju.

Već je Gamov 1948. g. teorijski bio predvideo da pozadina neba mora zračiti kao crno telo na temperaturi od oko 3°K . Ovo zračenje je posledica "velike eksplozije" koja se dogodila, prema Hablovom otkriću, pre nekih 20 milijardi godina. Dajk, Pibls, Rol i Vilkinsn su se 1965. g. spremali da u laboratorijama Belove kompanije, u Princetonu, ogledima provere ovaj teorijski zaključak, kad je stigla vest da su Penzijas i Vilsn otkrili pozadinsko zračenje na 7,35 cm talasne dužine. Kasnije su ogledi ponovljeni na više mesta i na još manjim talasnim dužinama, a posredno i na talasima od 2,6 m, koje ne propušta Zemljina atmosfera, pa je otkriće na sjajan način potvrđeno i dalo za temperaturu fotonskog okeana u kome plivaju galaksije, a koji vodi poreklo od "velike eksplozije", oko 3°K . Nešto više o značaju ovog otkrića za kosmologiju biće govora u narednoj glavi.

Glava peta

OSNIVANJE I RAZVOJ KOSMOGONIJE I KOSMOLOGIJE

Planetne kosmogonije. Savremeno shvatanje o postanku i razvoju zvezda i zvezdanih sistema. Izučavanje Vasione u celini. Kosmološki paradoksi. Kosmološki modeli Vasione.

Kosmogonija ili nauka o postanku nebeskih tela i sistema strogo uzev, čedo je devetnaestoga veka. Drugačije nije ni moglo biti. Trebalo je sakupiti neizmeran faktografski materijal o nebeskim telima i sačekati da se dovoljno razvijaju dve osnovne pomoćne nauke za astronomiju matematika i fizika, pa prevazići verovanja i naivne hipoteze starog i srednjeg veka, i početi stvarati na nauci zasnovanu granu astronomije koja će se upustiti u rešavanje tako krupnih problema kao što je postanak i razvoj svih vrsta nebeskih tela. Najveću kočnicu predstavljala su teistička shvatanja o večnoj nepromenljivosti sveta, o centralnom mestu Zemljinom u Vasioni.

Što se kosmologije tiče ona je, ozbiljno shvaćena, upravo maldunče u velikom carstvu astronomske nauke — dete našega veka. Da bi se moglo pojaviti na svet, moralo je sačekati ono da se nakupi dovoljno znanja o najdaljim nebeskim telima i sondiraju najveće dubine Vasione.

Odeljak prvi Istraživanja u Kosmogoniji

Zbog suviše skućenog prostora izostavljen je prikaz mnogobrojnih starih mitova i pretpostavki o postanku i životu nebeskih tela, koje su karakteristične za sve kulture. Dat je kratak prikaz samo najvažnijih naučnih hipoteza.

5.1.1. Postanak planeta

Pitanja kako je postala Zemlja i čitav Sunčev sistem odvajakada su kušala čovekovu radoznalost. Nijedan stari narod, pa ni savremeni nerazvijeni narodi nisu bez legende kojima se pokušava odgovoriti na ova pitanja. Tako je i starojevrejski mit o postanku sveta, preko hrišćanstva, gospodario svetom do duboko u novi vek.

Iako je još u 17. veku i početkom 18. veka bila u glavnim crtama stvorena naša današnja slika o svetu, o položaju i kretanju Zemlje i ostalih planeta, o prirodi, veličinama, a kasnije i daljinama i rasporedu zvezda kao osnovama neophodnim za stvaranje naučnih pretpostavki o postanku nebeskih tela, nedostajao je još jedan korak da se dođe do zamisli o razvoju nebeskih tela i Vasiona, u čijem se sklopu moglo rešavati i pitanje postanka Zemlje. Vladalo je interesovanje za prostorno prostiranje, a ne i za promene u vremenu. Smatralo se da je u prirodi sve i sad kako je bilo i u "početku sveta" i da će sve tako ostati i dalje.

Prvi revolucionarni prelom u ovakvom shvatanju učinili su veliki nemački filozof Kant 1755. g. i veliki francuski matematičar i astronom Laplas 1796.

Iz mnogih zajedničkih osobina tela Sunčeva sistema Kant je pretpostavio da je prvobitna maglina gasa i kosmičke prašine u haotičnom kretanju sadržala mestimična jača zgušnjenja oko kojih se materija gomilala usled gravitacije. Međusobni sudari sveli su sva kretanja na kružna oko najvećeg zgušnjenja od koga je kasnije postalo Sunce. Oko njega, od manjih zgušnjenja koja su rasla, postale su planete i sateliti.

Laplas, pored sile gravitacije uzima u pomoć i centrifugalnu. Po njemu se maglina prvobitnog toplog gasa u obrtanju postupno hladi i skuplja. Zbog toga se obrće sve brže i s narastanjem centrifugalne sile odvajaju se od nje povremeno prstenovi materijala, koji se usled gravitacijskih nestabilnosti grupišu i zgusnu u lopte—planete. Ostatak obrazuje Sunce. Slično od planeta postaju sateliti.

Međutim, u 19. i 20. veku nađena su u Sunčevu sistemu nebeska tela koja po položajima i kretanjima odstupaju od zajedničkih odlika ostalih. Zapaženo je da Kantova i Laplasova hipoteza ne mogu objasniti ni sporo obrtanje Sunca, ni veliki obrtni moment tela njegova sistema, čije su mase sasvim neznatne prema Sunčevoj. Ove su hipoteze dopunjavali Faj, Roš, Poenkare, Ljapunov i dr., no u našem se veku moralo od njih odstupati uz tvrdnje da su one bile i ostale prvi podstrek i osnova za dalja istraživanja u kosmogoniji.

Maultn i Čemberlin, iz Čikaga, tražili su uzroke postanka planeta u spoljnim silama koje su delovale na Prasuće. Najpotpuniji oblik ovoj hipotezi dao je kembrički astrofizičar Džems Džins 1922. g. Po njemu je hipotetična zvezda, koja je prišla blizu Sunca, izvukla iz njega plimskim dejstvom džinovski pramen zagrejanog gasovitog materijala. Hlađenjem se gas raspao na delove, a ovi zgusnuli u planete koje su produžile da obilaze oko Sunca pod uticajem njegove gravitacijske sile.

Dok Džefrejs nije isključivao mogućnost postanka Sunčeva sistema iz sudara sa hipotetičnom zvezdom, Litlton je smatrao da je Sunce prvobitno bilo dvojna zvezda čija je porodica nastala raspadanjem pratioća pod uticajem nekog nebeskog tela kome se Sunce približilo. Rasel je, međutim, 1935. g., računski pokazao da se Džinsova hipoteza ne može održati, jer se uticajem druge zvezde ne može objasniti talas plime planetskih razmera. Ni Litltonova se hipoteza nije mogla održati pred kritikama Lajtena 1937. g. i Parijskog 1939. g.

V.G. Fesenkov je od 1919—1922. g. postavio svoju hipotezu po kojoj je postanak planeta doveo u vezu s razvojem Prasućca i odgovarajućim jezgarskim reakcijama u njegovoj unutrašnjosti. U srazmerno dugim periodima Sunčeva razvoja energija izgubljena za njega zračenjem nadoknađivala se onom koja je nastajala u procesima što su se odigravali u atomskim jezgrima. Svaki od takvih perioda odgovarao je određenoj vrsti reakci-

je. Ovi su periodi, međutim, bili razdeljeni srazmerno kraćim vremenskim razmacima kad se vršio prelaz s reakcije jedne vrste na reakciju druge. U tim razmacima Sunce nije dovoljno nadoknađivalo izgublenu energiju, jače se haldilo i skupljalo i zato se povećavala brzina njegova obrtanja. Usled ovoga je dolazilo do sve veće spljoštenosti i odvajanja prstenova Sunčeve mase. Sad mu je, nešto izmenjena, Laplasova hipoteza poslužila da izgradi do kraja današnju sliku Sunčeva sistema. I ova je hipoteza pretrpela ozbiljne kritike, pa je danas pala u zaborav.

Godine 1943. je poznati polarni istraživač, matematičar O.J. Šmit objavio svoju hipotezu o postanku Sunčeva sistema zasnovanu na podacima o obrtanju Galaksije i o stanju međuzvezdane materije. Postanak planeta on objašnjava skupljanjem spoljne materije koju je Sunce povuklo za sobom pri prolazu kroz jedan oblak međuzvezdane materije na svom putu kroz Zvezdani sistem. Iz dela ove materije koji je bio bliži Suncu postale su zemljolike, a iz udaljenijeg dela jupiterolike planete. On smatra da su planete preuzele od međuzvezdane materije, znači od Galaksije moment količine kretanja i da je on nezavisan od Sunčeva.

Iste godine je i švedski astrofizičar, potonji nobelovac, H.O.G. Alfven, postavio svoju hipotezu zasnovanu na tekovinama magnetohidrodinamike kojoj je položio osnove. Već 1939.g. uveo je on pojam "zamrznutih magnet-skih polja" u plazmi. Godine 1943. je postavio svoju planetnu kosmogoniju po kojoj je Prasanca, krećući se kroz jednu od galaktičkih maglina, izazvalo jonizaciju atoma njena gasa. Naelektrisani su se atomi kretali po zavojnicama oko linija sila Sunčeva magnetnog polja i obrazovali prstenove gasa koji su se kasnije zgusnuli u planete. Ovim radovima Alfven je postavio temelje novoj nauci — kosmičkoj elektrodinamici.

Po Hojlovoj hipotezi iz 1944. g. u blizinu Prasunca naišla je vrela zvezda na kojoj su se dogodile eksplozije. Ona je izbacila materiju više u jednom nego u ostalim pravcima. Deo izbačenog materijala privuklo je Sunce svojom gravitacijom i on se zatim oblikovao u planete, dok se zvezda povukla suprotno od smera eksplozije.

Vajcsekerova hipoteza iz 1945. g. pretpostavlja da su se, pod određenim uslovima, stvorili vrtlozi u ekvatorskoj ravni obrtne gasne mase od koje je postao Sunčev sistem, usled kojih je došlo do ubrzanja čestica u koncentričnim pojasiima oko centralne mase. Materija iz ovih pojasa kasnije se zgusnula u planete.

Pažnju privlače četiri savremene hipoteze: F. Hojla (Engleska) iz 1958. g., A. Kameron (SAD) iz 1962. g. i E. Šacmana (Francuska) iz 1967. g., kao i P. I. Larsenaj (SAD) iz 1972. g. Prve tri smatraju da se, zbog izjednačavanja centrifugalne i gravitacijske sile, iz ekvatorske oblasti prvobitne magline u rotaciji izdvojio prsten mase Prasunca, koji se zatim razdrobio i iz koga su zgušnjavanjem postale planete. Hojl u pomoć uzima još i Alfvenovu magnetnu spregu Prasunca s jonizovanom materijom oko njega. No dok Hojl smatra da su se delovi od Prasunca počeli izdvajati kad je ono zauzimalo prostor do Merkurove putanje, Kameron misli da je to moralo nastupiti još dok je ono bilo rasplinuto dalje od Plutonove putanje, a Šacman — do Plutonove putanje. S druge strane, prvi i treći autor uzimaju centralno zgušnjenje, dok drugi uzima manje više homogen raspored čestica. Larsen, pak, smatra da je centralnog zgušnjenja bilo, no da je oblak čestica gasa i prašine već postojao oko Prasunca. Hipoteze objašnjavaju i sporu rotaciju Sunca i nastanak razlike između zemljolikih i jupiterolikih planeta, ali pri svem tom svakoj su stavljene zamerke. U njihove pojedinosti i obrazlaganje primedaba ovde se ne možemo upuštati.

Pojedinosti hipoteze o postanku planeta pripajanjem čestica međuzvezdane materije razradili su u SAD od 1960—1970. g. Majls, Mek Kria, Vilijems, Oroven i dr., dok je Litlton, na osnovi gustina i dr. odlika razradio hipotežu o postanku Merkura i Venera cepanjem, a slično i o postanku Zemlje, Meseca i Marsa od jedne praplanete.

5.1.2. Postanak planetoida i kometa

Sve se hipoteze o postanku kometa mogu podeliti u dve vrste: a) komete postaju u međuzvezdanom prostoru i b) komete postaju u Sunčevom sistemu. Hipotezu prve vrste zastupao je Kepler i dva veka kasnije V. Heršel. Računajući verovatnost kretanja kometa po raznim konusnim presjecima, Laplas je našao istu verovatnost za eliptičnu i hiperboličnu brzinu kretanja komete prema Suncu. Dalje je zaključio da većina kometa ima parabolične, a manji broj eliptične putanje, što se potvrdilo i u praksi.

Prvu hipotezu druge vrste iskazao je još Aristotel tvrdeći da su komete proizvod Zemljine atmosfere, no ona je oborena čim su izmerene daljine kometa. Novije hipoteze ove vrste razrađivali su Lagranž, oko 1870. g., Proktor, a nešto kasnije Tiseran. Razrađivane su razne mogućnosti: a) komete postaju sudarom planetoida, b) nastaju raspadanjem asteroida kad se približe velikim planetama ispod Rošove granice, v) komete su rezultat jake vulkanske aktivnosti na velikim planetama, g) komete postaju iz protuberanaca na Suncu. Sve su ove hipoteze doživele ozbiljne zamerke i nisu se održale. Godine 1970. je sovjetski stručnjak za komete Vsehsvjatski branio na jednom skupu stanovište da su komete plod vulkanske aktivnosti, ali je ono odmah oboreno. Ne postoje dovoljno veliki izvori energije koji bi masi jedne komete, recimo od sto milijardi tona, dali brzinu dovoljnu da se oslobodi gravitacije jedne velike planete. Tada je većina prihvatila Ortovu hipotezu.

Ort je prve radove o postanku kometa objavio 1950. i 1951. g. Po njemu se na granici Sunčeva sistema, između 20 000 i 100 000 A.J. nalazi oblak, zaostao još od pramaterije iz koje je postao Sunčev sistem, a koji se i kasnije popunjavao materijom izbačenom iz ovog sistema, koji bi mogao biti rezervoar iz koga nastaju komete. Mase Jupitera i Saturna dovoljne su da povećaju brzine kometoïdnom oblaku kad im se približi na putanji oko Sunca. Tako počinje prvo izbacivanje materije iz Sunčeva sistema. Kad se kometoïdni oblak udalji na 40 000 A.J. od Sunca on će produžiti put u međuzvezdani prostor ako mu je tada brzina veća ili jednaka 190 m/s (brzina odbacivanja oblaka). Polovina pridošle mase izgubi se u međuzvezdani prostor, gde može doći pod uticaj drugih, susednih zvezda. Drugu polovinu zadržava Sunce i ona kruži oko njega. Granice ovog prstena su 30 000 i 100 000 A.J.

Ort je procenio da je ukupan broj mogućih kometa iz ovog rezervoara oko sto milijardi. Znači da mu masa iznosi od 0,01—0,1 Zemljine mase. Oblak bi se ispraznio da ne postoji njegovo punjenje izazvano dejstvom Sunca i zvezda. Ispitujući putanje novijih kometa Ort je 1963. g. pokazao da postoji izrazito nagomilavanje putanja s velikim poluosama između 10 000 i 50 000 A.J. Pritom perioda komete s velikom poluosovinom putanje 50 000 A.J. iznosiće oko 400 000 godina.

V.A. Antonov i I.N. Latišev su na sasvim drugi način nedavno potkrepili Ortovu hipotezu.

Litlton je nedavno postavio hipotezu postanka kometa iz tamnog oblaka međuzvezdane prašine kroz koju Sunce prolazi pri galaktičkoj rotaciji. Brzina i pravac kretanja Sunca kroz oblak su različiti od brzine i pravca kretanja njegovih čestica. Sunce na svojoj putanji oko središta Galaksije povlači ove čestice koje se gomilaju oko pravca Sunčeva kretanja. Sličnim procesom kao u Ortovoj hipotezi nastaje izdvajanje komete iz ove nagomilane materije i tako obrazovana kometa počinje da opisuje oko Sunca veoma izduženu elipsu. Gravitacijski uticaji velikih planeta mogu ovu elipsu promeniti u novu, odnosno hiporbolu i kometu udaljiti nepovratno iz Sunčeva sistema.

I poslednje hipoteze o postanku planeta razrađuju i pitanje postanka planetoida i kometa. Po njima, ova tela predstavljaju ostatke materijala iz koga su pripajanjem postale planete. Dok su asteoidi stenovita tela unutrašnjeg pojasa, komete su ledena tela spoljašnjeg. Velike planete su svojim poremećajima toliko izdužile putanje nekih planetoida, i do 150 000 A.J. tako da su na periferiji Sunčeva sistema obrazovale slagalište odakle dolaze komete. O njihovom daljem razvoju i vezi s meteoritima bilo je govora ranije.

5.1.3. Postanak i razvoj Meseca

Za postanak i razvoj Meseca vezane su 4 vrste hipoteza — da je postao odvajanjem od Zemlje, da je postao zajedno sa Zemljom, kao dvojna planeta da se obrazovao negde u Sunčevu sistemu putem pripajanja čestica, pa ga je kasnije Zemlja zarobila i, najzad, da se formirao iz prstena "plantezimala" koji su nekad opasivali Zemlju.

Prvu vrstu hipoteza naročito je podupro Džon Darvin svojim radovima o plimskom trenju, kojim je položio i osnovu teoriji Mesečeva razvoja. Po njemu, kada su Zemlja i Mesec bili još u žitkom ili plastičnom stanju plimski bregovi, koji su se javili na Zemljinoj površini usled Mesečeve gravitacije, služili su svojim trenjem o podlogu kao džinovske kočnice Zemljina obrtanja i usporavale ga, a deo obrtnog momenta Zemlja je predala Mesecu; on širi njegovu putanju i povećava period njegova obilaženja. Darvin je ovaj proces propratio računski i u suprotnom smeru, pa je našao da su pre nekoliko milijardi godina Zemlja i Mesec bili toliko blizu da su se skoro dodirivali i da su period Zemljina obrtanja i Mesečeva obilaženja bili među sobom jednaki i iznosili od 3–5 časova. Oni su bili okrenuti uvek na isti način jedno drugom. Kako se Zemlja usled hlađenja skupljala, to se stala obrtati brže, Mesec je počeo zaostajati sa Zemljinim obrtanjem, ipa se javilo plimsko trenje koje je bilo ogromno zbog Mesečeve blizine. Obrtanje se usporavalo i Mesec udaljavao, dan i mesec su se produžavali, i to mesec brže, dok nije dostigao 29,5 dana. Zatim se mesec počeo skraćivati sve dok nije iznosio 27,3 dana. Dalje će se periodi Zemljina obrtanja i Mesečeva obilaženja opet izjednačiti i iznositi 55 današnjih dana. Tada će Mesec biti vrlo udaljen od Zemlje i opet okrenut joj istom stranom. U ovu matematičku idealizaciju nisu uneti poremećaji od Sunčeve plime.

U prilog pomenuta početnog stanja sistema Zemlja-Mesec Poenkare je 1885. g. razradio svoju teoriju ravnoteže tečnih nebeskih tela po kojoj je mouće da povećanjem brzine i spljoštenosti telo dobije nov ravnotežni oblik troosni elipsoid, posle koga, pri povećanju brzine, nastaje cepanje. Sličnu teoriju razradio je, nezavisno, i A.M. Ljapunov. Ona se primenjuje i na jedan od načina postanka dvojnih zvezda.

Uzged budi rečeno, godine 1922. Dž. Džns je usavršio svoju teoriju primenjujući je na opštiji slučaj gasovitih nebeskih tela s različitim rasporedom gustine, pa je našao da u slučaju brzog obrtanja velike a retke gasovite mase, na dve suprotne strane ekvatora počinje isticanje gasa koje obrazuje dve spirale. To je kasnije, pored drugih istraživanja i tumačenja, poslužilo i kao teorijska osnova za objašnjenje postanka spiralnih galaksija.

Međutim, podrobno ispitivanje uzoraka Mesečeva tla, donetih na Zemlju, pokazalo je da se njegova starost kreće od 3,5–4,5 milijarde godina, tj. da je bliska Zemljinoj, pa je ovo dalo podstreka hipotezama jednovremenog postanka Meseca i Zemlje. Iz mnogih merenja izvršenih na Mesecu i njegovim uzorcima, zahvaljujući astronautičkim istraživanjima, izučena je i čitava Mesečeva građa.

Zanimljiva je savremena Alfvenova hipoteza da je Mesec nekad bio planeta Sunčeva sistema, koju je Zemlja "zarobila" pre neke 3 milijarde godina. Kada je prišao Zemlji na tzv. "kritično odstojanje" raspao se na dva dela. Jedan je produžio da se kreće kao Zemljin satelit, a drugi se raspao, pao na Zemlju i tu obrazovao njene kontinente. Sitni su se delići rasturili u međuplanetski prostor odakle i danas padaju na Zemlju u vidu meteorita. Spoljašnji slojevi Zemljine kore moraju biti slični Mesečevim, što je potvrdila analiza Mesečeva tla. Autor isto tako smatra da bi izvesna skokovita razlika između plićih i dubljih slojeva Zemljine kore išla u prilog njegovoj hipotezi i da se ona može proveriti dubinskim bušenjima na dnu Tihog okeana. Kao što se vidi, pitanje Mesečeva potanka, kao i postanka drugih tela Sunčeva sistema, ostaje još otvoreno, dok nauka sakuplja sve više podataka za njegovo konačno rešenje.

5.1.4 Postanak zvezda

Još je V. Heršel govorio o postanku maglina i zvezda, no ova je hipoteza već davno napuštena. Tridesetih godina našeg veka Dž. Džins je predložio ovaj proces u obrazovanju zvezda. Svaka vangalaktička maglina na početnom stupnju razvoja ima oblik džinovske retke gasovite lopte koja se veoma sporo obrće. U toku milijardi godina, usled hlađenja, mlada se maglina skuplja i povećava se brzina njena obrtanja. Zato raste centrifugalna sila zbog koje maglina počinje da dobiva sve spljošteniji oblik, da se najzad ovaj svede na dvogubo ispupčeno sočivo. U daljem razvoju, sa još većim povećanjem brzine njena obrtanja, maglina počinje iz predela svog ekvatora da izbacuje pojedine mase relativno zgusnutog gasa. Na ovom stupnju razvoja, iz vangalaktičke magline rađaju se prva zbijena zvezdana jata, koja se vrlo postupno razilaze u rasturena, a ova zatim u zvezdane oblake spiralnih grana i, najzad, u pojedinačne zvezde zvezdanog sistema.

Kada je Habl grane najbližih spiralnih galaksija rastavio u zvezde, a još i više kad je Bade 1944. g. razložio na zvezde i samo središte Andromedine galaksije, ova je kosmogonija dovedena u pitanje. Ona je sasvim potisnuta kad je spektroskopski utvrđeno da se galaksije svih oblika sastoje iz zvezda. Tada je konačno pala ne samo Heršellova hipoteza o razvojnom putu galaksija po oblicima, već i Džinsova o jednovremenom postanku zvezda u zvezdanim sistemima. Takvo je shvatanje potpuno odbačeno kada je Ambarcumjan 1947. g. otkrio zvezdane asocijacije, mlade zvezdane tvorevine, i kada se kasnije pokazalo da ima i takvih asocijacija koje se stvaraju i danas, pred našim očima.

Međutim, na osnovi posmatranja su Fesenkov i Roškovski 1952. g. otkrili da se u velikoj razvejartoj Orionovoj maglini i drugim sličnim, sastavljenim iz gasova i kosmičke prašine, naziru izvesna vrtložna kretanja i obrazovanje pojedinačnih pramenova i vlakana ove materije. U nekim je maglinama ova građa još razvijenija. Tu se zapaža već i raspadanje ovih vlakana na izdvojene globule i gasovite lopte, a ponegde već i na konačno obrazovane zvezde, o čemu nas uveravaju ne samo spektarska analiza svih ovih oblika, već i njihova gustina i još neka teorijska razmatranja i proračuni.

S druge strane su u naše vreme teretičari astrofizike i magneto-hidrodinamičari pokazali da se u rukavima spiralnih galaksija pod udarnim talasima, koji se stvaraju bilo iz spoljnih poremećaja, bili iz unutrašnjih nestabilnosti, sabijaju gas i kosmička prašina i drobe u globule i zatim u zvezde. Ova je teorija obuhvatila i postanak zvezda u nepravilnim i elipsoidnim galaksijama.

Razvoj zvezda, o kome će malo kasnije biti govora, svodi sve zvezde na kraju na malene, hladne i veoma zbijene lopte, u kojima su dosad astornomi gledali smrt zvezda.

Ambarcumjan, međutim, smatra da tamna, supergusta tela treba smatrati za embrione iz kojih se razvijaju ponovo zvezde, preko rođenja najmlađih zvezdanih asocijacija. Još nije poznat početni proces koji dovodi do naglog razređenja, takoreći eksplozije, ovakvih tamnih zvezda. Ako se ova hipoteza potvrdi, moći će se govoriti o zatvorenom krugu u zvezdanom razvoju.

Gore kratko izložene hipoteze o postanku zvezda koriste se već danas i dalje za izučavanje puteva postanka i razvoja i samih galaksija, a, s druge strane, i na ispitivanje mogućih načina postanka tela u Sunčevu sistemu.

Međutim, samom razvoju zvezda u klasičnom smislu posvećeno je mnogo više pažnje, pa su tu i rezultati potpuniji i konkretniji.

5.1.5. Razvoj zvezda

Na stare teorije o jednovremenom postanku zvezda nadovezivala se isto tako naivna i teorija o njihovu razvoju. Hercšprung-Raselov dijagram je pokazao da zvezde glavnog niza, kojima pripada ogromna većina, kad se uredi po boji i temperaturi, pokazuju postupni prelaz od plavih, veoma vrelih i vrelih zvezda retke gasovite mase, preko gušćih i znatno hladnijih zvezda Sunčeva tipa, do još gušćih i hladnijih crvenih patuljaka.

Mnoge posmatrane činjenice i teorijska razmatranja naveli su astronome u prvoj polovini našeg veka (među kojima su glavni zagovornici Edington i Džins) na misao da ovako svrstane, zvezde u stvari predstavljaju njihov razvojni put — da crveni džinovi postaju sažimanjem i zagrevanjem međuzvezdane materije do temperature 2–3000°C i predstavljaju detinjski uzrast, bar za najveći broj zvezda, da daljim sažimanjem i zagrevanjem one postupno prelaze u plave džinove, mladićsko doba zvezde, kada njihove površinske temperature dostižu i prelaze 40 000°C. Reakcije u atomskim jezgrima, koje se odigravaju u njihovim još daleko vreljim utrobama, nadoknađuju njihovu energiju koja se troši zračenjem. No usled promene fizičkih uslova u toku mnogih miliona godina, jedna reakcija smenjuje drugu, zvezda se i dalje skuplja, ali usled gubitka znatne mase i izvora energije njena temperatura sad počinje da opada. Kada zvezda dostigne 6000°C na površini i dobije žutu boju kao Sunce, smatralo se da je njeno zrelo doba već odmaklo i da se kloni svom opadanju i gašenju. Kada posle mnogo milijardi godina izgubi glavnu zalihu svoje energije i još se više smanji i ohaldi, te dobije crvenu boju i na površini temperaturu od oko 2000°C, ona dobija naziv crvenog patuljka. Samtralo se da je to doba starosti svake zvezde iz glavnog niza, posle kojeg nastupa njeno gašenje i prividna smrt.

Posle mnogih zanačajnih otkrića i teorija nastalih u drugoj polovini našeg veka, ovo je shvatanje napušteno. Ne ulazeći u niz potankosti koje su danas i same razrađene, savremeno shvatanje, kome su doprineli mnogi astrofizičari, mogao bi se kratko i znatno uprošćeno ovako formulisati: Sve se zvezde obrazuju raspadaњem i grupisanjem materijala srazmerno hladnih međuzvezdanih oblaka gasova i kosmičke prašine. Ovako nastali oblici sažimaju se po celoj zapremini, dok temperatura u jezgru ne dostigne oko milion stepena.

Većina zvezda glavnog niza provodi najveći deo svog života uz neznatne promene sjaja i poluprečnika' sažimanje prestaje, a u njenom jezgru počinju jezgarske reakcije pretvaranja vodonika u helijum. To je druga faza razvoja.

Kada se vodonik u jezgru skoro potpuno pretvori u helijum, započinje treća faza razvoja: zvezdano jezgro od helijuma se sažima i zagreva, a površinski se slojevi šire i hlade — zvezda napušta glavni niz i postaje crveni džin (visok sjaj i poznija spektarska klasa).

Posle toga, na temperaturi od oko 100 miliona stepena, počinju reakcije helijuma: jezgro zvezde se širi, a zapremina njena smanjuje. To je četvrta faza razvoja. Do faze crvenog džina razvoj zvezda različitih masa razlikuje se samo u tempu — masivnije zvezde brže žive.

Peta, završna faza u razvoju, zavisi od početne mase. Ako je masa zvezde veća od približno 1,2 Sunčeve mase, posle kratkotrajne faze crvenog džina zvezda postaje beli patuljak (nizak sjaj, velika gustina, ranija spektarska klasa), koji se posle nekoliko milijardi godina pretvara u crveni patuljak (nizak sjaj, velika gustina, pozna spektarska klasa) i najzad potpuno gasi. Ako li je početna masa bila između 1,2 i 2,4 Sunčeve mase, dolazi do katastrofe: unutrašnji supergusti slojevi za kratko vreme obrazuju ravnotežni oblik prečnika oko 10 km, tzv. neutronske zvezde, čiju su teoriju razradili Openhajmer i Landau još tridesetih godina ovog veka, a spoljašnji slojevi bivaju izbačeni i razvejani brzinom od oko 10 000 km/s (erupcija nove ili supernove zvezde). Ako je, pak, masa bila veća od 2,4 Sunčeve mase, sažimanje ne prestaje i smrt zvezde munjevito nastupa u super-supergustom obliku minijaturne tamne zvezde — kolapsara, koje popularno nazivaju "crne jame gravitacije".

Otkriće zvezdanih asocijacija, čije su zvezde ne samo plavi džinovi, već u nekim asocijacijama žute zvezde Sunčeva tipa, a u nekim čak crveni patuljci, dovelo je astronome u poslednje vreme do shvatanja da ove zvezde postaju već u određenoj fazi razvoja, što zavisi od materijala od koga su postale, a da sve one posle izvesnog vremena dolaze najkraćim putem na glavni niz i da se zatim dalji njihov razvoj odvija po već izloženoj shemi.

Šta dalje biva od prividno ugašenih zvezda mi danas još pouzdano ne znamo, ali, uz pomenutu Ambarcumjanovu hipotezu, možemo smatrati da one posle izvesnog vremena "vaskrsavaju" i da se dalji njihov razvoj ponovo odvija po već izloženom. Ovakav životni put zvezda mogao bi se, onda, na manje ili više sličan način neograničeno ponavljati.

5.1.6. Postanak zvezdanih sistema

Na poprištu postanka zvezdanih sistema kosmogonija se graniči kosmologijom. Odmah valja reći da još nemamo dovoljno posmatračkih podataka za postavljanje iole sigurne hipoteze o postanku zvezdanih sistema, ali nekim podacima već raspoložemo — npr. da se galaksije javljaju u grupama i jatima u kojima mahom postoji jedna središnja najmasovnija oko koje ostale obilaze i dr. Ove su činjenice privolele astronome da već danas postave od prilike ovakvu kosmogonsku hipotezu o postanku zvezdanih sistema ili galaksija: Bogatstvo oblika u kojima se galaksije javljaju ukazuje na različite uslove pod kojima su one postale u raznim epohama postojanja Vasione. Na jednom od stupnjeva njenog razvoja ona je bila ispunjena razrađenim hladnim gasom koji se, zbog gravitacijske nepostojanosti, raspao na više zgušnjena, a ova zatim na odeljene oblake različite mase. Neki su od njih imali obrtni moment oko središnjeg zgušnjena — iz njih su kasnije postale spiralne galaksije. Drugi se praktično nisu ni obratili — od njih su postale elipsoidne galaksije. Treći nisu imali zgušnjena u središtu, ali su ipak imali obrtni moment — od njih su postale nepravilne galaksije, kao što su Magelanovi Oblaci.

5.1.7. Razvoj galaksija

Oblaci gasova Pragalaksije, od vodonika i helijuma, raspali su se dalje na manja zgušnjena koja su se kretala haotično ogromnim brzinama približujući se središnjem zgušnjenju. Iz njih je postalo prvo pokolenje zvezda, kao i zbivena jata, obrazujući sferni podsistem buduće galaksije, upravo ono što neposredno posmatramo u našem Zvezdanom sistemu. Ako je galaksija bila veće mase, dalje se brže razvijala. Ako je imala velik obrtni moment, od nje je postala spiralna galaksija tipa Sc, ako je imala srednji obrtni moment, spiralna galaksija tipa S_p, a ako je imala mali, onda galaksija tipa S_a.

Uzmimo za primer daljeg razvoja našu Galaksiju (tip S_p). Dok male zvezde prvog pokolenja još traju, zvezde velike mase u njoj srazmerno su brzo proživle svoj vek "sagorevši" svoj vodonik i završile život izbacivanjem većeg dela svoje mase, obogaćene težim elementima, u međuzvezdani prostor (supernove). Ovaj izbačeni gas sa onim koji nije ušao u prvo pokolenje zvezda sabija se sada, najviše u galaktičkoj ravni. Tamo gde je najgušći obrazuju se zvezde novog pokolenja (o čemu je već bilo ranije govora) u kojima ima više težih elemenata nego u zvezdama prvog pokolenja. Što je podsistem spljošteniji, to sadrži mlađe zvezde, vrele plave džinove. Oni se i danas rađaju i u galaktičkoj ravni i u njenim rukavima u koje odlazi gas koji još nije utrošen na obrazovanje zvezda.

Obrazovanje mladih zvezda vrši se u galaktičkom jezgru. Ka njegovom središtu skuplja se gas koji praktično nema obrtnog momenta i tamo se rađaju zvezde drugog pokolenja u podsistemu iz kojih je jezgro i sastavljeno. Njegov gas je već doživeo sitnije raspadanje, pa se zato tamo i ne obrazuju zvezde superdžinovi. U retkim slučajevima, kad je gas predao okolnoj sredini obrtni moment i zgusnuo se u vrlo masivne lopte, ne ostaje stabilan, već dolazi do eksplozija i izbacivanja materije iz jezgra, a ovakve premasivne zvezde doživljavaju kolapse.

I u ostalim vrstama spiralnih galaksija razvoj se odigrava na sličan način, samo što se kod masivnijih, zbog jače gravitacije, javljaju tanje a više zbivene grane sa više zvezda a malo gasa, a kod manje masivnih obrnuto — deblje a labavije zavijene grane sa nešto više preostalog gasa u rukavima.

Razvoj elipsoidnih galaksija je prostiji. Materija u njima od samog početka nije imala veći obrtni moment ni jače magnetno polje. Zato je kod njih spljoštenost manja, kao i brzina obrtanja i pojačavanje magnetnog polja. Čitav se gas ovakvih sistema od početka istrošio na zvezde sfernog podsistema. U daljem razvoju zvezde su izbacivale gas, koji se kretao ka središtu sistema i obrazovao zvezde novog pokolenja u sfernom podsistemu. U takvim galaksijama praktično i nema, ni gasa, ni mladih zvezda. Kod starih galaksija, gde je gas već istrošen, zato se zapaža mnogo belih patuljaka, zvezda na izmaku svog života.

Postoje i druge galaktičke kosmogonije koje se danas javljaju. Nijedna od dosad postavljenih, kao u ostalom ni zvezdanih, ni planetnih, nije u stanju da objasni sve njihove posmatrane osobine i pojave u njima, zato se one smatraju samo za početne čovekove pokušaje da reši ova najkrupnija pitanja na granicama današnje astronomske nauke.

Odeljak drugi Istraživanja u Kosmologiji

Prikazani su samo u obrisima najvažniji stacionarni i dinamički modeli Vasiona zaključno sa najnovijim, tzv. "modelom vrele Vasiona".

5.2.1. Njutnovski stacionarni modeli Vasiona

Naporedo sa izučavanjem nebeskih tela i pojava čoveka je odvajkada kopkala misao da sazna kolika je Vasiona, kakvog je oblika, kako je materija u njoj raspoređena, kako se kreće i razvija kao celina. Ova i slična pitanja obuhvata najmlađa astronomska grana — kosmologija. Mada su još antički materijalisti smatrali da je Vasiona beskonačna i ispunjena više ili manje ravnomerno materijom, zbog prekida od 17 vekova, u kome caruju teološka shvatanja, ova je grana počela naučno da se razvija tek od Njutna i naročito do 19. veka, da u našem veku doživi naglo procvat, pa se zato smatra da je ona čedo dvadesetog veka.

Polazeći od pretpostavki homogene i izotropne Vasiona, od kojih su polazile sve kosmološke hipoteze do nedavno, i smatrajući da prirodni zakoni važe u svim delovima njenim i svim vremenima, Njutn je usvojio da je Vasiona beskonačna i da je ravnomerno ispunjena materijom. Ovaj su model Vasiona razvijali i njegovi sledbenici kroz 18. vek. Međutim, u 19. veku su se pojavili nekoliko ozbiljni prigovori ovom modelu. Pomenimo ovde dva najjača — Olbersov "fotometrijski paradoks" iz 1894. g. i „gravitacijski paradoks". Po prvome, da je Vasiona beskonačna i da sadrži bezbroj ravnomerno raspoređenih zvezda, sjaj neba bi bio zaslepljujući što nije slučaj. Po drugome, tzv. "gravitacijskom paradoksu" ako bi se uzelo da je broj zvezda u Vasioni beskonačan, u njoj bi delovale beskonačno velike sile gravitacijskog privlačenja, gravitacijski potencijal bi u svakoj tački prostora bio beskrajno veliki, pa i sama ubrzanja, što nije slučaj.

Oba paradoksa otklonio je Šarlije 1908. g. i 1922. g. svojim njutnovskim stacionarnim modelom Vasiona u kome je njena materija raspoređena hijerarhijski. U njemu se zvezde grupišu u galaksije, ove u grupe, grupe u jata itd., što je i posmatranjima potvrđeno. Razlika je samo u tome što on ovakvu građu proteže u beskonačnost. Šarlije je matematički pokazao da se sa povećanjem poretka sistema smanjuje gustina materije i da u beskonačnosti teži nuli, a pod ovim uslovima da otpadaju oba paradoksa. I Šarlijeov model je doživio prigovore. Jedan od njih je da ovakva Vasiona ne bi bila stacionarna, jer bi se na periferiji njene mase ova gubila zbog slabe gravitacije u vasijski prostor.

Moderno objašnjenje oba paradoksa nalazi se u konstataciji da postoji upijanje elektromagnetskog i gravitacijskog polja materijom, što dovodi do prelaza polja u druge oblike ketanja materije. Zamisao o uticanju svetlosti u međuzvezdanoj, odnosno međugalaktičkoj materiji dosta je stara. Danas se, međutim, smatra da bi materija koja upija veliku količinu energije i sama počela da zrači, te bi fotometrijski paradoks bio moguć. Međutim, ovaj je zaključak pogrešan, jer se dopušta samo prelaz materije u zračenje, a smatra se da obrnut prelaz ne postoji.

Međutim zvезде, u svom razvoju, šalju elektromagnetno zračenje, pri čemu se materija sa konačnom masom pretvara u elektromagnetno polje. Ako obrnut prelaz nije moguć, kroz bilion godina sva poznata nam materija trebalo bi da se pretvori u zračenje. Kako model pretpostavlja da svet postoji većno u vremenu, ovako bi stanje već odavno nastupilo, što ne odgovara stvarnosti. Zato moramo priznati ili da se u Vasioni vrši stalno upljanje elektromagnetnog zračenja, pri čemu ono prelazi u materiju, ili da će jednom sva materija u Vasioni preći u zračenje, a svet u stanje o kome mi zasad ništa ne znamo.

5.2.2. Ajnštajnov model stacionarne Vasione

Već pomenute i druge teškoće na koje su našli njutnovski stacionarni modeli Vasiona navele su istraživače da se odreknu beskonačnosti koja je zadavala glavne teškoće i da pokušaju da izgrade model homogene i izotropne, ali konačne i u sebi zatvorene Vasiona, pri čemu ona ipak ne bi mogla biti ograničena. Tu je mogućnost pružila najpre Ajnštajnu njegova teorija gravitacije, koja je, u sklopu opšte teorije relativnosti, omogućavala da se postavljaju jednačine gravitacijskog polja sa 10 nepoznatih veličina koje određuju geometriju prostor-vremena preuzimaju ulogu potencijala gravitacije. Jednačine koje je Ajnštajn prvobitno bio postavio nisu bile najopštije, pa je kasnije u njih uneo jedan "kosmološki član" u vidu odbojne sile. On je u sebi sadržao tzv. "kosmološku konstantu", koja je vrlo prosto vezana sa poluprečnikom Vasiona i srednjom gustinom materije u njoj. Sam prostor se pokazao Rimanov, tj. sferni ili elipsoidni. Da se nađe njegova veličina dovoljno je bilo poznavati srednju gustinu vasionkog prostora. Ako za nju usvojimo današnju vrednost, koja se nalazi između 10^{-28} i 10^{-30} g/cm³, dobivamo da se poluprečnik Vasiona nalazi između 3,5 i 35 milijardi svetlosnih godina. Uzmemo li za poluprečnik donju granicu, dobivamo da naš posmatrački domet od oko 10 milijardi svetlosnih godina, koji našim pogledom obuhvata ono što zovemo Metagalaksija, iznosi samo četrdeseti deo Ajnštajnovog vasiona. De Sitter je ovaj model još više usavršio, pa se zato često govori o Ajnštajn – De Sitterovom modelu.

Svojom odbojnom silom i gravitacijom Ajnštajn je uspeo da teorijski uspostavi ravnotežu Vasiona i zato je njegov model stacionaran. Ipak su postavljene nekolike zamerke ovom modelu. Edington 1930. g. i Lemetr 1931. godine su npr. pokazali da je Ajnštajnova Vasiona nestabilna, da se njen poluprečnik mora početi menjati čim nastane i najmanja promena u rasporedu masa. Međutim, sa Hablovim otkrićem ostala je kao glavna zamerka sama stacionarnost modela. Ona se nije mogla otkloniti, pa su stvoreni nestacionarni modeli.

5.2.3. Njutnovski nestacionarni modeli Vasiona

Ubrzo se uvidelo da se u okviru Njutnovske fizike mogu stvoriti ovakvi modeli. Tu je samo bilo potrebno usvojiti da se u beskonačnoj Vasioni materija grupiše u vidu sfernog oblaka, konačnog prostiranja s određenim središtem, da je ona homogena sve do blizu granice i da je izotropna u svim pravcima oko središta. Tu se nasuprot gravitaciji, koja teži sažimanju, javlja kretanje po inerciji pod uticajem početne brzine iz središta po Hablovom zakonu. Jednačine ovakvog kretanja pokazuju da od iznosa početne brzine, što se može svesti i na zavisnost od srednje gustine, možemo razlikovati 3 njutnovska modela nestacionarne Vasiona: Ako je srednja gustina manja od kritične, širenje će se neograničeno nastaviti. Ako je srednja gustina veća od kritične, širenje će posle izvesnog vremena prestati i početi skupljanje, pri čemu ovaj proces naizmeničnog širenja i skupljanja nije ograničen. U prelaznom slučaju širenje je neograničeno, ali kad vreme teži beskonačnosti brzina širenja teži nuli. U račun nisu uzeta super-supergusta tela u Vasioni i još neka, koja su u stanju da izmene slike ova tri modela. Sem toga, naročite teškoće zadaje tzv. "singularnost" ili početni trenutak širenja Vasiona u kome se materija u njoj mora zamisliti zblivena u tačku ili bar majušnu kuglicu, što je teško zamisliti i što u toj epohi razvoja Vasiona dovodi u pitanje primenljivost naših današnjih fizičkih zakona. To je uostalom slaba strana svih dinamičkih modela, pa i relativističkih, kakvi su npr. Fridmanov i Lemetrov o kojima će dalje biti govora.

5.2.4. Fridmanov dinamički relativistički model Vasiona

A. Fridman je svojim radovima od 1922–1924. g. pokazao da rešenja Ajnštajnovih jednačina zavise od vremena, da se krivina prostora, jednaka u svim tačkama i svim pravcima, menja sa vremenom i da se, prema tome, zavisno

od početnih uslova, odnosno gustine, Vasiona ili širi, ili sažima, ili osciluje, uz očuvanje homogenosti i izotropnosti i smanjenje ili povećanje srednje gustine materije. Hablovim otkrićem međusobnog udaljavanja galaksija, Fridmanova teorija je već 1919. g. bila potkrepljena.

Iz Hablovog zakona se lako da izračunati i vreme koje nas odvaja od singularnosti. Neizbežna singularnost u rešenjima gravitacijskih jednačina nam ukazuje na ograničenost primene i opšte teorije relativnosti na stanja izuzetno velikih gustina. S nedavnim otkrićem ranije pretpostavljenog tzv. "reliktnog zračenja" došlo se do zaključka da je, odmah nakon singularnosti materiju Vasiona ne samo karakterisala velika gustina, već i visoka temperatura. Srazmerno niska učestanost reliktnog zračenja, koju danas beležimo, odgovara toplotnom zračenju od samo $2,7$ iznad apsolutne nule, no zato je znatno veća učestanost tog zračenja u davnoj prošlosti Metagalaksije odgovarala stanju izuzetno visoke temperature metagalaktičke materije.

Pored Fridmanovog modela, valja pomenuti i Lemetrov i još neke, kao i Milnovu teoriju, zasnovanu na sasvim drukčijim razmatranjima, no koja dovodi do sličnih rešenja. Ovde se, međutim, zbog ograničenog prostora, na tim kosmološkim teorijama i modelima ne možemo zadržavati, ali ne možemo izbeći da ne zabeležimo neke savremene modele, koji dovode i do detaljnije slike o razvoju Vasiona.

5.2.5. Model vrele Vasiona

Misao da je u ranim stupnjevima svog razvoja Vasiona bila velike gustine, ali i tako visoke temperature da su se u njoj mogle odvijati termonukleusne reakcije iskazao je Gamov 1946. g., a prihvatili je u svojim radovima Alfer i Bete. Zato se teorija "vrole Vasiona u širenju" ponekad naziva i "alfa-beta-gama teorijom". Nju su, međutim, u današnjem obliku i potpunosti razradili sovjetski fizičari J.B. Zeljdovič i I.D. Novikov i ona se danas uglavnom prihvaća kao najadekvatniji opis građe i razvoja Metagalaksije od prvih desetihiljaditih delova sekunde nakon džinovske eksplozije super-superguste metagalaktičke materije do savremene epohe njena razvoja.

Analiza najranijih doba razvoja Metagalaksije u okviru modela vrele Vasiona u širenju počiva na pretpostavkama da osnovni zakoni fizike važe i za gustine znatno veće od gustine materije u atomskom jezgri (10^{14} g/cm³) i da je Fridmanovo rešenje Ajnštajnovih gravitacijskih jednačina primenljivo bez obzira na izuzetno velike gustine i temperature svojstvene prvim sekundama nakon eksplozije.

Super-supergusto stanje materije u najneposrednijoj blizini singularnosti nije nam poznato, kao što nam nisu poznati ni uzroci njenog eksplozivnog preobražaja u nama poznate oblike organizacije materije. Postoje teorijske osnove jedino da se za period do 10^{-14} sekunde od početka širenja pretpostavi da je najveća moguća gustina 10^{94} g/cm³, da je temperatura veća od 10^{33} °K, da gospodari kvantni karakter gravitacijskog polja i da je verovatno narušavanje neprekidnosti prostora i vremena. Ovo se doba razvoja Metagalaksije može dogovorno nazvati kvantno-kosmološko doba.

Odmah posle njega materija se, pri temperaturama većim od 10^{13} °K i gustini većoj od 10^{14} g/cm³ izgrađuje na mikronivou, i to, pre svega, u vidu hadrona — masivnih osnovnih čestica jakih međudejstava (bariona, tj. nukleona i hiperona, π mezona i λ mezona), a znatno manje u vidu leptona — "lakih" čestica slabih međudejstava (elektrona, pozitrona, miona i neutrina) i gama fotona (manjih energija od onih koji su odmah nakon kvantno-kosmološkog doba obrazovali nukleon — anti-nukleon parove).

Smatra se da je za ovo, tzv. hadronsko doba razvoja Metagalaksije, svojstveno postojanje veoma slabe asimetrije bariona, tj. veoma malo više čestica no antičestica. Pretpostavlja se da je na 10^9 antibariona bio 10^9+1 barion, što objašnjava i sadašnju, izuzetno slabu zastupljenost antimaterije u Metagalaksiji. Sa daljim širenjem, u hadronskom dobu, obrazovanje parova čestica — antičestica gama kvantima prekida se i smenjuje anihilacijom svih bariona i antibariona u toku nekoliko desetomilionitih delova sekunde. U milionitom delu sekunde od početka širenja hadronsko doba se završava anihilacijom plona. Rezultat svih ovih procesa je nagli porast gustine zračenja i uspostavljanje potpune barionske asimetrije Metagalaksije, tj. potpune prevlasti materije nad antimaterijom u njoj. Gustina zračenja u ovom dobu je 10 milijardi puta veća od gustine materije.

Od milionitog dela sekunde do desete sekunde traje leptonsko doba. Ono se odlikuje padom gustine sa 10^{14} g/cm³ na 10^4 g/cm³ i padom temperature sa 10^{13} °K na $5 \cdot 10^8$ °K, ali i građom metagalaktičke materije ne

više iz hadrona, već iz leptona i iz preostalih neanihlovanih nukleona iz prethodnog doba. Fotoni, neutrina i antineutrina (mionski i elektronski) međudejstvuju sa ostalim leptonima a pozitivni i negativni mioni se anihiluju obogaćujući Metagalaksiju novim količinama fotona. U ovom periodu je gustina zračenja milijardu puta veća od gustine materije. Nakon 0,2 sekunde od početka širenja Metagalaksije neutrina se oslobađaju međudodjstva sa nukleonima i ostalim česticama i, izotropno prožimajući Metagalaksiju, jedan nivo u organizaciji materije gotovo idealno izolovan od drugih nivoa. Sa širenjem Metagalaksije neutrinski "gas" se adijabatski širi i hladi, tako da mu je sadašnja temperatura oko 2°K . Registrovanje neutrina tako niske energije, na sadašnjem stupnju razvoja nauke praktično neizvodljivo, bilo bi, pored već registrovanog reliktnog zračenja, još jedna velika potvrda teorije vrela Vasilone u širenju.

Leptonsko doba se završava anihilacijom elektron – pozitron parova i spajanjem neutrina i protona u helijumova jezgra, koja otada čine 30% metagalaktičke materije (ostalih 70% čine vodonikova jezgra – protoni). Nukleusne reakcije spajanja vodonikovih i helijumovih jezgara u Metagalaskiji prekidaju se po isteku desete sekunde njena širenja.

Leptonsko doba smenjuje epoha fotonske plazme, koja traje narednih milion godina. Početkom ovog doba Metagalaskiju ispunjavaju pretežno fotoni i srazmerno mala količina elektrona, protona i helijumovih jezgara. Gustina zračenja je deset miliona puta veća od gustine materije. Sa daljim širenjem, temperatura Metagalaksije pada na 3–4 hiljade stepena, gustina na 10^{-20} g/cm^3 , a živu razmenu energije između fotona i elektrona smenjuje gotovo potpuni prestanak međudodjstava fotona sa ostalom metagalaktičkom materijom i obrazovanje neutralnih atoma vodonika i helijuma od slobodnih elektrona, protona i helijumovih jezgara. Reliktno zračenje od $2,7 \text{ K}$, koje danas primamo, čine upravo metagalaktičkim širenjem "rashlađeni" fotoni koji su se, pri 3–4 hiljade stepena, u doba fotonske plazme, oslobodili međudodjstava sa metagalaktičkom materijom i Metagalaksiju izotropno ispunili.

Od isteka prvog miliona godina do danas traje doba razvoja makro- i mega-strukturnih oblika u kome srednja gustina pada sa 10^{-21} g/cm^3 na 10^{-31} g/cm^3 , a homogena raspoređenost materije se sve više narušava "u malom". Smatra se da je obrazovanje nebeskih tela u ranim stupnjima ovog doba imalo korene u slučajnim i sasvim malim odstupanjima u ravnomernosti rasporeda materije u prethodnim dobima, koja su se, zahvaljujući gravitacijskom međudodjstvu, uvećala, da bi, nakon obrazovanja neutralnih atoma vodonika i helijuma, postala dovoljno velika da se metagalaktička materija izgradi u pagalaktički i materijal, a ovaj u prazvezdañi za prva pokolenja zvezda i galaksija.

Sasvim suprotno stanovište o obrazovanju makro- i mega-strukturnih oblika u toku širenja Metagalaksije zastupa škola V.A. Ambarcumjana. On je već više decenija na stanovištu da je izgradnja Metagalaksije, jata i grupa galaksija, na galaksije, zvezdana jata i zvezde rezultat neprestanog pretvaranja delića superguste materije u nama poznate njene oblike. Ovi delići su ostaci džinovske eksplozije "pramaterije", koja je pre dvadesetak milijardi godina bila jedinstveno super-supergusto telo sa tako snažnim gravitacijskim poljem da je elektromagnetnom zračenju bilo nemoguće da ga napusti, ali koje se, iz nama nepoznatih razloga, raspalo na delove najrazličitijih masa. Imajući u vidu teorijsku osnovanost postojanja čitavog spektra dozvoljenih masa supergustih tela (K.P. Stanjukovič, S.V. Houking i dr.), možemo pretpostaviti mogućnost povlačenja izvesnih paralela između crnih jama (koje su kraj nama poznatog ravnog toka masivnih zvezda) i ostataka "pramaterije" (od kojih počinje razvojni put zvezda, galaksija i, možda, kvazara).

Bez obzira na različitost, obe zamisli daju iste bitne elemente kosmološkog dela prirodno-naučne slike sveta, ukoliko se složimo da u vasijskim razmerama nema smisla govoriti o progresivnom i regresivnom razvoju materije, o razvoju ka višem ili nižem nivou organizacije i tome slično.

5.2.6. Modeli nehomogene Vasilone

Hajaši je 1950. g. ukazao na neodrživost nekih postavaka teorije vrela Vasilone. Na njenom razrađivanju i dograđivanju radilo je mnogo autora, a naročito: na odeljku o postanku hemijskih elemenata. Pomenimo ovde radove Vagonera, Faulera i Hojla iz 1967. g.

Već 1949. g. G.K. Omer je pokušao da stvori nacrt jednog modela nehomogene i anizotropne Vasiona koji neće imati nedostatke prethodnih. Zatim su sledili i drugi. Pred teoretičare, da bi stvorili model bliži objektivnoj stvarnosti, postavlja se čitav niz novih problema koje prethodno treba rešiti, kao što su: uloga gravitacijskih talasa, pitanja o topološkim svojstvima Vasiona i dr. Ali to već izlazi iz okvira istorije i predstavlja istraživanja koja se nameću astronomima i fizičarima i u budućnosti.

Međutim, dosta iznenada, u najnovije vreme pojavila se, već pominjana, kosmološka teorija Pekera, Roberta i Vižijea po kojoj bi Hablov zakon mogao biti posledica gubitka energije zračenja dalekih nebeskih tela zbog sudara fotona koje emituju sa fotonima mikrotalasnog zračenja. U tom slučaju ne bi bilo neophodno uvoditi hipotezu o "velikoj eksploziji", pa bi Vasiona mogla biti kvazi-statična, kao što se ranije smatralo.

Nijedan od kratko prikazanih modela o građi i razvoju Vasiona, kao uostalom ni svi ostali, ne slažu se u potpunosti sa svim posmatranim činjenicama, a u sebi sadrže i niz pretpostavaka koje se zasad ne mogu proveriti. No zato one predstavljaju razvojni put, ne samo u astronomskoj nauci, već i u teoriji saznanja, stepenice preko kojih će se čovek popeti do istine.

Problem konačnosti ili beskonačnosti Vasiona, kako ga je postavila relativistička teorija homogene i izotropne Vasiona i jednostavno rešila uspostavljanjem veze između znaka prostorne krivine i vrednosti gustine materije, odnosi se na metričku konačnost ili beskonačnost jednog prostorno-vremenskog sveta sa jedinstvenim etalom dužine i jedinstvenim vremenom (jedinstven sistem referencije). U relativističkoj teoriji nehomogene neizotropne Vasiona, uvođenje ovakvog (privilegovanog) sistema referencije, kao što je već pomenuto, nije uopšte uzev moguće, pa prema tome i sam problem konačnosti i beskonačnosti celokupne Vasiona kao konačnosti ili beskonačnosti strogo određene prostorno-vremenske forme, ostaje otvoren. Ovo se ne može shvatiti kao nedostatak teorije za koju je metodološki nekorektno prisupiti rešavanju problema konačnosti ili beskonačnosti celokupne Vasiona u pomenutom smislu, jer bi to predstavljalo neopravdanu ekstrapolaciju nama poznatih prostorno-vremenskih formi, zakona kretanja i tipova uzajamnih dejstava na one strukturne nivoe materije kojima odgovaraju drukčije prostorno-vremenske forme, drugi zakoni kretanja i nama nepoznati tipovi uzajamnih dejstava strukturnih elemenata.

Iz osnovnih atributa materije i pre svega njene neiscrpnosti, sledi prostorno-vremenska beskonačnost Vasiona, no ne kao beskonačnost određene prostorno-vremenske forme, već kao neiscrpnost raznovrsnosti konačnih i beskonačnih prostorno-vremenskih formi sastavnih oblasti celokupne Vasiona.

Upravo zbog neograničene raznovrsnosti strukturnih formi i stanja materije, čije promene u večnom samobnavljanju imaju nepovratan karakter i čije su potencijalne mogućnosti da prima kvalitativno nova stanja neograničene, sasvim je opravdana sumnja u mogućnosti izgrađivanja modela Vasiona kao celine.

Odbacujući postulat homogenosti i izotropnosti, i pretpostavljajući mogućnost primene različitih relativističkih modela, u opisanju različitih delova Vasiona i različitih razvojnih stupnjeva mega-sistema (kao što je naša Metagalaksija), relativistička teorija nehomogene neizotropne Vasiona ukazuje na bogatstvo metričkih svojstava prostora, vremena i prostor-vremena, koja objektivno jesu jedna fundamentalna strana materijalnog sveta, kvalitativnog karaktera pre svega, a nema sumnje da će na svom višem stupnju razvoja rešavati i probleme fundamentalnije karakteristike materijalnog sveta — topološke raznovrsnosti prostora, vremena i prostor-vremena.

Zaključak

Iz svega izloženog, uprkos mnogim još nerešenim problemima, već sada se nameće zaključak da su osnovne crte kosmološkog dela prirodno-naučne slike sveta nestvorivost i neuništivost materije i kretanja u metagalaktičkim razmerama, prostorno-vremenska određenost, ali i raznovrsnost metagalaktičke materije, njena samorazvojnost u neprekdnim i skokovitim promenama kvaliteta uslovljenim kvantitativnim promenama, njena samorazvojnost u sistematskoj izgrađenosti spontanim preobražajima na mikro-nivou i sa njega na makro- i mega-nivo, i njena sveopšta povezanost, slabije ili jače izražena, na svim nivoima organizacije materije i između njih, u vidu slabije ili jače izraženih jednosmernih ili dvosmernih dejstava.

Prilog 1

Branislav M. Ševarić

HRONOLOGIJA ZNAČAJNIJIH DOGAĐAJA U ASTRONOMIJI

- 4712.g. Početak julijanske periode.
- 4000.g. Podignuta najstarija opservatorija Stonhendž (Engleska).
- 2886.g. Uvedena sunčana godina u egipatski kalendar.
- 2159.g. Prvo posmatranje Sunčeva pomračenja (u Kini).
- 1135.g. Prvo posmatranje Mesečeva pomračenja (u Kini).
- 1099.g. Prvi put određen nagib ekliptike i položaj zimskog solsticija (u Kini).
- 775,5.g. Početak računanja vremena po olimpijadama (u Grčkoj).
- 752.g. Početak računanja vremena od osnivanja Rima (Varon).
- 746.g. Početak Nabonasarove ere (u Vavilonu).
- 639.g. Konstruisan na ostrvu Kosu ručni gnomon — skafe (Berozus).
- 593.g. U Atini uvedena Mesečeva godina (Solon).
- 584.g. Prvo posmatrano Sunčevo pomračenje koje je predviđeno (Tales).
- 544.g. Prvi gnomon postavljen u Sparti (Anaksimandar).
- 531.g. Javlja se ideja o loptastom obliku Zemlje (Pitagora).
- 529.g. Javlja se gledište da Mesec dobiva svetlost od Sunca (Anaksimenes).
- 485.g. Javlja se ideja da je Mesec sličan Zemlji (Anaksagora).
- 465.g. Opažen prvi put pad meteorita (u Trakiji).
- 450.g. Javlja se prva ideja da se Zemlja kreće oko Sunca (Filolaos).
- 433.g. Postavljen u Atini prvi sunčani časovnik.
- 431.g. U Atini pronađen 19-togodišnji ciklus Mesečevih mena (Meton).
- 431.g. Prvo grčko određivanje solsticija gnomonom (Meton).
- 430.g. Javlja se gledište da je Zemlja lopta koja se obrće (Filolaos, Aristotel).
- 420.g. Javlja se gledište da Zemlja obrtanjem izaziva pojavu dana i noći (Hiketas). Ovaј zapis, nađjen kod Cicerona, inspirisao je Kopernika.
- 380.g. Određeni su počeci godišnjih doba (Eudoks).
- 369.g. Proneta iz Egipta u Grčku ideja o godini od 365,25 dana (Eudoks).

- 349.g. Prvo tumačenje Venerina kretanja epiciklima (Heraklid).
- 332.g. Osnovan Aleksandrijski muzej i opservatorija.
- 330.g. Prvi dokaz za Zemljin loptasti oblik (Aristotel).
- 320.g. Prvi put definisani meridijan i horizont (Euklid).
- 320.g. Prvi put dovedene u vezu plima i oseka sa Mesecom (Piteas).
- 309.g. Prvi put matematički rastumačena pojava prividnog dnevnog kretanja neba (Autolik).
- 301.g. Prvi put se pominju Sunčeve pege (Kina).
- 299.g. Pokušaj određivanja Zemljinih dimenzija (Dicearh).
- 295.g. Počela posmatranja za jedan od prvih zvezdanih kataloga (Timoharis i Aristil).
- 289.g. Donet u Rim prvi sunčani časovnik (Kurzor).
- 284.g. Prvo posmatranje okultacije Spike (Timoharis i Aristil).
- 280.g. Prvi put određene daljine i veličine Sunca i Meseca i postavljen prvi heliocentrički sistem sveta (Aristarh).
- 275.g. Konstruisan dioptar i prvi put određen Sunčev prividni prečnik (Arhimed).
- 270.g. Pronađen (po Vitruviju) gnomon u polusferi (skafe) za merenje Sunčevih visina (Aristarh).
- 250.g. U Aleksandriji konstruisan vodeni časovnik (Ktezibije).
- 250.g. U Kini spaljene sve astronomske knjige (imperator Či-Hoang-Ti).
- 239.g. Pronađena ekvatorska i zodljačka armila (Eratosten).
- 237.g. U Egiptu reformisan sunčani kalendar uvođenjem prestupne godine (Kanopski edikt).
- 229.g. Određen ekvatorskom armilom nagib ekliptike (Eratosten).
- 220.g. Pronađena geometrijska metoda i određena veličina zemlje (Eratosten).
- 211.g. Konstruisan prvi planetarijum (Arhimed).
- 210.g. Objavljeno delo "Konični preseći" značajno za razvoj nebeske mehanike (Apolonije).
- 210.g. Uvedeni epicikli za objašnjenje geocentričnih kretanja planeta (Apolonije).
- 162-125.g. Otkriće precesije, prve tablice Sunca i Meseca, zvezdani katalog sa položajima 850 zvezda (Hiparh).
- 150.g. Pronađeni zakoni odbijanja svetlosti (Heron).
- 145.g. Prvo posmatranje komete (Seneka).
- 133-49.g. Određivanje Zemljinih dimenzija i daljina Sunca i Meseca (Posidonije).
- 46.g. Po Cezarevom nalogu izvršena reforma rimskog kalendara (Sosigen).
- 10do-50.g. Zbornik astronomskih znanja (Kleomed).

- 3do+65.g. Zbornik astronomskih znanja (Senoka).
- 77.g. Dokaz za Zemljin loptasti oblik — postupno izronjavanje broda iznad horizonta kad prilazi obali (Plinije Stariji).
- 142-146.g. U "Sintaksisu" (arapski "Almagest") data teorija opicikličnog kretanja planeta u geocentričnom sistemu, tablice planeta i zvezdani katalog sa 1025 nekrotnica (Ptolemej)
- 206.g. Otkrivena nejednakost Mesečeva krotnja, određeni nagib Mesečove putanje i tačnija vrednost tropske godine (Li-jeu-Hong, Čaj-Jong).
- 321.g. Posmatrane Sunčeve pege ("Kineski anali").
- 325.g. Na Nikejskom saboru utvrđen način određivanja datuma za uskrs i drugo pokretne praznike.
- 359.g. Sistematizovan jevrejski kalendar i utvrđena jevrejska era na 7. oktobar 3761.g. pre n.e. (Hanas).
- 411.g. U Africi zabeležen pljusak meteora.
- 460.g. Prvi put (u Kini) zapaženo prividno dnevno kretanje Severnjača, određena dužina drakonitičkog meseca i tačnija vrednost za dužinu tropske godine, bliska Kopernikovoj (Ču—Čong).
- 525.g. Određen početak naše ere (Dionisije).
- 622.g. Utvrđen početak muslimanske ere (Omar).
- 827.g. Novi premer Zemlje (Abdulmelik, Isa).
- 829.g. Podignuta opservatorija u Bagdadu, izrađene tablice planetskog kretanja (Al Mamun).
- 839.g. Posmatran Venerin prolaz ispred Sunca (Kendi).
- 877.g. Popunjen Ptolemejev zvezdani katalog (Al Batani).
- 879.g. Određena tačnija vrednost za nagib ekliptike, određeno pomeranje apoguma, popravljene astronomske konstante iz Almagesta i pronađena kosinusna teorema sferne trigonometrije, koja je dugo bila pripisivana Ojleru (Al Batani).
- 964.g. Ptolemejev katalog sveden na novu epohu i date prividne veličine zvezda (Al Sufi).
- 977-979.g. Posmatrana 3 Sunčeva i 1 Mesečevo pomračenje. Prvi put korišćeno klatno za određivanje vremena posmatranja u Kairskoj opservatoriji. Otkriveno sekularno ubrzanje srednjeg Mesečevog kretanja (Ibn Junis).
- 987.g. Izmerena tačna vrednost za nagib ekliptike. Izrađen prvi izdijeljeni krug za merenje Sunčevih meridijanskih visina (na Opservatoriji u Bagdadu, Abul Vefa).
- 1030.g. Dat komentar Almagesta. Na Kairskoj opservatoriji određena približna visina atmosfere pomoću osvetljenih oblaka. Pokušano određivanje astronomske refrakcije. Objašnjena pojava sumraka i određen ugao do koga se spušta Sunce na kraju sumraka. Određena visina osvetljenog vazdušnog sloja za vreme sumraka (Alhazen).
- 1054.g. U Kini i Japanu otkrivena nova zvezda u sazvežđu Bika, koja se kasnije razvila u Rak maglinu.
- 1080.g. Izrađen najstariji (arapski) mesingani globus s položajima 1015 najsjajnijih zvezda obeju hemisfera (sačuvan u Firenci).
- 1154.g. Osnovana opservatorija u Pekingu.

- 1175.g. Izvršen prvi prevod *Almogesta* s arapskog na latinski, koji je kasnije (1515.g.) prvi put štampan u Veneciji. Prevedeno još bar 76 antičkih i arapskih dela iz astronomije (Gerhard iz Kremono).
- 1228-30.g. Prvi udžbenik astronomije u Evropi, uputstva za sastavljanje kalendara i projekt rekonstrukcije arapskog kvadranta za merenje meridijanskih visina (Sakrobosko).
- 1239.g. Prvi put pri potpunom Sunčevom pomračenju zapažena korona i protuberance (Zapisi hroničara).
- 1252.g. Završene u Toledu "Alfonsinske tablice" s novim vrednostima svih tada poznatih astronomskih veličina (pedeset astronoma).
- 1260.g. Određena u Azerbejdžanu skoro tačna vrednost za godišnju precesiju (Nasir Edin).
- 1261.g. Podignuta opservatorija u Meragahu (Azerbejdžan), snabdevena velikim brojem preciznih instrumenata (Nasir Edin).
- 1280.g. U Kini određen gnomonom položaj zimskog solsticija i trenutak kad je Sunce u njemu, zatim tačnija vrednost za nagib ekliptike i dokazano njegovo opadanje (Koče u King).
- 1284.g. Određena najveća i najmanja paralaksa Meseca (Alfons, kralj Kastilje).
- 1285.g. Mnogi posmatrači Sunčevih pomračenja oštetili vid. Prvi put neposredno posmatranje Sunca zamenjeno posmatranjem projekcije u mračnoj komori (Sen Klau).
- 1299.g. Svedočanstvo o nedavnom otkriću naočara (Rukopis u biblioteci u Pizi).
- 1310.g. Dolazi se do pojma "datumske granice" (Abul Feda).
- 1348.g. Prvi put određena geografska dužina (Pariz-Beč) jednovremenim posmatranjem trenutaka istog Mesječevog pomračenja (Langenštajn).
- 1364-70.g. Pronađen časovnik s tegom i klatnom, zupčanicima i kazaljka (Hajnrh Fon Vik).
- 1420-37.g. Podignuta čuvana Opservatorija u Samarkandu. Izrađen katalog 1018 Hiparhovitih zvezda za epohu 1437, prvi originalni, 16 vekova posle Hiparhova, astronomske talice (Ulu Baj).
- 1440.g. Ideja da je vasiona beskonačna, tj. da nema središta pa se ni Zemlja ne može nalaziti u njemu i ideja da se sve u prirodi kreće pa i mora i Zemlja (Nikola Kuzanski).
- 1448.g. Prvo računanje efemerida za velike planete (J.Regiomontan).
- 1457.g. Prva metoda za određivanje tačnog vremena iz visina Sunca i zvezda (G.Purbah i J.Regiomontan).
- 1463.g. Završen spis iz ravne i sferne trigonometrije gde je prvi put dat izraz za površinu trougla i stav pomoću koga se može rešiti sferni trougao iz tri data ugla (J.Regiomontan).
- 1460.g. Postavljen u Firenci gnomon visok 50m za određivanje pravog podna s tačnošću od $0^{\circ}5'$ (P.Toskanelli).
- 1471-75.g. Prva opservatorija u Evropi (u Nirnbergu) s velikim brojem instrumenata uključujući i torquetum, vrstu ekvatorijala (J. Regiomontan).
- 1475.g. Otkrivena metoda za određivanje geografske dužine iz Mesječevih prividnih daljina od poznatih zvezda (J. Regiomontan).
- 1490.g. Objavljena "pepeljava svetlost Meseca" (L. da Vinči).
- 1492.g. Posmatran u Enslahajmu pad meteorita od 250kg.
1511. g. Pala u Kremi masa od oko 1200 delova bolida (H.Kardan).

- 1514.g. Završen "Komentariolus" sa osnovnim stavovima heliocentričnog sistema (N.Kopernik).
- 1522.g. Određena tačnija vrednost Mesečeve paralakse (N.Kopernik).
- 1526.g. Otkrivena metoda za određivanje geografske dužine upoređivanjem časovnika koji pokazuju tačna mesna vremena (Gema Frizije).
- 1528.g. Tačnije određivanje dužine Zemljina meridijana (Ž.Fernel).
- 1531.g. Prvi put zapaženo da je kometski rep uvek okrenut suprotno od Sunca (P.Apijan).
- 1537.g. Otkrivena kriva dvostruke krivine, koju je kasnije Snelijus nazvao loksodroma, od velikog interesa za navigaciju. Pronađena sprava za čitanje sitnijih delova od jednog parsu kružne podele (P.Nonijus).
- 1538.g. Posmatrana kometa kasnije nazvana Halejevom i još neke (Ž.Frakastor).
- 1539.g. Prvi put sjajne zvezde obeležene malim slovima latinske azbuke, što će tak docnije dosledno sprovesti Bajer (A.Pikolomini).
- 1540.g. Prvi put se primenjuju obojena stakla za posmatranje Sunca (P.Apijan).
- 1543.g. Izlazi u 6 knjiga besmrtno delo "O kretanjima nebeskih tela" sa heliocentričnim sistemom sveta (N.Kopernik).
- 1560.g. Opisana pojava korone za vreme potpunog Sunčevog pomračenja (H.Klavije).
- 1561.g. Podignuta opservatorija u Kaselu, prva sa pokretnim kupolama. Izrađen zvezdani katalog u kome se prvi put javlja vreme u astronomskim posmatranjima (Vilhelm IV Hesenski).
- 1572.g. Otkrivena nova u Kasiopeji (Mauroliko, K.Gema, T.Brahe, ...).
- 1576.g. Osnovana čuvena opservatorija "Uranienborg" (T.Brahe).
- 1578.g. Određena prva putanja komete i utvrđeno prvi put da kometa nisu proizvod Zemljine atmosfere (M.Mestlin).
- 1580.g. Otkriven u Muranu prvi durbin (Đ.Porta).
- 1582.g. Ponovo otkrivena i objavljena Mesečeva varijacija (koju je prvi otkrio Abul Vefa), izmeren Sunčev i Mesečev prividni prečnik i određen tačan nagib Mesečeve putanje (T.Brahe).
- 1582.g. Uveden gregorijanski kalendar posle nekoliko ranijih pokušaja (A.Lilio, Grgur XIII).
- 1583.g. Uvedena julijanska perioda za hronološka računanja (J.Skaliger). Formulisan nov sistem sveta (T. Brahe).
- 1584.g. Podstaknuto Kopernikovim heliocentrizmom, javlja se učenje u mnoštvu sunaca i nastanjenih svetova (Đ.Bruno).
- 1585.g. Prvi put posmatrana zodijačka svetlost primenjene metode jednakih visina i dveju kulminacija iste cirkumpolare. Određena astronomska refrakcija iz merenja (K.Rotman).
- 1585-89.g. Određeni iznosi refrakcije iz merenja, tačnija vrednost za promenu Sunčeva apogeja, ekscentričnost njegove putanje, dužina tropske godine, nagib ekliptike i dr. (T.Brahe).
- 1586.g. Završen Hesenski katalog (K.Rotman, J.Birgi).
- 1588.g. Otkriveni prvi zakoni kretanja, oscilovanja klatna, slobodnog padanja i dr. (G.Galilej).
- 1592.g. Završen katalog 777 zvezda (kasnije 1000) za posmatranje planeta i kometa, na osnovu njega ispravljene Alfonsinske i Prutenke tablice, otkrivena Mesečeva godišnja nejednakost (T.Brahe).

- 1596.g. Prvi put se naziru Mesečeva mora i planine (M.Mestlin). Izlazi "Misterium kosmografikum" u kome se odlučno zastupa Kopernikov heliocentrični sistem, predviđa postojanje planeta između Marsa i Jupitera i izražava misao da od Sunca potiče sila koja upravlja kretanjem planeta (J.Kepler). Otkrivena promenljiva Mira Ceti (D.Fabricijus).
- 1598.g. Otkrivena nejednakost evelolja u Mesečevu kretanju (T.Brahe).
- 1599.g. Osnovana opservatorija Benatek kod Praga (T.Brahe).
- 1600.g. J.Kepler prelazi iz gimnazije u Gracu u opservatoriju Benatek, kao Tihov pomoćnik.
- 1601.g. Živ spaljen Đordano Bruno zbog učenja o mnoštvu nastanjenih svetova.
- 1603.g. Pojavljuje se zvezdani katalog rađen uglavnom po Tihovom, no sa prvi put dosledno sprovedenim načinom obeležavanja zvezda (J.Bajer).
- 1604.g. Izlazi "Paralipomena", optičko delo u kome je dat projekt za novu vrstu durbina s konveksnim sočivima, nova tablica refrakcije i dr. (J.Kepler).
U Holandiji izrađen durbin po ugledu na Portin iz 1580.g. (Z.Jansen).
- 1607.g. Otkrivena bez durbina na Suncu jedna pega za koju je smatrano da je planeta Merkur (J.Kepler).
Posmatrana nova kometa i konstruisan durbin po Keplerovom projektu (K.Štajner).
- 1608.g. U Holandiji izrađen ponovo durbin po uzoru na Italijanski iz 1580.g. (H.Lipershej).
- 1609.g. Konstruisan durbin Portina, odn. Jansenova tipa, otkriven Mesečev reljef i izmerene njegove visine (G.Galilej).
Objavljena u delu "Nova astronomija" prva dva zakona planetaskog kretanja (J.Kepler).
- 1610.g. Otkrivene zvezde u Plejadama i Mlečnom putu, prva 4 Jupiterova satelita, Venerine i Merkurove mene, naslućen Saturnov prsten (G.Galilej).
Otkrivene Sunčeve pega (J.Fabricijus).
- 1611.g. Potvrđeno otkriće Sunčevih pega (K.Štajner i J.Cizat, zatim G.Galilej). Počinju redovna posmatranja Sunčevih pega (S.Marije).
- 1612.g. Otkrivena Andromedina "maglina" (S.Marije).
- 1614.g. Prvi put uvedeni nazivi "teleskop" i "mikroskop" (Demicljan).
- 1615.g. Pronađena metoda triangulacije (V.Snellje).
Prvo određivanje geografske dužine prenosom časovnika (P.Kruger).
- 1616.g. Prva ideja da se za objektiv teleskopa uzme izdubljeno ogledalo mesto sočiva (N.Zuki).
- 1618.g. Konstruisan instrument preteča ekvatorijala (H.Grinberger).
Prvi put korišćen durbin za posmatranje kometa i zapažen raspad jezgra (J.Cizat, D.Kristijani).
- 1619.g. Objavljen treći zakon planetaskog kretanja u delu "Harmonices mundi" (J.Kepler).
- 1620.g. Konstruisan prvi ekvatorijal (K.Štajner, H.Grinberger).
- 1621.g. Počinje sistematsko posmatranje polarne svetlosti (P.Gasendi).
- 1623.g. Izračunata prva putanja bojlida i pokazalo se da oni nisu isparenja Zemljine atmosfere (V.Šikard).
- 1627.g. Izišlo "Rudolfinske tablice" kretanja planeta sa tablicama refrakcije i katalogom 1005 zvezda (J.Kepler).
- 1630.g. Na Jupiteru otkrivene tamne pruge paralelne ekvatoru (N.Zuki, F.Fontana).

- 1631.g. Pronađena spravica za čitanje sitnijih delova od najmanjeg na limbu s kružnom podelom koja se zadržala do danas (P.Vernije).
Posmatran prvi predskazan Merkurov prolaz ispred Sunca (P.Gasendi).
- 1632.g. Izlazi slavno Galilejevo delo "Dijalog o dva sistema sveta" zbog koga će biti od Inkvizije suđen, mučen i osuđen na doživotno progonstvo njegov autor (G.Galilej).
Prvi put zapaženo da se zvezde mogu i danju videti durbinom (V.Šikard).
- 1633.g. Suđenje Galileju.
- 1634.g. Počinje izrada prve Mesečeve karte (N.Peresk, P.Gasendi).
Izrađena metoda za određivanje geografske dužine iz merenih Mesečevih prividnih daljina od poznatih zvezda (Ž.Moren). Primenjen prvi put durbin na instrumente s podeljenim krugovima (Ž.Moren).
- 1635.g. Na Rišeljev zahtev Sorbona osuđuje Kopernikovo učenje.
- 1636.g. Zapažena i nacrtana prva pega na Marsu. Iz njenog praćenja zaključeno da on rotira (F.Fontana).
- 1637.g. Otkrivene Mesečeve libracije - u latitudi i paraletička (G.Galilej). Otkriveno da se Mesec kreće oko Zemlje po elipsi u čijoj je žiži Zemlja (D.Ž.Horoks).
- 1638.g. Pomeranje Mesečeva perigeja pripisano Sunčevim poremećajima (D.Ž. Horoks). Zapažene Marsove mene (F.Fontana). Otkrivena periodičnost promene sjaja Mire Ceti (F.Holvarda).
- 1640.g. Konstruisan preteča časovnika s klatnom za potrebe astronomskih posmatranja (J.Hevelije).
Konstruisan prvi okularni mikrometar (V.Gaskoanj).
- 1642.g. Pronađena mašina za računanje (B.Paskal).
- 1644.g. Prvi put iskorišćena zaklanjanja i otklanjanja Mesečevih kratera za vreme pomračenja za određivanje geografskih dužina (M.Langren).
- 1645.g. Prvi put se javljaju nazivi "objektiv" i "okular" kod astronomskog durbina (Š.Reita).
Uveden naziv "flokuli" i određeno trajanje Sunčeve rotacije (J.Hevelije).
- 1647.g. Izrađeni bakrorezl Mesečeve površine i data imena Mesečevim "morima" i planinama (J.Hevelije).
- 1650.g. Podignuta čuvena opservatorija u Gdansku (J.Hevelije).
Otkriven u Mizaru dvojni sistem (Đ.Ričoli).
- 1651.g. Data imena Mesečevim cirkovima i kraterima (Đ.Ričoli).
- 1653.g. Određen nagib ekliptike, horizontska refrakcija i Sunčeva paralaksa (Ž.D.Kasini).
- 1654.g. Objašnjenje Mesečeve libracije i otkrivena libracija u longitudi (J.Hevelije).
- 1655.g. Otkriven prvi Saturnov satelit i određeno trajanje njegove revolucije (K.Hajgens).
- 1656.g. Pronađen časovnik s klatnom nezavisno od svih ranijih pokušaja (K.Hajgens).
Otkriven Saturnov prsten (K.Hajgens).
- 1659.g. Određeno trajanje Marsove rotacije (pre Ž.D.Kasinja, K.Hajgens).
- 1660.g. Pronađena libela (M.Tevno).
- 1662.g. Ogledi razlaganja Sunčeve svetlosti prizmom (I.Njutn).
- 1663.g. Projekat za reflektor sa izdubljenim ogledalom koji nije realizovan za autorova života (D.Ž.Gregori).
Prvi put ukazano na mogućnost određivanja Sunčeve paralakse iz prolaza donjih planeta (D.Ž.Gregori).
Izrađen prvi model teleskopa-reflektora (I.Njutn).

- 1664.g. Određena Jupiterova spljoštenost i trajanje rotacije (Ž.D.Kasini).
- 1665.g. Prvi put iskazana misao da su putanje kometa krive slične paraboli, a ne prave, kao što se dotle mislilo (Đ.Boreli).
Izišao katalog 1468 zvezda (Đ.Ričoli).
Otkriće interferencije i difrakcije svetlosti i prvi opis Sunčeva spektra dobivena prizmom (F.Grimaldi).
Otkrivena razdelnica Saturnovog prstena (braća Bol).
Javlja se mišljenje da je Mesec sličnog sastava kao Zemlja i da ima svoju težu, kao i ideja o undulacionoj prirodi svetlosti (R.Huk).
Otkrivena crvena pega na Jupiteru (Ž.D.Kasini).
- 1666.g. Nađeno da rotacioni oblici nebeskih tela odstupaju od sfernog.
Identifikovana sila gravitacije sa silom teže na primeru Meseca (I.Njutn).
Usavršen okularni mikrometar (A.Ozu, Ž.Pikar).
Pokušaj da se izradi teorija kretanja Jupiterovih satelita pod uticajem Jupiterove gravitacije (Đ.Boreli).
- 1667.g. Određeno trajanje Venerine rotacije (Ž.D.Kasini).
Otkrivena promenljivost Algolova (G.Montanari).
Objavljeno Gaskuanjevo otkriće okularnog mikrometra (R.Taunil).
Izvršeno prvo posmatranje durbinom s končanicama (Ž.Pikar, A.Ozu).
- 1668.g. Određen nagib Sunčeva ekvatora prema ekliptici (Ž.D.Kasini).
Utvrđeno (meridijanskim krugom) da se zvezde mogu posmatrati i danju (Ž.Pikar).
- 1669.g. Zapaženo malo pomeranje zvezde Gama Drac s godišnjom periodom (R.Huk).
Poslednje određivanje Zemlje kao sfere. Prvi put upotrebljen durbim za astronomska posmatranja.
Prvi put primenjena metoda triangulacije (Ž.Pikar).
- 1670.g. Primećeno da svi časovnici s klatnom idu leti sporije a zimi brže (Ž.Pikar).
- 1671.g. Zapaženo i na Severnjači malo godišnje pomeranje koje ne odgovara ni refrakciji ni paralaksi (Ž.Pikar).
Prvo određivanje Sunčeve paralakse posmatranjem Marsa u opoziciji (Ž.Riše).
Otkriven i drugi Saturnov satelit (Japet) i određeno mu trajanje revolucije (Ž.D.Kasini).
Određen iz posmatranja nagib Mesčeva ekvatora (Ž.D.Kasini).
Završen i drugi Njutnov teleskop koji se i danas čuva u Kraljevskom društvu (I.Njutn).
Osnovana Pariska opservatorija -- prva državna u Evropi.
- 1672.g. Otkrivene bele kalote oko Marsovih polova (K.Hajgens).
Pojavljuje se nov sistem reflektora (Kasgrn).
Prvi spis o vremenskom izjednačenju (Dž.Flemstid).
Zapaženo da časovnik s klatnom, prenet iz Pariza, kasni dnevno u Kajeni $2^m 28^s$ što Njutn i Hajgens uzimaju za dokaz Zemljine spljoštenosti (Ž.Riše).
Nad osnovicom Pariz--Kajena određena Sunčeva paralaksa preko paralakse Marsa (Ž.D.Kasini, Ž.Riše).
Otkriven treći Saturnov satelit Rea (Ž.D.Kasini).
- 1673.g. Objavljeno delo "Horologium oscillatorum" u kome je data teorija centralnog kretanja i izrazi za centrifugalnu, odnosno centripetalnu silu (K.Hajdens).
Određena Sunčeva sinodička i siderička rotacija (Ž.D.Kasini, O.Remer).
- 1674.g. Izrađen prvi reflektor Gregorijeva tipa (R.Huk).
Prvi put iskazan princip opšteg privlačenja, naslućen princip inercije i aberacije svetlosti (R.Huk).
Prvi put primenjena popravka za podne pri posmatranju Sunčevih jednakih visina (u Francuskoj).
- 1675.g. I Ž.D.Kasini primećuje razdelnicu Saturnova prstena, koja danas nosi njegovo ime.
Otkriveno iz astronomskih posmatranja da se svetlost kreće konačnom brzinom i prvi put određena ta brzina (O.Remer).
Osnovana Grinička opservatorija i 1954. preneti u zamak Herstmonso.

- 1676.g. Na osnovi Pikarove tačne vrednosti Zemljina poluprečnika potvrđena zamisao o identičnosti gravitacije i Zemljine teže na primeru Meseca (I.Njutn).
- 1677.g. Izrađen prvi katalog južnog neba s položajima 341 zvezde (E.Halej).
Posmatran Venerin prolaz i korišćen za određivanje Sunčeve paralakse (E.Halej).
- 1678.g. Otkrivene bliske dvojne zvezde (Ž.D.Kasini).
Izrađena prva sveska efemerida "Connaissance des Temps" (Ž.Pikar).
- 1679.g. Objavljena posmatranja 1550 zvezda za zvezdani katalog koji će se kasnije pojaviti (J.Hevelije).
Tvrđenje da telo koje slobodno pada mora skretati ka istoku i da se ovo može smatrati dokazom Zemljine rotacije sa zapada na istok (I.Njutn).
- 1680.g. Postavljena prva tačnija teorija Mesečeva kretanja (E.Halej).
Prva metoda za određivanje parabolinih putanja kometa (I.Njutn).
korišćenjem Njutnove metode identifikovana kometa u više povrataka, kasnije nazvana Halejeva (E.Halej).
- 1681.g. Započeti pokušaj da se u teleskopu—reflektoru metalno ogledalo zameni staklenim (I.Njutn).
- 1682.g. Prva ideja da se astronomski durbini učvrsti i u njih šalje svetlost nebeskih tela pokretnim radnim ogledalom (Bofa de Tuluz).
- 1684.g. Objasnjena priroda zodijske svetlosti (N.Falis).
Na Renovo pitanje "Kakva će biti putanja tela koje se kreće pod uticajem privlačne sile iz jednog centra obrnuto srazmerno kvadratu daljine" upućeno Huku, Haleju i Njutnu, odgovara samo Njutn "elipsa" i daje za to dokaz.
Otkriveni 4. i 5. Saturnov satelit — Tetis i Dione (Ž.D.Kasini).
- 1686.g. Predat Kraljevskom društvu spis "Philosophiae naturalis principia mathematica" u kome je otkriven zakon opšte gravitacije, njime objašnjena kretanja nebeskih tela i mnoge druge pojave (I.Njutn).
- 1687.g. Objavljeno Njutnovo životno delo.
- 1689.g. Stvoren prvi pasažni instrument "Machina Domestica" (O.Remer).
Postavljen na Griničkoj opservatoriji o Flemstidovom trojku veliki zidni krug čija je tačnost dostigla 10". Na njemu su započeta posmatranja za "Atlas coelestis" i čuveni katalog "Historia coelestis britannica" koji je izišao posle autorove smrti (Dž.Flemstid).
- 1690.g. Izlazi kao posmrtno delo katalog 1564 zvezde "Prodromus astronomiae", kao zvezdani atlas (J.Hevelije).
U Flemstidovom katalogu nađena planeta Uran, kasnije otkrivena (J.Bode).
- 1691.g. Data potpuna teorija prolaza donjih planeta ispred Sunca i njihova predviđanja (E.Halej).
Izračunat iznos Zemljine spljoštenosti (K.Hajgens).
Otkrivena spljoštenost Jupitera i njegova zonska rotacija (Ž.D. Kasini).
- 1692.g. Završena uspeša Mesečeva karta (Ž.Kasini).
- 1693.g. Otkriveno sekularno ubrzanje Mesečevih longituda (E.Halej).
- 1694.g. Otkriveno prividno periodično godišnje pomeranje Severnjače pripisano Zemljinom godišnjem kretanju (Dž.Flemstid).
- 1700.g. Pronađena engleska konstrukcija ekvatorijala (Dž.Sisn).
Predat Haleju projekt pomorskog sekstanta (I.Njutn).
Spojen zidni krug s pasažnim instrumentom i stvoren prvi meridijanski krug (O.Remer).

- 1704.g. Izišla "Optika" sa svim autorovim otkrićima iz ove oblasti (I.Njutn).
- 1705.g. Prva ispravna pretpostavka o pravoj prirodi Saturnova prstena (Ž.D. Kasini). Otkriveno periodično kretanje kometa oko Sunca (E.Halej).
- 1706.g. Otkrivena Sunčeva hromosfera (Stenjen). Prvi pomen o protuberancama za vreme potpunog Sunčevog pomračenja (J.Šojhcer). Opis korone (F.Arago).
- 1712.g. Izlazi prva sveska Flemstidova kataloga "Historia coelestis britannica".
- 1716.g. Naslućena veza između polarne svetlosti i Zemljinog magnetizma (E.Halej).
- 1717.g. Popravljenе tablice planetaskog kretanja (E.Halej).
- 1718.g. Otkriće sopstvenog kretanja zvezda (E.Halej).
- 1720.g. Pronadjen teodolit (Dž. Sisn).
- 1721.g. Objavljene tablice za refrakciju (E.Halej). Otkrivena metoda relativnog određivanja položaja nebeskih tela sa osloncem na zvezde čiji su položaji precizno poznati (E.Halej).
- 1723.g. Iz Bredlijevih posmatranja izračunata prva putanja komete po Njutnovoj metodi (E.Halej).
- 1724.g. Prvi put u praksi primenjena Hevelijeva metoda za određivanje geografskih dužina Lisabon-Pariz i Njujork-Pariz iz posmatranja Mesečevih pomračenja (Dž.Bredli). Utvrđeno za vreme potpunog Sunčevog pomračenja da korona pripada Suncu a ne Mesecu, kao što se dotle mislilo (Đ.Maraldi).
- 1725-28.g. Otkrivena i objašnjena pojava averacije svetlosti (Dž.Bredli).
- 1725.g. Određivanje atmosfere ekstrinkcije (P.Buge).
- 1726.g. Upoređena po jaćini Sunčeva sa Mesečevom svetlošću. Zaćetak nebeske fotometrije (P.Buge). Osnovana opservatorija u Petrogradu — prva državna u Rusiji.
- 1729.g. Određeno prvi put Sunčevu potamnjenje prema rubu (P.Buge). Pokazano da je moguća izrada ahromatskih soćiva u koju Njutn nije vreovao (Ć.Hol).
- 1730.g. Posmatran odsajj ("gegenšajj")zodijaćke svetlosti i na istoku i na zapadu (P.Pezena).
- 1731.g. Otkrivena najtaćnija metoda za određivanje geografske širine (P.Horebau).
- 1733.g. Izraćen prvi ahromatski objektiv (Ć.Hol). Dokazana Zemljina spljoštenost merenjem luka Zemljina paralela (Ž.D.Kasini, Đ.D.Maraldi). Otkrivene Sunčeve protuberance za vreme potpunog Sunčevog pomraćenja (Vasenijus). Kod Sekija naćen zapis po kome se protuberance pominju još 1239.
- 1735.g. Prvi put objavljen pronalazak ahromatskog durbina (Dž.Dolond). Prvi put dokazana Zemljina rotacija iz skretanja pasatskih vetrova (Dž.Hedli).
- 1736.g. Metoda za određivanje Sunčeva ekvatora iz položaja tri pege (R.Bošković).
- 1737.g. Otkriće astronomske nutacije, tek kasnije objavljeno (Dž.Bredli).
- 1738.g. Određeno prvi put skretanje vertikale privlaćenjem planinskim masivom (P.Buge).

- 1739.g. Predložen kružni mikrometar (nezavisno od Lakaja), koji u praksi nije prihvaćen (R.Bošković).
- 1740.g. Merenje Zemljinog meridijana i paralela koje je konačno odlučilo spor Kasini-Njutn o Zemljinom obliku (Kasini de Riri, A.Lakaj).
Prvi put izmerena visina polarne svetlosti (Ž. de Meran).
Izišlo čuveno delo o Zemljinom obliku (A.Klero).
- 1741.g. Uveden u Franvuskoj pasažni instrument (Lemonije).
- 1742.g. Podela termometarske skale (A.Celzijus, Line).
- 1743.g. Teorija Mesečeva kretanja (A.Klero).
Čuvena teorema o kretanju kometa koja se obično pripisuje Lambertu, a na kojoj će se zasnovati Olbersova metoda za računanje kometskih putanja (L.Ojler).
- 1746.g. Mašina za stavljanje ekvatorijala u dnevno kretanje (K.Pasman).
- 1748.g. Pronađen prvobitni heliometar (P.Buge).
Prvi put opisana granulacija Sunčeve fotosfere (Dž.Šort).
- 1749.g. Prva teorija precesije i nutacije (Ž.Dalamber).
- 1750.g. Merenje meridijanskog luka Rim-Rimini (R.Bošković).
Paralaksa Sunca i Meseca sa Rta Dobre Nade (P.Lakaj).
Posmatranja 10 035 zvezda za katalog južnog neba (P.Lakaj).
Čuvena rasprava o Mesečevoj rotaciji (T.Majer).
- 1751.g. Pronađen hronometar (Dž.Harison).
Mesečeva paralaksa s krajeva osnovice Pariz-Rt Dobre Nade (Ž.Laland, P.Lakaj).
- 1752.g. Nađen iznos Mesečevog sekularnog ubrzanja i pripisan Zemljinom sekularnom usporenju usled plimskog trenja (T.Majer).
- 1754.g. Izlazi treće i definitivno delo o Mesečevoj teoriji (A.Klero).
Izveden prvi put obrazac za svođenje meridijanskih posmatranja (T.Majer).
- 1755.g. Hipoteza o postanku i razvitku Sunčeva sistema (I.Kant).
Predlog da se u mikrometar postave paukovi konci mesto svilenih ili metalnih, koji je prihvaćen tek u 19. veku (F.Fontana).
Tablice Sunčeva i Mesečeva kretanja (T.Majer).
Godina na koju su svedena Bredlijeva posmatranja 3000 zvezda, izdata kasnije kao katalog pod nazivom "Fundamenta astronomiae" (F.V.Besel).
- 1756.g. Javlja se metoda ponavljanja (repeticija) za merenje uglova i stvara repeticioni krug, instrument za ova merenja (T.Majer).
- 1757.g. Određene mase Meseca i Venere iz njihovih poremećaja Zemljinog kretanja (A.Klero).
- 1760.g. Određena sopstvena kretanja 80 zvezda (T.Majer).
Data prva teorija fotometrije i uveden pojam albeda (J.Lambert).
- 1761.g. Prva ideja da se u sopstvenom kretanju zvezda krije i prividna komponenta koja dolazi od Sunčevog kretanja i koju treba eliminisati (J.Lambert).
- 1762.g. Zvezdani katalog s položajima 3222 zvezde (Dž.Bredli).
Prvi projekt teleskopa-reflektora s nagnutim ogledalom (M.V.Lomonosov).
Otkriveno temperaturski kompenzovano klatno (Dž.Grejem).
- 1764.g. Osnivač i prvi upravnik Opsevatorije Brera (Milano) zauzima i katedru matematike u Paviji (R.Bošković).
Prva teorija Mesečevih libracija primenom virtualnih brzina (Ž.Lagranž).

- 1766.g. Počinje izlaziti "Nautical Almanac" (N.Meskilajn).
Izučavanje nejednakosti u kretanju Jupiterovih satelita (Ž.Lagranž).
Postavljeno empirijsko matematičko pravilo za prikaz rasporeda planeta (J.Ticijus).
- 1767.g. Rešen problem triju tela pomoću beskrajnih redova (J.Lambert).
- 1769.g. Zapaženo da pega prividno menja oblik sa približavanjem ivici Sunca usled njegove rotacije (A. Vilsn).
- 1770.g. Primećena "crna kap" kod Venerinih prolaza ispred Sunca (Ž.Laland).
- 1771.g. Izlazi delo "Theoria philosophiæ naturalis" u kome je data i atomska teorija (R.Bošković).
Objavljen prvi katalog maglina i zvezdanih jata (Š.Mesije).
- 1772.g. Nađena periodična rešenja problema triju tela (Ž.Lagranž).
Objavljena teorija i tablice Mesečeva kretanja (L.Ojler).
- 1773.g. Počinje da izlazi "Berlinen astronomisches Jahrbuch" (P.Bode).
Zapaženo da Saturn žuri, a Jupiter kasni u svom kretanju oko Sunca, suprotno Tihovim rezultatima (J.Lambert).
Prvi put utvrđeno da u revolucijama planeta nema sekularnih nejednakosti, tj. da su trajanja njihovih godina nepromenljiva (P.S.Laplas).
- 1774.g. Prvi put eksperimentalno (iz skretanja vertikale) određena Zemljina gustina (N.Meskilajn, Č.Hatn).
Prve konstrukcije velikih teleskopa-reflektora (V.Heršel).
- 1775.g. Prvi put zapažena periodičnost u pojavi Sunčevih pega (P.Horebau).
Otkriveno da temperatura u spektru raste od ljubičastog kraja ka crvenom (A.Rošon).
Izlazi čuvena karta Meseca (T.Majer).
- 1777.g. Počinju sistematska posmatranja promene sjaja Mire Ceti (V.Heršel).
Primećeno da Marsove polarne kape menjaju izgled s godišnjim dobima i započeto njihovo sistematsko posmatranje (V.Heršel).
- 1778.g. Ukazano prvi put na verovatnoću postojanja fizičkih dvojnih — dotle su sve smatrane za optičke (K.Majer).
- 1779.g. Pojavljuju se dve metode za računanje kometskih putanja, od kojih je druga u suštini kasnija Olbersova (D.Sežur).
Određen nagib Marsove rotacione ose prema ravni njegove putanje (V.Heršel).
- 1780.g. Otkriveno teorijski da je Mesec troosni elipsoid s najvećom osom uperenom ka Zemljinom središtu (Ž.Lagranž).
Određene tačnije visine i. Mesečevih planina, prvi put se tvrdi da Mesec nema atmosfere (V.Heršel).
Prvi put opisane "Bejljeve brojanice" pri Sunčevim pomračenjima (S.Vilijams).
Prvi put uvedena javna upotreba srednjeg vremena (H.For).
- 1781.g. Otkrivena planeta Uran (V.Heršel).
Određeni elementi Marsove rotacije (V.Heršel).
- 1782.g. Ponovo otkrivena, ali pogrešno objašnjena, promenljivost Algolova sjaja (Dž.Gudrajk).
Prvi katalog dvojnih zvezda (V.Heršel).
Otkriveno kretanje Sunca u odnosu na zvezde i prvi put određene koordinate apeksa (V.Heršel).
Teorija privlačenja sferoida i o obliku planeta, (Laplasova jednačina) (P.S.Laplas).
Katalog 269 dvojnih, od kojih 24 koje samo najmoćniji instrumenti mogu da razdvoje (V.Heršel).
- 1783.g. Ostvaren prvi kombinovani okular (Dž. Remzden).

- 1799.g. Konačno utvrđeno ranije naslućivano retrogradno kretanje Uranovih satelita (V.Heršel).
Otkriven u Južnoj Americi meteorski roj Leonidi (A.Humbolt, Bonplan).
Prvi put pažljivo posmatrana pojava "gegenšajn".
Utvrđeno da svi meteori u roju prividno izviru iz jedne tačke, koju je kasnije Greg nazvao "radijant" (A.Humbolt).
Otkriven infracrveni spektar Sunca (V.Heršel, V.Volaston).
- 1800.g. Otkriven prvi planetoid Ceres (Đ.Pijaci).
- 1801.g. Objavljena "Histoire céleste", katalog 47.390 zvezda, za koji Olbers tvrdi da je nešto najvažnije u veku (Ž.Laland).
Nađena metoda za izračunavanje putanje prvog planetoida iz 3 posmatranja (K.F.Gaus).
Pojavljuje se mišljenje da Sunce mora sebi skretati svetlosne zrake ako se svetlost sastoji iz materijalnih delića (I.Soldner).
- 1802.g. Konačno dokazano kretanje dvojnih zvezda oko zajedničkog težišta (V.Heršel).
Objavljen prvi katalog 36 osnovnih zvezda (N.Meskilajn).
Otkrivene tamne linije u Sunčevom spektru (J.Fraunhofer i V.Volaston, nezavisno).
Posle pronalaska Palasa postavljena hipoteza da su planetoidi postali raspadanjem velike planete između Marsa i Jupitera (T.Opolcer).
Odmah se javila i druga hipoteza — da su se planetoidi na svojim mestima nezavisno obrazovali (Hut).
Osnovana u Hamburgu čuvena radionica astronomskih instrumenata (J.Repsold).
- 1803.g. Nad Eglom u Normandiji rasprskava se veliki bolid. Posle ispitivanja usvojeno mišljenje da su meteoriti vanzemaljskog porekla (Ž.Bio).
- 1804.g. Eksperimentom dokazano skretanje ka istoku tela koje slobodno pada kako je Njutn 1679.g. teorijski dokazao (J.Bencenberg).
Izrađen prvi savremeni meridijanski krug za Opservatoriju u Getingenu (J.Repsold).
- 1805.g. Nova metoda za računanje kometskih putanja sa prvi put objavljenom teorijom najmanjih kvadrata (A.Ležandr).
- 1808.g. Merenjima sile teže dokazano da Zemlja nije pravilno raslojeni rotacioni elipsoid, pa se pristupilo određivanju geografskih dužina većih razmera (Ž.Bio, Š.Matije).
- 1809.g. Izlazi čuveno delo "Theoria motus corporum coelestium" (K.F.Gaus).
- 1812.g. Zaključeno da postoji neka odbojna sila koja kometin rep okreće uvek suprotno od Sunca i udaljava ga od jezgra (H.Olbers).
Ocenjeno da zvezda 61 Cygni mora imati veliku paralaksu (F.Arago, Š.Matije, F.Besel).
- 1813.g. Završena redukcija Bredlijevog kataloga 3222 zvezde, koji je objavljen tek 5 godina kasnije (F.Besel).
- 1814.g. Katalog 7646 zvezda s proverenim položajima (Đ.Pijaci).
- 1815.g. Utvrđeno da Sunčeve pege daju manje toplote od fotosfere (A.Moris).
Otkrivene stotine tamnih linija u Sunčevom spektru. Od njih izdvojene 324, obeležene i opisane (J.Fraunhofer).
Izrađena nemačka montaža ekvatorijala usavršavanjem prvog ovakvog instrumenta (J.Fraunhofer).
- 1816.g. G.Rajhenbah izrađuje prvi astronomski univerzalni instrument, koji usavršava J.Repsold.
- 1817.g. Izrađeno prvo savršeno ahromatsko objektiv sočivo prečnika 9 1/2 palaca (J.Fraunhofer).
- 1818.g. J.Pons pronalazi kometu čijih je nekoliko prethodnih pojava kasnije identifikovano i utvrđeno da joj se perioda svakog obilaska skrati za 2 1/2 časa kao da prolazi kroz neku otpornu sredinu. Enke joj određuje putanjske elemente i od tada nosi njegovo ime.
Objavljen u "Fundamenta Astronomical" i poznati obrazac za svodenje meridijanskih posmatranja i dobra tablica refrakcije (F.Basel).

- 1819.g. Naslućena veza između kometa i meteora posle raspada Bijeline komete (E.Hladni).
- 1820.g. Osnovana opservatorija na Rtu Dobre Nade zbog katalogizovanja južnog neba. Nabavljen meridijanski krug za opservatoriju u Kenigsbergu i određeni položaji 63 340 zvezda (F.Besel).
- 1821.g. Objavljene nove tablice Jupiterove, Saturnove i Uranove. Pokazalo se da Uranovo kretanje od njih odstupa (A.Buvar).
Objavljene nove tablice planeteskog kretanja i utvrđeno da spoljni nepoznati uzrok remeti Uranovo kretanje (P.S.Laplas).
Uvedeno reflektovano posmatranje prolaza zvezda od živinog ogledala ispred pasažnog instrumenta (Dž.Pond).
Otkriven heliotrop za viziranje dalekih geodeskih znakova (K.F.Gaus).
Upotrebljena mesto prizme difrakciona rešetka za dobijanje spektra (J.Fraunhofer).
Osnovan čuveni časopis "Astronomische Nachrichten" (T.Šumaher).
- 1822.g. Dobiven prvi fotografski snimak (I.Nieps).
Pokazano da je lična greška posmatrača redovna pojava i da može dostići $1,5''$ (F.V.Besel).
Izvedena vrednost Sunčeve paralakse iz Venerinih prolaza (J.Enke).
- 1823.g. Otkrivene tamne linije u spektru Surljusa i još nekih zvezda (J.Fraunhofer).
- 1824.g. Određena Zemljina spljoštenost iz gravimetrijskih merenja klatnima (E.Sebajn).
Konstruisani u ono vreme najsavršeniji ahromatski ekvatorijali za opservatorije u Dorpatu i Kenigsbergu. Na ovom drugom je Besel otkrio prvu paralaksu (J.Fraunhofer).
Metoda za određivanje geografske širine iz prolaza zvezda kroz prvi vertikal (F.V.Besel).
Uvedeno časovno kretanje ekvatorijala, najpre za fotografska snimanja (Libher).
- 1825.g. Pruska akademija preduzima izradu i objavljivanje zvezdanih karata za zvezde do 9. i 10. prividne veličine između -15° i $+15^{\circ}$ deklinacije.
J.Purkinje objašnjava pojavu nazvanu njegovim imenom.
Objašnjene, godišnja, dnevna i azimutska promena kod meteorskih rojeva (H.Brandes).
Započet opšti katalog 2306 maglina i zvezdanih jata severnog neba (Dž.Heršel).
- 1826.g. Započeta sistematska posmatranja Sunčevih pega (H.Švabe).
Otkrivena čuvena kometa (V.Bjela).
Pronađen termosprej i upotrebljen za ispitivanje infracrvenog dela spektra (T.Sebek).
H.Olbers ukazuje na to da tamno noćno nebo nije u skladu sa shvatanjem beskonačne vasione sa beskrajnim brojem zvezda (Olbersov paradoks).
- 1827.g. Delo o određivanju putanja dvojnih zvezda (F.Savari).
Dokazano da je Zemljina siderička revolucija konstantna (S.Poason).
Osnovan čuveni časopis "Monthly Notices of the R.Astr.Soc."
- 1828.g. V.Ber i J.Medler započeli topografsku kartu Meseca.
- 1829.g. Započet heliometar (koji je završio Besel i njime izmerio paralaksu zvezde 61 Cygni) (J.Fraunhofer).
- 1830.g. Objavljene "Tabulae Regiomontanæ" za svodenje svih posmatranih položaja (F.V.Besel).
Određena u Lajdenu vrednost Marsove rotacije iz 5 opozicija (V.Ber, J.Medler, E.Kajzer).
Osnovana Moskovska opservatorija. Od 1831.g. Štembergov Institut.
- 1831.g. Naslućeno (T.Klauzen), a zatim i utvrđeno (M.Hok) da se putanje više kometa seku u jednoj tački i izrečena hipoteza o njihovom zajedničkom poreklu.
- 1832.g. Otkrivene telurne linije u Sunčevom spektru (Bruster).

- 1833.g. Utvrđena periodičnost meteorskog roja Leonidi (H.Olbers).
Objašnjeno prividno izviranje meteorskog roja iz jedne tačke, koja je nazvana "radijant" i dokazano kosmičko poreklo roja (D.Olmsted).
- 1834.g. Dokazano da troosni elipsoid može biti ravnotežni oblik obrtne tečnosti koja podleže gravitacionoj sili (K.Jakobi). Započet prvi katalog 1700 maglina južnog neba i 2000 dvojnih zvezda, određen položaj Sunčevog sistema u Galaksiji i utvrđeno da se magline grupišu dalje od Mlečnog puta (Dž. Heršel). Predskazana dvojnost Sirijusa i Prokiona i započela astronomija nevidljivoga (F.V.Besel). Pronađen aktinometar za merenje ukupnog zračenja (Dž.Heršel).
Dokazano pomoću okultacija zvezda da Mesec nema atmosfere (F.V.Besel).
- 1835.g. Određena Merkurova masa posle bliskog prolaza kraj njega Enkeove komete.
- 1836.g. Posmatranjima dokazano da se meteorski roj od 11. novembra javlja i 11. avgusta i utvrđeno da je to isti roj čiji su meteori rasuti duž cele putanje koja seče Zemljinu u dvema tačkama (L.Ketle). Izmeren prividni prečnik i izračunata daljina Palasa, a odatle nađen i njegov pravi prečnik u km (J.Lamont).
- 1837.g. Određena vrednost Sunčeve konstante (M.Puje).
Delo "Mensurae Micrometricae" s položajima, prividnim veličinama i bojama 2640 dvojnih (i višestrukih) zvezda (F.G.V.Struve). Otkriveno da je i spoljni Saturnov prsten podeljen uzanom crnom prugom (J.Enke). Primećeno da bi novembarski roj meteora mogao sadržati rasute atome repa Bjeline komete (J.Morštat).
- 1838.g. Objavljen rezultat određivanja paralakse zvezde 61 Cygni (F.B.Besel).
Otkrivena periodičnost Sunčevih pega (H.Švabe).
Iz 2153 teška eksperimenta određena Zemljina težina i gustina (H.Kevndiš).
- 1839.g. Arago objavljuje pronalazak dagerotipije, preteče fotografije (I.Nijeps, L.Dager).
Saopšten rezultat određivanja paralakse zvezde α Centauri sa Rta Dobre Nade iz merenja obavljenih 6 godina ranije (T.Henderson).
Osnovane Pulkovska i Harvardska opservatorija.
- 1840.g. Dobivena dagerotipijom u Njujorku prva slika Meseca (Dž.Dreper).
Otkriveno Sunčevo infracrveno zračenje (V.Heršel).
- 1841.g. Određene iz 10 stepenskih merenja dimenzije i spljoštenost Zemljinog sferoida (F.V.Besel).
Otkriven u Beču kombinovani fotografski objektiv vrlo značajan za astronomiju (J.Pecval).
Određena Jupiterova masa bliska onoj koju je dobio Dž.Eri (F.V.Besel).
- 1842.g. Otkriven Doplerov princip (K.Dopler).
Prvo naučno posmatranje potpunog Sunčevog pomračenja s prvim sistematskim posmatranjem korone, hromosfere i protuberanaca (Dž.Eri, Dž.Bejli, F.Arago, F.Struve).
Konstruisan teleskop-reflektor otvora 182 cm i njime otkrivena spiralna struktura nekoliko maglina (V.Parsons, potonji lord Ros).
Osnovana Vašingtonska pomorska opservatorija.
- 1843.g. Dobiven dagerotipski snimak Sunčevog spektra s infracrvenim i ultraljubičastim linijama (I.Dreper, malo kasnije Bekrel). 28. februara prošla vrlo sjajna kometa s repom dugim 2 A.J. neposredno pored Sunca. Rep je uvek ostao orijentisan suprotno od Sunca, odakle je zaključeno da on neprestano izvire iz Sunca brzinom bliskom brzini svetlosti.
Stvorena metoda za vizuelno određivanje razlika prividnih veličina i primenjena na izučavanje promenljivih zvezda (F.Argelander).
- 1844.g. U SAD počinje se vreme prenositi pomoću električnih signala. Određena prva geografska dužina (Vašington—Baltimor) telegrafski (Vilkes, Eld).
Prvi put se javlja misao da su geografske širine promenljive (F.V.Besel).

- 1845.g. Na Pariskoj opservatoriji dobiven prvi dagerotipski snimak Sunca sa dvema grupama pega (Ž.Fuko, H.Fizo).
Otkrivena zakonitost o rasporedu broja meteorskih pojava u toku svakog meseca (R.Kulvije—Gravije).
Posmatrana podela Bjeline komete (Dž.Hing, Herik, Dž.Bredli, A.Darest).
Saopštene Francuskoj akademiji elementi putanje hipotetične planete koja remeti Uranovo kretanje (I.Leverije).
- 1846.g. Saopštene Čalisu i Eriju masa i elementi putanje hipotetične planete koja remeti Uranovo kretanje (Dž.Adams).
31.avgusta Leverije određuje i položaj nove planete i moli J.Galea u Berlinu da je potraži. 23. septembra Gale otkriva planetu i 25.septembra piše Leverijeu "Planeta čiji ste položaj predvideli stvarno postoji".
- 1847.g. Otkriven prvi Neptunov satelit (V.Lasel).
- 1848.g. Otkriven 7. Saturnov satelit Hiperion (V.Bond, V.Lasel, skoro jednovremeno).
Otkriven 8. Saturnov satelit Japetus (V.Bond, V.Lasel, skoro jednovremeno).
Predviđeno da će se iz promena talasnih dužina linija u spektrima zvezda moći da određuju njihne daljine i radijalne brzine (A.Fizo).
Andromedina maglina prvi put rastavljena na zvezde (V.Bond).
Nađena formula za granicu do koje satelit može da se približi planeti a da od nje ne bude raskomadana (E.Roš).
- 1849.g. Određena brzina svetlosti pomoću zupčanika (A.Fizo).
Usvajana julijanska perioda za upotrebu u astronomiji (Dž.Heršel).
Pokrenut "Astronomical Journal" (P.Guld).
- 1850.g. Otkriven treći Saturnov prsten (Dž.Bond).
- 1851.g. Dokazana Zemljina rotacija klatnom (Ž.Fuko).
Nađena kriva promena Zemljinih magnetnih elemenata u toku godine (J.Lamont).
Otkrivena podudarnost krive promena Zemljinih magnetnih elemenata i krive Sunčevih pega (E.Sebajn, F.Gotje, R.Volf).
Otkriveni Uranovi sateliti Arijel i Umbrijel (V.Lasel).
Otkrivene promene u Sirljusovom sopstvenom kretanju (K.A.F.Peters).
- 1852.g. Započet Bonski katalog 325 198 zvezda (F.Argelander).
Dobivena današnja vrednost za periodu Sunčevih pega (R.Volf).
Otkrivena prva promenljiva maglina (Dž.Hind).
- 1853.g. Određeno sekulamo u brzanje Mesečevog srednjeg kretanja (Dž.Adams).
Prvi put snimljen Mesec suvim pločama koje je dve godine ranije pronašao Arčer (V.de la Ri).
Nađeno da je ukupna masa planetoida manja od 1/4 Zemljine mase (I.Leverije).
Otkrivena zonska rotacija Sunca koju je kasnije potvrdio G.Šperer (R.Kerington).
- 1854.g. Usvojen egzaktan odnos od 2,512 između dve uzastopne prividne veličine (N.Pogson).
- 1855.g. Otkrivene impulsne (katalizmičke) promenljive (Dž.Hing).
- 1856.g. Teorijski dokazano da Saturnov prsten može postojati samo ako se sastoji iz sitnih delića (Dž.Meksvel).
Pronađen postupak za posrebrivanje ogledala (K.Štajnhajl, godinu kasnije nezavisno Ž.Fuko).
- 1857.g. Prva primena fotografije na posmatranje dvojnih zvezda (Dž.Bond).
Dobivena teorijski, na razne načine, vrednost Sunčeve paralakse (P.Hanzan, I.Leverije).
Otkrivene i objašnjene praznine u planetoidnom prstenu (D.Kirkvud).

- 1858.g. Otkrivena izvanredno velika kometa s periodom od 2000 godina (Dj. Donati). Predloženo da se prividne veličine zvezda određuju iz prečnika njihovih likova na fotografskoj ploči (Dž. Bond). Započeta redovna fotografska posmatranja Sunca na Kjuu, od 1872.g. prešla na Griničku opservatoriju i vrše se neprekidno i danas.
- 1859.g. Otkrivene hromosferske erupcije i zapažena njihova veza sa poremećajima Zemljinog magnetizma i sa pojavom polarne svetlosti (R. Kerington i Dž. Hodžsn, nezavisno). Objasnjene tamne i svetle linije u zvezdanim spektrima (G. Kirhof). Iz velikog broja posmatranja izvedene zakonitosti Sunčeva obrtanja, pravaca strujanja, rasporeda pega i dr. (R. Kerington).
- 1860.g. Prvo otkriće nove (NGC 6093) u jednom zbivenom jatru (A. Auvers) Objavljena nova teorija Mesečevog kretanja koja se vrlo dobro slaže s Hanzenovom (Š. Delone).
- 1861.g. Otkriveni mnogi zemaljski hemijski elementi u Sunčevoj atmosferi: vodonik, gvožđe, natrijum.... (G. Kirhof). Konstruisan polarizacijski astrofotometar (J. Celner). Dobiven prvi spektroskopski snimak Sunčeve pege i fakule (V. de la Ri). Postavljena hipoteza da su periodični meteori ostaci raspalih kometa (D. Kirkvud). Zemlja prošla kroz rep velike komete, što se više puta ponovilo bez ikakvih posledica, čak se nije moglo ni registrovati merenjem.
- 1862.g. Otkriven Sirijusov pratilac (A. Klark Mladi). Nađeno da i Prokion može imati tamnog pratioca koji obiđe oko njega za 40 godina (A. Auvers). Izišao čuveni atlas Sunčevog spektra kojim se A. Angstrom afirmisao kao drugi pronalazač spektroskopije Sunca. Identifikovan meteorski roj Perseidi s kometom 1862 III (A. Seki) Osnivač astrofotometrije odredio albedo planeta (J. Celner). Primenjena Beselova hipoteza dejstva odbojne Sunčeve sile na kometske repove i izvršena njihova klasifikacija (F. Bredihin).
- 1863.g. Izašao veliki vizualni katalog približnih položaja zvezda u Bonu (E. Argelander). Izvršena prva klasifikacija meteorita (G. Roze). Izvršena prva detaljna ispitivanja lične greške posmatranja prolaza zvezda pomoću veštačke zvezde (A. Hirš, E. Plantamur). Izvršena prva spektarska klasifikacija zvezda (u 4 tipa) (A. Seki). Odlučeno da se pristupi džinovskom poslu izrade AG kataloga (Nemačko astronomsko društvo).
- 1864.g. Objavljen opšti katalog maglina (Dž. Heršel). Utvrđeno da se hemijski elementi iz kojih se sastoji Sunce nalaze gotovo kod svih zvezda (V. Hegin, V. Miler). Spektroskopski dokazano da postoji manji broj gasovitih maglina, a da su ostale daleki zvezdani sistemi (V. Hegin). Prvi put posmatran spektar meteora (A. S. Heršel). Dobiven prvi uspeli spektar komete (Dj. Donati).
- 1866.g. Uvedena mesto Kirhofove prirodna skala za merenje talasnih dužina u spektru (A. Angstrom). Nađeno da Sunce zrači 56 milijardi puta intenzivnije od Kapele (J. Celner). Primenjen spektroskop za neposredno izučavanje Sunčeve površine (N. Lokajer). Zabeleženo iščezavanje kratera Line na Meseu (J. Šmit). Nađeno da se poklapaju putanje meteorskog roja Leonidi i komete Tempel 1866 I (Dj. Skijapareli, I. Leverije).
- 1867.g. Otkrivene zvezde O tipa sa širokim emisionim linijama (Ž. Raje i Š. Volf). Teorijski dokazano zarobljavanje kometa i meteorskih rojeva planetama (I. Leverije). Prvi put posmatran spektar polarne svetlosti (A. Angstrom) i snimljen (A. Paulsen). Prva primena spektarske analize na zodijačku svetlost (A. Angstrom). Utvrđeno da Mesec i druga manja nebeska tela ne mogu svojom gravitacijom zadržati svoje atmosfere (Dž. Stoni).

- 1868.g. Određena prva radijalna brzina na Sirijusu (V.Hegins).
Prvo spektroskopsko posmatranje protuberanaca i van Sunčevog potpunog pomračenja (Žansen i Lokajer, nezavisno).
Otkriven helijum, prvo na Suncu (N.Lokajer).
- 1869.g. Otkrivena nepoznata zelena llnija u Sunčevoj koroni koja je pripisana nepoznatom elementu "koronijumu" (Harknes i Č.Jung).
Nađeno da 5 od 7 sjajnih zvezda u Velikom Medvedu imaju zajedničko sopstveno kretanje (R.Proktor).
Iskazana misao da spiralne magline mogu biti slične našoj Galaksiji (R.Proktor).
- 1870.g. Uspešno određen heliometrom niz paralaksa za zvezde južnog neba (D.Gil), što je kasnije nastavljeno i za severno nebo (Elkin).
Otkriven Sunčev "obrtni sloj" i tehnika njegova posmatranja (Č.Jung).
Izvršena klasifikacija protuberanaca na "mirne" i "eruptivne" (Lokajer, Celner, Vespigi, nezavisno).
Javlja se ideja da se iz nepravilnosti Mesečeva kretanja izvede promenljivost u trajanju Zemljine rotacije (S.Njukom).
Javlja se naziv "hromosfera", prvo za protuberance (N.Lokajer).
- 1871.g. Prvi put zapaženo da zvezde u jednom delu neba pokazuju težnju da se kreću sve u jednom smeru, a u suprotnom delu neba sve u suprotnom smeru (J.Gilden).
Utvrđeno da korona pripada Suncu i da delimično zrači rasutu Sunčevu svetlost (Ž.Žansen).
- 1872.g. Prvi put dokazana Sunčeva rotacija Doplerovim principom (H.Fogel).
Poslednji put posmatrana Bjelina kometa iz dva dela zajedno sa obilnim meteorskim rojem.
Predloženo da se male planete iskoriste za precizno određivanje Sunčeve paralakse (J.Gale).
Javlja se Fajeva teorija Sunčevih pega nasuprot Keringtonovoj i Špererovoj.
- 1873.g. Zakonom od 1.decembra uveden metarski sistem u Kneževini Srbiji s tim da stupi na snagu od 1.1.1880. godine.
Prvi put dokazano da su geografske širine promenljive (M.Niren).
Javlja se gledište da su Mesečevi krateri meteoritskog porekla (R.Proktor).
Otkriveno preko 1000 zbivenih parova dvojnih zvezda s razmakom manjim od 1" (Š.Bernhem).
- 1874.g. Prva kometa spektroskopski ispitana (Kodža).
Razlučene granule na Sunčevoj površini na zma manja od 22 mlje i utvrđeno da ne zauzimaju više od 1/5 fotosfere i da zrače oko 1/4 Sunčeve svetlosti (S.Langli).
Precizna određivanja Sunčeve paralakse (Dž.Erl, Ston, Tapman, Tod, A.Auvers).
Predlog da se uvede zonsko vreme (S.Fleming).
- 1876.g. Prva fotografija zvezdanog spektra (Vege) (V.Hegins).
Izvedena tačnija vrednost Saturnove rotacije (A.Hol).
Nađeno objašnjenje Mesečevim odstupanjima od Hanzenovih tablica u iznenadnim skokovima u Zemljinoj rotaciji.
- 1877.g. Otkriveni Marsovi sateliti Fobos i Deimos (A.Hol).
Iz Marsovih posmatranja heliometrom određena precizna vrednost Sunčeve paralakse (D.Gil).
Zapaženi "kanali" na Marsovoj površini (Dj.Skijapareli).
Osnovan "American Ephemeris"
- 1878.g. Nađena vrlo tačna vrednost godišnje precesije (S.Njukom).
Otkrivena Zemljina "podrtavanje" (van zemljotresa) koja pokazuju mikrosezmički instrumenti, kao i njene "pulsacije" koje otkrivaju libele (E.Plantamur), posmatranjima potvrdili M.Niren, Dž.Darvin i Dž.Miln.
- 1879.g. Eksperimentalno izveden zakon zračenja crnog tela (J.Stefan).
Konstruisan polarizacijski fotometar (E.Pikeriing).
Dobivene slike spektara Jupitera i 50 zvezda (H.Dreper).

- 1880.g. Određene precizne vrednosti za Zemljine dimenzije i spljoštenost njena sferoida iz stepenskih merenja (A.Klark).
Izvršen znameniti eksperiment da se dokaže Zemljino kretanje u odnosu na "vasionski etar" (A.Majklson).
Fotometrijski dokazano da je promenljiva Algol dvojni sistem i određene relativne njegove dimenzije i razmak komponenata (E.Pikering).
Izrađena bibliografija svih astronomskih radova do 1880.g. (Huzo i Lancaster)
Izrađene čuvane zvezdane karte Paliza-Volf.
- 1881.g. Epohalna istraživanja Sunčevog Infracrvenog spektra bolometrom (S.Langli).
Uspešan snimak kometa (Tebat, 1881 III) pri izlaganju od 2 1/2 časa (H.Dreper).
- 1882.g. Objasnjeno treperenje zvezda (K.Eksner).
Posmatrano razdvajanje jezgra velike kometa (F.Kruger, E.Holden, E.V.Tempel, Komen).
Određena visina Venerine atmosfere (Dž.Votsn).
- 1883.g. Određene optičkom rešetkom talasne dužine u infracrvenom delu Sunčevog spektra, bolometrom izmeren raspored jačine zračenja duž celog spektra, određena Sunčeva konstanta, izmerena temperatura fotosfere (S.Langli).
Izšao katalog sa 4051 zvezdanim spektrom (H.Fogi).
- 1884.g. Teorijski dokazan Stefanov zakon (L.Bolcman).
Izšao Harvardski fotometrijski katalog sa 4260 prividnih veličina zvezda između severnog pola i -30° deklinacije sve do 6,0, odn. 6,5 pr.vel., značajan za zasnivanje tačne zvezdane fotometrije (E.Pikering).
Katalog promenljivih zvezda (Gor).
Iz posmatranja za konstantu aberacije otkrivene promene geografske širine, koje su objavljene tek 1888.g. (F.Kistner).
Ustanovljeno da Zemlja primi godišnje oko 20 miliona kosmičkih telašaca (H.A.Njutn).
- 1885.g. Pronađena nova u Andromedinoj maglini (E.Hartvig).
Počelo snimanje za veliki fotografski katalog južnog neba sa 484 875 zvezda (D.Gil).
Otkriven obrazac kojim mogu da se predstave položaji vodonikovih linija u spektru (J.Balmer).
Povratak meteorskog roja (75 000 meteora na čas) koji je postao raspadanjem Bijeline kometa (H.A.Njutn).
Otkrivena promena geografske širine Opservatorije u Kembridžu (Mas.) od $0,4''$ koja se mogla objasniti samo pomeranjem Zemljinih polova (S.Čendler).
Prvi rezultati ispitivanja ravnotežnih oblika tečne mase (A.Poenkare).
Pronađen fotometar sa optičkim klinom (Č.Pričard).
Načinjen prvi snimak meteorskog roja (Andromedidi).
Najraniji uspešni snimak Plejada gde se vide magline (braća Anri).
Veliki fotometrijski katalogi zvezda do $7^m,5$ – Potsdamski (G.Miller, P.Kempf) i Harvardski (E.Pikering).
- 1886.g. Izmerena Sunčeva zračna energija pirheliometrom (A.Angström).
Dobiveni na Harvardskoj opservatoriji prvi zvezdani spektri objektiv-prizmom.
Počinje na Harvardskoj opservatoriji snimanje spektara svih vidljivih zvezda za "Dreperov katalog" (E.Pikering).
Dobiven snimak prvog planetoida (Sapfo) (L.Roberts).
Posmatranjem otkriveno zarobljavanje Bruksove komete Jupiterom.
Prvi snimci Mlečnog puta koji će inspirisati džinovski poduhvat za izradu "Nebeske karte" ("Carte du Ciel") (braća Anri)
- 1887.g. Pokrenuta međunarodna saradnja na "Carte du Ciel" koja je trajala blizu 80 godina (E.Mužez).
Izšao veliki fotografski atlas Sunčevog spektra (H.Raulend).
Utvrđene periodičnosti u pojavi polarne svetlosti i bliže njene veze sa Sunčevim pegama i Zemljinim magnetizmom (H.Fric).
Novi značajni rezultati u rešavanju problema triju tela (A.Poenkare).

- 1888.g. Izišao Novi opšti katalog maglina (Drajer).
 Određena precizna paralaksa Sunca preko planetoida Viktorija, Sapfo i Iris (D.Gil).
 Objavljeno otkriće slobodne nutacije Zemljine ose s amplitudom od 0,5 (koju je predvideo Ojler 1765.g.) (F.Kistner).
 Određen fotometrijski pravi prečnik Neptunovog pratioca (E.Pikering).
 Otkrivena prva spektroskopska dvojna (Mizar) (E.Pikering).
 Prvi spektrografski snimak zvezde (Altair) (H.Fogel).
 Brižljivim posmatranjima nisu potvrđeni kanali na Marsu (Holden, Dž.Kiler).
 Izišao Prethodni opšti katalog 6188 zvezda (L.Bos).
 Osnovana Likka opservatorija.
- 1889.g. I glavna komponenta u Mizaru rastavljena spektroskopski na komponente (E.Pikering).
 Prvi put utvrđeno da su Merkurova rotacija i revolucija jednakog trajanja (D.Skljaparell).
 Izišla dopuna Bonskog pregleda od -2° do -23° deklinacije sa položajima 133 659 zvezda (E.Senfeld).
 Dobljen prvi snimak Mlečnog puta kojim su otkrivene tamne magline (E.Barnard).
 Iz promena radijalne brzine Algola merene spektrografski potvrđena njegova građa i određene dimenzije obeju komponenta (H.Fogel).
 Konstruisan bezlični mikrometar (J.Repsoid).
 Određeno trajanje Sunčeve rotacije po Doplerovom principu (M.Duner).
- 1890.g. Konstruisan zvezdani Interferometar (po Fizou) i prvi put neposredno izmereni prečnici sjajnih Jupiterovih satelita (A.Majklson).
 Izmereni pravi prečnici prva četiri planetoida (E.Barnard).
 Otkrivene dve periode u pomeranju Zemljinih polova - Čendlerova i godišnja (S.Čandler).
 Nađeno i za Veneru da su trajanja rotacije i revolucije jednaka (D.Skljaparell).
 Spektri 10 351 zvezde objavljeni kao prvi Dreperov katalog i izvršena nova klasifikacija zvezdanih spektara (E.Pikering).
 Utvrđeno da su zvezde Spika i Algol spektroskopske dvojne (H.Fogel, K.Šajner).
- 1891.g. Otkrivena prva mala planeta (323 Bruclja) fotografski (M.Volf).
 Protuberance i hromosfera snimljeni pri punoj Sunčevoj svetlosti (Dž.Hejl, A.Delandr).
 Poslata ekspedicija u Honolulu da utvrdi da li su promene geografskih širina zaista izazvane pomeranjem Zemljinih polova.
 Ideja da se pasażni instrument obrće usred posmatranja prolaza zvezde zbog oslobađanja od kolimacijskog oduštanja (Snauder).
 Teorija zarobljavanja kometa (Kalandro i F.Tiseran, H.A.Njutn, nezavisno).
- 1892.g. Otkriven peti Jupiterov satelit - najbliži planeti (E.Barnard).
 Prva kometa otkrivena fotografski (E.Barnard).
 Otkrivena veza između spektarskih tipova i sopstvenog kretanja zvezda (A.Monk, kasnije je potvrdili J.Kaptajn, Hercšprung, A.Panekuk i B.Bos).
 Uveden "problème restreint" triju tela kao uprošćenje opšteg problema (A.Poankare).
- 1893.g. Otkriveno da je Sunce izvor elektromagnetskog zračenja (H.Ebert).
 Izvršena izučavanja Zvezdanog sistema (J.Kartajn).
 Otkriven zakon zračenja crnog tela koji povezuje intenzitet zračenja, talasnu dužinu i temperaturu (V.Vin).
- 1894.g. Izišla prva knjiga fotometrijskog kataloga svih zvezda severnog neba do $7^m,5$ (14 199 zvezda izmerenih Celnerovim fotometrom) (G.Miler, P.Kempf).
 Izrađena fotografska Mesečeva karta laktastim ekvatorijalom (M.Loewi, V.Plize).
- 1895.g. Otkriveno za vreme neposrednog posmatranja prolaza jednog Saturnovog satelita kroz senku unutrašnjeg prstena da se prsten sastoji iz mnoštva telašaca (E.Barnard).
 Završene Sunčeve tablice i izvedena veoma precizna vrednost Sunčeve paralakse (S.Njukom).
 Dokazano Doplerovim principom da se brzina u Saturnovom prstenu povećava idući ka planeti, čime je potvrđena njegova građa (Dž.Kiler).
 Primenjena gusta mrežica ispred objektiva za merenje razdaljine komponenta dvojnih zvezda (K.Svarčild).

- Otkriven velik broj cefeida u zbiljenim jatima (S.Bejli).
 Pojavljuju se fotografski atlasi Meseca Likove i Pariske opservatorije.
 U mirnim protuberancama otkrivene nepoznate spektarske linije za koje je docnije utvrđeno da pripadaju helijumu. Postalo je jasno da helijumu pripadaju i linije koje su ranije otkrili Fogel i Šajner (Remsi).
 Harvardski fotometrijski katalog protegnut i na južnu hemisferu za zvezde do $7^m,0$, odn. $7^m,5$, za celo nebo njih 45 792 (S.Bejli).
 Osnovana Međunarodna služba širine, kasnije nazvana Međunarodna služba polarnog kretanja. Prvi rukovodnici bili Albreht i Vanah.
 Zeliger ukazuje na to da pretpostavka o beskonačnom prostoru i o konačnoj gustini u svim njegovim delovima nije u skladu s Njutnovim zakonom gravitacije (Zeligerov paradoks).
 Pokrenut značajan časopis "Astrophysical Journal" (Dž.Hejl, Dž.Kiler).
- 1896.g. Otkriven Prokionov pratilac žučkaste boje, $1/5$ Prokionove mase (Dž.Šeberle).
 Otkriven efekt proširivanja spektarskih linija u magnetnom polju (P.Zeman).
 Izmerene precizno talasne dužine 20 000 linija u Sunčevom spektru i otkriveno u njemu 36 zemaljskih elemenata (H.Roulend).
- 1897.g. Izračunate tablice za ekstinkciju (G.Miler, potvrdio Bemporad).
 Precizno određena Sunčeva paralaksa iz posmatranja malih planeta (D.Gil).
 Otkrivena građa Zemljine kore i jezgra (Vihert).
 Osnovana Jerksova opservatorija i za nju izrađen najveći refraktor na svetu 102 cm otvora (Vamer i Svasl).
- 1898.g. Otkriven "fles-spektar" za vreme potpunog Sunčevog pomračenja (N.Lokajer i A.Fauler).
 Fotografski otkriven prvi planetoid (Eros) koji ima srednju daljinu od Sunca manju od Marsova (G.Vit).
 Izšla statistička studija rasporeda zvezda u Mlečnom putu (H.Zeliger).
 Izmerena Mesečeva temperatura u toku njegovog dana i noći (F.Verl).
 Prvi put izmerena temperatura zvezda (Nikols).
 Osnovana velika opservatorija u Ondžeju kod Praga.
- 1899.g. Utvrđeno da je Severnjača trojna zvezda i izmereni elementi (V.Kembel).
 Otkriven 9. Saturnov satelit - Febe - sa retrogradnim kretanjem (E.Pikering).
 Prvi spektrogram vangalaktičke magline. Za Andromedinu maglinu nađen spektar Sunčevog tipa (J.Šajner).
 Ocenjen na 120 000 broj spiralnih maglina Kroslijevim refraktorom Lik opservatorije (Dž.Kiler).
- 1900.g. Otkrivena metoda vanžižne fotografske fotometrije zvezda (K.Švarcšild).
 Prvo mišljenje da je Mlečni put spiralne strukture (K.Iston).
 Prvi snimci zodijske svetlosti i njenog odsjaja ("gegenšajna") (M.Volf).
 Primenjena Meksvelova teorija svetlosnog pritiska na objašnjenje kometskih repova, Sunčeve korone i polarne svetlosti (S.Arhenijus).
 Izišao Kepski fotografski pregled sa 454 875 zvezda južnog neba do 11^m (D.Gil, J.Kaptajn).
 Izvedena precizna vrednost za Sunčevu paralaksu iz posmatranja Erosa 1900. - 1901.g. (Hinks).
 Razrađena planetesimalna hipoteza o postanku Sunčevog sistema (F.Maulton, T.Cemberlin).
 Fotografsan velik broj spiralnih maglina (Dž.Kiler).
 Formulirana kvantna hipoteza (M.Plank).
- 1900.-68.g. Izlazilo veoma potpun bibliografski pregled astronomske literature "Astronomischer Jahresbericht".
- 1901.g. Posmatrana Nova Perseja, prva sjajna u 20. veku.
 Nađena metoda za određivanje statističkih paralaksa iz sopstvenih kretanja i prividnih veličina (J.Kaptajn).
 Izvršena procena razmera Galaksije (J.Kaptajn).
 Ustanovljena spektarska klasifikacija zvezda na Harvardskoj opservatoriji (A.Kenon).
- 1902.g. Objašnjen mehanizam upijanja i rasipanja u zvezdanim atmosferama (A.Šuster).

- 1903.g. Prvo određivanje prividne veličine Sunca (V.K.Ceraski).
Prvi projekt istraživanja vasiona reaktivnim letilicama (K.E. Ciolkovski).
- 1903.-05.g. Utvrđeno vreme života i brzine Sunčevih granula (A.P.Hanski).
- 1904.g. Predložena teorija dva zvezdana potoka (J.Kaptajn).
Osnovana Sunčeva opservatorija Maunt Vilsn /Dž.Hejl).
U spektrima zvezda otkrivene međuzvezdane apsoricione linije (J.Hartman).
Otkriven 6. Jupiterov satelit (Č.Perajn).
Ukazano na važne razlike u zvezdanim spektrima (E.Mori).
- 1905.-07.g. Otkriće zvezda džinova i zvezda patuljaka (E.Hercšprung).
- 1906.g. Razrađena teorija ravnoteže zračenja u zvezdanim atmosferama (K.Švarcšild).
Predložen plan "izabranih površina" za izučavanje građe našeg Zvezdanog sistema (J.Kaptajn).
- 1906-07.g. Prva astronomska posmatranja fotočelijom — osnivanje fotoelektrične astrofotometrije (Dž.Stebins).
- 1907.g. Razrađena opšta teorija ravnoteže gasovitih lopti, teorija politropne ravnoteže u zvezdama (R.Emden).
Otkrivena plima i oseka Zemljine kore horizontalnim klatnom (Heker).
- 1908.g. Otkrivena veza između periode i sjaja cefeida koja je poslužila za određivanje daljina galaktičkih i vangalaktičkih tela (H.Livit).
Prvi put otkriveno vanzemaljsko magnetno polje — polje Sunčevih pega (Dž.Hejl).
Otkriven 8. Jupiterov satelit (F.Melot).
- 1909.g. Otkriven uticaj rotacije na krivim radijalnih brzina pomračnih dvojnih (F.Šlezinger).
- 1910-12.g. Objavljen prvi katalog fotografskih prividnih veličina "Getingenska fotometrija" (K.Švarcšild).
Razrađene opšte jednačine zvezdane statistike (K.Švarcšild, K.Šarlije).
- 1911.g. Predložen mehanizam fluorescentne svetlosti molekula u kometama (K.Švarcšild).
Pretpostavljeno da se cela Sunčeva atmosfera sastoji iz gasova (K.Abot).
Sastavljen dijagram "boja-sjaj" za rasturena zvezdana jata Plejade i Hijade (E.Hercšprung).
Naslućena korelacija između apsolutne veličine i mase zvezda (Dž.Holm).
Konstruisan fotografski zenit-teleskop (Ros).
- 1912.g. Prva određivanja radijalnih brzina spiralnih maglina (E.Slajfer).
Razrađena teorija pomračnih promenljivih (Dž.Rasel).
Otkriveni kosmički zraci u balonu (V.Hese, V.Kolherster, H.Šepli).
- 1913.g. Sastavljen dijagram "spektarska klasa — sjaj" od ogromnog značaja za izučavanje razvoja zvezda (E.Hercšprung, Dž.Rasel).
Spektroskopski utvrđeno da gasovite magline u Plejadama svetle odbivenom svetlošću (V.Slajfer).
Predložena teorija građe vodoničnog atoma kojom je objašnjen niz linija u zvezdanim spektrima (N.Bor).
Primećena promena polarnosti u magnetnim poljima Sunčevih pega.
- 1914.g. Predložena teorija pulsacije cefeida (H.Šepli, A.Edingtn).
Otkrivene sekularne i nepravilne promene u brzini Zemljine rotacije iz nejednakosti kretanja Meseca i planeta (E.Braun).
Otkriven 9. Jupiterov satelit (S.Nikolson).
Razrađena metoda spektarskih paralaksa (U.Adams, A.Kolšiter).
Prva fotometrijska izučavanja zodijačke svetlosti i rasporeda međuplanetske prašine (V.Fesenkov).
Utvrđena početna tačka u zavisnosti "perioda — sjaj" za cefeide (H.Šepli).

- 1915.g. Otkrivene zvezde beli patuljci ogromne gustine. Utvrđeno da Sirljusev pratilac (otkriven 1862.g.) ima gustinu $40\,000\text{ g/cm}^3$ (U.Adams).
Otkrivene različite zvezdane populacije u zbiljenim jatima (H.Šepil).
- 1916.g. Razrađena opšta teorija relativnosti (A.Ajnštajn).
Početa razrada savremene teorije o unutrašnjoj građi zvezda (A.Edington).
Izmerena sopstvena kretanja u spiralnim maglinama i dobivene male vrednosti za periode rotacija galaksija (A.van Manen).
- 1917.g. Otkrivena nova u galaksiji NGC 6946, što je dovelo do traženja novih u galaksijama i do metode za određivanje daljina galaksija (Dž.Riči).
Predložen prvi model izotropne, homogene i statične vasiona čime je započela savremena kosmologija (A.Ajnštajn).
- 1918.g. Predložen model Galaksije koji predstavlja savremeno shvatanje o njoj (H.Šepil).
Određena daljina do središta Galaksije (30 000 sv.god.) (H.Šepil).
Na Opservatoriji Maunt Vilson postavljen Hukerov teleskop 2,5 m otvora, do 1949.g. najveći na svetu.
Otkrivena nova u Vodoliji, najsajjnija našeg vremena.
- 1918.-24.g. Izišao fundamentalni Dreperov katalog zvezdanih spektara (E.Kenon).
- 1919.g. U Međunarodnu astronomsku uniju prerasla Međunarodna unija za istraživanje Sunca.
Izmereno za vreme potpunog Sunčevog pomračenja relativističko skretanje svetlosnog zraka u blizini Sunca (A.Edington).
Otkriven izvor zvezdane energije u reakciji pretvaranja vodonika u helijum spajanjem atomskih jezgara (fuzija) uz pretvaranje vrlo malog delića materije u ogromne količine energije (Ž.Peren).
- 1920.g. Izvršeno neposredno merenje prečnika zvezde (Betelgez) interferometrom (A.Majklson, F.Piz).
Veliki spor oko veličine Galaksije i prirode spiralnih maglina (H.Šepil -- H.Kertis).
Objavljena matematička teorija toplotnih pojava prouzrokovanih Sunčevim zračenjem (M.Milanković).
Osnovana Međunarodna časovna služba na Pariškoj opservatoriji, gde se i danas nalazi.
- 1920.-25.g. Postavljena teorija pobuđivanja i jonizacije atoma (M.Saha).
Teorija jonizacije primenjena na zvezdane atmosfere (Dž.Rasel, A.Miln, S.Pejn-Gapoškin).
- 1921.g. Pokrenut "Astronomičeski ježegodnik".
- 1922.g. Intenzivno izučavane sjajne magline (E.Habl).
Razvijena teorija nebularnih emisionih linija (H.Zanstra).
- 1922.-24.g. Nađeno prvo nestatičko rešenje Ajnštajnovih gravitacijskih jednačina i stvoren model razvoja vasiona (A.Fridman).
- 1923.g. Pouzdano otkrivena prva cefeida u Andromedinoj maglini (E.Habl).
Predložena do danas najsavršenija reforma Julijanskog kalendara (M.Milanković).
- 1923.-24.g. Razdvojeni periferni delovi Andromedine magline na zvezde i dokazana vangalaktička priroda spiralnih maglina (E.Habl).
- 1924.g. Izučavanjem zavisnosti "masa — sjaj" zaključeno da se i zvezde džinov i zvezde patuljci u celosti sastoje iz gasova (A.Edington).
Završen veliki katalog zvezda AGK (1) (u međunarodnoj saradnji).
- 1925.g. Razrađena klasifikacija galaksija po oblicima (E.Habl).
Primenjen Hercšprung—Raselov dijagram na zvezdana jata (R.Trimpler).
Otkriven gravitacijski crveni pomak na Sirljusu B (U.Adams).
Izučeno obilje elemenata u zvezdanim atmosferama (S.Pejn—Gapoškin).

- 1926.g. Formulirana teorija obrtanja Galaksije i procenjen period rotacije (B.Lindblad).
Rastavljeni spoljni delovi nekoliko galaksija na zvezde (E.Habl).
Objašnjen postanak međuzvezdanih kalcijumovih linija u zvezdanim spektrima (A.Edingtn)
- 1926.-33.g. Razrađena fizička teorija gasovitih maglina (H.Zanstra, D.Mencel, V.Ambarcumjan).
- 1927.g. Potvrđena Lindbladova teorija o obrtanju Galaksije na osnovi efekta o diferencijalnoj rotaciji u kretanju zvezda (J.Ort).
Otkrivene emisione linije "nebulijuma" u spektrima gasovitih maglina (A.Bouen).
- 1929.g. Nađena linearna zavisnost između daljina i radialnih brzina galaksija, koja je poslužila za osnovu hipoteze o širenju vasione (E.Habl).
Određene prve brzine obrtanja zvezda (G.Šajn, O.Struve).
Izvršena prva podrobna izučavanja Sunčevog spektra (Dž.Rasel).
Pronađen kvarcni časovnik (V.Marison).
- 1930.g. Otkrivena 9. planeta Sunčeva sistema - Pluton (K.Tombo).
Konačno dokazana međuzvezdana apsorpcija svetlosti izučavanjem rasturenih zvezdanih jata (R.Trimpler).
Objavljena matematička klimatologija i astronomska teorija klimatskih promena (M.Milanković).
- 1931.g. Konstruisan koronograf i izvršena prva posmatranja Sunčeve korone van pomračenja (B.Lio).
Prvi put registrovani radiotalasi vanzemaljskog porekla (K.Janski).
- 1932.g. Pronađen nov sistem teleskopa (refrakto-reflektor) (B.Šmit).
Izišao "Novi opšti katalog dvojnih zvezda" (ADS) (B.Etken).
Ocenjena gustina međuzvezdane materije i statistički proučeno kretanje zvezda upravno na galaktičku ravan (J.Ort).
Objavljena teorija sekularnog pomeranja Zemljinih polova (M.Milanković).
- 1934.g. Započelo izučavanje supernovih (F.Cviki, V.Bode, R.Minkovski).
Postavljena hipoteza o postanku neutronske zvezde posle eksplozije supernovih (V.Bode, F.Cviki).
- 1936.g. Pronađen monohromatski filter za posmatranje Sunca (B.Lio).
- 1936-56.g. Otkriveno preko 20 novih planetoida na Beogradskoj opservatoriji (M.Protić).
- 1937.g. Konstruisan prvi (paraboloidni) radioteleskop (G.Riber).
Prvi put iskazana misao o postojanju opšteg galaktičkog magnetnog polja (H.Alfven).
Prvi put primenjen Hercšprung-Raselov dijagram na rasturena zvezdana jata pri izučavanju zvezdane evolucije (Dž.Kojper).
Otkrivene sezonske nejednakosti Zemljine rotacije (N.Stojko).
Izišao fundamentalni katalog GC (B.Bos).
- 1937-38.g. Izišao fundamentalni katalog FK3 I i II, koji je usvojen za međunarodni (A.Kopf).
- 1937-40.g. Stvorena prva teorija zvezdane evolucije zasnovana na izvorima energije iz atomskog jezgra (G.Gamov).
- 1938.g. Započet međunarodni katalog slabih zvezda (koji još nije završen)
Otkriveni 10. i 11. Jupiterov satelit (S.Nikolsön).
Otkrivena galaktička rotacija međuzvezdanog gasa (Dž.Plasket, Dž.Pirs.)
- 1938-39.g. Otkriveni ciklusi "proton-proton" i "ugljenik-azot" u termionukleusnim reakcijama (G.Bete, K.Kričfild, K.Vajczeker).
Stvorena kvantitativna teorija izvora zvezdane energije (G.Bete).
- 1939-42.g. Nizom radova udarene osnove kosmičke elektrodinamike (H.Alfen).

- 1940.g. Počela primena metode modela za izučavanje zvezdanih atmosfera (B.Stremgren).
Spektroskopski otkriveni molekuli u međuzvezdanom prostoru (E.Mak—Kolar).
Izišao "Fotometrijski atlas Sunčevog spektra" (M.Minart, D.Milders, J.Hautgast).
Otkrivene specifičnosti u spektru zvezda Bik, što je dovelo do masovnih izučavanja mnogih elemenata na zvezdama (Dž.Grinštajn).
Objavljena prva otkrića izvora vasionkog radiozračenja (G.Riber).
- 1940-45.g. Predložena nova metoda za izračunavanje međuzvezdane apsorpcije svetlosti i ocenjene razmere i mase tamnih galaktičnih maglina (P.Parenago).
- 1941.g. Konstruisan menisk—teleskop, koji je doživio široku primenu u astronomiji (D.Maskutov).
Otkrivene emisione linije u spektru Sunčeve korone i linije višestruko jonizovanih atoma kalcijuma, gvožđa, nikla i dr. elemenata u njoj (B. Edlen).
- 1942.g. Pokazano da je Rak magla ostatak supernove iz 1054.g. (N.Mejol, J.Ort).
- 1942-43.g. Otkriveno termalno radio—zračenje Sunca.
- 1942-44.g. Otkriveno jako radio—zračenje Sunca na talasnoj dužini 287 cm (Dž.Sautvort, Dž.Hej, G.Riber).
- 1942-49.g. Pokazano da razna tela u Galaksiji pripadaju različitim podsystemima (B.Kukarkin).
- 1943.g. Predložena nova hipoteza o postanku Sunčevog sistema ((K.Vajceker).r).
- 1944.g. Predložena hipoteza postanka planeta iz gasovito—prašnog oblaka (O.Šmit).
Predskazano postojanje spektarskih linija neutralnog vodonika na talasnoj dužini 21 cm (Van de Hulst).
Nekoliko eliptičnih galaksija i jezgro Andromedine magline rastavljeni na zvezde i predložena teorija o dvema zvezdanim populacijama (V.Bode).
- 1946.g. Dobivene pomoću zemaljskih raketa prve fotografije ultraljubičastog spektra Sunca (R. Tauzi).
Prvi put pomoću zemaljskih raketa registrovano rendgensko zračenje Sunca (H.Fridman).
Izvršena prva radarska posmatranja meteora (Dž.Hej, Dž.Stjuart, B.Ljevin, P.Čečik).
Prvi put radarom izmerena daljina Meseca (SAD, Mađarska).
Prvi eksperiment stvaranja veštačkih nebeskih tela - veštačkih meteora (F.Cviki).
Konstruisan prvi radiointerferometar (Dž. Pozi, M.Rajl).
Postavljena hipoteza o eksploziji vasilone (G.Gamov).
Prvi put dobiveni infracrveni spektri planeta i zvezda (do talasne dužine 2,5 mk).
Prvi put otkriveno magnetno polje zvezde (78 Devojke), i to s promenljivom polarnošću (H.Bebkok).
Otkriven prvi diskretni izvor kosmičkog radio—zračenja (Dž.Hej, S.Parsons, Dž.Filips).
- 1947.g. Otkrivene eruptivne promenljive (Karpenter).
Otkrivene zvezdane asocijacije (V.Ambarcumjan).
Konstruisani prvi horizontalni meridijanski krugovi (R. Etkins, L.Suharev, nezavisno).
Osnovana Opservatorija Maunt—Palomar. Od 1969.g. udružena sa Opservatorijom Maunt—Vilsn (Dž.Hejl).
- 1948.g. Otkriven 5. Uranov satelit - Miranda (Dž.Kojper).
Dobivene fotografije središta Galaksije u infracrvenoj svetlosti iz kojih se vidi da je sastavljeno iz zvezda (V.Nikonov, A.Kalinjak, V.Krasovski).
Otkrivena međuzvezdana linijska polarizacija svetlosti (U.Hiltner, Dž. Hol, V.Dombrovski).
Dobivene prve valjane fotografije zvezda elektronskom komorom (Lalman).
Pokušaj da se objasni rasprostranjenost hemijskih elemenata u vasioni — α, β, γ teorija (Alfven, Bete, Gamov).
- 1949.g. Otkriven 2. Neptunov satelit — Nereid (Dž. Kojper).
Na Opservatoriji Maunt—Palomar postavljen Hejlov reflektor s otvorom 508 cm, do 1975.g. najveći na svetu.
Konstruisan molekularski (amonijačni) časovnik (Basov, Prohorov i Cajger, Tauns, nezavisno).
Otkriven prvi diskretni radio—izvor van granica Sunčeva sistema — Rak maglina.
Izišao veliki katalog promenljivih zvezda. (P. Parenago, B.Kukarkin).

- 1949-53.g. Ukazano na mogućnost posmatranja međuzvezdanih molekula OH, CH i dr. u radio-dijapazonu i izračunate njihove talasne dužine (I. Šklovski).
- 1950.g. Registrovano prvo radio-zračenje sa galaksije (u Andromedi) (R. Henberi Braun, K. Hezard). Predložen sinhrotronski mehanizam za objašnjenje radio-zračenja diskretnih izvora (H. Alfven, N. Herlofson).
Hipoteza da je Sunčev sistem okružen dalekim omotačem od kometa (J. Ort).
Konstruisan bezlični astrolab (A. Danžon).
- 1951.g. Otkriće teorijski predviđenog radio-zračenja međuzvezdanog vodonika na talasnoj dužini 21 cm (G. Iven, E. Parsel).
Otkriven 12. Jupiterov satelit (S. Nikolson).
Potvrđena spiralna građa Galaksije iz rasporeda zvezda raznih spektarskih klasa (V. Morgan, S. Sharples, D. Osterbrok, B. Voroncov—Veljjaminov).
Potvrđena spiralna građa Galaksije izučavanjem radio-zračenja vodonika na talasnoj dužini 21 cm (J. Ort, H. Van de Hulst, I. Šklovski).
- 1952.g. Revidirana veza "perioda—sjaj" za cefeide, zato je udvostručena skala međugalaktičkih rastojanja (V. Bade).
Konstruisan Sunčev magnetograf (H. Bebkok, H.U. Bebkok).
Otkrivena linija nestabilnog elementa tehnecija u spektrima nekih hladnijih zvezda (P. Meril).
- 1952-62.g. Izrađuju se sve veći radio-teleskopi. Prešesaju se kosmološka pitanja, priroda diskretnih izvora, sudari galaksija, supernove i dr.
- 1953.g. Prva optička identifikacija diskretnog radio-izvora (V. Bade, R. Minkovski).
- 1954.g. Konstruisan atomski (cezijumski) časovnik (L. Essen).
Prvi uspeli let u balonu sa teleskopom — početak vanatmosferske astronomije (O. Dolfis).
Otkrivena jaka linijska polarizacija optičkog zračenja Rak magline koju je predskazao I. Šklovski na osnovi teorije sinhrotronskog zračenja (V. Dombrovski).
Izučavaju se razlike u broju elemenata na zvezdama i tumače u vezi s razvojem zvezda i sa sintezom elemenata u njima.
- 1955.g. Otkriveno radio-zračenje Jupitera (K. Frenklin, B. Birk).
- 1956.g. Otkriveno radio-zračenje Venere (K. Majer, T. Mek—Kalaf, R. Slouneker).
Razrađena teorija optičkog interferometra intenziteta (R. Henberi Braun, R. Tvis).
Izmeren prečnik zvezde (Sirijusa) optičkim interferometrom intenziteta (R. Henberi Braun).
Otkriveno radio-zračenje kometa (na kometi Arend—Roland) (SAD, Belgija).
Uvedeno efemeridsko vreme i nova definicija sekunde (koriste se od 1960. g.).
Uvedeno atomsko vreme u Međunarodnu časovnu službu.
Podignuta radio-astronomska opservatorija Grin Benk (SAD), gde je 1968.g. postavljen meridijanski radio-teleskop otvora 90 m.
- 1957.g. Izvršena druga revizija skale međugalaktičkih rastojanja (E. Sendidž).
4. oktobra pušten prvi veštački Zemljin satelit (SSSR) — započela kosmička era u astronomskim i dr. istraživanjima.
Pokazano teorijski da se i danas mora sintetizovati velik broj atoma teških elemenata nukleusnom fuzijom i da se ne može smatrati da su svi teži elementi u unutrašnjosti zvezda postali za vreme hipotetične "velike eksplozije" (F. Hojl, Fauler, Berbridž).
U Opservatoriji Džodrel Benk (Mančester) postavljen radio-teleskop otvora 76 m, tada najveći pokretni na svetu.
- 1957.58.g. Za vreme Međunarodne geofizičke godine otkriven Sunčev vetar.

- 1958.g. Izišao veliki međunarodni fotografski katalog zvezda AGK 2.
Započet veliki katalog južnog neba SRS koji još nije završen.
Formulisana ideja o važnoj ulozi galaktičkih jezgara za razvoj galaksija (V.Ambarcumjan).
Osnovan Međunarodni komitet za ispitivanje kosmičkog prostora (KOSPAR).
- 1958-60.g. Otkriveni Zemljini radijacijski pojas (Dž.Van Alen, S.Vernov, A.Čudakov i dr.).
- 1959.g. Određena radarom daljina Sunca (SAD).
Vasionska raketa "Luna 2" pokazala odsustvo opšteg magnetnog polja Mesečevog (SSSR).
Vasionska raketa "Luna 3" snimila i poslala na Zemlju prve fotografije druge strane Meseca (SSSR).
Proradila velika Opservatorija Kit Pik u Arizoni.
- 1960.g. Izišao do danas najveći zvezdani atlas sa položajima preko milijarde zvezda (Maunt—Palomarska opservatorija).
Konstruisan na Pulkovskoj opservatoriji fotografski vertikalni krug (M.S.Zverjev).
Konstruisan atomski (vodonični) časovnik (Remsi).
Projekt "Ozma" kojim je prvi put tražen signal razumnih bića, i to iz okoline zvezda e Eridana i τ Kita (završen neuspehom)
- 1961.g. Izvršena prva merenja difuznog kosmičkog zračenja ("Eksplorer I", SAD).
12. aprila ostvaren prvi čovekov let u vasionu (J.Gagarina u "Vastoku I", SSSR).
- 1961-63.g. Izvršeni prvi uspeli eksperimenti radiolokacije Merkura, Venere, Marsa i Jupitera, određena precizno astronomska jedinica i utvrđeno da se ovom metodom mogu ispitivati reljefi planeta (SSSR, SAD).
- 1962.g. Osnovana Međunarodna služba polarnog kretanja s većim brojem nezavisnih stanica.
16. marta započeo obiman program izučavanja Vasione pomoću niza veštačkih satelita "Kosmos" (SSSR).
Otkriven prvi galaktički izvor rendgenskog zračenja — Sco X 1 (R.Đakoni, H.Gurski, F.Paolini, B.Rosi).
- 1963.g. Otkriven prvi kvazar — kvazizvezdani izvor radio—zračenja 3C 273 (M.Šmit).
Otkrivene radio—linije međuzvezdanog hidrokisla koji je predskazao I.Šklovski (Linkolnova lab., SAD).
Otkriven prvi izvor kosmičkog zračenja Sco XP 1 (Fridman i dr.)
- 1964.g. Otkrivena pojava "miganja" radio—izvora (E.Hjuiš).
Postavljena teorija spiralnih talasa gustine kojom se tumači stabilnost spiralne građe galaksija (Lin, Sju).
Počelo traganje za Sunčevim neutrinima.
- 1964-66.g. Počelo obimnije izučavanje nebeskih tela u infracrvenoj oblasti spektra (H.Džonson, Dž.Nojgebauer, F.Lou).
- 1965.g. Počelo pojačano teorijsko istraživanje "crnih jama gravitacije".
Otkriveni krateri na Marsu ("Mariner 4", SAD).
Otkriveno mikrotalasno (toplotno) pozadinsko zračenje za koje se smatra da je odjek "velike eksplozije" (A.Penzijas, R.Vilsn).
Pomoću "Zonda 3" fotografisana nevidljiva strana Meseca (SSSR).
Radarski određeno trajanje Merkurova obrtanja $59^d \pm 2^d$ (pomoću tada najvećeg pokretnog radio—teleskopa otvora 305 m, u Portoriku).
- 1966.g. Izišao veliki američki Izvedeni zvezdani katalog SAO (Smitsonov institut, SAD).
Otkriven 10. Saturnov satelit — Janus (O.Dolfis).
Prvo meko spuštanje na Mesec i prenos izgleda Mesečeva pejzaža ("Luna 9", SSSR).
Prvo meko spuštanje na Veneru ("Venera 3", SSSR).
Najsnažniji izvor rendgenskog zračenja identifikovan sa zvezdom 13. prividne veličine, ostatkom supernove (H.Fridman, Dž. Dati).
Osnovana Evropska južna opservatorija (u Čileu) na kojoj se sada priprema reflektor otvora 3,6 m.

- 1967.g. Otkriveni izvori pulsirajućeg radio-zračenja – pulsari (E.Hjuiš, Dž.Bel i dr.).
"Venera 4" spustila se na Veneru i ispitala njenu atmosferu (SSSR).
"Meriner 5" sa putanje ispita Veneru (SAD).
- 1968.g. Otkriveni "zvezdani pršeni" (Iserštet).
Osnovan međunarodni časopis "Astrophysics and Space Science".
- 1969.g. 20.jula "Apolo 11" spustio se na Mesec i 21. jula stupili na Mesec prvi ljudi (N.Armstrong, E.Oldrin, SAD).
Objavljena detekcija gravitacijskih talasa kosmičkog porekla, koju kasnije niko nije mogao da potvrdi (Veber).
Mesto "Astronomischer Jahresbericht" pokrenuta nova velika bibliografska publikacija "Astrophysical Abstracts" (AAA) (Astr. Rechen-Institut-Heidelberg).
Osvojena tehnika određivanja apsolutnih položaja vasijskih radio-izvora radio-interferometrom s dugom osnovicom (Elsmor i dr.).
- 1969-76.g. Vrlo intenzivno izučavanje Meseca' otkriveni "maskoni" i "magkoni", staklasta zmca, unutrašnja građa pomoću seizmografa i dr. (Niz vasijskih brodova "Apolo" i "Luna", SAD, SSSR).
Šest časopisa udružilo se u međunarodni evropski časopis "Astronomy and Astrophysics".
- 1970.g. Otkrivena kružna polarizacija optičkog zračenja zvezde (belog patuljka) (Dž.Kemp).
20.septembra "Luna 16" automatski sakupila i donela na Zemlju uzorke Mesečeva tla (SSSR).
10.novembra automatska sonda "Luna 17" spustila na Mesec "lunohod" koji je za 11 meseci prešao 10,5 km i ispitivao Mesečevu površinu (SSSR).
Pušten u rad radio-interferometar u Vesterborku sa 12 parabolidnih antena s prečnicima 25 m, koji zamenjuju jedan radio-teleskop antenskog otvora blizu 1:600 m.
Osvojena tehnika određivanja pomeranja Zemljinih polova s visokom tačnosti iz laserskih posmatranja B3C (Grinbelt, SAD).
- 1971.g. U SSSR puštena na putanju oko Zemlje prva dugoročna stanica "Saljut" s pilotom, koja je izvršila mnoga astronomska ispitivanja.
Pomoću američke kosmičke sonde "Mariner 9" detaljno snimljen Mars i njegovi sateliti. Otkriveni na njemu vulkani i veliki kanjon.
Izišao u međunarodnoj saradnji veliki fotografski katalog zvezda AGK 3.
- 1972.g. Radarom otkriveni krateri na Veneri.
Izbačen u SAD "Pionir 10" s porukom eventualnim civilizacijama van Sunčevog sistema, prošao pored Jupitera i poslao na Zemlju njegove snimke i rezultate ispitivanja njegove atmosfere i magnetosfere.
Osvojena tehnika određivanja pomeranja Zemljinih polova s visokom tačnosti iz doplerovskih posmatranja (Brisel).
- 1973.g. Izbačena u SAD vasijska sonda "Pionir 11" sa sličnim zadacima kao "Pionir 10".
- 1974.g. Američka automatska vasijska sonda "Mariner 10" prošla pored Merkura i poslala na Zemlju snimke površine slične Mesečevoj.
Otkriven 13. Jupiterov satelit (Č.Kauel).
Matematički dokazano da "crne jame" mogu da zrače putem kvantno-mehaničkog "tunel-efekta" (Hauning).
Poslata sa radio-astronomske opservatorije u Aresibu poruka u pravcu zbivenog jata u Herkulu.
Kroz 48 000 godina bi se mogao očekivati eventualni odgovor.
- 1975.g. Obrazovana prva međunarodna kosmička stanica na putanji spajanjem sovjetskog vasijskog broda "Sajuz 19" i američkog "Apolo" (A. Leonov i dr., T.Staford i dr.).
Sovjetske automatske stanice "Venera 9" i "Venera 10" spustile se na Veneru i poslale prve snimke njene stenovite površine s kraterima i ispitale njenu gustu atmosferu.
Završena izgradnja najvećeg optičkog teleskopa-reflektora na svetu otvora 6 m (Zelenčukska, Kavkaz, SSSR).

- 1976.g. Američke automatske stanice "Viking 1" i "Viking 2" spustile se na Mars, poslale niz snimaka njegove površine i tragale bez uspeha za živim organizmima. ...
Završen najveći radio-teleskop na svetu (Zelenčukaska, Kavkaz, SSSR).
- 1977.g. Posmatranjem okultacije zvezde Uranom otkriven oko Urana redak prsten (Ellot i dr.).

Rajko Petronijević HRONOLOGIJA VANATMOSFERSKIH ISTRAŽIVANJA VASIONE

Za dve decenije gotovo eksplozivnog razvoja nepsorednog istraživanja Vasiona veštačkim Zemljinim satelitima i kosmičkim orbitnim stanicama, kosmičkim brodovima sa posadom i automatskim međuplanetskim letilicama, obilje novog posmatračkog materijala dovela je do kvalitativnog skoka ljudskog znanja o sopstvenoj planeti, Meseću, Suncu, planetama Sunčevog sistema, međuplanetskoj i međuzvezdanoj materiji, zvezdama, Galaksiji, drugim galaksijama i vangalaktičkim telima.

Ovim hronološkim pregledom, obuhvatićemo neke značajnije momente u vanatmosferskim istraživanjima Vasiona, bez pretenzija na iscrpnost i potpunost.

VEŠTAČKI ZEMLJINI SATELITI

Prvi veštački Zemljin satelit SPUTNIK—1 lansiran je 4. oktobra 1957. godine iz SSSR u sklopu međunarodnog programa naučnih istraživanja planiranih za Međunarodnu geofizičku 1957/58 godinu. SPUTNIK—1 je bio u obliku lopte prečnika 0,58 m a težine 83,6 kg. Četiri štapa antene radio-predajnika ugrađenih u satelit, bile su dugačke po 2,4 do 2,9 m. Satelit je u orbiti sa perigejem 228 km, apogejem 947 km i nagibom putanje prema ekvatoru $65,1^\circ$, proveo 92 dana izvršivši 1400 obilazaka oko Zemlje. Iz podataka o prostiranju radio-signala kroz jonosferu i podataka o promenama satelitove putanje prvi put su dobijeni podaci o fizičkim parametrima dotle nedostižno visokih atmosferskih slojeva. Lansiranjem satelita SPUTNIK—1, čovečanstvo je prvi put u svojoj istoriji zakoračilo u Vasionu.

Mesec dana docnije, u orbitu oko Zemlje lansiran je prvi biološki satelit SPUTNIK—2 težine 508,3 kg. Parametri orbite ovog satelita su bili: perigej 225 km, apogej 1674 km i nagib $65,1^\circ$. Osim praćenja fizioloških procesa prvog vasionkog putnika — psa Lajke — uređaji koje je satelit poneo omogućili su registrovanje ultraljubičastog, rendgenskog i kosmičkog zračenja Sunca.

31. januara 1958. godine SAD su lansirale svoj prvi veštački Zemljin satelit EXPLORER—1, težine 13,86 kg, u orbitu sa perigejem 356 km, apogejem 2548 km i nagibom $33,2^\circ$. Zahvaljujući ovom satelitu otkrivena je u okolini Zemlje zona povišene radijacije, čije je postojanje predvideo i teorijski obrazložio Van Alen. Mesec i po dana docnije SAD su lansirale prvi satelit sa sunčanim baterijama VANGUARD—1. Praćenjem promena putanje ovog i prethodnog satelita potvrđeno je da je Zemlja kruškolikog oblika.

Maja 1958. godine SSSR je lansirao SPUTNIK—3 težine 1327 kg (226 km, 1881 km, $65,1^\circ$) opremljen instrumentima za obimnija i složenija proučavanja gornjih slojeva atmosfere. Zemljinog magnetskog polja, kosmičkog zračenja, mikrometeorita, itd.

1. aprila 1960. godine iz SAD je izveden na putanju oko Zemlje TIROS—1 — prvi meteorološki satelit. TIROS—1 je bio opremljen televizijskim kamerama i uređajima za registrovanje infracrvenog zračenja. Tokom 89 dana aktivnosti satelit je poslao 22 952 snimka oblačnog pokrivača nad dnevnom stranom Zemljinom. Serijom meteorologija dobija nezamenljivo sredstvo za analizu i prognozu vremena i za proučavanje fizike i hemije atmosfere. Iste godine, pomoću američkih satelita TRANSIT—2A i NIL, vršena su merenja radio šumova Galaktičkog pokretnosti, a geodezijska merenja — pomoću satelita EHO—1.

Serijom američkih satelita EXPLORER nastavljena su, tokom 1961. godine, ispitivanja Sunčeve plazme, emisija gama zračenja i karakteristika mikrometeorita.

7. marta 1962. g. SAD su lansirale prvu orbitnu Sunčevu opservatoriju OSO—1. Letilicama tipa OSO počinje sistematsko proučavanje korpuskularnog, gama, rendgenskog i ultraljubičastog zračenja Sunca, prostiranja talasa u Sunčevoj atmosferi, dinamike gornje hromosfere, svih oblika Sunčeve aktivnosti i njenog uticaja na Zemljinu

atmosferu zodijske svetlosti, itd. Poslednjih godina, satelitima ovog tipa, vršena su i posmatranja nekih vanga-laktičkih tela u rendgenskom opsegu elektromagnetskog zračenja.

Marta 1962. godine SSSR je izbacio KOSMOS—1, prvi satelit istolmene serije namenjene sistematskom proučavanju bliže i dalje Zemljine okoline, astronomske posmatranjima, ispitivanju mogućnosti manevrisanja satelita u orbiti, njihovog spajanja u složenije komplekse, razdvajanja, vraćanja na Zemlju, ispitivanju posebnih uslova leta na živa bića, itd.

24. aprila 1962. godine Velika Britanija je lansirala svoj prvi satelit ARIEL—1 (390 km, 1212 km, 54°), težine 60 kg, namenjen aeronomskim istraživanjima i proučavanju galaktičkih radio-šumova. Krajem septembra 1962. godine Kanada je lansirala u orbitu oko Zemlje svoj prvi naučnoistraživački satelit ALOUETTE—1.

U toku 1963. godine SAD su lansirale tri satelita za registrovanje gama i rendgenskog zračenja kosmičkih tela VELA—1, VELA—2 i TRS—2, i satelit EXPLORER—18 koji nam je otkrio oblasti povišene radijacije izvan do tada poznatih radijacijskih pojaseva.

Početkom 1964. godine SSSR je lansirao jednom raketom nosačem dva satelita — ELEKTRON—1 (406 km, 7130 km, 60°) i ELEKTRON—2 (450 km, 68 000 km, 60°) — za uporedno proučavanje Zemljinog magnet-skog polja i radijacijskih pojaseva, a sredinom godine, sa istim ciljem, još jedan par satelita tipa ELEKTRON. Magnetskim merenjima pomoću uređaja na satelitima ELEKTRON—2 i ELEKTRON—4, dokazano je postojanje strujnog torusa oko Zemlje izvan jonosfere.

Septembra 1964. godine SAD su lansirale prvu orbitnu geofizičku opservatoriju OGO—1 (282 km, 149 359 km, 31°) težine 487 kg. Sateliti serije OGO su bili namenjeni kompleksnom proučavanju strukture i oblika Zemljine magnetosfere radijacijskih pojaseva, gornjih slojeva atmosfere i međudejstva Sunčeve plazme sa magnetosferom. Prvi satelit koji je Italija lansirala — SAN MARCO — bio je takođe namenjen aeronomskim istraživanjima. Satelitima ovog tipa Italija je, počev od 1964. godine, redovno obavljala geofizička i astrofizička posmatanja.

Krajem 1964. godine SSSR je lansirao KOSMOS—51. Merenjima sjaja neba u ultraljubičastom i vidljivom delu spektra u različitim pravcima utvrđeno je da maksimum zračenja pozadine Galaksije pada između 200—300 nm, a da je sjaj Galaksije u vidljivom delu spektra veći od očekivanog za 20—30% (što se objašnjava viškom rasejane svetlosti u najvišim slojevima atmosfere).

U prvoj polovini 1965. godine SAD su lansirale OSO—2 i tri satelita PEGASUS za proučavanje mikrometeorita. Tokom 1965. godine SSSR je lansirao telekomunikacijski satelit MOLNIJA—1B koji nam je poslao prve fotografije cele Zemlje u kadru, sa rastojanja od 36 000 km, i dve vasionske laboratorije PROTON—1 (jula) i PROTON—2 (novembra) teške po 12 tona, izvedene u gotovo istovetne putanje (190 km, 630 km, $63,5^\circ$) i opremljene kompleksom uređaja za proučavanje Sunčevog kosmičkog zračenja, kosmičkog zračenja supervisokih energija i tvrdog gama zračenja iz centra Galaksije. Pomoću ovih laboratorija prvi put je dobijen spektar metagalaktičkog izotropnog tvrdog gama zračenja (iznad 30 MeV).

Krajem 1965. godine Francuska je lansirala svoja prva dva satelita ASTERIX A—1 (26. novembra) i FR—1 (6. decembra) namenjena jonosferskim istraživanjima.

Prvu orbitnu astronomsku opservatoriju OAO—1 lansirale su SAD 8. aprila 1966. godine. Opservatorija je bila opremljena sa sedam teleskopa za posmatranja u ultraljubičastom delu spektra, detektorima za rendgensko i gama zračenje i detektorom čestica niskih energija.

Za vreme pomračenja Sunca, 20. maja 1966. godine, vršena su, fotometrija satelita EXPLORER—30, merenja rasporeda zračenja u više oblasti rendgenskog i ultraljubičastog dela spektra, i to po celom Sunčevom disku. Tom prilikom je utvrđeno da u razmaku od 0,1—0,8 nm rendgenskog opsega, postoje skokovite promene jačine zračenja. Zapaženo je da se oblasti povišene jačine u pomenutom razmaku poklapaju sa oblastima povišenog radio-zračenja u decimetarskom opsegu. Sa porastom talasne dužine, nehomogenost rasporeda jačine zračenja po Sunčevom disku se smanjuje i postaje ravnomerna za ultraljubičasto zračenje.

Sredinom 1966. godine SSSR je lansirao treću kosmičku laboratoriju serije PROTON. Po dimenzijama i nameni PROTON—3 se nije bitno razlikovala od prethodne dve letilice.

1967. godine SAD su lansirale dve orbitne Sunčeve opservatorije – OSO–3 i OSO–4. Oba satelita su bila opremljena spektrometrima za registrovanje spektara kratkotalasnog zračenja Sunca. Prvi satelit je neprekidnim šestomesečnim posmatranjem Sunca omogućio praćenje promena zračenja u različitim linijama ultraljubičastog opsega, u zavisnosti od Sunčeve aktivnosti. Drugi satelit (OSO–4) nam je poslao prvi snimak Sunca u ultraljubičastoj svetlosti.

Marta 1968. godine SSSR je lansirao KOSMOS–208 opremljen uređajima za merenje jačine elektromagnetskog zračenja primarnog kosmičkog zračenja rendgenskim teleskopom efektivne površine 270 cm^2 (za posmatranja oblasti 2–55 keV). Aprila iste godine lansiran je KOSMOS–215, namenjen isključivo astronomskim istraživanjima. Pomoću osam teleskopa za različite spekarske oblasti elektromagnetskog zračenja, od rendgenskog do vidljivog, posmatrano je više desetina vrelih zvezda. Novembra meseca, SSSR je lansirao PROTON–4 – vasionisku laboratoriju tešku 17 tona, namenjenu izučavanju hemijskog sastava kosmičkih zrakova visokih i supervisokih energija, proučavanju međudejstva kosmičkih zrakova energija 10^{11} – 10^{14} eV sa jezgroma mete i otkrivanju kvarkova u primarnom kosmičkom zračenju. Dobijeno je obilje podataka i o hemijskom sastavu primarnog kosmičkog zračenja i o njegovom međudejstvu sa materijom, ali nijedan kvark nije registrovan.

U 1968. godini SAD su lansirale EXPLORER–37 (za ispitivanje Sunčevog korpuskuskog zračenja i elektromagnetskog zračenja kraćih talasnih dužina) i EXPLORER–38 (za radio-astronomska istraživanja). Pored ovih satelita u orbitu oko Zemlje bila je izbačena i druga orbitna astronomska opservatorija OAO–2. Pomoću jedanaest teleskopa za različite oblasti elektromagnetskog spektra, OAO–2 je do januara 1969. godine, snimila više stotina kosmičkih tela.

1968. godine je Evropska vasioniska orgnaizacija, ESRO, deset zapadnoevropskih zemalja, lansirala svoje prve naučnoistraživačke satelite ESRO–2 (17. maja), ESRO–1 (3. oktobra) i HEOS–1 (5. decembra) u okviru programa otkrivanja i lokalizovanja diskretnih izvora rendgenskog i gama zračenja i potpunog izučavanja međuplanskog magnetskog polja, Sunčevog kosmičkog zračenja, Sunčevih korpuskuskih tokova i njihovog dejstva na Zemljinu jonosferu i magnetosferu.

Janura 1969. godine SSSR je lansirao KOSMOS–264 namenjen registrovanju izvora gama zračenja. Jedan od otkrivenih izvora identifikovan je kao promenljiva radio-galaksija 3C 120.

U toku 1969. godine SAD su izbacile dve orbitne Sunčeve opservatorije OSO–5 i OSO–6, i poslednju orbitnu geofizičku opservatoriju OGO–6. Ovim orbitnim opservatorijama nastavljena su intenzivna proučavanja Sunca, karaktersitičnih oblika Sunčeve aktivnosti, međudejstva Sunčevog vetra i Zemljine dinamike i građe jonosfere, itd.

14. oktobra 1969. godine, međunarodna organizacija sedam istočnoevropskih zemalja (INTERKOSMOS) lansirala je iz SSSR satelit INTERKOSMOS–1 namenjen posmatranjima Sunca u više spektarskih razmaka, od tvrdog rendgenskog zračenja do vidljivog, polarimetrijskim merenjima zračenja Sunčevih erupcija i proučavanju uticaja kratkotalasnog zračenja Sunca na građu i dinamiku Zemljinih gornjih slojeva atmosfere. Satelit je bio opremljen fotometrima za vidljivo, ultraljubičasto, meko i tvrdo rendgensko zračenje, spektroheliografom za dobijanje spektroheliograma u rendgenskom opsegu i rendgenskim polarimetrom. Gotovo identični ovom satelitu, po opremi i nameni, bili su i sateliti INTERKOSMOS – 7, 11 i 16, lansirani tokom nekoliko narednih godina. U decembru lansiran je, za kompleksna istraživanja jonosfere, INTERKOSMOS–2, a tri godine docnije s istim ciljem, INTERKOSMOS–8. Krajem godine SR Nemačka je izbacila u orbitu oko Zemlje prvi sopstveni satelit AZUR (387 km, 3147 km, 103°) težine 72 kg, a organizacija ESRO svoj četvrti satelit ESRO–1B.

U 1970. g. SSSR je za potrebe geofizičkih istraživanja lansirao KOSMOS–321 (20. januara), KOSMOS–378 (17. novembra) i KOSMOS–381 (20. decembra). Prvim satelitom su vršena merenja Zemljinog magnetskog polja pomoću kvantnog cezijeve magnetometra, proučavanja magnetskih bura i posmatranja polarne svetlosti. Osim toga vršena je analiza parametara jonosfere pomoću koherentnih radio-signalata. Drugim satelitom je obavljano dugotrajno složeno izučavanje parametara jonosfere. Pomoću trećeg satelita proučavani su talasni procesi u jonosferi, struje elektrona energije 2–100 keV, međudejstvo jonizujućeg zračenja sa plazmom i zračenje Sunca u opsegu od 0,14–150 nm.

Avgusta 1970. godine lansiran je INTERKOSMOS-3 namenjen utvrđivanju energijskih, prostornih i vremenskih odlika tokova naelektrisanih čestica u neposrednoj Zemljinoj okolini, energijskog spektra i sastava kosmičkog zračenja Sunčevog porekla i generisanju i prostiranju niskofrekventnih elektromagnetskih oscilacija u jonosferskoj plazmi. Identični sa satelitom INTERKOSMOS-3 bili su sateliti INTERKOSMOS-5, 9, 10, 12, 13 i 14, lansirani tokom nekoliko narednih godina.

12. decembra 1970. g. izbačen je iz SAD prvi satelit namenjen isključivo istraživanjima iz oblasti rendgenske astronomije. Satelit je iz porodice EXPLORER (EXPLORER-42) i poznat je pod nazivom UHURU. Kao prvi satelit porodice malih astronomskih satelita, nosio je takođe i naziv SAS-1. Pomoću ovog satelita otkriven je ogroman broj rendgenskih izvora. U toku prve dve godine katalogizovano je 163 diskretnih izvora rendgenskog zračenja. Dve trećine ih je registrovano u galaktičkoj ravni i najverovatnije su izvori koji pripadaju našoj Galaksiji. Izvestan broj tela sa visokih galaktičkih širina je verovatno vangalaktičkog porekla. Neki od njih su već identifikovani kao safertovske galaksije, kvazari i galaktička jata. Energije zračenja ovih izvora u rendgenskom opsegu su i do 1000 puta veće od energije koju ta tela emituju u vidljivom i radio-opsegu. Pojedini izvori su identifikovani kao eruptivne zvezde iz naše Galaksije, Andromedine, Velikog i Malog Magelanovog oblaka. Otkriveni su, takođe, kratkoperiodični izvori rendgenskog zračenja: Cen X-3 (sa dve karakteristične periode promene jačine zračenja - 2,1 dan i 4,8 sekundi), Her X-1 (sa tri periode - 35 dana, 1,7 dana i 1,24 sekundi), Cyg X-1 (identifikovan kao dvojna zvezda HD-226868) i dr. Osim podataka o diskretnim rendgenskim izvorima, dobijeni su i vredni podaci o pozadinskom zračenju Galaktičkog i vangalaktičkog porekla. Posmatranja galaktičkih jata su pokazala da oko ovih postoji prošireni halo rendgenskog zračenja.

Japan je svoj prvi satelit OHSUMI, lansirao 11. februara 1970. g. Satelit je bio težak 23 kg. Parametri orbite su bili: perigej 350 km, apogej 5140 km i nagib putanje prema ekvatoru 31° . Do sredine 1980. godine Japan je, od 19 lansiranih satelita, 16 lansirao sopstvenim raketama nosačima.

Kina je svoj prvi Zemljin veštački satelit izbacila u orbitu 24. aprila 1970. g. Težina satelita KINA-1 je iznosila 173 kg, perigej 439 km, apogej 2384 km i nagib putanje $68,5^{\circ}$.

Septembra 1971. godine SAD su izbacile sedmu orbitnu Sunčevu opservatoriju, opremljenu rendgenskom aparaturom savršenijom od one koju je nosio satelit UHURU. Pomoću OSO-7 posmatrani su ne samo nestracionarni procesi na Suncu i u Sunčevoj koroni, već i mnoga tela iz UHURU kataloga.

U 1971. godini SSSR je lansirao dva satelita serije KOSMOS za potrebe rendgenske i gama astronomije. KOSMOS-428, izbačen juna meseca, bio je namenjen proučavanju izvora tvrdog rendgenskog zračenja energija većih od 40 keV, rendgenskog zračenja iz razmaka 2-30 keV i odlika tokova visokoenergijskih elektrona. KOSMOS-461, lansiran decembra meseca, bio je opremljen rendgenskim teleskopom i teleskopom za gama zračenje, pomoću kojeg je bilo moguće utvrđivati spektarske, prostorne i vremenske odlike tvrdog gama zračenja iz oblasti energija 80-1000 MeV i mekog iz oblasti 0,03-5 MeV. Iz opsega 0,04-5 MeV zabeleženo je izotropno gama zračenje za koje se pretpostavlja da je kosmološkog porekla. Iz ovog izotropnog zračenja izdvojena je, podrobnom obradom podataka, komponenta Galaktičkog porekla (u razmaku 0,03-4,1 MeV). Pomoću ovog satelita zabeleženi su snažni bljeskovi mekog rendgenskog zračenja i proučeno je zračenje iz oblasti 2-20 keV deset diskretnih izvora.

14. aprila 1972. godine SSSR je izbacio u orbitu oko Zemlje prvi satelit serije PROGNOZ, namenjen detaljnom upoznavanju Sunčeve aktivnosti, njenog uticaja na međuplanetsku sredinu i Zemljinu magnetosferu i razradi metoda za predviđanje svih oblika Sunčeve aktivnosti. Perigej orbite je bio 950 km, a apogej 200 000 km. Od uređaja za beleženje elektromagnetskog zračenja Sunčevih erupcija, satelit je nosio prijemnike radio-zračenja za oblasti 1,6-8 kHz i 100-700 kHz, rendgenski spektrometar sa srazmernim brojačem za opseg energija 1,5-30 keV. Za merenje Sunčevog korpuskularnog zračenja, Sunčevog kosmičkog zračenja i odlika Sunčevog vetra, izvan Zemljine magnetosfere, u prelaznoj oblasti između fronta udarnog talasa plazme Sunčevog vetra i granice magnetosfere, a takođe i u magnetosferi, korišćeni su: poluprovodnički spektrometar alfa čestica i teških jezgara energije 1-35 MeV, Čerenkovljev brojač elektrona energije 40-140 keV i scintilacijski spektrometar protona energije 30-210 keV. Dva meseca doznije lansiran je PROGNOZ-2. Uređajima francuske proizvodnje vršeno

je beleženje neutrona Sunčevog porekla iz opsega 0,981–16 MeV i Sunčevog gama zračenja iz opsega 0,35–11,8 MeV. Sredinom jula posmatrano je, pomoću oba satelita, nekoliko manjih erupcija praćenih raščepnjem gradijenta magnetskog polja. Krajem jula i početkom avgusta registrovano je, u istoj oblasti, nekoliko snažnih hromosferskih erupcija od kojih su neke (od 2, 4, i 7 avgusta) bile najsnažnije za proteklih dvadesetak godina. Analiza podataka je pokazala da je obrazovanje diskretnog spektra gama zračenja u vreme erupcija neposredno u vezi sa njima. Pretpostavlja se da je diskretno gama zračenje posledica odvijanja nukleusnih reakcija u oblastima postanka i razvoja erupcija. U periodu od aprila do novembra, instrumenti oba satelita su zabeležili neobično visok nivo jačina tokova protona energije do nekoliko megaelektronvolti i elektrona energije od oko desetak kiloelektronvolti. Pojava je posebno zanimljiva, jer se odvijala u vreme minimuma Sunčeve aktivnosti.

Maja 1972. godine lansiran je KOSMOS–490. Program posmatranja pomoću ovog satelita bio je istovetan s programom satelita KOSMOS–428. Deset diskretnih izvora rendgenskog zračenja posmatrano je u spektarskom razmaku 2–20 keV.

21. avgusta 1972. godine SAD su lansirale treću orbitnu astronomsku opservatoriju u čast predstojeće 500-godišnjice Kopernikovog rođenja. OAO–3 (KOPERNIK) bila je namenjena otkrivanju novih izvora rendgenskog zračenja i preciznijoj lokaciji ranije otkrivenih, posmatranju planeta, Sunca, zvezda i galaksija u ultraljubičastom delu spektra, i proučavanju oblaka međuzvezdanog gasa. Za posmatranje tela u ultraljubičastom delu spektra satelit je nosio 80-centimetarski teleskop-reflektor velike razdvojne moći. Ogledalo teleskopa je bilo izrađeno od tankih listića istopljenog kvarca, a ne od stakla, što je omogućilo smanjenje težine ogledala sa 164 kg na 47,6 kg. Satelit je bio opremljen i sa tri rendgenska teleskopa koja su pokrivala opseg od 0,3–6 nm. Samo za prvih pet meseci rada u orbiti, obavljeno je 191 posmatranje 55 pojedinačnih rendgenskih izvora. Osim toga, registrovani su izvori rendgenskog zračenja iz oblasti galaktičkih jata u sazvežđima Perseja, Berenikine kose, Devojke i Kentaura. Takođe je posmatrana, u rendgenskoj oblasti, radiogalaksija Cyg A iz sazvežđa Labud. Sa sigurnošću je utvrđeno prisustvo deuterijuma u međuzvezdanom prostoru, što je, kao podatak, od značaja za kosmologiju.

U 1972. godini SAD su izbacile drugi po redu astronomski satelit tipa SAS. Za sedam meseci rada, tokom 1972. i 1973. godine, SAS–2 je prikupio bogat posmatrački materijal od velikog značaja za razvoj gama astronomije. Posmatrano je gama zračenje Krab pulsara, Vela pulsara, pulsara PSR 1747–46 i pulsara PSR 1818–04. Snažno gama zračenje poslednja dva pulsara se objašnjava pretvaranjem osnovnog dela energije, koja se oslobađa pri kočenju obrtne neutronske zvezde, u energiju gama zračenja. Obrada podataka posmatranja neobičnog rendgenskog i radio-izvora Cyg X–3 pokazala je da je ovaj verovatno izvor i gama zračenja. Otkriveno je, takođe, gama zračenje dva najbrža radio-pulsara PSR 0833–45 i NP 0532. U oblasti anticentra Galaksije otkriven je do sada neidentifikovan izvor γ 195+ 5, čije gama zračenje pulsira sa periodom od 59 sekunada. Utvrđeno je da period pulsacija ovog izvora raste izuzetno velikom brzinom (oko $2 \cdot 10^{-9}$ s/s). Merjenja jačine gama zračenja, u zavisnosti od galaktičke longitude, pokazala su da je raspored gama zračenja podudaran sa rasporedom međuzvezdanog vodonika u Galaksiji.

Početkom 1973. godine SSSR je lansirao PROGNOZ–3, kojim je nastavljeno proučavanje korpuskulske, gama i rendgenske zračenja Sunca, tokova Sunčeve plazme i magnetskog polja u Zemljinoj okolini. Oblje prikupljenih podataka bitno je doprinelo potpunijem upoznavanju mehanizma dejstva Sunčeve aktivnosti na međuplaketnu sredinu i Zemljinu magnetosferu.

19. aprila 1973. godine lansiran je u čast 500-godišnjice Kopernikovog rođenja INTERKOSMOS–KOPERNIK 500. Najznačajniji deo programa rada ovog satelita se odnosio na proučavanje Sunčevog radio-zračenja u frekventnom opsegu 0,45–6,0 MHz. Radio-zračenje Sunca na ovim frekvencijama stvara se u ogromnim prostranstvima viših slojeva Sunčeve korone ali je, za posmatrača na Zemlji, zaklonjeno jonosferom.

Pola godine docnije, lansiran je INTERKOSMOS–10 namenjen proučavanju mehanizma međudejstva Zemljine magnetosfere i jonosfere. Satelit je bio opremljen uređajima za registrovanje niskofrekventnih oscilacija plazme u opsegu frekvencija 20 Hz–22 kHz, odlika tokova naelektrisanih čestica energije 0,05–20 keV. Takođe je vršeno i neprekidno merenje koncentracije i temperature jonosferske plazme.

U toku 1973. godine SAD su izvele u selenocentričku orbitu satelit EXPLORER-49 (RAE-Bi) u cilju ispitivanja niskofrekventnog radiozračenja Sunca, Jupitera, naše i drugih galaksija. Satelit je bio opremljen antenama dužine 230 m. Prijemnu aparaturu satelita je Mesec zaklonio od radio-šumova zemaljskog porekla.

30. avgusta 1974. godine Holandija je izvela svoj prvi satelit ANS na putanju sa perigejem 267 km i apogejem 1175 km. Satelit je bio težak 129,3 kg. Namenjen je bio isključivo astrofizičkim posmatranjima — proučavanju izvora ultraljubičastog i rendgenskog zračenja u Vasioni. Pomoću ovog satelita je posmatrano, između ostalog, 125 globularnih jata u našoj Galaksiji. U globularnom jatu NGC 6624 zabeleženi su snažni bljeskovi rendgenskog zračenja. Maksimalna jačina zračenja je zabeležena jednu sekundu od početka eruptivne promene rendgenskog sjaja jata, a opadanje jačine zračenja je trajalo 15 sekunada.

Iste godine je Velika Britanija lansirala peti satelit tipa ARIEL. Satelit je bio namenjen dugotrajnim posmatranjima različitih izvora rendgenskog zračenja. Posmatrani su prošireni halo rendgenskog zračenja oko nekoliko rendgenskih jata. Registrovane su emisije tvrdog rendgenskog zračenja patuljastih novih: SS Cygny, EX Hydrae, i druge. Posmatran je dvojni rendgenski pulsar 3U 1223-62 neprekidno 200 dana, što je omogućilo da se utvrdi promena 11,6 minutne periode pulsacija za 0,5 sekundi mesečno. Proučavani su snažni rendgenski izvori za koje se pretpostavlja da bi mogli biti crne jame gravitacije ili dvojni sistemi u kojih je jedna komponenta crna jama (Mon X-1, Sco X-1, Her X-1, itd.). Satelit ARIEL-5 nam je otkrio i 12-časovne promene pozadinskog rendgenskog zračenja.

U toku 1974. godine iz SSSR su lansirani INTERKOSMOS-11 (gotovo istovetne namene kao i INTERKOSMOS-1) i INTERKOSMOS-12 koji je, osim složenih istraživanja atmosfere i jonosfere, pružao podatke o sastavu i koncentraciji mikrometeoritskih tokova u okolini Zemlje.

21. juna 1975. godine SAD su lansirale najveću orbitnu Sunčevu opservatoriju OSO-8 namenjenu, ne samo proučavanju aktivnih oblasti na Suncu, hromosfere i donje korone Sunca u različitim oblastima spektra elektromagnetskog zračenja, već i proučavanju planeta u ultraljubičastom delu spektra, Meseca, međuplanetske materije i prostiranja poremećaja u njoj (izazvanih kretanjima planeta Sunčevog sistema), otkrivanju kosmičkih izvora rendgenskog zračenja, analiziranju atmosfera nekolicine odabranih zvezda i posmatranju pojedinih van-galaktičkih tela. Satelit je bio opremljen teleskopima sa spektrometrima za ultraljubičastu oblast, kristalnim spektrometrom za oblast 0,15-0,7 nm i rendgenskim spektroheliometrom. Hromosferske erupcije su posmatrane sa visokom prostornom i vremenskom razdvojnomoći u ultraljubičastim emisionim linijama. Proučavana je dinamika gornje hromosfere i prostiranje talasa u njoj i donjoj koroni. Otkrivene su globalne oscilacije Sunčeve površi (izdizanje i spuštanje za 1300 km) sa periodom od 14 minuta. Merena je polarizacija rendgenskog zračenja Krab pulsara u opsegu 2,6-5,2 keV sa dva istovetna polarimetra. Posmatrano je, u rendgenskoj oblasti 2-20 keV, 26 galaktičkih jata i otkriveno da oko pojedinih jata galaksija postoji prošireni halo rendgenskog zračenja. Utvrđeno je da rendgensko zračenje iz pomenute oblasti predstavlja, uglavnom, termičko zračenje vrelog međugalaktičkog gasa.

U 1975. godini lansirani su treći astronomski sateliti SAS-3. Iz obilja podataka prikupljenih ovim satelitom, izdvojićemo one koji se odnose na globularno jato NGC 6624. Analizom materijala koji se odnosi na posmatranje ovog tela u maju 1975. godine, otkrivena je pravilnost u ponavljanju erupcija rendgenskog zračenja. Utvrđeno je da, srednje uzev, razmaci između erupcija iznose 4 časa i 22 minuta, uz odstupanje koje ne prelazi 30 minuta. U martu 1976. godine zabeležene su bile 22 erupcije u globularnom jatu NGC 6624. Tom prilikom je zapaženo da su se razmaci između erupcija menjali, u toku nekoliko dana, u rasponu od 2,2-3,4 ačsa.

Lansiranjem satelita PROGNOZ-4 (decembra 1975. godine), SSSR je nastavio program istraživanja započet 1972. godine letilicama tog tipa. U 1975. godini iz SSSR je lansirani INTERKOSMOS-14, namenjen proučavanju prostiranja niskofrekventnih oscilacija u Zemljinoj magnetosferi, jonosferske građe i mikrometeoritskih tokova. Uređajima ovog satelita merena je i temperatura elektrona koja odgovara njihovom kretanju duž Zemljinog magnetskog polja i ortogonalno na njega.

Prvi Indijski satelit ARYABHATA, lansirani su (iz SSSR) 19. aprila 1975. godine. Satelit je bio namenjen registrowanju gama i neutronskega zračenja Sunca i složenijem izučavanju jonosferske građe i dinamike.

Zapadnoevropska organizacija ESRO lansirala je svoj osmi satelit COS-B avgusta 1975. godine. Pomoću ovog satelita posmatrani su izvori gama zračenja u energijskoj oblasti preko 50 MeV. Samo za prve dve i po godine rada sastavljen je, između ostalog, katalog 25 diskretnih izvora gama zračenja. Od ovih gama izvora identifikovani su pulsari PSR 0833-45 i NP 0532, kvazar 3C 273 i izvor 2CG 353+16, za koji se pretpostavlja da je u vezi sa džinosvskim oblakom gasa i prašine iz sazvežđa Zmijonoša.

4. maja 1976. godine SAD su lansirale laserski geodinamički i geodezijski satelit LAGEOS težine 411 kg. Parametri satelitove putanje su: perigej 5850 km, apogej 5945 km i nagib $109,9^\circ$. LAGEOS je u obliku lopte prečnika 60 cm. Opremljen je sa 426 kvadratnih prizmi — reflektora laserskih zrakova. Orbita ovog satelita je izuzetno stabilna zahvaljujući velikom količniku mase i površine poprečnog preseka. Korišćenje satelita se planira na 50 godina, a vek trajanja u orbiti se procenjuje na devet miliona godina. Pomoću pokretnih stanica na Zemlji, vršiče se laserska lokacija satelita LAGEOS sa tačnošću do 2 cm. To znači, da se sa tom tačnošću mogu meriti pomeranja tektonskih ploča, plimski efekti na Zemljinoj kori, mesne promene oblika kore, pomeranja polova i promene Zemljine rotacije. Za naše daleke potomke, na satelitu je utvrđena tablica sa podacima o položaju kontinenata na Zemlji pre 200 miliona godina, u vreme lansiranja satelita i kroz 10 miliona godina, koje je ispisao američki planetolog Karl Sagan.

U toku 1976. godine iz SSSR su u orbitu oko Zemlje lansirani PROGNOZ-5 i INTERKOSMOS-15 i 16. Ovaj poslednji je bio namenjen proučavanju Sunca u ultraljubičastom i rendgenskom delu spektra.

12. avgusta 1977. godine SAD su izbacile izvanredno opremljenu opservatoriju za astrofiziku visokih energija HEAO-1, sposobnu da zabeleži izvore rendgenskog zračenja 10 000 puta slabije od Krab magline. Satelit je bio dugačak 5,5 m a prečnik mu je iznosio 2,4 m. Težina naučne opreme je bila 1300 kg. Posmatranja su vršena u širokom opsegu spektra elektromagnetskog zračenja 0,15 keV—10 MeV, pomoću detektora diskretnih izvora rendgenskog zračenja (7 modula velikog broja srazmernih brojača ukupne efektivne površine 4 m^2), detektora kosmičkog pozadinskog rendgenskog zračenja, skanirajućeg modulacionog kolimatora i bloka scintilatora različite površine i različite debljine, predviđenog za registrovanje tvrdog rendgenskog i niskoenergijskog gama zračenja. U toku prve dve godine rada proučena je jačina, spektar i vremenska promenljivost više od 1100 novih rendgenskih izvora i daleko preciznije određen položaj preko 150 do tada poznatih izvora. Otkriveni su izvori mekog rendgenskog zračenja koji su identifikovani kao obične zvezde, novi rendgenski barsteri i novi kandidati za crne jame. Otkrivena je jedna rendgenska nova pandan optičkim novim. U sazvežđu Labuda, na daljini od oko 2 kps od nas, otkriven je ogroman gasoviti oblak sfernog oblika prečnika 450 ps. Zbog efekta projekcije na nebesku sferu ovaj izvor rendgenskog zračenja je u obliku prstena (prečnika 13°). Ako je reč o ostatku supernove, što je malo verovatno, onda se u vreme njene eksplozije morala osloboditi energija 1000 puta veća no što se obično izdvaja pri eksplozijama supernovih. Posmatranja, u rendgenskom opsegu, dva susedna jata galaksija Abell 401 i Abell 399, otkrila su postojanje džinosvskog oblaka gasa, iz najranijih kosmoloških epoha, koji obuhvata oba galaktička jata i čija je temperatura nekoliko stotina miliona stepeni. Takođe je otkriveno zračenje vrele plazme, temperature od oko šest miliona stepeni, koja je, kako se čini, izotropno raspoređena po celoj nebeskoj sferi.

U septembru 1977. godine SSSR je lansirao PROGNOZ-6 i INTERKOSMOS-17. PROGNOZ-6 je bio namenjen proučavanjima započetim prvim satelitom tog tipa a sa ciljem da se detaljno upozna mehanizam veza Sunce—Zemlja. Slične je namene bio i INTERKOSMOS-17. Za razliku od svojih prethodnika, ovaj je bio opremljen i laserskim reflektorom koji je omogućavao određivanje položaja satelita sa tačnošću od jednog metra.

Za potrebe rendgenske i gama astronomije i za posmatranja Sunca u ultraljubičastom delu spektra Francuska je izbacila 17. juna 1977. godine iz SSSR, satelit SIGNE-3. Satelit je bio opremljen gama teleskopom za beleženje difuznog pozadinskog gama zračenja u rasponu energija 20 keV—10 MeV, za registrovanje diskretnih izvora rendgenskog i gama zračenja iz razmaka 1—2 MeV i za otkrivanje gama bljeskova kosmičkog porekla. Posmatranja Sunca u ultraljubičastoj svetlosti obuhvatalo je razmake 180—195 i 205—220 nm.

Januara 1978. godine SAD su izbacile satelit IUE za astronomska istraživanja u ultraljubičastom delu spektra. U toku prve godine rada satelita posmatrano je više od hiljadu tela i zabeleženo preko 3000 spektara njihovog zračenja. Zabeleženi su spektri asteroida Ceres, Pallas i Vesta, spektri zvezda džinova i superdžinova kasnijih spektarskih klasa, spektri hladnih zvezda α -Aurigae, HR 1099, λ -Andromedae i ϵ -Eridani, u linijama 117,5—200 nm koje se obrazuju u spoljnjim regionima njihovih atmosfera, i spektri pet vrelih zvezda iz Velikog Ma-

gelanovog Oblaka i dve iz Malog Magelanovog Oblaka. U slučaju posmatranja zvezda iz Magelanovih oblaka utvrđeno je postojanje jakih tamnih linija niza visokojonizovanih elemenata, što se objašnjava postojanjem vrele gasovite korone oko Magelanovih Oblaka. Posmatrane su neke patuljaste nove u tvrdom rendgenskom zračenju iznad 2 keV i planetne magline NGC 6210, NGC 7009, NGC 3242 i NGC 6826. Podaci ukazuju na postojanje zvezdanog vetra u maglinama NGC 6210 i NGC 7009. Vršena su merenja međuzvezdane apsorpcije u linijama spektara zvezda HD 149757, HD 93521 i HD 153919. Kod ove poslednje, koja je inače jedan od najsnažnijih rendgenskih izvora, nađen je zvezdani vetar. Lokalizovan je okolni materijal binarnog rendgenskog izvora Cyg X-1. Najzad, posmatrani su i mnogi vangalaktički izvori u ultraljubičastoj svetlosti (sajfertovske galaksije NGC 4151 i NGC 1068, džinovska elipsoidna glaksija M 87, spiralna galaksija M 81, kvazar 3C 273, telo BL Lacertae, itd.).

12. avgusta 1978. godine SAD su lansirale satelit ISEE-3 namenjen proučavanju veza Sunce-Zemlja. Satelit je izveden u orbitu u kojoj nikad ranije nije bio ni jedan satelit. Naime, ISEE-3 na daljini od $1,5 \cdot 10^6$ km od Zemlje, obilazi oko tačke libracije L_1 sistema Zemlja-Sunce u takozvanoj halo orbiti. Sa ove putanje, daleko od uticaja Zemlje, satelit beleži odlike Sunčevog vetra i korpuskulskih tokova iz aktivnih Sunčevih oblasti, najmanje 1 čas pre posmatrača na Zemlji.

13. novembra 1978. godine, u čast predstojeće stogodišnjice rođenja Alberta Ajnštajna, SAD su izbacile drugu opservatoriju za astrofiziku visokih energija HEAO-2 (EINSTEIN) u kružnu orbitu visine 537 km. Uređaji kojima je opremljena ova orbitna opservatorija predstavljaju veliki korak u razvoju praktične rendgenske astronomije. Rendgenski teleskop otvora 58 cm, mase 1450 kg, u području 0,4-5 keV je 1000 puta osetljiviji od rendgenskih teleskopa korišćenih do tada. Pomoću njega je moguće odrediti položaj posmatranog tela sa tačnošću do 2". Srazmernim brojačem sa vidnim poljem $1^\circ \times 1^\circ$, pokriven je spektarski razmak 0,25-4 keV. Satelit je bio namenjen otkrivanju i određivanju pložaja izvora rendgenskog zračenja, snimanju odabranih tela i analiziranju njihovih spektara u vidljivom, ultraljubičastom i rendgenskom opsegu, proučavanju rendgenskog zračenja mladih i starih zvezda, analiziranju spektara ostataka supernovih radi boljeg razumevanja prirode same eksplozije supernove, proučavanju odlika zračenja galaktičkih jata i vremenskih promena emisija rendgenskog zračenja kvazara, jezgara aktivnih galaksija, itd. Zahvaljujući HEAO-2 dobili smo prvu fotografiju jednog rendgenskog izvora udaljenog od nas oko 6 000 svetlosnih godina. Radi se o poznatom rendgenskom izvoru Cyg X-3 za koji se pretpostavlja da je dvojni sistem masivne zvezde i crne jame. Fotos je načinjen pet dana posle lansiranja satelita. Do danas je snimljeno preko 5 000 objekata. Zabeleženi su njihovi spektri vidljivog i rendgenskog zračenja. Otkriveno je postojanje vrelih korona u pojedinim zvezda (za UX Ari temperatura je oko $12 \cdot 10^6$ K). Dobljeni su likovi u rendgenskom opsegu preko 50 ostataka supernovih. Lokalizovani su tačkasti rendgenski izvori u Krab maglini, u Vel X i u RCW 103. Posmatranja rendgenskog zračenja ostataka supernovih bitno su izmenila naše predstave o temperaturi gasne komponente međuzvezdane materije naše Galaksije. Takođe su posmatrani barsteri i rendgenski izvori u zvezdanim jatima. Registrovane su brze promene (reda veličine jednog dana) emisije rendgenskog zračenja jezgara nekih aktivnih galaksija. Proučavano je ultraljubičasto zračenje i gama zračenje Sajfertovih galaksija. Visoka aktivnost centralnih oblasti ovih galaksija se manifestuje haotičnim kretanjem ogromnih gasovitih masa. Posmatran je i veći broj vrlo udaljenih kvazara a otkriveno je i nekoliko kvazara udaljenih 10 milijardi svetlosnih godina.

U oktobru 1978. godine iz SSSR su lansirani sateliti PROGNOZ-7 i INTERKOSMOS-18. PROGNOZ-7 je bio ubačen u orbitu sa perigejem 483 km i apogejem 202 965 km. Osim proučavanja Sunčeve aktivnosti i njenog uticaja na međuplanetsku sredinu i Zemljinu magnetosferu i jonosferu, PROGNOZ-7 je prikupljao podatke o galaktičkom ultraljubičastom, rendgenskom i gama zračenju. U dalekoj ultraljubičastoj oblasti spektra dobijeno je više hiljada spektara pojedinačnih zvezda i zvezdanih jata. Registrovanje spektra pozadine neba u ultraljubičastoj svetlosti u razmaku talasnih dužina 110-190 nm je pokazalo da je maksimum u rasporedu energije na 150 nm, što, kao podatak, može biti od interesa za kosmologiju, s obzirom da zračenje međugalaktičkog helijuma iz ranijih kosmoloških epoha na talasnoj dužini 30,4 nm pada, usled efekta širenja Metagalaksije, upravo u oblast talasnih dužina oko 150 nm u savremenoj epohi. INTERKOSMOS-18, lansiran 24. oktobra, doneo je sa sobom prvi Čehoslovački satelit MAGJON. Od matičnog satelita, MAGJON je odbačen 14. novembra. Dok

su se putanje oba satelita postepeno razilazile, vršena su sinhrona merenja parametara jonosfersko-magnetosferske plazme i niskofrekventnih elektromagnetskih oscilacija. Ovakvo merenje je prvi put omogućilo razdvajanje prostornih od vremenskih odlika merenih parametara.

U septembru 1979. godine lansirana je poslednja opservatorija za astrofiziku visokih energija HEAO-3. Osnovni instrument satelita je gama spektrometar sa kristalom germanijuma zapremine 400 cm^3 . Pri energiji gama kvanta od oko 1 MeV razdvojna moć spektrometra je 2,2 keV. Pomoću ovog spektrometra dobijeni su podaci o visokoenergijskom gama zračenju i o sastavu primarnog kosmičkog zračenja. Prva merenja relativnog sadržaja izotopa gvožđa i kobalta pokazuju da se čestice kosmičkog zračenja ubrzavaju do velikih brzina ne u toku nukleosinteze već nakon nje.

Evropska organizacija INTERKOSMOS nastavila je program istraživanja Zemljine jonosfere i magnetosfere u toku 1979. godine lansiranjem satelita INTERKOSMOS-19.

24. maja 1979. godine Velika Britanija je izbacila ARIEL-6 za potrebe istraživanja na području astrofizike visokih energija. Satelit je opremljen instrumentima za proučavanje supermasivnih komponenti kosmičkih zraka, jačih diskretnih rendgenskih izvora i pozadinskog rendgenskog zračenja neba.

14. februara 1980. godine izbačen je iz SAD satelit SMM namenjen sistematskom dvogodišnjem ispitivanju Sunčevih erupcija i ostalih pojava vezanih za Sunčevu aktivnost u periodu maksimuma. SMM je opremljen rendgenskim polihromatorom, spektrometrom tvrdog rendgenskog zračenja, spektrometrom tvrdog gama zračenja, ultraljubičastim spektrometrom visoke razdvojne moći, polarimetrom ultraljubičastog zračenja, scintilatorom gama zračenja, monitorom ukupnog Sunčevog sjaja i koronografom-polarimetrom bele svetlosti. Načinjeni su izvanredni snimci džinovske erupcije na Suncu 30. aprila 1980. Posmatrano je međudejstvo magnetskih petlji i nastajanje supervrele plazme. Merenja pirheliometrom su pokazala da Sunčeva konstanta nije konstantna. Zabeležen je pad od 0,2% ukupnog Sunčevog sjaja tokom nekoliko dana. Posmatrana je 40-minutna erupcija na Sunčevoj površini 21. maja 1980. godine. Od prvog trenutka, teleskopi satelita su bili fokusirani na najvreliju oblast ove džinovske erupcije. Otkriveno je da je centralna oblast erupcije zagrejana do temperature od oko 100 miliona stepeni.

2. VASIONSKI BRODOVI I ORBITSKE STANICE SA POSADOM

Prvi u istoriji čovekov let u Vasionu ostvario je 12. aprila 1961. godine Jurij Aleksejevič Gagarin, vasijskim brodom VOSTOK lansiranim sa kosmodroma Bajkonur (SSSR) u 9 čas. 07 min. po moskovskom vremenu. Brod težine 4 725 kg bio je ubačen u orbitu sa perigejem 181 km, apogejem 327 km i nagibom putanje prema ekvatoru $64,95^\circ$. Od ukupno 108 minuta, koliko je trajao ovaj istorijski let, 55 je Gagarin proveo u bestežinskom stanju. Eksperiment je pokazao da čovekov organizam odlično podnosi uslove poletanja, bestežinskog letenja i sletanja na Zemlju.

Prvi američki astronaut Džon Glen ušao je u orbitu oko Zemlje vasijskim brodom MERCURY ATLAS MA 6 20. februara 1962. godine i nakon tri obilaska meko se spustio na površinu Atlantika.

14. juna 1963. godine sovjetski astronaut Valerij Bikovski je započeo let oko Zemlje dug 119 časova (82 obilaska) vasijskim brodom VOSTOK-5. Dva dana docnije — 16. juna — pridružila mu se brodom VOSTOK-6 prva žena astronaut u istoriji astronautike. Bila je to Valentina Terješškova. Za tri dana zajedničkog boravka u Vasioni, par Terješškova-Bikovski je obavio obiman naučnoistraživački rad.

Sledeći let sovjetskih astronauta izveden je 12. oktobra 1964. godine brodom VOSHOD težine 5320 kg. U orbiti oko Zemlje, posada broda (Vladimir Komarov, Konstantin Feoktisov i Boris Jegorov) je provela 24 časa i 17 minuta bez uobičajene vasijske odeće (skafandera) zahvaljujući novim konstruktivnim rešenjima broda.

18. marta 1965. godine sovjetski astronauti Pavel Beljajev i Aleksej Leonov, ušli su u orbitu oko Zemlje vasijskim brodom VOSHOD-2. U toku ovog leta ostvaren je prvi čovekov izlazak iz broda u Vasionu (u trajanju od

12 minuta). Čast za ovakav podvig pripala je Alekseju Leonovu, prvom slikaru u Vasioni. Izvežbano oko Leonova je za svega dvadesetak časova aktivnosti na putanji zabeležilo niz do tada potpuno nepoznatih optičkih efekata u Zemljinoj atmosferi i njenoj bližoj kosmičkoj okolini. Pavel Beljajev je prvi astronaut koji je ručnim pilotiranjem vratio vasijski brod iz orbite na Zemlju.

3. juna 1965. godine SAD su izbacile vasijski brod GEMINI—4 sa astronautima Džejsom Mak Divitom i Edvardom Vajtom. Vajt je prvi američki astronaut koji je proveo izvesno vreme (oko 20 minuta) van broda u orbiti.

Novembra 1967. godine SAD su izbacile GEMINI—12 sa astronautima Džejsom Lavelom i Edvinom Oldrinom. Nakon izvršenog spajanja broda sa letilicom AGENA, Edvin Odrin je izašao iz broda i u toku 2 časa i 10 minuta obavljao fotografisanje Zemlje, odabranih zvezda i izlazak Sunca.

Decembra 1968. godine SAD su savladale jednu od najznačajnijih etapa čovekovog prodora u Vasionu. Sa kosmodroma u Kejp Kenediju, 21. decembra izbačen je moćnom raketom nosačem SATURN—V, vasijski brod APOLO—8, težine 38 000 kg, sa tri člana posade — Frenkom Bormanom, Džejsom Lavelom i Vilijamom Andersom. Hrabri astronauti su ušli u putanju oko Meseca tri dana docnije. Za 20 časova i 11 minuta provedenih u orbiti oko Meseca, posada broda APOLO—8 je obavljala snimanja i posmatranja vidljive i nevidljive strane Meseca, merenja gravitacijskih i magnetskih anomalija koje potiču od neravnomerne raspodele podpovršinskih masa i određivala najpovoljnija mesta za buduća spuštanja astronauta na Mesečevu površ. Nakon 147 časova leta, astronauti su se 27. decembra meko spustili na Pacifik sa naučnim materijalom izvanrednog značaja. U toku leta od Zemlje do Meseca i natrag, posada je emitovala pet televizijskih emisija. Na ostvarenju ovog istorijskog poduhvata u SAD je radilo blizu 300 000 ljudi, od kojih oko 40 000 naučnih radnika i inženjera.

Januara 1969. godine ostvarena je još jedna značajna etapa osvajanja Vasiona. Iz SSSR je 14. januara izbačen brod SOJUZ—4 u kojem se nalazio astroanut Vladimir Šatalov a dan docnije SOJUZ—5 sa astronautima Borisom Volinovicem, Aleksejem Jelisejevim i Jevgenijem Hrunovicem. Uspešno je obavljeno planirano spajanje vasijskih brodova, ručnim komandovanjem, u jedinstvenu orbitu, duži boravak dvojice astronauta van brodova, njihov prelazak iz jednog u drugi brod i ispitivanje kompleksa novih sistema kosmičke tehnike. Nakon razdvajanja brodova, prvo se na Zemlju spustio SOJUZ—4 (17. januara) sa trojicom astronauta, a zatim (18. januara) SOJUZ—5 sa Borisom Volinovicem. U oktobru iste godine, SSSR je lansirao u orbitu oko Zemlje tri broda tipa SOJUZ sa ukupno sedam astronauta koji su za pet dana zajedničkog leta obavili različita simultana istraživanja naučnog i tehničkog karaktera.

18. maja 1969. godine izbačen je prema Mesecu APOLO—10 sa astronautima Tomasom Stafordom, Džonom Jangom i Judžinom Sernanom. Na putu do Meseca, oko njega i natrag do Zemlje, u potpunosti su proučene sve pojedinosti leta. Staford i Sernan su se pomoću Mesečevog broda odvojili od matičnog broda u Mesečevoj orbiti i spustili svega 15 km iznad mesta odabranog za prvo aluniranje. Astronauti su na Zemlju doneli bogat foto i kino materijal u crno-belom i kolor tehnici.

16. jula 1969. godine u 13 čas. 32 min. po Griniču, lansirao je vasijski brod APOLO—11 prema Mesecu sa astronautima Nilom Armstrongom, Majklom Kolinsom i Edvinom Oldrinom. Mesečev brod sa Nilom Armstrongom i Edvinom Oldrinom dotakao je Mesečevu površ 20. jula u 20 čas. 17 min. 43 sek. Čovek je prvi put u svojoj istoriji zakoračio na Mesečevu površ 21. jula 1969. godine u 2 čas. 56 min. 15 sek. "Mali korak za čoveka, veliki za čovečanstvo" načinio je Nil Armstrong. U 3 čas. 11 min. Armstrongu se pridružio i Edvin Oldrin. Direktnim televizijskim prenosom, milionima gledalaca na Zemlji je omogućeno bilo posmatranje ovog istorijskog događaja. Nakon 2 časa i 30 min. šetnje po Mesecu, nedaleko od kratera Maskelajn, astronauti su se sa prikupljenim uzorcima Mesečevog tla (21,4 kg) vratili u Mesečev brod, krenuli u susret Majklu Kolinsu, spojili se sa matičnim brodom i kao posada u punom sastavu usmerili brod ka Zemlji. Astronauti su se na površ Pacifika spustili 24. jula u 16 čas. 50 min.

Drugi let na Mesec, od 14. do 24. novembra 1969. godine, izveli su astronauti Čarls Konrad, Ričard Gordon i Alen Bin, brodom APOLO—12. Osim prikupljanja uzoraka tla (35 kg) iz neposredne okoline aluniranja u Okeanu bura, skidanja pojedinih delova automatske međuplanetske stanice SURVEYOR—3 (meko spuštene u ovu oblast aprila 1967. godine) i njenog snimanja kao i postavljanja stanice ALSEP — prvog kompleta instrumenata namenjenih seizmičkim i magnetskim merenjima, detekciji gasova nad Mesečevom površi i spektrometriji Sunčevog vetra, astronauti su na samoj površi i iz orbite vršili niz dragocenih snimanja odabranih objekata i

Posada broda APOLO-13, lansiranog 11. aprila 1970. godine, morala se vratiti neobavljenog zadatka zbog eksplozije u servisnom odseku na domaku Meseca.

Naredna ekspedicija APOLO-14, u vremenu od 31. januara do 9. februara 1971. godine, obavila je podrobnija ispitivanja oblasti Fra Mauro, pored niza drugih istraživanja planiranih programom rada ekspedicije. Astronauti broda APOLO-15 su, od 26. jula do 7. avgusta 1971. godine, obavili niz eksperimenata i prikupili uzorke u podnožju Apenina (u blizini ivice kanjona Hedli) uz korišćenje prvog Mesečevog vozila. Posada broda APOLO-16 (16. – 25. aprila 1972. godine) je uspešno postavila novu naučnu stanicu ALSEP, prikupila gotovo 100 kg uzoraka iz okoline kratera Dekart i postavila prvi poluatutomatski spektroskop namenjen posmatranjima nebeskih tela u ultraljubičastom delu spektra. Obilje činjeničkog materijala i veću količinu uzoraka Mesečevog tla obezbedila je poslednja ekspedicija APOLO-17 (6. – 19. decembra 1972. godine) svojim opsežnim istraživanjima u blizini planine Taurus, južno od kratera Litrov. Ova i prethodne ekspedicije dopremile su na Zemlju 388,4 kg uzoraka Mesečevog tla, desetine hiljada snimaka i merne podatke pet naučnih stanica ALSEP.

Paralelno sa američkim istraživanjima na Mesecu pomoću vasijskih brodova sa posadom, svojeti su radili na realizaciji svog programa vasijskih istraživanja pomoću pilotiranih orbitalskih naučnih stanica. Prva takva stanica SALJUT, osposobljena da primi osam astronauta, snabdevena bogatom naučnom opremom za astrofizička i druga proučavanja i svim što je neophodno za dugotrajan boravak u orbiti, lansirana je 15. aprila 1971. godine. Za šest meseci rada u orbiti stanica je dva puta posećena. Prvi put brodom SOJUZ-10 radi provere mehanizma za spajanje transportnih vasijskih brodova SOJUZ sa stanicom i, drugi put, (8. juna 1971. godine) brodom SOJUZ-11 sa astronautima Georgijem Dobrovolskim, Vladislavom Volkovim i Viktorom Pacajevim koji su, nakon uspešno obavljenih planiranih istraživanja u trajanju od preko 500 časova, tragično poginuli pri povratku na Zemlju.

Obimnija astrofizička istraživanja obavile su, tokom 1975. godine, dve posade stanice SALJUT-4 (A.A. Gubarev, G.M. Grečko, i P.I. Klimuk, V.I. Sevast'janov). Program rada je obuhvatao proučavanje aktivnih oblasti na Suncu, pomoću teleskopa-reflektora sa spektrografom za oblast talasnih dužina 97–140 nm. Dobijeno je 600 spektrograma aktivnih oblasti. Načinjeno je nekoliko spektrograma dve hromosferske eksplozije. Analizom spektara došlo se do zaključka da je zračenje jona u aktivnim oblastima znatno pojačano, da je koncentracija elektrona u aktivnim oblastima 10–100 puta veća nego u spokojnim i da su oblasti magnetnog polja suprotne polarnosti povezane petljama u kojima se materija kreće brzinama i do 100 km/s.

Do 1980. godine SSSR je lansirao u orbitu oko Zemlje šest stanica tipa SALJUT' Složeni programi rada posada stanica povremeno su obuhvatili i astronomska posmatranja. Ipak, težište rada svih posada je bilo na bio-medicinskim, tehničko-tehnološkim i privrednim istraživanjima.

14. maja 1975. godine SAD su izvele svoju prvu orbitalsku naučnu stanicu SKYLAB na putanju sa perigejem 427 km, apogejem 439 km i nagibom $50,04^\circ$. Stanica je bila teška 90 tona, bila je predviđena za dugotrajni boravak tročlane posade i bila je izvanredno opremljena uređajima najrazličitije namene. Kompleks instrumenata namenjenih posmatranju Sunca obuhvatao je spektroheliograf za oblast 15–160 nm žižne daljine 2 m, skanirajući spektroheliograf sa paraboličnim ogledalom za oblast 30–135 nm, rendgenski teleskop za oblast 0,3–6 nm i specijalni teleskop za vidljivi deo spektra sa razdovjnom moći od $1''$. Prva posada (Čarls Konrad, Džozef Kervin i Pol Vajs) se transportnim brodom APOLO prebacila u SKYLAB 25. maja 1973. godine. U stanici je provela 28 dana. Druga posada (Alan Bin, Oven Geriot i Džek Luzma) je provela 59 dana u drugoj polovini 1973. godine. Treća posada (Džerald Kar, Edvin Gibson i Vilijem Poug) je provela 84 dana u prvoj polovini 1974. godine.

Tri posade stanice SKYLAB su obavile ogroman rad na tehničko-tehnološkim i bio-medicinskim eksperimentima, a posebno na astrofizičkim posmatranjima. Spektroheliografom je dobijeno 700 heliograma prečnika Sunčevog lika 18,5 mm. Skanirajućim spektroheliografom dobijene su serije podataka o rasporedu jačine zračenja različitih talasnih dužina po Sunčevom disku. Pomoću rendgenskog teleskopa dobijeno je oko 20 hiljada heliograma snimljenih uglavnom za vreme Sunčevih erupcija. Teleskopom za optički dijapazon dobijeno je oko 50 hiljada heliograma. Načinjeno je više stotina hiljada fotografija Sunca, Zemlje, planeta, zvezda i Kohoutekove komete. Među 300 000 fotografija Sunca su i prvi vanatmosferski snimci džinovskih protuberanaca i specijalni

kolor snimci Sunčeve korone. Obrada heliograma otkrila nam je postojanje oblasti Sunčeve korone sa anomalno niskom gustinom materije i niskom temperaturom. Ove oblasti, poznate kao koronine rupe, su veoma stabilne tvorevine u koroni nad polarnim oblastima u oblasti niskih širina. Za koronine rupe je najčešće vezano unipolarno magnetsko polje koje diverguje u međuplanetski prostor. Stanica SKYLAB se 11. jula 1979. godine raspala i većim delom sagorela u gustim slojevima atmosfere.

3. AUTOMATSKE MEĐUPLANETSKE LETILICE

Prvu automatsku međuplanetsku letilicu PIONEER—1 su lansirale SAD prema Mesecu 11. oktobra 1958. godine. Letilica je dostigla daljinu od 113 800 km od Zemljine površi, vratila se natrag i 13. oktobra sagorela u gustim slojevima atmosfere. Treća letilica istog tipa je bila lansirana prema Mesecu decembra 1958. godine. Dostigavši daljinu od 102 320 km poslala je podatke o merenjima koncentracije naelektrisanih čestica iz oblasti do tada nedostižnih, što je, zajedno sa podacima prikupljenim duž celog puta, doprinelo sticanju novih, određenijih predstava o radijacijskim pojasima oko Zemlje.

2. januara 1959. godine SSSR je lansirao letilicu LUNA—1 prema Mesecu. Letilica je promašila Mesec i postala prvo veštačko telo u orbiti oko Sunca. Sa jednog dela putanje LUNA—1 je slala podatke o pritisku i temperaturi u samoj letilici, zatim podatke o sastavu gasova u međuplanetskom prostoru, o korpuskulskom zračenju Sunca, kosmičkim zracima, magnetskom polju Zemljinom i Mesečevom i mikrometeoritima.

12. septembra 1959. godine SSSR je lansirao automatsku međuplanetsku letilicu LUNA—2, koja dospeva na površ Meseca 14. septembra. Ovaj prvi let u istoriji čovečanstva trajao je dan i po. Popravke putanje prema Mesecu nisu bile predviđene. Težina letilice je bila 390 kg. Magnetometar letilice LUNA—2 je bio znatno osetljiviji od magnetometra prethodne letilice, pa je sa većom sigurnošću utvrđeno da Mesec nema sopstveno magnetsko polje. U toku leta vršena su merenja parametara radijacijskih pojava, energije kosmičkog zračenja i sastava međuplanetske materije. Pri put su izmereni parametri struja Sunčeve plazme u međuplanetskom prostoru.

4. oktobra 1959. godine upućena je prema Mesecu LUNA—3 sa zadatkom da obleti Mesec i snimi za nas nevidljivu stranu Meseca. Na osnovi prvih snimaka nevidljive Mesečeve strane izrađena je i njena prva karta u istoriji.

Prva letilica upućena prema Veneri bila je VENERA—1. Lansirana je iz SSSR 12. februara 1961. godine. Letilica je 19. maja prošla na rastojanju od oko 100 000 km od Venera. Na žalost, u međuvremenu je prekinuta radio-veza sa letilicom. Slično se dogodilo 1962. godine i sa američkom automatskom međuplanetskom letilicom RANGER koja je imala zadatak da u toku "tvrđog" spuštanja na Mesečevu površ pošalje seriju snimaka na Zemlju. Ipak, narednih godina, letilice tog tipa su poslale veliki broj izvanredno oštih fotografija sa vrlo malih udaljenosti od Mesečeve površi.

27. avgusta 1962. godine SAD su lansirale prema Veneri automatsku međuplanetsku letilicu MARINER—2. Letilica je prošla kraj Venere na minimalnoj udaljenosti od 35 000 km i poslala podatke o fizičkim parametrima neposredne Venerine okoline.

U toku novembra 1964. godine SAD su izbacile u prvacu Marsa dve međuplanetske letilice tipa MARINER. Eksperiment sa letilicom MARINER—3 nije uspeo, ali je letilica MARINER—4 postavljene zadatke sa uspehom obavila poslavši podatke o postojanju veoma slabog magnetskog polja Marsa, postojanju male koncentracije naelektrisanih čestica u Marsovoj jonosferi, maloj debljini Marsove atmosfere i poslavši prve, veoma oštre, snimke Marsove površi (ukupno 21 snimak) načinjene sa rastojanja od 17 000 km.

18. jula 1965. godine lansirana je iz SSSR letilica ZOND—3 opremljena uređajima za izučavanje neposredne Zemljine okoline, međuplanetske sredine, Sunčevog vetra, mikrometeorita, kosmičkih zraka i infracrvenog i ultraljubičastog zračenja Mesečeve površi. Poseban zadatak ove letilice je bio snimanje nevidljive Mesečeve strane sa udaljenosti od 9 000 km. Fotografisanje Mesečeve površi je obavljeno u toku jednog časa. Za to vreme je dobijeno 25 snimaka izvanredne oštine.

Prvo meko spuštanje automatske međuplanetske letilice LUNA-9 na Mesečevu površ u oblast Okeana bura, 3. februara 1966. godine, označilo je početak nove etape u istraživanjima Meseca. Pomoću naročitog fototelevizijskog sistema čovečanstvu je prvi put u istoriji prikazan panoramski snimak Mesečeva tla. Iste godine u orbitu oko Meseca je ubačen prvi Mesečev veštački satelit LUNA-10. Od 31. marta, kada je lansirana LUNA-10, do kraja godine su izbačene u selenocentričku orbitu još dve letilice istog tipa ali sa opsežnijim programom istraživanja (koji je obuhvatao i snimanje Mesečeve površi). Druga sovjetska letilica koja je izvršila meko spuštanje na Mesečevu površ, LUNA-13, lansirana je 21. decembra 1966. godine. Pored snimanja okoline mesta aluniranja, letilica je izvršila analizu Mesečevog tla podvrgavanjem uzoraka, automatski iskopanih, fizičko-mehaničkim ispitivanjima.

SAD su prvo meko spuštanje na Mesec izvele 2. juna 1966. godine automatskom međuplanetskom letilicom SURVEYOR-1. Iz oblasti Okeana bura, letilica nam je poslala više hiljada izvanredno oštarih fotografija. SURVEYOR-1 je prva u seriji istog tipa koje su u toku 1966. i 1967. godine, sa različitih tačaka na Mesecu, poslale fotografije i rezultate fizičko-hemijskih analiza Mesečeva tla. 14. avgusta iste godine SAD su lansirale svoj prvi Mesečev veštački satelit LUNAR ORBITER. Sateliti ovog tipa, lansirani tokom 1966. i 1967. godine, načinili su nebrojeno mnogo savršeno oštarih fotografija celokupne Mesečeve površi, što je bilo od neprocenjivog značaja za izbor mesta prvog iskrcavanja ljudi na Mesec.

Prve podatke neposrednih analiza Venerine atmosfere, emitovala je VENERA-4 prilikom mekog spuštanja kroz oblačni sloj, 18. oktobra 1967. godine. Letilica je bila lansirana iz SSSR 130 dana ranije (12. aprila 1967. godine) sa zadatkom da sa Venerine površi pošalje podatke o uslovima koji vladaju u gustoj Venerinoj atmosferi. Na svom putu ka Veneri, letilica je 18. oktobra iste godine, na rastojanju od trećine Venerinog poluprečnika, prvi put registrovala udarni talas koji se obrazuje pri opticanju Sunčevog vetra oko planete. To je ukazivalo na postojanje Venerine magnetosfere. Merenja su, takođe, omogućila prve procene gornje granice koncentracije jona noćne Venerine jonosfere. U toku jednog i po sata spuštanja padobranom korz atmosferu, letilica je emitovala podatke o temperaturi, pritisku i hemijskom sastavu okoline. Na 27 km nad srednjim nivoom površine VENERA-4 je prestala da emituje signale, poslavši kao poslednju poruku podatke da je temperatura okoline 270°C, pritisak 18 bar i sastav oko 90% ugljendioksida, manje od 7% azota i manje od 1,5% kiseonika i vodene pare. Samo dan docnije američka letilica MARINER-5 je, pri prolasku kraj Venere, izmerila temperaturu površi oko 480°C i pritisak oko 75 bar. MARINER-5 je otkrio jonopauzu na visini od oko 500 km nad Venerinom površi. Kroz godinu i po dana, prilikom mekog spuštanja automatskih međuplanetskih letilica VENERA-5 (16. maja 1969. godine) i VENERA-6 (17. maja) dobili smo podatke o Venerinoj atmosferi zaključno sa visinom od oko 20 km nad površi (kada su obe letilice prestale sa emitovanjem radio-signala).

Nakon dužeg prekida u istraživanjima Marsa, SAD su lansirale prema ovoj planeti dve automatske međuplanetske letilice MARINER-6 (25. februara) i MARINER-7 (27. februara 1969. godine). Pri prolasku na 3 500 km od Marsove površi, letilice su snimile oko 10% površine. Na osnovi ovih vanredno oštarih snimaka moglo se pretpostaviti da postoje velike sličnosti između Marsove i Mesečeve površi. Ipak docnija snimanja Marsa su pokazala da se površi Meseca i Marsa bitno razlikuju.

Prvo uspešno meko spuštanje na Veneru izvedeno je međuplanetskom letilicom VENERA-7 koja je izbačena iz SSSR 17. avgusta 1970. godine. VENERA-7 je 15. decembra iste godine dotakla Venerinu površ i 23 minuta emitovala podatke o parametrima atmosfere. Uređaji letilice su registrovali na Venerinoj površi temperaturu od oko 475°C i pritisak od oko 88 bar.

20. septembra 1970. godine, automatska međuplanetska letilica LUNA-16 (izbačena 12. septembra) meko se spustila iz solenocentričke orbite u More plodnosti, pokupila uzorke tla i dopremila ih na Zemlju 24. septembra. Mesec dana kasnije letilica ZOND-8 je obletela Mesec i vratila se na Zemlju sa bogatom zbirkom crno-belih i kolor-fotografija Meseca i Zemlje. 10. novembra iste godine, izbačena je letilica LUNA-17, koja je ponela na Mesec prvo automatizovano Mesečevo vozilo LUNOHOD. Vozilo je obezbedilo veliki radijus delovanja naučne laboratorije koja je na njemu bila smeštena. Za deset i po meseci rada ove jedinstvene pokretne laboratorije obavljena su fizičko-mehanička testiranja tla na više od 500 mesta, a hemijske analize uzoraka na preko 250

mesta. Prvi put su pomoću rendgenskog teleskopa dobijeni snimci nebeskog svoda nad Mesecom u rendgenskom opsegu. Otkriveni su neki diskretni rendgenski izvori vangalaktičkog porekla i difuzno rendgensko zračenje plazme rasute u međugalaktičkom prostoru. Posmatrane su i pojedine veće erupcije na Suncu (erupciju od 13. decembra 1970. godine jednovremeno su pratili i instrumenti letilice VENERA-7).

Maja 1971. godine SSSR je lansirao prema Marsu dve međuplanetske letilice MARS-2 i MARS-3. Letilice su se sastojale iz orbitškog odseka i modula za sletanje na Marsovu površ. 27. novembra modul za sletanje letilice MARS-2 postaje prvo veštačko telo koje dospeva na Mars. Odsek za sletanje, letilice MARS-3 se odvojio od orbitškog odseka i meko spustio na površinu Marsa 2. decembra 1971. godine. U toku emitovanja prvog snimka okoline veza sa odsekom se iznenada prekinula. Merenja uređajima letilice MARS-2 su pokazala da se za visinu granice magnetosfere na dnevnoj Marsovoj strani, može usvojiti vrednost 1000–1500 km. Pokazalo se, dakle, da Mars ima veću magnetosferu nego Venera. Obe letilice su, približavajući se Marsu, prvi put registrovale udarni talas na rastojanju od tri petine Marsova poluprečnika

Rezultati rada orbitških odseka su bili ispod očekivanih zbog ogromne peščane oluje na Marsu. Automatska letilica MARINER-9 je prvim snimcima načinjenim u toku približavanja Marsu potvrdila da je reč o peščanoj oluji planetskih razmera. Nakon stižavanja oluje, MARINER-9 je načinio preko 7000 snimaka gotovo cele Marsove površi i njegovih satelita Fobos i Dejmos, iz orbite sa minimalnim rastojanjem od površi 1280 km, maksimalnim 16 800 km i nagibom 65° . Snimci su nam otkrili grandioznu ekvatorsku provaliju, isušena rečna korita i verovatno najveći vulkan u celom Sunčevom sistemu – Nix Olympica – osnove preko 500 km i visine 24 km. Neočekivano otkriće su i dimenzije Fobosa (20 X 23 X 28 km) i Dejmosa (10 X 12 X 16 km). MARINER-9 je bio lansirana dva dana kasnije od letilice MARS-3, ali je u orbitu oko Marsa ušao 14. novembra 1971. godine i tako postao prvi veštački Marsov satelit.

Drugo meko spuštanje na Veneru (a prvo na njenu dnevnu poluploštu) izvedeno je automatskom međuplanetskom letilicom VENERA-8, 22. jula 1972. godine. Pomoću gama spektrometra je otkrivena slaba radioaktivnost površinskog sloja. Merenja su pokazala da površinski materijal iz neposredne okoline letilice sadrži kalijuma 4%, uranijuma 0,0002% i torijuma 0,00065%, što je karakterističan sastav granitnog stenja na Zemlji. Utvrđeno je da je, kao i u slučaju Zemlje i Meseca, bazaltni materijal osnovni deo Venerine kore. Naročitim fotometrom je konačno utvrđeno da u pogledu osvetljenosti Venerine površi postoji bitna razlika između dana i noći, bez obzira na vrlo gust i debeo oblačni omotač u višim slojevima atmosfere. Izmerena je temperatura atmosfere na površi 470°C i pritisak 90 bar. Analiza je pokazala da Venerinu atmosferu čine oko 97% ugljen-dioksida, manje od 2% azot, manje od 1% vodena para (i to samo u blizini oblačnog sloja) i manje od 0,1% kiseonik.

Januara 1973. godine, automatskom međuplanetskom letilicom LUNA-21 dopremljena je pokretna laboratorija LUNOHOD-2 na Mesec. Laboratorija je duž puta ukupne dužine 37 km obavila niz geološko-morfoloških istraživanja okoline, proučavala Mesečevo magnetno polje, hemijski sastav i fizičko-mehaničke odlike tla, kao i optička svojstva Mesečeve površi.

4. decembra 1973. godine međuplanetska letilica PIONEER-10, lansirana 3. marta 1972. godine prošla je kraj Jupitera na rastojanju od 130 000 km i poslala na Zemlju 340 izvanrednih kolor-fotografija Jupitera i njegova četiri najveća satelita. Snimanje je bilo samo pojedinost opsežnog istraživačkog programa letilice. Od sredine jula 1972. godine do sredine februara 1973. g. PIONEER-10 je prolazeći kroz pojas asteroida, poslala niz neočekivanih podataka. Utvrđeno je da su čestice prašine prečnika oko 10^{-2} mm i mase 10^{-9} g, skoro ravnomerno raspoređene u prostoru između Zemljine orbite i pojasa asteroida i samom pojau, što ne odgovara našim dosadašnjim predstavama. Četiri optička teleskopa su u središnjem delu pojasa registrovala dnevno najviše jednu česticu prečnika 0,1–1 mm (teleskopima su se takve čestice mogle zapaziti na rastojanju do 800 m). Nijedan asteroid reda veličine 10 m nije otkriven. Pokazalo se da je naseljenost pojasa asteroidima zantno manja od očekivane i da pojas ne predstavlja praktično nikakvu opasnost za međuplanetske letove. Prilazeći Jupiteru, PIONEER-10 je utvrdio da Jupiter ima dva magnetska polja izuzetne jačine – obično, dipolno, koje se prostire do 1,28 miliona kilometara od oblačnog pokrivača planete i spoljašnje, diskolike, koje se mesimice prostire i do 12 miliona kilometara. Jačina magnetskog polja na Jupiterovoj površi je oko osam puta veća od jačine magnetskog polja na

Zemljinoj površi. Zapremina Jupiterove magnetosfere je milion puta veća od zapremine Zemljine magnetosfere. Jupiterovi radijacijski pojasi su znatno intenzivniji i prostraniji no što se to ranije pretpostavljalo. Utvrđeno je da postoji vrlo jaka cirkulacija u Jupiterovoj atmosferi i da je Crvena pega meteorološka pojava — grandiozni vrtlog čiji je vek više stotina godina. Stabilnost vrtložnih tvorevina ide u prilog stanovištu da su horizontalna strujanja jača od vertikalnih. Spektroskopske analize su otkrile da Jupiterovu atmosferu čine: 82% vodonik, 17% helijum i 1% drugi elementi. Odnos vodonika i helijuma u gornjim slojevima atmosfere je isti kao za Sunce. Na visini od 13 km nad oblačnim slojem, registrovana je temperatura -145°C . Temperatura gornje granice oblačnog sloja je -120°C . Potvrđeno je da Jupiter zrači 2—3 puta više toplote no što prima od Sunca. Pokazalo se da je satelit Jo masivniji no što se pretpostavljalo i da ima i atmosferu i jonosferu. Atmosfera je debljine 770 km i gustine približno jednake gustini Venerine atmosfere. Zapaženo je da se u toku noći na satelitu Jo obrazuju pahulje metana, koje sa izlaskom Sunca isparavaju za 10 minuta. Na Ganimedu je otkriveno nekoliko krupnijih meteoritskih kratera, svetla polarna oblast i dve tamnije obalsti — južno polarno more i centralno more prečnika 770 km.

5. februara 1974. godine međuplanetska letilica MARINER—10 je prošla kraj Venere na udaljenosti od 5760 km i načinila oko 3 000 izuzetno oštih televizijskih snimaka sa dve kamere i osam različitih filtara. Analiza snimaka je pokazala da se oblačni Venerin omotač sastoji iz najmanje tri sloja. Gornja granica poslednjeg sloja je izuzetno glatka. U tom se sloju, prema podacima letilice, nalazi, najverovatnije, sumporna kiselina koja apsorbuje Sunčevo ultraljubičasto zračenje. Najupadljivija je spiralna građa oblačnih tvorevina. Utvrđeno je da se vazdušne mase podižu sa ekvatora a zatim spiralno spuštaju ka polovima, obrazujući nad obema hemisferama dva džinovska vrtloga sa centrima na polovima. Veliko otkriće je neverovatno brza rotacija celokupne Venerine atmosfere. Smer rotacije je suprotan smeru planetine rotacije. Cela atmosfera se obrne oko sopstvene ose pedeset puta brže no planeta (tj. za četiri zemaljska dana). Na vrhu Venerinog oblačnog pokrivača izmerena je temperatura $-24,4^{\circ}\text{C}$. Zabeleženo je pristustvo vodonika, helijuma i atomskog kiseonika u atmosferi.

Utvrđeno je da Venera ima slabo magnetsko polje za koje se osnovano pretpostavlja da nije sopstveno već indukovano. MARINER—10 je zabeležio jonopauzu na visini od 350 km što, s obzirom na podatak dobijen pomoću letilice MARINER—5, čini opravdanom pretpostavku da Sunčev vetar može povremeno znatnije "pritiskivati" Venerinu jonosferu.

29. marta i 21. septembra 1974. godine, MARINER—10 je proleteo kraj Merkura — prvi put na rastojanju od 725 km i drugi put na rastojanju od 50 000 km. Na preko 2 300 snimaka vidi se da je Merkurova površ slična Mesečevoj. Ceo Merkur je posut kraterima i različitih dimenzija — od 150 m u prečniku do 120 km, i više. Većina kratera je udarnog porekla. Postojanje oštih uzvišenja u centru kratera, čak i vrlo malih dimenzija, ukazuje na postojanje velikog jezgra planete od kojeg se, pri padu meteorita, reflektuje udarni talas. Za razliku od Meseća, na Merkurovoj površi nema mora, a ima izuzetno mnogo nabora koji se ne sreću ni na Mesecu ni na Marsu. Konstatovano je postojanje veoma slabog Merkurovog magnetskog polja. Tanku i veoma razređenu Merkurovu atmosferu čine uglavnom inertni gasovi helijum, neon, argon, ksenon i možda vodonik. Atmosferski pritisak na površi je oko $2 \cdot 10^{-9}$ mbar. Konstatovano je da Merkur ima jonosferu samo nad dnevnom stranom i da se ona prostire do 70 km nad površi. Na noćnoj strani planetinoj zabeležena je temperatura površi -183°C , a na dnevnoj $+297^{\circ}\text{C}$. Merenja su pokazala da je toplotna provodljivost Merkurovog tla gotovo ista kao i Mesečeva.

Februara 1974. godine u orbitu oko Marsa je ušla letilica MARS—5 i obavila niz značajnih posmatranja. Fotografisana je južna Marsova polulopta meren je atmosferski pritisak, određivan je njen hemijski sastav i otkriveno je prisustvo ozona u njoj.

12. marta iste godine prvi put su, uređajima letilice MARS—6, neposredno mereni parametri atmosfere na samoj Marsovoj površi. Nakon emitovanja podataka o okolini u toku mekog spuštanja, MARS—6 je poslala podatak da je pritisak atmosfere na planetinoj površi 6 mbar. Grupa automatskih međuplanetskih letilica MARS—4, 5, 6 i 7, bila je lansirana krajem jula i početkom avgusta 1973. godine. Letilice MARS—4 i 7 nisu obavile u potpunosti predviđene programe. Zaključno sa ovom ekspedicijom na Mars, saznali smo da je Marsova atmosfera 100 puta manje gustine od Zemljine atmosfere, da sadrži najmanje 50% ugljen-dioksida, manje od 0,1% kiseonika i približno isto toliko vodene pare i ugljenmonoksida, da je verovatno preko 90% Marsove atmosfere zaleđeni ugljen-dioksid i voda na polovima, da postoje tragovi ozona u ledu polarnih kapa i u slobodnoj atmosferi i da Mars

ima veoma slabo magnetsko polje.

3. decembra 1974. godine, automatska međuplanetska letilica PIONEER-11, lansirana 6. aprila 1973. godine, prošla je na 43 000 km od Jupiterovog oblačnog sloja i poslala izvanredne kolor-fotografije polarnih oblasti i oblasti sa Crvenom pegom. Analiza fotografija je potvrdila da pega predstavlja viševjekovni vrtlog oblaka u početnoj fazi razvoja, izdignut 9 km nad Jupiterovim oblačnim slojem. Utvrđeno je da je temperatura pege u centru viša od temperature na periferiji pege i okolnih oblaka. Otkriven je deo vodoničnog torusa oko Jupitera, u oblasti putanje satelita Io. Pri prolasku kraj Jupitera letilica je izvedena, podesnim manevrom, 200 miliona kilometara iznad ravnih planetarskih orbita u oblast izvan sloja plazme Sunčevog vetra, gde je Sunčevo magnetsko polje praktično neporemećeno. Merenja su pokazala da se debljina sloja plazme Sunčevog vetra može proceniti na oko 0,1 A.J. Nakon višegodišnjeg putovanja po složenoj trajektoriji PIONEER-11 je, spuštajući se ka ravni ekliptike, prošao kraj Saturna 1979. godine i tom prilikom otkrio najudaljeniji Saturnov prsten, F, i 11. i 12. satelit.

15. marta 1975. godine, američko-nemačka automatska međuplanetska letilica HELIOS-1, lansirana 10. decembra 1974. godine iz SAD na heliocentričnu putanju sa perihelom 46,3 miliona kilometara, zabeležila je u okolini perihela izuzetno burna strujanja plazme u Sunčevom vetru. Letilica je bila namenjena proučavanju Sunca i njegove okoline. Jedan od neočekivanih rezultata je otkriće povećavanja koncentracije čestica prašine i gustine mikrometeoritskih tokova sa približavanjem Suncu. Na rastojanju od 0,2 A.J. zabeleženo je povećanje koncentracije čestica prašine mase veće od 10^{-12} g četiri puta, a gustine mikrometeoritskih tokova 15 puta u odnosu na vrednosti koje se imaju u neposrednoj Zemljinjnoj okolini.

Oktoobra 1975. godine prvi put su načinjeni snimci Venerine površi u neposrednoj okolini meko spuštenih automatskih međuplanetskih stanica VENERA-9 i VENERA-10 (izbačenih u pravcu Venere juna 1975. godine). VENERA-9 se meko spustila 22. oktobra na Venerinu površ i, u toku 53 minuta rada na površi, slala podatke o atmosferi i snimke okoline. VENERA-10 se meko spustila tri dana docnije i, u toku 63 minuta rada na površi, ponovila program istraživanja prethodne letilice. Na vrlo jasnim snimcima okoline stanica, mogla se zapaziti neočekivano jaka dnevna osvetljenost površi. Snimljeno kamenje je iznenađujuće oštih ivica i ravnih strana. U toku leta ka Veneri i spuštanja na površ obe letilice su slale rezultate neprekidnih merenja parametara sredine kroz koju su prolazile.

17. marta 1976. godine, međuplanetska letilica HELIOS-2, lansirana 15. januara iste godine na heliocentričku putanju sa perihelom 43,4 miliona kilometara i periodom obilaženja oko Sunca 186 dana, registrovala je za vreme jedne snažene erupcije na Suncu, 100 000 puta jače rendgensko zračenje od normalnog. Pojavu su zabeležili i instrumenti letilice HELIOS-1.

Sredinom 1976. g. uspešno su se meko spustili odseci za sletanje automatskih međuplanetskih letilica VIKING-1 (lansirane jula 1975. g.) i VIKING-2 (lansirane septembra 1975. g.). Orbitalni odseci letilica su obavljali kartografska, geološka, aeronomska i meteorološka istraživanja. Odseci za sletanje su poslali prve izuzetno kvalitetne kolor-snimke iz ravnice Kris i ravnice Utopija. Pomoću ovih odseka obavljena su fizičko-mehanička i hemijska ispitivanja tla i izvedena su tri biohemijaska eksperimentna koja nam, na žalost, nisu dala konačan odgovor ima li na Marsu života ili ne. Analize su pokazale da tle sadrži deset puta više broma no što se očekivalo i da je bogato hlorom. Letilice VIKING-1 i VIKING-2 su nam poslale rezultate prvih neposrednih merenja koncentracije jonskih komponenti Marsove atmosfere sve do površi na dnevnoj strani i omogućile da visinu gornje granice Marsove jonosfere procenimo na 300-350 km.

Obe letilice su konačno potvrdile da su globalne Marsove peščane bure bitan činilac njegove klime. Bure se odvijaju mahom leti, na Južnoj polulopti, zahvaljujući temperaturskoj razlici između polarne ledene kape i oblasti oko nje, koje su bez leda i snega. Globalnim burama prethodi stvaranje mesnih bura koje zahvataju oblasti prečnika 3000 km. Orbitalni odseci su registrovali smanjenje količine vodene pare četiri puta u sloju od površine Marsa do visine od 10 km. Panoramski snimci su pokazali da je jedini vizualni pokazatelj globalnih bura — gubljenje oštine linije horizonta zbog pogoršavanja vidljivosti u atmosferi. Godišnja eolska erozija Marsove površi nije, kako se ranije pretpostavljalo, reda veličine centimetra već 10-100 nm. Dolazak zime na visokim širinama (VIKING-2) se ispoljava pojavljivanjem snega (smrznute vode), a na širinama bliže ekvatoru (VIKING-1) samo promenom temperature i pritiska.

Snimci Marsove površi, dobijeni sa visokom razdvojnomoći, pokazuju da su rasprostranjene oblasti vrlo bogate sasvim malim kraterima, što znači da Marsova atmosfera ne razara male meteorite koji na površi mogu stvoriti

kratere prečnika manjeg od 40 m. Utvrđeno je, takođe, da je količina lave koju su izbacila tri džinovska vulkana na Marsu daleko veća no što se ranije pretpostavljalo. Ogromna polja peščanih duna otkrivena su u neposrednoj okolini severne polarne kape. Otkriven je i jedinstven tip kratera u Sunčevom sistemu, koji je uobičajen za Marsovu površ. Reč je o kraterima čije se minimalne dimenzije kreću od 1 km u prečniku (na visokim širinama) do 6–8 km (na ekvatoru), za koje je svojstveno da su okruženi zrakastim nanosima u obliku latica na cvetu. Verovatno su to zamrznuti nanosi blata koji se topljenjem leda obrazuju od smrznutog tla u trenutku udara meteorita.

22. avgusta 1976. godine automatska letilica LUNA–24 je dopremila na Zemlju uzorke Mesečeva tla iskopanog sa 2 metra dubine. LUNA–24 je bila izbačena 9. avgusta, 14. avgusta je ušla u selenocentričku putanju, a 18. avgusta se meko spustila na Mesečevu površ. Nakon uzimanja uzoraka tla, 19. avgusta je LUNA–24 upućena ka Zemlji. S obzirom na obimnost rezultata proučavanja Meseca automatskim letilicama i vasionkim brodovima sa posadom, navešćemo grubo samo neke od njih. Pre svega, utvrđeno je postojanje znatne razlike u hemijskom sastavu materijala od kojeg su sačinjeni Mesečeva površ, Zemljina površ i meteoriti. Utvrđen je iznenađujuće visok procenat titana u bazaltnom Mesečevom materijalu. Otkriveni su maskoni – relativno izolovane mase veće gustine ispod Mesečevih mora, i magkoni – mesne koncentracije jačeg magnetizma. Nedvosmisleno je utvrđeno da Mesec nema opšteg magnetskog polja, nema atmosfere i da je znatno veći procenat kratera udarnog porekla nego vulkanskog.

U decembru 1978. godine Veneru su proučavale četiri automatske međuplanetske stanice: PIONEER–VENUS–1, PIONEER–VENUS–2, VENERA–11 i VENERA–12. Prve dve su izbacile SAD 20. maja i 9. septembra 1978. godine. Druge dve je lansirao SSSR 9. i 14. septembra 1978. godine.

PIONEER–VENUS–1 je ušla u putanju oko Venere 4. decembra sa zadatkom da radarski kartografiše tle, prati cirkulaciju atmosfere, vrši registrovanje fizičkih parametara atmosfere i analizira njen hemijski sastav. PIONEER–VENUS–2 se sastojala od jedne veće sonde, tri manje i nosača sonde. 9. decembra sonde su pale na tle a nosač je izgoreo u atmosferi. U toku leta kroz atmosferu, sonde su slale obilje podataka. Jedna od tri sonde je i nakon pada nastavila da emituje podatke o vrednostima fizičkih parametara atmosfere na površi i o sastavu atmosfere. Pomoću prve letilice kartografisano je 93% Venerine površi. Pomoću obe letilice utvrđeno je da atmosferu čine oko 97% ugljendioksid, manje od 3% zato i manje od 1% helijum, argon, vodena para, sumpordioksid, kiseonik, sumporna kiselina, itd. Potvrđeno je da je pritisak atmosfere na srednjem nivou površi oko 90 bar i temperatura 460°C. Otkriveni su hladni prstenasti oblaci oko polova. Otkrivena je, takođe, jonsfera nad Venerinom noćnom stranom.

Krajem decembra 1978. godine, na Venerinu površ meko su se spustile automatske međuplanetske letilice VENERA–11 (25. decembra) i VENERA–12 (21. decembra). Prva je bila izbačena 9. septembra, a druga 14. septembra 1978. g. Obe letilice su nam poslale dragocene podatke o sastavu i temperaturi atmosfere i tla i o izuzetno jakim i čestim električnim pražnjenjima u Venerinoj atmosferi. Za registrovanje električnih pražnjenja na Veneri, letilice su bile opremljene visokoosetljivim superdugotalasnim radioprijemnikom (8–90 kHz). U vreme spuštanja letilice gromovi su bili izuzetno česti (po 30 u sekundi) a dešavali su se u šest različitih oblasti. Pošto je visina oblaka 49 km, malo je verovatno da je reč o pražnjenjima između tla i oblaka. Verovatnije je da su to pražnjenja između pojedinih oblačnih tvorevina. Energija električnih pražnjenja je približno jednaka energiji pražnjenja na Zemlji, ali je učestalost mnogo veća. Obe stanice su zabeležile naglo povećanje jačine elektromagnetnog polja na visini 7–8 km. Ovo povećanje su zabeležile i sonde PIONEER–VENUS.

5. marta 1979. godine automatska međuplanetska letilica VOYAGER–1 je prošla kraj Jupitera na daljini od 277 000 km, a VOYAGER–2 na rastojanju od 65 000 km 9. jula iste godine. Obe letilice su, osim merenja fizičkih parametara sredine kroz koju su prolazile i spektroskopskih analiza Jupiterove atmosfere, obavljale sistematsko dvomesečno snimanje Jupitera i njegovih satelita i načinile preko 30 hiljada fotografija visokog kvaliteta. Otkriven je Jupiterov prsten i torus jonizovanog gasa u oblasti putanje satelita Jo. Utvrđeno je da je pega hladnija za 3° od okoline čija je temperatura –110°C. Utvrđeno je da crvena boja pege potiče od fosina (PH₃). Registrovana su džinovska električna pražnjenja u Jupiterovoj atmosferi. Zabeležene su pojave polarne svetlosti izuzetno jake u ultraljubičastom opsegu. Otkriveno je osam aktivnih vulkana na Jupiterovom satelitu Io. Visine erupcija su se kretale od 100–300 km, a početne brzine od 0,5–1 km/s. Otkriven je 14. Jupiterov satelit preč-

nika 30–40 km. Fotografije su pokazale da je Kalisto gusto posut kraterima, da je Evropa gotovo u potpunosti lišena bilo kakvog reljefa, ali da je prekrivena složenim sistemom pukotina, širine 50 km i dubine 100 m, zbog čega je nalik razbijenom jajetu. Utvrđeno je da je Ganimed nešto bogatiji u morfološkom pogledu.

12. novembra 1980. godine VOYAGER–1 je prošla kraj Saturna na minimalnom rastojanju od 124 000 km i na svega 4000 km od najvećeg Saturnovog satelita Titana. Letilica je potvrdila postojanje prstena D koji leži najbliže Saturnu i prstenu F koji je najudaljeniji (između putanja Tetije i Dione). Ima znakova da je zabeležen i sedmi prsten G (između Reje i Titana). Glavni je rezultat, međutim, otkriće da se svaki od prstenova sastoji od veoma velikog broja uskih prstenova. Iznenadujuće je da nemaju svi prstenovi savršeno pravilan oblik. Kod jednog je zapaženo da mu se širina menja od 25–80 km. Tri uzana prstena iz prstena F su isprepletani, za što se još uvek nije našlo objašnjenje koje zadovoljava. Debljina prstena A, B i C je oko 1,3 km. Dimenzije čestica se kreću od mikrometra do kilometra. U sastav prstena F ulaze i krupnija tela (20–30 km) međusobno razdvojena širim razmacima. Iznad i ispod svih prstenova je vodonični halo. Čestice su verovatno od vodenog leda i hidrata metana i amonijaka.

U Saturnovoj atmosferi se vide trake, vrtlozi, oreoli i pege različitih boja koje su slične oblačnim tvorevinama na Jupiteru. Otkrivena je crvena pega prečnika 1250 km. Zapažene su tamne ovalne tvorevine koje postoje tokom više meseci. Ranije se smatralo da je Titanova atmosfera od metana. Spektrometri letilica VOYAGER su pokazali da Titanova atmosfera sadrži 93% azota a da sadržaj metana nije veći od 1%. U manjim količinama je prisutan etan, etilen, acetilen i vodonik. Metan je usredsređen u gornjem delu Titanove atmosfere. Debljina atmosfere je 10 puta veća od debljine Zemljine atmosfere a pritisak dva do tri puta veći. Titanov prečnik je 4940 km. Pretpostavlja se da pripada planetama Zemljinog tipa. Otkrivena su tri nova satelita: 13. 14. i 15. Putanja poslednjeg (najbližeg Saturnu) leži na spoljašnjem obodu prstena A. Period mu je 14 h. 20 min. a prečnik 80 km. Na površini Tetije je otkrivena kružna tvorevina prečnika 300 km. Po svemu sudeći to je uzvišenje a ne Krater. Otkriven je i kanjon dužine 800 km. Na snimku Mimas (prečnik 590 km) načinjenom sa daljine 660 000 km vidi se krater prečnika 130–170 km. Na snimku Dione, vidi se krater okružen svetlim trakama. Moguće je da se u trenutku obrazovanja kratera u pukotine izlila voda. Na snimku Reje vide se ledeni pokrivač, krateri i druge pojedinosti površi kore. Encelad je galtke kore i bez kratera.

Prilog 3

Nenad Janković

PREGLED ISTORIJE ASTRONOMIJE U JUGOSLOVENSKIM ZEMLJAMA

U starije vreme, u srednjem veku, u jugoslovenske zemlje prodirahu uticaji s jugoistoka, iz Vizantije, i jugozapada, iz Rima odnosno Italije. Ovi, unekoliko različiti uticaji, kao i dugo vreme provedeno pod vlašću osvajača različite obrazovanosti, učiniše da se nauka, pa i astronomija, na području sadašnje Jugoslavije ne samo ne jednako razvija, nego i da dođe do dugoga zastoja u razvoju. Samo u Dubrovniku, malom ostrvu sloboden, astronomija napreduje u skoro redovnim prilikama, da bi i tamo usahla sa gubitkom samostalnosti početkom XIX veka. U ostalim krajevima, iako pod tuđinom, malo po malo javljaju se pojedinci koji nastoje da sebe i druge upoznaju a astronomskim zanjima i pojavama. Ako se izuzme Dubrovnik, jača nastojanja u tome smeru izražavaju se krajem XVIII i u XIX veku, a pod uticajem zapadnoevropske nauke. Ovo, međutim, ne znači da ranije ne beše zanimanja za astronomiju, ali nedostajahu uslovi za najno ozbiljnije proučavanje.

I Prevodilački i prerađivački rad

Pošto se sretoše sa starim civilizacijama Grka i Rimljana Sloveni na Balkanskome poluostrvu primiše njihovu pismenost i druge kulturne tekovine, pa i na području astronomije. Bez svojih dovoljno učenih ljudi, želju za saznanjem zadovoljavahu prevodima s grčkog i latinskog jezika, a donekle i preradama štiva na tim jezicima. Beše ih mnogo više u istočnim krajevima, gde u crkvenom i svetovnom životu preovlađivaše narodni jezik, nego u zapadnim, gde se bogoslužbena i druga stručna dela čitaju i pišu uglavnom na latinskom.

Među najstarija dela od većega značaja ubraja se **Šestodnev** Jovana Egzarha bugarskog (X vek), koji na srpski preveđe Gramatik Teodor, u Hilandaru 1263, po nalogu i uz pomoć monaha Domentijana (XIII vek). U ovome delu objašnjava se postanak sveta, po Mojsiju, pa otuda dosta odeljaka o nebu, Zemlji i njenoj veličini, dnevnom i godišnjem kretanju Sunca, a osporavanje vrednosti astroloških predviđanja pruža povod za pominjanje zodijaka i planeta. Piscu treba pripisati u zaslugu što se koristi i delima klasičnih helenskih astronoma. Zašto zastupa gledište da je Zemlja lopta, usamljena u prostoru, koja u obimu ima 252 000 stadija, po Eratostenu (-III vek). Dela iste namene potiču i od drugih pisaca, kao Vasilija Velikog i Jovana Zlatoustog, takođe prevedena, ali za atronomiju mnogo manje značajna, iako se sastavljač **Šestodneva** od 1263. koristi njima, naročito obilno onim prvim. Delo Jovana Egzarha preveo je potom inok Gavriilo (XVII vek) u manastiru Svete Trojice, 1649.

Neka druga dela imaju za svrhu upravo tumačenje astronomskih pojava. Među njima ističu se **Odlomci kosmografije**, kako ih nazva Stojan Novaković, objavljujući ih 1884. Pisac ovoga dela, nepoznat, sačuvanog u rukopisu s kraja XV veka, ne prevodi jedno delo, već iz više dela sastavlja jednu celinu. Najviše se koristi dvama spisima Mihaila Psela, a znantno manje besedama Vasilija Velikog. Psel se u svemu drži učenja helenskih filozofa, pa je čitalac mogao dobiti pravilna obaveštenja: o obliku Zemlje i kako se dokazuje da je loptasta, da u obimu ima 250 000 stadija, koliko Zemlja ima toplotnih pojaseva i kako nastaju godišnja doba, zatim nešto o elementima, o prirodi zvezda, pomračenjima i kometama. Sve što je napisano jednako je znanjima u ostaloj Evropi pre Kopernika. Ima i nešto podataka o meteorološkim pojavama i trusu. Ozbiljnost **Odlomaka kosmografije** remete stavovi o Okeanu koji okružuje Zemlju i ponešto iz astrologije, što je uzeto iz drugih izvora. Rukopis veoma sličnoga sadržaja, nešto docnijega datuma, izgoreo je u Narodnoj biblioteci u Beogradu 1941.

Veoma opsežno delo pod naslovom **Hrišćanska topografija** Kosme Indijoplova (VI vek) sačuvano je u prevodu pomenutoga inoka Gavriila u rukopisu od 1649. oslikanom rukom živopisca Andrije Raičevića (XVII vek). Nasuprot navedenim delima, ovo zastupa sasvim pogrešno shvatanje: Zemlja je oblika klina uronjenog donjom stranom u Okean bez kraja, dok je gornja strana klina, ona na kojoj su ljudi, ravna, pravougaona i nagnuta od severozapada ka jugoistoku; nebo oblika zasvedenoga poklopca drže neki stubovi usađeni duž ivica Zemlje; nebeska tela su mala, a posmatraču nestaju iz vida, na zapadu, jer u svom dnevnom kruženju bivaju zaklonjena uzdignutom severozapadnom stranom Zemlje; Sunce obilazi Zemlju krećući se naporedo sa pvoršinom Okeana, ali se u zavojnici penje i spušta od jednog do drugog povratnika, pa se tako objašnjavaju nejednakosti dana i noći i godišnjih doba. Kosma, veliki putnik i još veći štovalac **Staroga zaveta**, piše s namerom da pobije učenje helenskih astronoma o loptastoj Zemlji i nebu, oslanjajući se na delo pisano u druge svrhe, a ne radi objašnjenja prirodnih pojava. Zato Kosmino učenje, u neskladu sa prirodom, ne usvajaju ni ozbiljni crkveni pisci, a protivte mu se i neki naši.

U pojedinim zbornicima, knjigama raznovrsnog sadržaja, mogu se naći odeljci posvećeni astronomiji. To je slučaj s jednim rukopisom Narodne biblioteke u Beogradu, iz XVI veka (br. 36), u kojem ima nešto malo građe o planetama, zodijaku i prirodi neba, a sadrži i neke astrnomske tablice. U jednom drugom zborniku, iz XVIII veka (zbirka R. Grujića br. 127) reč je o nebeskim sferama, daljinama pojedinih planeta i njihovim veličinama, pa i veličinama zvezda, među kojima su neke deset puta veće od Zemlje. Svi podaci veoma su proizvoljni. Sličnih dela sa delimično astronomskim sadržajem ima dosta.

Astrologija beše nekad veoma uvažavana — a i danas je — pa dosta pisaca prevodi ili prerađuje strana astrološka dela. To je, naprimer, **Zvezdočatac** u kojem se govori o zodijaku i njegovim znacima, o tome kojeg datuma Sunce ulazi u svaki od njih, pa se savetuje kako iznaći dan u koji Mesec počinje opadati; ovome sledi popis dobrih, zlih i srednjih znakova i preporuka šta u koje dane treba ili ne treba raditi. Slični su **Kolednici** i **Gromovnici**, u kojima se gata po danu u koji padnu koleda ili po grmljavini u vezi sa zodijakom. Ima i gatanja po Mesecu kao u **Libru od mnogijeh razloga**, nastalom u Dubrovniku 1520. pa i o kometama ili zvezdama padalicama, kao u **Tumanskom zborniku** iz XVI veka, u rukopisu (JAZU III a 10). Potrebno je, međutim, istaći da se zvanični krugovi, i državni i crkveni, protivljahu širenju astrologije, što pokazuje ne samo obimno izlaganje u rukopisu od 1263, već i dosta odredaba iz **Sintagmata** od 1335, koji sastavi Matija Vlastar (XIV vek), a koji se u srpskoj srednjevekovnoj državi primenjivaše naporedo sa zakonom.

II Astronomske tablice i kalendari

Kalendar oduvek beše važan, ne samo radi blagovremenog obavljanja poljoprivrednih radova, već i radi utvrđivanja praznika. Briga za tačnim izračunavanjem datuma Uskrsa — promenljivog jer se određuje po kretanju Meseca — izazva pojačanu pažnju ovome pitanju u hrišćanskom svetu. Treba znati da su pravila za izračunavanje datuma Uskrsa različita u pravoslavnoj i katoličkoj crkvi, te njihovo praznovanje samo ponekad pada u isti dan.

Kalendarom se u srednjem veku bave mnogi latinski pisci, pa iz njihovih radova lako dospevaju potrebni podaci u jugslovenske zemlje pod Austrijom, Mlecima i u Dubrovnik. Zbog krajnje varvarske uprave u istočnim krajevima, odsečenim od jednog izvora podataka, pojedinci prepisuju i prepravljaju potrebne tablice i sastavljaju kalendare. Najstariji od ovih kalendara ostadoše u rukopisima, a među sastavljačima poznatog imena su Gavrilo Troičanin i Gavrilo Stefanović Venclović.

Pažnju zaslužuju i neki drugi astronomski podaci koji se obično nalaze uz rukom pisane kalendare. Među njima su tablice kruga Meseca od 19 godina, sa navedenim datumima mladine i uštapa za svaki mesec u godini, uz napomenu da se krug potom ponavlja. U nekim od ovih tablica uz navedene datume stoje i napomene o pomračenjima Sunca i Meseca: dan, mesec, čas dana ili noći, pa i veličina pomračenja u "prstima" iskazana. To bi bio slučaj sa *Hodoškim zbornikom* s početka XVI veka i nešto poznijim rukopisom Narodne biblioteke u Beogradu (br. 36). U ovom potonjem rukopisu nalaze se i objašnjenja: kako naći koliko Mesec svetli svake noći, kako se određuje njegova starost i vreme njegova izlaza, kako se izračunavaju krugovi Sunca i Meseca. Drugde se može naći u koji dan Sunce ulazi u pojedini zodijački znak i koliko dana i časova u njemu ostaje, kao u rukopisu *Patrijaršije* od 1664. (br. 29) ili u *Studeničkom zborniku* s kraja XVII veka (sada u Bolonji).

Prvi štampani kalendari ne razlikuju se mnogo od rukopisnih. Pojavljuju se dosta rano. Već 1520. Božidar Vuković svome *Zborniku* prilaže ranije uobičajene kalendarske podatke i tablice, a Primož Trubar izdaje prvi kalendar 1557. i ponovo 1582. Jakob Štraus, iz Ljubljane, prof. na Univerzitetu u Beču, izdavao je astronomske almanahе sa efemeridima od 1559—1583. i od 1587—1590. Andrej Cergol iz Vipavskog Križa, i Andrej Kabau, iz Cerknice su objavili u 18. veku više studija iz hronologije. Zatim se pojavljuje kalendar Matije Divkovića od 1611. i Ivana Bandulovića od 1613. oba uz drugo štivo Pavla Vitezovića, koji izlazi od 1691. do 1705. Docnije, u XVIII i naročito u XIX veku, kalendari su veoma česti i poznati u svima krajevima. Rađeni uglavnom po uzoru na nemačke kalendare, oni pružaju podatke o menama Meseca, pomračenjima, izlazima Sunca, ponekad o planetama i drugim astronomskim pojavama. Neki među njima izlaze po dugi niz godina. U to vreme i Franc Brekerfeld iz Ljubljane piše rasprave iz hronologije. On je u poznijim godinama postao astronom na Kraljevskoj opservatoriji u Klužu (Rumunija).

Pojavile se i večni kalendari, oni koji se mogu kroititi dugi niz godina. Jedan od njih štampa Zaharije Stefanović Orfelin, koji kalendarskome delu dodaje i neku malu kosmografiju. Može se navesti i stoletni kalendar, od 1819. koji je izdao Tomaš Mikoušić.

Korisna uputstva o sastavljanju kalendara objavio je Emilijan Berberović, istina tek 1881. u svojoj *Kalendarografiji* ili *nauci o kalendaru*.

Tokom vremena nastala velika razlika između prividnoga kretanja Sunca i julijanskoga kalendara, te i potreba za njegovom reformom. U reformi usvojenoj 1582. od strane Grgura XIII učestvovao je Nikola Najlašević, ne lično, zbog starosti, već jednim spisom, a posle reforme o njoj će pisati Ambrozije Gučetić u *Reformatio calendarum*.

Gregorijanski kalendar uveo je u Austriju i mađarsku car Rudolf II, ali srpski živalj nije ga usvojio, zaštićen pritiskom vlasti carskim poveljama. "Novi kalendar" nije prihvaćen ni u istočnim krajevima, kao ni u ostalim pravoslavnim zemljama sve do početka XX veka. Na reformu julijanskoga kalendara u njima se pomišlja tek krajem prošloga veka. Posle nekih potpuno neostvarljivih predloga, prvi Đorđe Stanojević predlože, 1892. da se ubuduće svake 128. godine izostavi po jedan dan. Ovaj predlog osta bez podrške. Zatim Ljubomir Uzun-Mirković, u knjizi štampanoj 1898. predlaže izjednačavanje julijanskog sa gregorijanskim kalendarom izostavljanjem po jednog ili dva dana u nekim mesecima, kako bi se otklonila razlika od 12 dana. Nije, dakle, u pitanju prava reforma.

Pravom reformom bavi se Maksim Trpković. Svoje poglede on izlaže u više radova objavljenih od 1900. do 1921. Uzevši za dužinu tropske godine vrednost 365 d. 5 č. 48 m. 48 s, Tripković nalazi da se ona od julijanske godine razlikuje za 11 m. 12s, pa zbog toga posle tačno 900 julijanskih godina javlja se višak od 7 dana u odnosu na tropske godine. Da bi se oduzelo ovih 7 dana, bile bi prestupne, po Tripkoviću, samo one sekularne godine koje podeljene sa 9 daju ostatak 0 ili 4.

Skoro istovremeno, 1900. Milan Nedeljković objavljuje svoj rad o kalendaru *Projekt de reforme du calandrier* (Predlog za reformu kalendara). On uzima Njukombovu vrednost za dužinu godine: 365 d. 5 č. 48 m. 45 s, 975456, sa sekularnom promenom od $-0^s,530496$. Želja mu je da početak proleća uvek bude 21. marta, a to postiže umetanjem prestupnih godina. Ali, s obzirom da u ovome slučaju ne bi bila prestupna svaka četvrta godina — što je ustaljena navika — Nedeljković zadržava njihov dosadašnji red, s tim što bi sekularne godine bile proste, osim onih koje je izračunao za razdoblje do 12000. godine.

Nešto potom, 1905. pojavljuje se predlog Petra Tine: godina od 12 meseci sa po 30 dana, svaki mesec od po 5 nedelja od po 6 dana i prekobrojna nedelja različite dužine, da bi se kalendar doveo u sklad sa Suncem.

Poslednji poslanik na ovome polju bio je Milutin Milanković član delegacije na Svepravoslavnom kongresu u Carigradu, 1923. koji je raspravljao o reformi kalendara. Milanković polazi od Trpkovićevoga predloga, ali ga nekoliko menja, uglavnom iz dva razloga: prvo, što se dužina godine postepeno menja, iako veoma sporo, drugo, što bi se kalendar ispravljen po Trpkoviću razišao od gregorijanskog već godine 2000. Usvajajući za prestupne samo one sekularne godine koje podeljene sa 9 daju ostatak 2 ili 6, Milankovićev kalendar odvojio bi se od gregorijanskog tek godine 2800. Kongres je usvojio ovaj predlog, ali on nije sproveden u život.

U novije vreme javljaju se astronomski godišnjaci (efemeride) s prividnim položajima nebeskih tela za dotičnu godinu i podacima o važnijim pojavama u toku godine. Prvo u Zagrebu, u okviru Hrvatskog prirodoslovnog društva odn. Zagrebačke zvezdarnice "Almanah Bošković" 1918. g., koji s manjim prekidima izlazi sve do danas. Zatim u Beogradu, u izdanju Astronomske opservatorije: "Annuaire astronomique" od 1929—1934. g., "Nautički godišnjak" od 1934—1941. g., koji je dalje postao izdanje Srpske akademije nauka i umetnosti, a zatim Hidrografskog instituta JRM u Splitu i izlazi sve do danas, "Godišnjak našeg neba" od 1930—1952 (s prekidima), zatim je postao izdanje SANU i ubrzo su ugasio. U današnje vreme, pored "Almanaha Bošković" izlaze astronomske efemeride "Naše nebo" u izdanju Astronomske opservatorija SR Slovenije i u beogradskoj "Vasioni".

III Instrumenti i opservatorije

Vrme se nekada merilo sunčanica, pa otud u spisima podaci o dužini senke gnomona. Ona se daje u stopama, za pojedini čas dana i svaki mesec u godini. Noću su korišćeni peščanici. Od starijih zidnih sunčanika sačuvan je onaj na crkvi manastira Studenice, istina bez igle. Dosta sunčanika mnogo mlađega postanka mogu se naći na raznim građevinama, i po manjim mestima, kao u Somboru, gde ih je postavio Julijan Čokor. Bilo je i mehaničkih časovnika. Takav bi bio časovnik koji pominje sveti Sava u *Studeničkom tipiku*. U Dubrovniku javni časovnik postojao je od 1389, a monah Lazar iz Svete Gore pravi jedan časovnik u Moskvi, 1404. na kneževom dvoru, koji objavljivaše časove udarcima čekića o zvono. Mnogobrojne sahat-kule behu opremljene ovakvim časovnicima.

Ivana Česmičkog zanima astronomija, želi da nabavi neki instrument, pa se pismom iz Pečuja, od 1466, obraća Ivanu Gazuliću u Dubronik. Pošto mu oda priznanje za neke radove, Česmički ga zamoli da mu izradi Ptolemejevu sferu i druge instrumente, a on će mu naknaditi troškove. Gazulić beše poznat i dalje, pa ga pominje i Regiomontan. Drugi Dubrovčanin koji se bavi izradom instrumenata je Vlaho Držić. Poznata je jedna armilarna sfera koju je načinio po nagovoru i uz pomoć Nikole Nalješkovića. Markantun Gospodnetić bavio se ogleđima sa sočivima i približio se otkriću durbina

Samo oskudni podaci postoje o pokušaju Marina Getaldića da načini instrument kojim bi se, pomoću izdubljene ogledala, videli udaljeni predmeti. U pismu od 1608. on obaveštava Klavija da je napraivo parabično ogle-

dalo kojim pomoću Sunčevih zrakova može topiti olovo, srebro i čelik. Iz drugih izvora poznato je da Getaldićev instrument imadaše oblik posude za merenje žita, ili bubanja bez jednoga dna, kao i da se njime brodovi udlaženi 25—30 milja mogu videti jasno kao da su u dubrovačkome pristaništu. S obzirom da se udaljeni predmeti u izdubljenome ogledalu ne mogu videti bez okulara, ili bar obične lupe, proističe da je Getaldić imao neku vrstu teleskopa mnogo pre Njutna. Pripremio je i specijalnu metodu da premeri Zemlju, ali ga je preduhitrila smrt.

Iako sam ne izrađuje instrumente, Ruđer Bošković se njima i optikom uopšte bavi skoro celoga života, počev od 1739. kada piše *De novo telescopii usu ad objecta coelestia determinanda*, pa do pred smrt, kada izdaje svoja sabrana dela u kojima najveći broj strana zauzimaju rasprave iz oblasti optike, konstrukcije i korišćenja instrumenata. Tako je on celoga života pisao o sočivima i prizmama, osobinama stakla, prelamanju svetlosti, konstrukciji durbina i heliostata, doterivanju okulara, o novoj vrsti mikrometra, o kvadrantu i sekstantu i proveravanju tačnosti njihovih podela, te o greškama meridijanskog instrumenta, određivanju meridijana — sve nije navedeno.

U Ljubljani na Šentjakobskom trgu Gabrijel Gruber je u 18. veku uredio zvezdarnicu u sopstvenoj kući. I danas se uz nju nalazi zvezdarska ulica. 9

Astronomske opservatorije kao naučne ustanove kasno se javljaju. Najstarija opservatorija u zemljama nastanjenim našim porodicama ponikla je u Puli. Godine 1866. kao mala Mornarička zvezdarnica u sastavu Hidrografskog zavoda. Godine 1871. izgrađena je na Monte Zaru nova, veća opservatorija sa dve kupole. Ona raspolaže za ono vreme modernom opremom: Šeferovim refraktorom od 15 cm, i meridijanskim krugom od 16 cm Trautona i Simsa. Godine 1881. opservatorija dobiva i Fričev reflektor 30 cm otvora i niz pribora. Za prvog direktora postavljen je Franc Pauger. Za njim na upavu dolazi bečki astronom Johan Palisa (od 1871. do 1880., kada je prešao na Bečku opservatoriju). Za to vreme između ostalih posmatranja otkriva on 28 planetoida, među kojima i asteroid 183 Istra: Posle toga promenjeno je više direktora, od kojih valja zabeležiti Iva Benka. Više od 40 godina tu se odvija opsežan posmatrački rad, iz koga je objavljen niz članaka u "Astronomische Nachrichten"-u od 1869—1910. g., no ceo materijal, koji se sada nalazi u arhivu Tršćanske opservatorije ni do danas nije konačno proučen i ocenjen. Godine 1918. veći deo instrumenata prenet je na Opservatoriju u Trstu, koja dobija samostalnost. Otada njena aktivnost opada. Ostatak instrumenata je i danas sačuvan. Za vreme drugog svetskog rata zgrada Opservatorije je razrušena, osim jedne kupole gde se sada useljava Astronomsko društvo Pule, a koristiće se kao narodna opservatorija.

Zauzimanjem Milana Nedeljkovića osniva se u Beogradu provizorna Opservatorija Velike škole, 1887, u privatnoj kući, ali 1891. postaje stalna, smeštena u posebno zidanoj zgradi. Astronomski instrumenti su skromni, a i novčana sredstva oskudna, pa se opservatorija više bavi meteorološkim i seizmološkim posmatranjima nego astronomskim. Ali na njoj se obučavaju studenti Velike škole. Međutim, Nedeljković već 1904. pravi planove za podizanje velike opservatorije, no oni se dugo neće ostvariti. Ono malo instrumenata opljačkaše Austrijanci pred proterivanje iz Beograda 1918. ali Nedeljković uspeva da na račun reparacija poruči iz Nemačke nove instrumente, dovoljne za opremanje velike astrofizčke opservatorije. On zamišljaše da se nova opservatorija podigne na povoljnijem mestu, a da Beogradska opservatorija služi pozicionoj astronomiji i obuci studenata. Nedeljkovićevo želja nije potupno ostvarena. Posle njegova penzionisanja, 1924, uz nesebično zalaganje Vojislava Miškovića i veliku pomoć Vojina Đurišića podignuta je u Beogradu, ne na najpogodnijem mestu nova, isključivo astronomska opservatorija. Zgrade su dovršene i veći deo instrumenata bio je spreman za rad: 1932. ali su posmatranja započeta tek 1936. U toku drugog svetskog rata Beogradska opservatorija bila je teško oštećena, a dva važna instrumenta neprijatelj je odneo.

Još krajem 1944. g. saradnici opservatorije su započeli intenzivan rad na njenoj obnovi i pokretanju novih radova, a 1960. g. postavili i tri fundamentalna instrumenta za izradu zvezdanih kataloga. Krenule su u rad njene brojne posmatračke i naučno-istraživačke službe, koje i danas sa uspehom rade: časovna, za izučavanje promena geografske širine i pomeranja Zemljinih polova, za dvojne zvezde, za apsolutno i relativno određivanje zvezdanih koordinata, astrografska za rad na planetoidima i kometama i astrofizička za fotoelektričnu fotometriju i polarimetriju promenljivih zvezda i za fotosferska izučavanja Sunca. Za njihovo osnivanje, napredak i uključenje u međunarodne službe glavni teret su poneli Pero Đurković, Milorad Protić, Zaharije Brkić, Branislav Ševarlić, Ljubiša Mitić, Đorđe Teleki, Vasilije Oskanjan, Aleksandar Kubičela, Sofija Sadžakov, Dušan Šaletić i neu-

morni i inventivni rukovodilac tehničke službe Ljuboimir Paunović. Oni su podigli i niz mladih naučnih i stručnih saradnika koji danas uspešno nastavljaju i unapređuju rad ovih službi, već davno potvrđenih u Međunarodnoj astronomskoj uniji i na više opservatorija sa kojima beogradska saraduje.

Godine 1902. pokrenuto je zajedno sa osnivanjem astronomske sekcije "Hrvatskog narvoslovnog društva" i podizanje opservatorije. Sredstva su sakupljena iz dobrovoljnih priloga i za njih nabavljen refraktor (102/1944 mm) kod Rajnfelder i Hertela u Minhenu, kao i kupola. Grad Zagreb odobrio je podizanje kupole na Popovom Tornju u gornjem gradu. Postavljanje instrumenta izvršio je dobrovoljnim radom Gopčević. Za prvog direktora postavljen je Oton Kučera. Svrha opservatorije bila je dvojaka: naučni rad i popularizacija. Opservatorija je otvorena 5. decembra 1903. g. Godine 1905. oprema je nešto povećana. Posmatrana su pomračenja, Sunčeve pege, planete i promenljive zvezde, a Kučeri su se pridružili bili M. Mance, S. Hartman, R. Žigmundovski, O. Slavik i K. Rukavina. Godine 1907. instrumentarij je povećan a 1908. nabavljen i meridijanski krug kao dar grofa Normana, a za nj je kućica sagrađena tek 1911. g. Saradnji su prišli još B. Truhelka, J. Vavra, Ž. Marković, V. Heneberg i dr. Počele su i veze i saradnja s inostranim opservatorijama. August Kopf podaruje svom planetoidu 589 ime Krocija. Već od 1909. g. počele su velike kritike u "Hrvatskom prirodoslovnom društvu" na račun velikih izdataka za opservatoriju, te je 1913. g. doneta odluka da ona ubuduće treba da služi samo narodnom prosvetivanju, a da vlada treba da osnuje drugu opservatoriju kao naučnu ustanovu, što nije učinjeno. Svejedno, značaj opservatorije na Popovom Tornju bio je golem i danas je za narodno prosvetivanje.

Zagreb je dobio malu opservatoriju za položajnu astronomiju 1937. g., namenjenu potrebama Tehničkog fakulteta. Na njoj i na Sijemenu Nikolaj Abakumov i Leo Randić izvršili su prve u nas radove na izučavanju promena geografske širine. U Dubrovniku je osnovana mala Opservatorija Ratne mornarice, a Ljubljana je, na Golovcu, dobila opservatoriju posle drugog svetskog rata zalaganjem Franje Dominka.

Po zamisli Đorđa Nikolića bile su odmah posle drugog svetskog rata projektovane male opservatorije u Skoplju i Pull, da bi za potrebe Vojnogeografskog instituta, zajedno sa Beogradskom opservatorijom, pratile i proučavale promene geografskih širina i pomeranje polova, no do ovoga nije došlo. Vojnogeografski institut je odredio geografske koordinate i astronomske azimute samo na terenskim Laplasevim tačkama u astronomsko-geodetskoj državnoj mreži.

Pod okriljem Geodetskog fakulteta u Zagrebu, a uz suosništvo svih naših astronomskih ustanova i uz štedru materijalnu i stručnu pomoć Astronomskog instituta Čehoslovačke akademije nauka i njegove Opservatorije u Ondžejevu, osnovana je 24. XI 1972. g. Hvarska astrofizička opservatorija. Ona je snabdevena reflektorom 65 cm otvora za fotoelektričnu fotometriju i jednim manjim dvostukim refraktorom, od kojih jedan služi za izučavanje Sunčeve fotosfere, a drugi je kombinacija Lioovog filtra i koronografa za izučavanje hromosfere i korone.

U Sarajevu je Astronomsko-astronautičko akademsko društvo podiglo neposrednim učešćem svojih članova, mladih entuzijasta, pod rukovodstvom Muhameda Muminovića, na Trebeviću, ljubiteljsku opservatoriju od 1969–1972. g. Ona je primila dvostruki astrograf. Vodnik je reflektorskog tipa otvora 21,5 cm. Na njemu je od 1972–1976. g. urađen fotografski atlas u dvema bojama na oko 1000 ploča. Veća kupola završena je 1973. g. i u njoj se nalazi reflektor otvora 30 cm. Najzad, sa nabavkom i postavljanjem reflektora 62 cm otvora 1980. g. opremljenog za raznovrsne radove, može se smatrati da je ova ljubiteljska opservatorija prerasla sopstvenim snagama u profesionalnu. Godine 1980. proradila je i meteorska komora za snimanje bolida s uključenjem u srednje evropsku mrežu, kojom rukovodi Opservatorija Ondžejev, kod Praga.

IV Svedočanstva i posmatranja

Izuzetne nebeske pojave više zanimaju svakoga, a često se smatraju vesnicima budućih događaja. Zato ih od davnina beleže, ne samo astronomi, nego i letopisci. U XIV veku prevodi se Letopis Đorđa Hamartola (IX vek), koji sadrži i kratke beleške o pojavama kometa, bolida, pomračenja. Po ugledu na strane letopisce, latinske i vizantiske, ni naši ne propuštaju da u svojim delima zapišu i poneku zanimljivu pojavu na nebu. Pa i drugi pismeni ljudi, svedoci ovih pojava, ostaviće na bilo kojoj knjizi koja im je pod rukom bila zapis o onome što videše.

U nekim slučajevima, ređim, poznat je pisac beleške ili zapisa. Arhidakon Toma splitski doživljava dva pomračenja Sunca, 1239. i 1241. a prve od ovih godina videla se i kometa, pa sve to pominje u svome letopisu. Danilo II pominje bolid koji se pojavio oko 1290, za vreme bitke između vojski kralja Milutina i bugarskog vladara. Pavle Pavlović pod 8. januarom 1388. beleži pojavu neobičnoga znamenja na nebu, kao ognjenoga stuba koji je mnoge preplašio. Isti pisac, pod 23. februarom 1402. pominje da se nekoliko dana ranije videla kometa. Konstantin Filozof svedoči o zvezdama padalicama nad Beogradom 17. jula 1427. U letopisu Jefrema Jankovića Tetovca nalazi se beleška o Halejevoj kometi od 1682. Dosta zanimljivu belešku o meteoritu od 27. maja 1751. sastavlja Baltazar Adam Krčelić. Pop Sava iz Dečana video je jasan bolid 17. oktobra 1794. (po Julijanskom kalendaru).

Većinu podataka pak ostaviše nepoznati posmatrači. Među njima je i onaj koji u Gabrovskom letopisu navede da je kometu od 1577. posmatrao od 8. oktobra do 14. decembra te godine, dok je niko drugi ne vide pre 1. novembra. Zapis o ovoj kometi nalazi se i u jednom glagolskom brevijaru, ali je navedena samo godina.

Iako mogu biti zanimljive za nauku, pomenute beleške i zapisi ne predstavljaju prava naučna posmatranja. Za ova je potrebno imati odgovarajuće instrumente i raspolagati stručnim znanjem, a dobijeni podaci moraju se srediti i obraditi. Ovom vrstom posmatranja, pravih posmatranja, bave se astronomi, stručnjaci i amateri.

Za Mavra Vetranića kaže se da je obavljao neka astronomska posmatranja, ali ona nisu sačuvana. Nalješković je imao neke instrumente i svakako se bavio posmatranjima, ali o njima se ništa ne zna.

Pored obimnog teorijskog rada na području astronomije i drugih nauka, Ruđer Bošković ima vremena i za posmatranja. U dva maha posmatra prolaz Merkura i objavljuje dobijene rezultate, iste godine: *De Mercurii novissimo infra Solem transitu*, 1737 (O najnovijem prolazu Merkura ispod Sunca) i *Osservazioni dell'ultimo passaggio di Mercurio sotto il Sole*, 1753. (Posmatranja poslednjeg prolaza Merkura ispod Sunca). Iz njegovih izveštaja saznaje se s kime je saradivao, kojim se instrumentima koristio, da je prilikom prvoga prolaza imao teškoće zato što durbin nije bio paralaktično postavljen, dok posmatranje drugoga prolaza ometaše jak vetar. Ipak, dolazi do određenih zaključaka, a obavljena merenja dadoše mu za prividni prečnik Merkura vrednost od 12". Nameru da posmatra prolaze Venere od 1761. i 1769. nije ostvario.

Naporan je bio Boškovićev posmatrački rad, u zajednici sa Merom, prilikom merenja dva stepena meridijana između Rima i Riminija, radi ispravljanja karte vaticanske države i tačnijeg određivanja oblika Zemlje. Iscrpan opis rada i dobijene nalaze dvojica astronoma objaviše u knjizi *De litteraria expeditione per pontificiam ditionem ad dimentendos duos meridiani gradus et corrigendam mappam geographicam*, 1755. (O naučnom putovanju kroz papsku državu radi merenja dva stepena meridijana i ispravljanju geografske karte), koja dožive još tri izdanja: 1757, 1770. (na francuskom) i 1776.

O posmatranju Sunčevih pega Bošković piše već 1736. *De maculis Solaribus* (O Sunčevim pegama), a to je njegov prvi objavljeni rad. To mu je prilika da izloži grafičku i trigonometrijsku metodu određivanja polutara jedne planete iz posmatranja pega na njoj. Mnogo docnije, 1777, on iz francuske posmatra pege, istina samo 6 dana. Tada će pisati o načinu dobijanja geocentričnog i heliocentričnog položaja pega, o metodama posmatranja i nekim svojim zapažanjima o prirodi Sunca. Za vreme rada na opservatoriju Brera, u Milanu, čiji je osnivač bio, Bošković uočava koliko na posmatranja mogu uticati sistematske greške instrumenata, te razrađuje metode za njihovo otklanjanje i stalno ističe da o tome treba voditi računa.

Instrumente imadahu i neki drugi ljudi iz naših krajeva, ali broj im je veoma mali. Mogu se pomenuti Benedikt Feret i Ivan Dizma Florjančič; obojica su iz Ljubljane i obojica napisale neke članke, ali nisu objavljeni. Iako istorik po struci, Jovan Rajić posmatra kometu od 1769. koju je otkrio Mesje i u jednoj raspravi *Астрономическое писание о кометах и свиствах њихже* posle uvoda o kometama uopšte, izlaže kako se ova kometa kretala na nebu, koliko joj beše dug rep, koje je boje i iznad kojih mesta na Zemlji je prelazila.

Iako nije bio školovani astronom, Spiridon Gopčević (pod pseudonimom Leo Brener) bio je vredan posmatrač i ostavio mnogobrojna posmatranja, cenjena od stručnjaka i objavljena u inostranim časopisima. Gopčević posmatra sa opservatorije Živizl (Juvisy), Arekipa u Peru i sa Malog Lošinja, gde raspolagao malom opservatorijom ("Manora", od 1893-1909) i odličnim refraktorom. Predmet njegove pažnje behu naročito planete,

Mesec, komete i magline. Ostavio je dosta crteža posmatranih tela. Osnovao je i dugo godina sa uspehom vodio časopis "Astronomische Rundschau". Gopčevićev instrument prešao je u ruke Nike Miličevića, koji posmatraše iz Blaca na Braču, a po njegovoj smrti, zajedno sa Miličevićevom golemom astronomskom bibliotekom u vlasništvo Jugoslavenske akademije znanosti i umejtnosti (instrument se i danas nalazi u Blacama).

Kao stručni posmatrač — iako ni on ne beše školovani astronom — može se smatrati Ivan Tomec, koji prvo iz Kamnika a potom iz Ljubljane posmatra Sunčeve pege od 1922. do 1933. i potom počev od 1936. kada svoja posmatranja objavljuje u SATURNU; Tomec je razradio svoju teoriju o pegama i objavio knjigu *Tajne Sunca*, 1946.

Najstarija profesionalna publikacija za objavljivanje astronomskih posmatranja u nas je "Bulletin de l'Observatoire astronomique de Belgrade", osnovana 1936. g., koja izlazi i danas i u kojoj se sistematski objavljuju posmatranja svih službi Beogradske opservatorije. No u njemu su objavljena i posmatranja naučne vrednosti izvršena drugde.

Mnoga ljubiteljska posmatranja dovoljne tačnosti objavljuju se i u časopisima za popularisanje astronomije u skoro svima našim većim centrima.

V Naučni i stručni radovi

Dosta veliki broj astronoma s jugoslovenskog područja ostavio je stručna i naučna dela, od kojih se u ovom kratkom pregledu mogu navesti samo značajnija.

Pominjani Nalješković piše *Dialogo sopra la sfera del mondo*, 1579. Iako je mogao znati za Kopernikovo učenje, on verno sledi Ptolemeja: smatra da je Zemlja u središtu pa zato mora biti nepokretna, a kad bi se obrtala stalno bi duvao vetar s istoka, dok bi topovsko đule izbačeno uvis palo zapadno od mesta ispaljivanja. Nalješković, međutim, pravilno drži da je Zemlja lopta i iznosi poznate dokaze. On zatim govori o precesiji, nebeskim sferama, krugovima na nebu i Zemlji, kretanjima planeta, pomračenjima — skoro svim astronomskim znanjima svoga vremena i po ondašnjim naučnim shvatanjima većine.

Andrija Perlan, Slovenac iz Maribora, koji je bio profesor astronomije na Bečkom univerzitetu, napisao je *Usus Almanach seu Ephemeridum et Commentariis...*, 1518. g., i *Commentaris Ephemeridum*, 1551. g.

U filozofskom delu *Nova de universis philosophia*, 1591. (Nova filozofija o vasioni), Franjo Patrišević govori da ima mnogo više zvezda nego što bi izgledalo po Ptolemejevom katalogu, pa se poziva na izveštaje pomoraca koji brodiše po južnim morima i videše mnoge dotle nepoznate zvezde. Smatra da se i zvezde kreću, pa i obrću oko svojih osa. Poznata mu je nova 1572. u Kasiopeji, te povodom nje kaže da zvezde ispuštaju i privlače materiju, pa i kad se masa razredi da joj se zapremina poveća.

Nikola Gučetić takođe ne prihvata novi pravac u astronomiji. Objavio je *Discorsi sopra le Metheore d'Aristotele*, 1584. (Razgovori o Aristotelovim Meteorima). To je neka vrsta komentara Aristotelove *Meteorologije*, kojom su obuhvaćene i neke pojave za koje se docnije saznalo da nisu u našoj atmosferi, kao komete, meteori, i Mlečni Put. Na njima se Gučetić dosta zadržava, podržavajući gledišta aristotelovaca. Dodaje i dosta verovanja o tome šta najavljuju komete. Što se tiče Mlečnoga Puta, Gučetić se sada ne odvaja od Aristotela, iako četiri godine ranije kao da se približio mišljenju Alberta Velikog, da je u Mlečnome Putu izmešana svetlost mnoštva malih zvezda. Gučetić se takođe dosta bavi veličinom Zemlje, Sunca, Meseca i planeta, koristeći se poznatim izvorima.

Dva matematička dela o plimi i oseci ostavio je Nikola Sagrojević: *Ragionenti sopra la varieta dei flussi e riflussi de mare Oceano occidentale...*, u Veneciji 1574. g. i *Discorso dei flussi e riflussi del faro di Messina*, 1580 g. Plimom i osekom bavi se i Franja Grisigono iz Zadra. Dalmatinac Lorenzo Grisigono iz Splita, zanima se planetama. Njegovo delo *Mundus Martianus... sue dipinge archetipo coeleste et sublunare* objavljeno je u Veneciji 1640. g.

Ivan Daničić spada među prve koji su sa tačnošću govorili o Sunčevim pegama i odsustvu Mesečeve atmosfere. Mnogo se bavio posmatranjima Jupiterovih satelita i ostavio pet astronomskih dela: *Il nuntio della terra*, Palermo, 1644; *De systema orbis cometici...*, Palermo, 1654; *Menelagine Jovis compendium*, Palermo 1656; *De admi-*

randis phasibus in sole et luna visis..., Palermo, 1656; *Protei coelestis virtutines seu Saturni systema*. Palermo, 1657. g.

Izgleda, međutim, da se Stjepo Gradić priklanja Koperniku u svome delu *Astronomia geometrica* (Geometrijska astronomija); on je pisao i o položaju Severnjače, 1680. U njegovom matematičkom radu *Dissertationes physico-mathematicas quator*, Amsterdam, 1680. g., koji je posvetio švedskoj kraljici, raspravlja se i o više astronomskih problema.

Boštjan Štajner, profesor filozofije u Ljubljani, objavio je rasprave o izradi sunčanih časovnika, od kojih je jedna objavljena u Ljubljani 1716. g. Ovaj rad nastavlja njegov učenik Janez Benjamin Erber, rođen u Doku kod Ljubljane. U 18. v. naročito se u ovoj oblasti ističe Dizma Florijančić, čije su opširne rasprave iz astronomije sačuvane u rukopisu. U istoj epohi bio je poznat i Avguštín Halerštajn iz Mengša koji je završio kao astronom na dvoru u Pekingu.

Na redu su naučna dela najslavnijeg jugoslovenskog astronoma Ruđera Boškovića. Pored radova koji su već pomenuti, ovaj svestrani um napisao je mnogobrojna dela iz raznih drugih naučnih oblasti, a ne samo astronomije na kojima će se ovde zadržati, i to onim od većega značaja. Bošković se zanimao astronomijom celoga života, njoj je posvetio svoj prvi rad, a i poslednji izdajući svoja sabrana dela *Opera pertinentia ad opticam et astronomiam*, 1785. (Dela o optici i astronomiji) u pet velikih knjiga.

U pregledu Boškovićevih astronomskih dela može se prvo zadržati na onom pod naslovom *De annuis fixarum aberrationibus*, 1742. (O godišnjim aberacijama nekretnica). On pretpostavlja da je aberacija obrnuto srazmerna brzini svetlosti, koju već 1675. beše izmerio Remer. Bošković dokazuje da se aberacija i paralaksa mogu izraziti jednom elipsom i daje njen obrazac. Što se tiče svetlosti, koja Boškovića veoma zanima, što je prirodno, on je u osnovi pristalica Njutnove emisionne teorije, ali uviđa da ona ne tumači sve pojave, da je mnogo šotšta s njome u vezi ostalo nerazjašnjeno, pa čak nije dokazano ni njeno pravolinijsko prostiranje. Ipak, kada piše o refrakciji, pretpostavlja da je svetlost sastavljena od čestica koje u homogenoj sredini imaju jednako i pravolinijsko kretanje. Refrakcijom se ne bavi samo teorijski, nego i praktično kako se nalazi iz posmatranja. U vezi s aberacijom je Boškovićev predlog da se načini durbín napunjen vodom, kako bi se utvrdilo da li se svetlost brže prostire kroz gušću sredinu, što bi se pokazalo različitim naglibima običnog durbina i onog s vodom pri merenju aberacije. Bošković je do potankosti opisao konstrukciju durbina s vodom, ali ovaj ogled nije izveo.

Boškovićevu pažnju privlače komete, prvo ona od 1744. koju lično posmatra i povodom koje piše *De cometis*, 1746. Drugi povod mu pruža kometa od 1774. o kojoj iste godine objavljuje *De orbitis cometarum determinandis, ope trium observationum parum a se invicem remotarum* (O određivanju putanja kometa iz tri posmatranja međusobno malo udaljena). Raduje ga što može potvrditi da se komete kreću po Njutnovu zakonu, te nalazi praktičnu metodu određivanja putanje komete iz posmatranja triju bliskih položaja, pri čemu je potrebno znati i istovremene položaje Zemlje. S obzirom da beše usvojio pretpostavku da se u kratkome razdoblju između posmatranja može putanja smatrati pravolinijskom, Bošković svoju metodu docnije dopunjuje. Kada je otkrio kometu od 1773. Mesje posla Boškoviću tri posmatrana položaja, da bi joj odredio putanju svojom metodom. Isto se ponavlja i s kometom od 1779. Valjanosti Boškovićeve metode neki onovremeni astronomi osporavahu, ali je posle dobila priznanja od Olbersa, Delambra, Caha i drugih.

Kada je Heršel objavio 1781. otkriće novog nebeskog tela, u početku se pomišljalo da je u pitanju kometa. Zato i Bošković misli da ono ima paraboličnu putanju, pokušava da je izračuna, ali se dobijeni nalazi ne slažu s posmatranim položajima. Pošto mu računi pokazahu da je novo telo veoma udaljeno — smatra da je na 18,9 astronomskih jedinica, a kometa se na toj daljini teško može videti — Bošković pretpostavi da je putanja elipsa. I na nju može primeniti svoju metodu za komete, nešto dopunjenu, koristeći četiri posmatranja. Računske radnje izvedoše Mešen i Saron i utvrdiše da se eliptična putanja dobro slaže s posmatranim položajima tela koje će dobiti naziv Uran. Po Boškoviću izračunata putanja samo malo odstupa od Laplasove. Obično se prvo izračunavanje elemenata putanje Urana pripisuje u zaslugu Laplasu i Lekselu, iako je Bošković eliptične elemente Uranove izložio 6 meseci ranije.

Predmet Boškovićeve pažnje su i mnoga druga astronomska pitanja. Jednim od njih, međusobnim uticajima Saturna i Jupitera, pozabavio se povodom nagrade koju je raspisala Francuska akademija. Svoju geometrijsku me-

totu rešavanja ovoga problema izložio je u *De inaequalitatibus quas Saturnus et Jupiter sibi mutuo videntur inducere praesertim circa tempus conjunctionis*, 1756. (O nejednakostima koje izgleda Saturn i Jupiter međusobno prouzrokuju naročito u vreme oko konjunkcija), te dobio pohvalu, ali nagrada je dodeljena Ojleru za njegovo analitičko rešenje. Pored veće naklonosti Akademije prema analitičkim rešavanjima, Boškoviću smetaše i to što, zaokupljen drugim poslovima, nije stigao da uporedi račune sa posmatranjima, pripremi odgovarajuće tablice i obavi numerički deo posla.

Dionis di Sezur beše rešio problem povremenog nestajanja Saturnovog prstena, 1776. primenjujući analitičku metodu. Bošković nalazi, međutim, da je ona suviše složena i duga, te da bi se isti problem mogao rešiti jednostavnijom grafičkom metodom — on se i inače rado služi grafičkim metodama, kada je to moguće. U sabranim delima on će objaviti raspravu *De disparitione et apparitione annuli Saturni* (O nestajanju i pojavljivanju Saturnovoga prstena), koristeći krivu sinusa, lake konstrukcije, a dobijene vrednosti malo se razlikuju od pravih.

Kao veliki Njutnovac, Bošković se mora baviti i pitanjem teže, te je pisao o nejednakosti teže na raznim mestima na Zemlji, 1741. o kretanju tela koje privlači neko nepomično središte teže, 1743, o središtu teže, 1751. Navedimo još njegove radove: o nalaženju putanja planeta geometrijskom konstrukcijom ako su poznati sila, brzina i pravac kretanja u jednoj tački, o posmatranju Mesečevih faza prilikom pomračenja, o obliku Zemlje. Manju pažnju Bošković obraća fizici nebeskih tela. Posmatranje pega navodi ga na neke zaključke o prirodi Sunca, kad opisuje izgled komete čini mu se da se ona obrće oko svoje ose, ali to iznosi uz rezervu, a za zvezde smatra da su rasute u prostoru koji je prazan, da mogu biti i veće i manje od Sunca. Došao je, međutim, do pogrešnog zaključka da na Mesecu postoji atmosfera, kao neki fluid, više nalik na naša mora nego na Zemljin vazdušni omotač. Treba još istaći da je Bošković u nekim svojim delima, a naročito u *Philosophiae naturalis theoria reducta ad unicam legem virium in natura existentium*, 1758 (Teorija prirodne filozofije svedena na jedinstven zakon sila postojećih u prirodi), anticipirao savremene poglede o atomima, kao što je dao i svoj doprinos teoriji relativnosti. U doba Boškovića živi i Antun Lornja iz Knina, istaknuti matematičar, koji izučava putanje planeta. Ostavio je iz astronomije delo *Principi di Geographia astronomico-geometrica*, Venecija, 1789. U njegovom delu *Opuscula mathematica*, iz 1770. g., nalazi se i studija o planetama *De locis planetarum in orbis elliptici*.

Jovan Paskvić napisao je preko 20 radova, objavljenih između 1782. i 1808. U neposrednijoj vezi sa astronomijom je njegov rad o francuskom merenju meridijana i veličini Zemljinog sferoida (*Über der Gebrauch der neuste französische Gradmessung*, 1800; *Über der Dimensionen des Erdspharoid*, 1800), zatim o redukciji meridijanskih posmatranja zenitnih daljina, 1805. pa o posmatranjima planeta i određivanju geografskih položaja. U ostalim delima raspravljaju se matematička pitanja.

Najviše poznat po svojim logaritamskim tablicama, Jurij Vega ili Veba ima dosta drugih značajnih radova iz oblasti matematike, ali i astronomije. U jednom od ovih poslednjih, *Versuch uber Enthüllung eines Geheimnisses in der bekannten Lehre der allgemeinen Gravitation*, 1800 (Pokušaj da se otkrije jedna tajna u poznatom učenju u opštoj teži), Vega odgovara na pitanje: šta bi bilo s telom bez početne brzine, koje bi po Njutnovu zakonu padalo u neko središte teže? Odgovor je da bi ono nastavilo svoj put i po prolazu kroz središte, do udaljenosti sa koje je počelo padati. On takođe raspravlja o obrtanju čvrste lopte oko pokretne ose, u vezi s obrtanjem Zemlje, 1798. a njegovo delo je i *Disquisitio de supputatione masserum corporum coelestium*, 1802. (Rasprava o određivanju masa nebeskih tela), u kojoj je reč o određivanju masa na osnovu udaljenosti planeta i trajanja njihovih kruženja.

Daniel Mirko Bogdanić objavio je dosta manjih astronomskih radova, kao i svoja posmatranja sa opservatorije u Beču i Budimu, u najpoznatijim tadašnjim časopisima. On se još bavio nebeskom mehanikom i učestvovao u izradi nove karte Ugarske, Hrvatske i Slavonije, objavljene tek 1806.

Danilo Kmet, rođen u Sloveniji, napisao je veliki broj radova: *Observationes astronomicae...*, Budim, 1821; *Astronomia popularis*, Ofen, 1823, kao i veliki broj članaka. Ivan Horvat, iz Zagorja, radio je na Opservatoriji u Budimu-Pešti, ali ju je napustio, kao i Kmet, zbog Paskvićevog despotizma. Ignjat Martinović iz Beograda, obrazuje s Bogdanićem, Kmetom, Horvatom i Paskvićem pravu jugoslovensku ekipu, koja je radila u Ofenu (danas Peč, ili Pečuj). Pre toga bio je profesor Univerziteta u Lembergu (danas Lvov), gde je objavio i svoja dela: *Dissertatio de micrometro*, 1784; *Dissertatio de altitudine atmosphaerae et observationibus astronomicis determinata*, 1785. g.

Na prelazu iz XVIII u XIX vek ističe se svojim radovima Atanasije Stojković. Njegovo prvo i najobimnije delo, *Fizika* objavljeno je u tri knjige 1801–1803. Fizikom je obuhvaćena i astronomija, kao u drugih pisaca toga doba, pa joj pisac posvećuje veći broj stranica na kojima govori o nebeskim telima, gravitaciji, Zemlji – njenoj veličini, obliku i kretanju – krugovima Zemljine i nebeske sfere, plimi i oseci, svetlosti i meteorološkim pojavama, u koje ubraja zvezde padalice i bolide. *Fizika* je prvo delo ove vrste na narodnom jeziku, te se pisac može smatrati i osnivačem novije astronomske terminologije – i sam kaže da piše "prostim jezikom". Stojković ne izlaže neka svoja naučna otkrića, ali dosta verno prenosi znanja do kojih se došlo u njegovo vreme. Ponekad će propustiti da izloži neke najnovije podatke, koje bi morao znati. Pa ipak njegovo delo bilo je najbolje i najpoštenije u toj vrsti sve do polovine prošloga veka. Pošto se odselio u Rusiju, štampaio je *О воздушных камнях и их происхождении*, 1807, i druga dela iz fizike i geografije.

Iako fizičar, Jožef Stefan je zadužio astronomiju svojim zakonom o zračenju: količina zračene energije nekog tela srazmerna je četvrtom stepenu njegove apsolutne temperature, ili $Q = \sigma T^4$, gde je $\sigma = 5,70 \times 10^{-7} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$. Ovaj zakon poznat je pod njegovim imenom, kao što se i σ naziva Stefanovom konstantom. Po ovom zakonu, objavljenom 1879, Stefan je našao za temperaturu Sunčeve fotosfere vrednost od 5586° , dosta blisku onoj koja je docnije utvrđena.

Na teorijskoj astronomiji radio je Matej Vodušek i u toj oblasti ostavio veći broj dela. Izložio je novu metodu za izračunavanje paralakse Sunca i Meseca iz prolaza planeta i pomračenja Sunca, 1879. Napisao je *Neue Theorie der Mondbewegung*, 1899 (Nova teorija Mesečevoga kretanja) i *Grunzüge der theoretischen Astronomie*, 1890 (Osnove teorijske astronomije), a bavio se i određivanjem položaja planeta i kometa. Njegova druga dela odnose se na praktičnu astronomiju, astronomsku refrakciju, plimu i oseku.

Astrofizičar Đorđe Stanojević kao student pomaže Žansenu u nekim ogledima, a zanimaju ga naročito neke pojave na Suncu, te o njima piše u Francuskoj. Učestvovao je u ekspediciji za posmatranje pomračenja Sunca od 19. avgusta 1887. iz Petrovska, i o tome podneo izveštaj *L'éclipse totale du Soleil du 19 août 1887, observée en Russie (Petrovsk)*, iz kojeg se vidi da su vremenske prilike bile nepovoljne, te je potpuno pomračenje mogao videti samo 20–25 sekundi. Učestvovao je i u još nekim ekspedicijama. Kao državni pitomac proveo je od 1883–1887. g. na specijalizaciji astrofizike na opservatorijama Potsdam, Hamburg, Medon, Grinidž i Pulkovo. U tom vremenu, i nešto kasnije, objavio je nekoliko naučnih radova iz astrofizike u izdanjima Pariske akademije nauka. To su i prvi astrofizički naučni radovi u pravom smislu u Srba. Kasnije se, nažalost, potpuno opredelio za fiziku, kao profesor Velike škole i Beogradskog univerziteta. Astronomiji se vratio još samo jednom, u radu na reformi julijanskog kalendara.

Ovde valja pomenuti mnogobrojne radove Stevana Boškovića, astronomsko-geodetske i kartografske. Kao dugogodišnji načelnik Vojnog geografskog instituta, rukovodio je njegovim radovima na triangulaciji naše zemlje, pa i sam merio 30 tačaka. Pored drugih dela treba navesti njegove *Efemeride parova zvezda za određivanje vremena po metodi Cingera*, 1936, *Efemeride parova zvezda za određivanje geografske širine iz astronomskih posmatranja po metodi Pjevčova*, 1938, *Prva i druga odredba geografske dužine Beograda*, 1946 i *Skretanje vertikala u Srbiji*, 1952. Izradom tačnih karata za vojne potrebe Stevan Bošković se bavi počev od 1904, te pored karata Srbije, Jugoslavije i drugih, kao najznačajnije delo njegovo i njegovih saradnika objavljuje 160 sekcija karte Jugoslavije razmere 1:100.000 i četiri puta toliko razmere 1:50.000.

Proučavanju života i rada Ruđera Boškovića posvetio se Vladimir Varičak, matematičar koji se dosta bavi teorijom relativnosti, pisac *Matematičkog rada Boškovićevog*, zatim *Priloga za biografiju Ruđa Boškovića*, a i izdavač njegove prepiske (objavljeni u RADU JAZU). Život znamenitog filozofa i astronoma zanimalo je pre toga Franju Račkog, koji beše objavio neka Boškovićeva pisma. O Boškovićevoj astronomiji pišaće zatim Josip Torbar a pojednim granama Boškovićeve delatnosti bave se i mnogi drugi. Pored manjih rasprava koje je napisao o Boškoviću, Željko Marković, je zaslužan za dva toma knjige *Ruđe Bošković*, 1968–1969, sveobuhvatno delo o životu i svima područjima delatnosti znamenitog Dubrovčanina.

Milutin Milanković je naš najveći naučni radnik u oblasti astronomskih nauka i jedna od najkrupnijih ličnosti naše nauke u prvoj polovini ovoga veka. Polazeći od jačine Sunčeva toplotnog zračenja, zakona njegova prosti-

ranja, uslova prolaza kroz planetske atmosfere i osobina planetskih površi, našao je matematičke izraze kojima je odredio osnovne odlike klime Zemlje i drugih planeta i time zasnovao novu nauku – matematičku klimatologiju. Zatim je izračunao promene klimatskih elemenata na Zemlji u funkciji promena elemenata Zemljine putanje i datirao sve faze ovih klimatskih promena. Tako je stvorio astronomski kalendar ledenih doba na Zemlji koji se složio s geološkim nalazima. Najzad je postavio i svoju matematičku teoriju vekovnog pomeranja Zemljinih polova. Istraživanja rasuta u preko sto naučnih radova i dva svetska priručnika sažeo je 1941. g., u svoje životno delo "Kanon der Erdbestrahlung (Kanon-Zemljina osunčavanja) u izdanju SANU.

Vojislav V. Mišković je podigao novu, veliku Astronomsku opservatoriju u Beogradu 1932. g. i postavio na njoj veći deo instrumenata koje je nabavio Milan Nedeljković i pokrenuo niz naučnih publikacija. Začetnik je konstrukcije prvog bezličnog astrolaba i autor većeg broja naučnih radova. Najzapaženiji su mu računi sekularnih poremećaja Zemljina kretanja koje je obavio sa saradnicima Dragoslavom Mitrinovićem i Stanimirom Femplom, zatim "Nouvelles tables de précession, (Nove tablice za precesiju) 1935. g. Zapaženi su mu i radovi na metodi za identifikovanje malih planeta i dr. iz teorijske astronomije. Pred kraj života objavio je dve izvrsne knjige Hronologija astronomskih tekovina, 1975. i 1976. u izdanju SANU.

Kao nastavljajući radova Stevana Boškovića može se smatrati Đorđe Nikolić, jer je na čelu astrogeodetskog odeljenja Geografskog instituta JNA od 1947–1966. radio sa saradnicima Dušanom Šaletićem, Radovanom Vojčićem i dr. na astronomskim i gravimetrijskim merenjima, određivanju Laplasovih tačaka, skretanju vertikalna. Pored više matematičkih dela Nikolić je mnogo pisao o istoriji jugoslovenske astronomije, naročito o Ruđeru Boškoviću, ali njegova teza *Histoire de l'astronomie yougoslave*, nije objavljena.

Na astronomsko-geodetskim radovima sa uspehom su radili, samo u manjem obimu i u okviru Savezne geodetske uprave, Vladeta Milovanović, Aleksandar Marić i Aleksandar Vojinović sa saradnicima.

Pero M. Đurković ceo svoj radni vek proveo je na Beogradskoj opservatoriji, gde je samopregorno učestvovao u skroo svim vrstama posmatranja i objavio veći broj naučnih i stručnih radova. Učestvovao je u osnivanju Službe promena geografske širine i osnovao Službu dvojnih zvezda stvarajući i školu beogradskih astronoma koji se bave ovom problematikom.

Zaharije Brkić dugo godina je vodio Časovnu službu i službu promena geografske dužine na Astronomskoj opservatoriji u Beogradu i bio profesor na Građevinskom i Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu. Dao je veći broj radova iz svoje struke i iz ispitivanja instrumenata, kojima je pokrenuo i niz značajnih naučnih akcija.

Veći broj astronoma – naučnih radnika danas se uspešno bavi raznim granama astronomije i astrofizike na pred pomenutim opservatorijama, kao i na fakultetima, no prikaz rada još živih astronoma nije bio predmet ovog kratkog istorijskog pregleda.

Na kraju ne možemo i da, izuzetno, zbog njena značaja, ne pomenemo, iako savremenu, Savić-Kašaninovu teoriju o ponašanju materijala pod visokim pritiskom, kojom je prvi put pokušano da se objasni nastanak rotacionog kretanja nebeskih tela, za koje su dosad sve kosmogonske hipoteze usvajale da je unapred dato. Ona obrazložava i raslojenost nebeskih tela i dovodi do poznavanja i mnogih drugih fizičkih osobina njihovih. Neki od ovih zaključaka potvrđeni su već eksperimentalno ili merenjima u kosmičkim programima. Prvo Savićevo saopštenje o nastanku rotacije sistema i pojedinih nebeskih tela objavila je SANU 1960. g., a zatim je usledilo nekoliko monografija i članaka u našim i stranim časopisima, koji sva ova pitanja, uz učešće Radivoja Kašanina, razrađuju matematički. Značaj je ove teorije utoliko veći što prvi put pojave u atomima dovodi u tesnu uzročnu vezu s pojavama u makro- pa i mega-telima. Ovome se u poslednje vreme sve više pribegava u astrofizici.

Ovde, međutim, valja zabeležiti niz naučnih publikacija koje su pokrenule i izdaju naše astronomske ustanove: "Mémoires de l'Observatoire astronomique de Belgrade" (izšlo od 1932. pet brojeva). U njemu su dali naučne priloge ne samo naši već pominjani, kao i strani astronomi, već su na astronomskim problemima radili takođe Mihailo Petrović, Branislav Petronijević, Anton Bilimović, Radivoje Kašanin, Vjačeslav Žardecki i dr. naučnici iz srodnih nauka. "Astronomska i meteorološka saopštenja" izlazila su od 1945–1950. g. (7 brojeva), zatim je ova publikacija zamenjena novom "Publication de l'Observatoire astronomique de Belgrade", koja je pokrenuta 1947. g. i od koje je do danas izašlo 27 brojeva. Ona i danas objavljuje naučne rezultate, ne samo Beogradske opservatorije, već i drugih naših i stranih astronoma. Publikacija Instituta za astronomiju Prirodno-matematičkog

fakulteta u Beogradu "Publications of the Departement of Astronomy, Faculty of sciences, University of Belgrad", pokrenuta 1969. g., izlazi skoro svake godine i dosad je izašlo 10 brojeva. Hvarska astrofizička opservatorija pokrenula je 1977. g. svoju publikaciju „Hvar Observatory Bulletin“ od koje je do danas izašlo pet brojeva. Sve pomenute publikacije sadrže velik broj naučnih priloga naših i stranih astronoma i razmenjuju se sa oko 300 stranih i naših naučnih izdanja, prvenstveno astronomskih opservatorija i naučnih instituta. Pored nabavaka, ovo je bio put kojim su u svima našim astronomskim ustanovama stvorene naučne biblioteke, od kojih je najveća ona na Beogradskoj opservatoriji sa preko 5000 knjiga i oko 8000 kompleta časopisa i publikacija.

Astronomi u svim publikacijama udruženi su i u naučno-stručna društva matematičara, fizičara i astronoma. U SR Srbiji gde su najbrojniji, oni obrazuju u okviru ovakvog republičkog društva svoju sekciju koja je 1981. g. prerasla u samostalno republičko Astronomsko društvo, koje je kao i pri ranijem statusu, povezano sa svim republičkim srodnim društvima u Savez društava matematičara, fizičara i astronoma Jugoslavije. Od 1949. g. astronomski sekcija je, koje u okviru kongresa ovog Saveza, koje samostalno, održala 12 astronomskih konferencija. Radovi saopšteni na njima objavljeni su u 12 zbornika, bilo u okviru publikacija postojećih astronomskih ustanova, bilo u vidu posebnih izdanja.

VI Astronomija u školama

U školama astronomiji nije posvećivana onolika pažnja koliku ova nauka zaslužuje, kako u prošlosti tako i danas. Pa ipak, postoji dosta udžbenika koji u celini ili delimično — uz zemljopis ili fiziku — imaju za svrhu da učenike raznih uzrasta upoznaju sa najosnovnijim astronomskim znanjima. Treba imati na umu da se samostalna prosvetna politika mogla voditi samo u slobodnoj državi, dok se u područjima pod tuđinskom vlašću morala podređivati politici te vlasti.

Pomenuto Nalješkovićevo delo od 1579. moglo bi se smatrati vrstom udžbenika, jer obuhvata skoro celo područje ondašnje astronomije. To bi bio slučaj i sa Osnovama teorijske astronomije Voduška od 1890. ali s obzirom na strani jezik nije bilo ovo delo pogodno za nastavu u našim školama.

Kao prvi udžbenik na narodnom jeziku koji sadrži i astronomski deo može se navesti **Ново гражданско землеписание** Pavla Solarića, štampano 1804. Na tridesetak strana, koje služe kao uvod, nalaze se najneophodnija znanja o Zemlji kao nebeskome telu i nešto o Sunčevu sistemu. Posle više drugih knjiga ove vrste — među njima je **Землеписание математическо** Vasilija Bulića od 1824. — pojavljuje se udžbenik matematičke geografije pod naslovom **Прва понјатија изчислителног естественог землеписанија**, 1845, svakako prilagođen tadašnjem nastavnom programu, jer je pisac Jovan Sterija Popović, u to vreme načelnik ministarstva prosvete, zatim **Astronomija ili nauka o zvezdama**, Gavrila Popovića iz 1850. g.

Najznačajnije delo ove vrste sredinom prošloga stoleća predstavljaju **Načela fizike**, 1851, Vuka Marinkovića, profesora Liceja, pisana za njegove učenike, ali i za samouke. Druga pola knjige počinje sa nebeskim pojavama, te predstavlja malu fizičku astronomiju na oko 70 strana. U njoj će se naći odeljci o teži, nebeskim telima, obliku Zemlje, koordinatama, kalendaru; obrađene su takođe planete, Sunce sa pojavama na površi, sateliti, zvezde, magline, meteorske pojave.

Užoj oblasti namenjene su knjige Jovana Dragaševića. Pored udžbenika zemljopisa, napisao je i druga dva. Prvi je **Kronografija**, 1874. u kojoj se izlažu problemi u vezi sa računanjem vremena i sastavljanjem kalendara, a sadrži i dosta tablica propraćenih uputstvima namenjenih praktičnim potrebama. Drugi udžbenik je **Kosmometrija**, 1875. namenjen slušaocima vojne akademije i tehničkog fakulteta, te se u njemu izlažu razni koordinatni sistemi, opisuju instrumenti, navodi kako se određuje vreme, geografska dužina i širina, magnetska deklinacija.

Iako je astronomija sadržana, bar unekoliko, u udžbenicima viših škola, ona nije bila poseban predmet u Velikoj školi sve do 1863, kada je propisano da se predaje na Prirodoslovno-matematičkom odseku Filozofskog fakulteta Velike škole, s tim da je slušaju i studenti tehničke. Ovaj propis osta bez primene sve do 1884. kada je za profesora Velike škole postavljen Milan Nedeljković. On drži predavanja do svoga prvoga penzionisanja, 1890, a posle toga astronomija je zanemarena i svedena na pomoćni predmet, pa se predavala uz matematiku. Nedeljko-

vić nije štampao svoja predavanja, ali iz skica predavanja, sačuvanih u rukopisu, vidi se da se uglavnom zadržavao na fizičkoj astronomiji. Kao udžbenik je i studentima služila *Kosmografija sa osnovnim astronomskim napomenama*, 1888, Milna Andonovića, iako namenjena srednjoj nastavi.

Posle prvog svetskog rata osnovana je grupa za astronomiju na Filozofskom fakultetu u Beogradu. Pored Andonovićeve *Kosmografije*, kao udžbenici služe Gingerov *Kurs astronomije – teorijski deo*, 1925, i *Kurs astronomije – praktični deo*, 1928, oba u prevodu Stevana Boškovića. Posle će se pojaviti *Nebeska mehanika*, 1935, Milutina Milnakovića i njegova *Istorija astronomske nauke*, 1948, 1954. i 1979, kao i slovenački prevod, 1951, zatim *Osnovi nebeske mehanike*, 1947, 1956, i 1980. kao i njegov specijalistički kurs *Astronomska teorija klimatskih promena i njena primena u geofizici*, 1948. g., pa dva udžbenika Vojislava Miškovića: *Zbirka rešenih zadataka iz opšte astronomije*, 1956. g. i prva sveska *Kursa opšte astronomije*, 1961. g.

Godine 1947. je na Prirodno-matematičkom fakultetu u Beogradu osnovana katedra za mehaniku i astronomiju, koja se nalazila pod rukovodstvom Tatomira Anđelića. Godine 1962. iz nje se izdvojila katedra za astronomiju, koja je 1971. g. prerasla u Institut sa dve katedre – za astronomiju i nebesku mehaniku i za astrofiziku. Katedrom, a zatim Institutom je sve do 1980. g. rukovodio Branislav Ševarlić. Školske 1961/62. g. prvi put je na studijskoj grupi za astronomiju izvršena i podela u dva smera – astronomski i astrofizički, koja se, uz uvođenje magistarskih studija 1964/65. g. raznih smerova, zadržala sve do danas.

Na Ljubljanskom sveučilištu osniva 1948. g. katedru za astronomiju Franjo Dominko. Sa ovim su poboljšani uslovi za razvoj i astronomske nauke i nastave u nas. Tada slede univerzitetski udžbenici današnjeg talasa: Branislava Ševarlića i Zaharija Brkića *Geodeska astronomija I*, 1963. i *Opšta astronomija*, 1970. i 1981. g.; Jovana Lazovića *Osnovi teorije kretanja Zemljinih veštačkih satelita*, 1976; Jovana Simovljevića *Osnove teorijske astronomije*, 1977. g.; Dragutina Đurovića *Matematička obrada astronomskih posmatranja*, 1979. g. i Mirjane Vukičević-Karabin, *Teorijska astrofizika* (odobrena za štampu), kao i u Zagrebu skripta Nikolaja Abakumova i Predraga Terzića *Sfena i praktična astronomija* i u Beogradu skripta Ivana Atanasijevića i Jelene Milogradov *Odabrana poglavlja zvezdane astronomije*. U Zagrebu su doživela dva izdanja 1967. i 1971. skripta Vladisa Vujnovića *Osnove astrofizike*.

Sa osnivanjem katedre za astronomiju pri Prirodno-matematičkom fakultetu u Ljubljani Franjo Dominko rukovodi i podizanjem "Astronomske-geofizikalne opservatorije" na Golovcu, kraj Ljubljane kao njegov prvi direktor. Ona je 1980. g. uključena u osnovnu organizaciju za fiziku na Fakultetu za naravna i tehnološka istraživanja. Katedra više ne postoji kao organizacijska jedinica, ali astronomske predmete s težištem na astrofiziku, drže Andrej Čadež i Miro Javornik u okviru fizike. Bogdan Kilar obavlja nastavu geodetske astronomije na Fakultetu za arhitekturu, gradbeništvo i geodeziju u Ljubljani.

Opservatorija na Galovcu (astronomski sektor) pretežno je nastavnog karaktera, nosilac naučnog rada je Pavla Ranzinger, opservatorija raspolaže Askanija-refraktorom 16/256 cm s priborom, pasažnim instrumentom Askanija 7/70 cm, univerzalnim instrumentom Askanija 7/70 cm, časovnikom Brijie i časovnikom Elektročas-Praha. Radila je na određivanju preciznih geografskih koordinata i na vezivanju za državnu triangulaciju, pratila je aktivnost i Sunčeve fotosfere i povremene astronomske pojave. Godine 1979. nabavljen je reflektor Celestron 36/400 cm. Radi i na manjim projektima (fotometrija malih planeta).

Od univerzitetskih udžbenika u Ljubljani pomenimo: *Približnu določitev astronomskih geografskih koordinata in azimuta B. Kilara* iz 1978. g. i *Fiziku zvezd A. Čadeža* iz 1979. g.

Valja pomenuti i udžbenike astronomije i astrofizike za srednje škole do drugog svetskog rata: *Osnovni nauki astronomije* Jožefa Rajsnera iz 1913. g., odn. 1921. g., zatim *Kosmografiju* Vojislava Miškovića u više izdanja, Goldbergovu *Astronomiju*, *Kosmografiju* za više razrede srednjih škol Lava Čermelja iz 1934, zatim udžbenike posle drugog svetskog rata: *Astronomiju* F. Avseca i M. Prosenca iz 1971. g.; *Astronomiju* B.A. Vorncova-Veljjaninova (u dva prevoda i više izdanja) od 1945–48. i od 1969–75; *Astronomiju* B. Ševarlića, M. Vukičević-Karabin i S. Sadžakov u 5 izdanja od 1975. do 1979. g., *Astronomski atlas* B. Ševarlića i S. Sadžakov iz 1972. g., kao i današnje udžbenike za srednje usmereno obrazovanje *Astronomija B. Ševarlića* i *Astrofizika* M. Vukičević-Karabin iz 1980. g.

VII Astronomija u narodu

Veoma rano pojavljuju se neki spisi u kojima se izlažu osnovni pojmovi o Zemlji i nebu, na sasvim jednostavan način. Neuki čitalac, kome su namenjeni, neće u njima naći pravu nauku već mahom pogrešna shvatanja, neku mešavinu narodnih i apokrifnih predstava.

U Preniju, prepirci koju vode dvojica učenjaka, u rukopisu od 1334. pored crkvenih raspravljaju se i neka astronomska pitanja, kao što su: oblik neba, voda na nebu, šta se nalazi pod Zemljom, jesu li veći nebo ili Zemlja, kako anđeli nose Sunce, koliko je visoko nebo (12 660 000 000 pedi), kako zvezde nisu pričvršćene za nebo nego lebde ispod njega.

Od prepiske koju vedaše sa od sebe mnogo starijom svojom učenicom Jelenom, kćerju kneza Lazara a ženom Đurđa Balšića i potom Sandalja Hranića, sastavio je Nikon Jerusalimac Gorički zbornik. U svojim pismima on na lak način upućuje svoju učenicu u poznavanje loptastog oblika Zemlje, koja se sama održava u prostoru, iako bez oslonca ne pada, a sa svih strana je podjednako udaljena od neba. Pored ovih tačnih tvrdnji naći će se i neke neuverljive (za današnje shvatanje), da antipodi mogu biti samo ptice i gmizavci, iako je Nikon pre toga rekao da se Zemlja sama sobom steže, pa bi se moralo očekivati da i sve predmete sebi privlači.

Lucidari behu spisi, vekovima popularni, na latinskom i nemačkom, u kojima se u obliku dijaloga izlažu neki naučni i pseudonaučni pogledi na svet. Takav je i Hrvatski lucidar, pisan glagoljicom u XV veku, u kojem učitelj odgovara na pitanje učenika. Iz odgovora proističe da ima više nebasa, da na nebu između Zemlje i Meseca ima zlih duhova, a između Meseca i zvezda su anđeli; sledi tvrđenje da je Zemlja kao žumance u jajetu, da pliva na vodi, da more raste zajedno s Mesecom, da trusove izaziva voda pod Zemljom, a ima i nešto objašnjenja o kretanju Sunca, broju planeta, menama Meseca, planetama, kometama i zvezdama padalicama — šta predskazuju — pa i o pomračenjima Sunca. Sve je objašnjeno veoma naivno.

Pod naslovom Četenja postojao je rukopis od 1628. u kojem se takođe odgovara na pitanja o postanku sveta, daljinama i veličinama Meseca, Sunca i zvezda, ali sve na nenaučnoj osnovi, preuzeto iz nekih apokrifa. Bilo je i drugih sličnih tumačenja pojava.

Od poznatih nam pisaca popularna astronomska dela piše Ruđer Bošković. Veoma povoljno beše primljen njegov spev *De Solis, ac Lunae defectibus* (O pomračenjima Sunca i Meseca), štampan 1760, 1761, 1767. i preveden na francuski 1779. Stihovi su praćeni proznim objašnjenjima za svakog razumljivim, pa je očigledna Boškovićeva namera da ovo pesničko delo posluži širokome krugu čitalaca. Njegovo drugo delo ima naslov *Notice abrégée de l'astronomie pour un marin*, 1785, a pisano je da neukog novog zapovednika flote uputi u bar najosnovnija astronomska znanja potrebna pomorcu. Nažalost, pisana na stranom jeziku, ova dela nisu mogla poslužiti popularizaciji astronomije u našoj sredini. I početkom XIX. veka u Dubrovniku su na italijanskom jeziku štampane neke popularne knjižice, a popularnu astronomiju piše i Danilo Kmet i objavljuje 1823, ali zbog stranog jezika malo korisnu našem čitaocu. To će biti slučaj i sa više popularnih dela koja na nemačkom, pod pseudonimom Leo Brenner piše Gopčević.

Stojković je imao nameru da njegova *Fisika* dobije što više čitalaca, pa zato u naslovu ističe da je "prostim jezikom spisana za rod slaveno-serbski". Njegov savremenik Solarić posle *Землеописанија* iste godine 1804. izdaje *Кључић у мое землеописание* radi razjašnjenja nekih pojmova. Osim toga, on u rukopisu ostavlja jednu malu matematičku geografiju, u pitanjima i odgovorima, koja sadrži i gradivo o kretanju i obliku Zemlje, prividnom kretanju Sunca, raznim podacima o Zemlji, krugovima na njenoj lopti, pa i ponešto o Mesecu. Sve je pisano jednostavno, pa se vidi Solarićeva želja da ova znanja postanu svakome pristupačna.

U kalendarima, časopisima, listovima, pa i posebnim knjižicama tokom celog XIX veka, pa i docnije, pojavljivahu se popularni članci iz raznih grana astronomije, ali najviše fizičke. Kalendari najčešće pišu o zodijaku, godišnjim dobima, kretanju Meseca, planeti vladarci, ali donose i proricanja, naročito o vremenskim prilikama i žetvi. Pisci su mahom nepoznati, ali kako godine proticahu sve je manje proricanja, a više članaka napisanih na ozbiljnoj naučnoj osnovi, iz pera profesora. Časopisi i listovi imaju probranije saradnike, te su i astronomski članci pisani s većom pažnjom. Popularne članke pisahu Matej Vrtovec, Jovan Stejić u *Оглодима умне науке* или заба-

ви за разум и срce, koji izlaze od 1831. do 1836, pa Petar Radovanović u drugoj glavi svoje knjige *Обшта знана сваком човеку нужна* 1850, Đorđe Maletić u *PODUNAVCI* neke prevode, Svetislav Kolarović u *JAVORU* nekoliko članaka o Mesecu i kometama, Matija Vrtovec, Viljem Ogrinc, Simon Šubić, Ivan Sušnik i Matija Vdoushek u više listova. Prevedene su i neke strane popularne knjige.

Mnogobrojnijim i brižljivo sastavljenim člancima isticalu se Andrija Matić, sa mnoštvom radova u časopisima i kalendarima, Đorđe Stanojević takođe s dosta članaka i knjigom *Iz nauke o svetlosti*, 1895, pa Jelenko Mihailović koji, pored nekih stručnih članaka, ima i dosta namenjenih popularisanju astronomije, objavljenih u književnim časopisima.

U novije vreme na popularizaciji rade Ciril Pirc, koji u knjizi *Rimska cesta*, 1944, piše o postanku sveta, Pavel Kunaver, koji sem popularnih članaka objavljuje i neka svoja posmatranja, Milutin Milanković sa svojom veoma poznatom knjigom *Kroz vasionu i vekove, prvo izdanje 1938, Korz carstvo nauke i dr.*, 1950, Silvo Breskvar sa više članaka, Lavo Čermelj koji štampa *Ljudsku astronomiju*, 1930, Pavel Grošelj, prvi urednik "Proteusa" sa svojom knjigom *Vesolje Zemlja, človek*, iz 1957, Franjo Dominko sa više članaka u raznim časopisima, Vojislav Grujić i Đorđe Nikolić u časopisu SATURN, a ovaj drugi i u mnogobrojnim listovima i časopisima, zatim P. Đurković, M. Protić i dr.

Poslednjih decenija preveden je čitav niz popularnih knjiga, a pojavile su se i knjige B. Ševarlića *Putevi saznanja o vasioni*, 1967. g., V. Vujnovića *Tamo gdje se zvijezde rađaju* 1972. g. i dr., kao i niz brošura. Izišlo je i nekoliko obimnih leksikona i enciklopedija u kojima je astronomiji poklonjena pažnja.

Osim ovih pojedinačnih poslenika na popularisanju astronomije učinjeno je dosta i zajedničkim radom. Hrvatsko prirodoslovno društvo, na podsticaj Otona Kučera osnovalo je 1902. astronomsku sekciju koja sledeće godine otvara u Zagrebu opservatoriju o kojoj je napred bilo više govora. Njome čitav niz godina urpavlja sam Kučera, pisac više popularnih dela, kao *Naše nebo*, 1895, *Črtice iz mehnaike neba i Zemlje*, 1915. i mnogih članaka. I danas je znatan njen rad na popularizaciji i izdavački rad.

Prvo Astronomsko društvo u Beogradu osnovano je 1934. g. inicijativom Đorđa Nikolića. Osnivači su bili: Vin-ka Ballić, Olga Brankovan, Slobodanka Dimitrijević, Pavle Emanuel, Nenad Janković, Đorđe Nikolić, Božidar Popović i Branislav Ševarlić. U početku pod Nikolićevim, a potom pod predsedništvom Vojina Đurličića, ovo društvo je izdavalo naš prvi popularno-stručni astronomski časopis "Saturn" od 1935—1940. g. Posle drugog svetskog rata, kao Astronomsko društvo "Ruđer Bošković" ono izdaje časopis "Vasiona", od 1953, a astronomiju populariše i u nastavi učestvuje preko svoje Narodne opservatorije i Planetarijuma, kojima je od njihova osnivanja do svoje smrti urpavljaio Radova Danić, a časopis od 1955—1972. g. vodio Nenad Janković, od 1973—1974. Pero Đurković, 1975. g. ga preuzima Jelena Milogradov-Turlin. Niz godina, od 1956, izlazi "Čovjek i svemir" časopis Zvezdarnice Hrvatskog prirodoslovnog društva, koji kasnije dobija i svoje esperantsko izdanje. U ovim i drugim časopisima, kao što su "Priroda i nauka", "Nauka i priroda", "Nauka i tehnika", "Proteus" i dr., zatim u izdanjima Hrvatskog prirodoslovnog društva, Kolarčevog narodnog univerziteta, izdavačkih radnih organizacija "Prosveta", "Kultura", "Rad", "Nolit", "Radnik" i dr., kao i u almanasima "Bošković" i "Godišnjak našeg neba" naši su astronomi i ljubitelji astronomije dali velik broj članaka za narodno prosvetljenje i za ljubitelje neba. S druge strane, ova je akcija vrlo efikasno dopunjavana predavanjima na narodnim univerzitetima, po radnim orgnaizacijama, kao i na raidju i televiziji, priređivanjem izložbi i osnovanjem društvenih sekcija i podružnica pri srednjim školama, po republičkim centrima i u više gradova u unutrašnjosti. Najzad, naša su društva uvek uzimala vidna učešća i u pripremi srednjoškolaca i osnovaca za takmičenja u okviru pokreta "Nauku mladima". Godine 1979. Šuveljak, Vujnović i Margetić izdali su i priručnik *Natječemo se u znanju astronomije*.

Pri Prirodoslovnom društvu Slovenije osnovana je Astronomska sekcija 1952. g. u Ljubljani s ciljem popularizacije astronomije. Prvi predsednik bio je Silvo Breskvar. Pored predavanja, stručnih kurseva i sastanka, Sekcija je s fabrikom "Vega" orgnaizovala i izradu ljubiteljskih refraktora AT 140. Godine 1975. nabavljen je reflektor "Celestron" od 200 cm za posmatracke večeri za javnost. Godine 1979. je sekcija prerasla u samostalno Astronomsko društvo "Javornik". Prvi predsednik bio je ljubitelj Jurij Šaba. Na brdu Javornik kod Idrije gradi se dobrovoljnim radom ljubiteljska opservatorija. Društvo organizuje letnje škole za ljubitelje. U radu se mnogo zauzimaju Marjan Prosen i Fran Dominko.

U glavnoj zgradi Univerziteta u Ljubljani radi mali planetarijum za škole i veće grupe posetilaca.

U Sarajevu je, na inicijativu grupe entuzijasta, na čelu s Božidarem Popovićem, osnovan 1963. g. Akademski astronomsko-astronautički klub, koji 1968. g. menja naziv u Akademsko astronomsko-astronautičko društvo. Njegova astronomska sekcija prerasta 1973. g. u Akademsko astronomsko društvo, danas Univerzitetско astronomsko društvo. Pored žive aktivnosti na stvaranju opservatorije, postavljanju teleskopa i vršenju raznih astronomskih posmatranja, o čemu je već bilo govora, Društvo je bilo vrlo aktivno i u izdavačkoj delatnosti. Pomenimo samo nekoliko zapaženih izdanja: *Astronomija* M. Muminovića (1972, 1976, 1977), *Praktična astronomija* istog pisca (1973), *Zvijezde, pulsari, kolapsari...* V. Vunovića (1974, 1978), *Ljetna škola astronomije...* grupa pisaca (1979), *Zvezdani atlas* M. Muminovića i M. Stupara (1979), *Priručnik za astronome amatere* grupe pisaca (1980), kao i časopis "Astroamater" (1974–1976).

IMENSKI PREGLED
uz knjigu I Prilog 1.

- | | |
|--|--|
| Abdumelik, Holld-ben (9. vek). | Aleksander, Džems (Alexander, James, 1888-1971). |
| Abe, Ernst (Abe, Ernst, 1840—1905). | |
| Abot, Čarls Grilli (Abbot, Charles Grilli, 1875—1973). | Alen, Džon Frenk van (Allen, John Frenk van, 1908—). |
| Abul Vefa (Mohamed-Abul-Vefa-al-Buzdžani, 939—998). | Alhazen, Ibn-al-Hajtam, (Alhazen, Ibn al-Haytham, 965—1039). |
| Abul Feda (1273—1331). | Alihanov, Abram Isakovič, (1904—1970). |
| Adams, Uolter Sidni (Adams, Walter Sidney, 1876—1956). | Alfons X Mudri, kralj Kastilje (1223—1284). |
| Adams, Frenklin (Adams Franklin). | Alven, Hanes Olof Gosta (Alfven, Hannes Olof Gosta, 1908—). |
| Adams, Džon Kuč (Adams, John Couch, 1819—1892). | Al-Sufi, Abdal-Rahman (903-986). |
| | Al-Mamun, Kalif (786—833). |
| Ajvori, Džerms (Ivory, James, 1765—1842). | |
| Ajnštajn, Albert (Einstein, Albert, 1879—1955). | Anaksimandar (-610- -547). |
| Al-Batani (Mohamed-ben-Džafar-abu-abdulah, 850—930?). | Anaksimn iz Mileta (?—480). |
| | Angstrem, Anders Jonas (Angström, Anders Jonnas, 1814—1874). |
| Albreht, Teodor (Albrecht, Theodor). | Anderson, Karl Dejvid (Anderson, Carl David, 1905—). |

- Anri, Pol Pjer (Henry, Paul Pierre, 1848—1905).
- Anri, Prosper Matje (Henry, Prospère Mathieu, 1849—1903).
- Antonljadi, Ežen (Antonladi, Eugène, 1870—1944).
- Antonov, B. A.
- Aplton, Edvard Viktor (Appleton, Edward Victor, 1892—1965).
- Apolonije iz Perge (oko 260 — oko 210).
- Arago, Dominik Fransoa (Arago, Dominique François, 1786—1853).
- Argelander, Fridrih Vilhelm August (Argelander, Fridrih Wilhelm August, 1799—1875).
- Arest, Hajnrih Luj d' (Arrest, Heinrich Louis, d', 1822—1875).
- Aristarh sa Samosa (oko -310- -230).
- Aristil (4. i 3. vek pre n.e.).
- Aristotel iz Stagire (-384- -312).
- Armstrong, Nil Alden (Armstrong, Neil Alden, 1930 —).
- Arnijus, Svante Avgust (Arrhenius, Swante August, 1859—1927).
- Arhimed (-286- - 211).
- Astapovič, Igor Stanislavovič (1908—1976).
- Asten, Emil Fridrih f. (Asten, Emil Friedrich, 1842—1878).
- Auvers, Artur, Julijus Georg Fridrih (Auwers, Arthur, Julius Georg Friedrich, 1838—1915).
- Autolik iz Pitane (4. i 3. vek pre n.e.).
- Bade, Vilhelm Henrih Volter (Baade, Wilhelm Heinrich Walter, 1893—1960).
- Bajer, Johanes (Bayer, Johannes, 1572—1625).
- Baklund, Oskar Andrejevič (1846—1916).
- Bal, Leo de (Ball, Leo de, 1853—).
- Balmer, Johan Jakob (Balmer, Johann Jakob, 1825—1898).
- Bamberg, Karl (Bamberg Carl).
- Barindžer, (Baringer).
- Barnard, Eduard Emerson (Barnard, Edward Emerson, 1857—1923).
- Barnet, M. (Barnett, M).
- Basov, Nikolaj Gennadievič (1922—).
- Bebkock, H.D. (Babcock, H.D. 1882—1968).
- Bebkok, H. (Babcock, 1912—).
- Bediker, Oto (Boeddicker, Otto).
- Bejli, Frensis (Baily, Francis, 1774—1844).
- Bejnon, V (Baynon, W.).
- Bearel, I (Becquerel, I).
- Beli, Žan Silven (Baily, Jean Silvain, 1736—1793).
- Bel, Džoselin (Bell, Jocelyn).
- Bemporad, A (Bemporad, A).

Bencenberg, Johan Fridrih (Benzenbeg, Johann Fridrich,, 1777—1846).

Berberih, A. (Berberch, A.).

Berbidž, Ellnor, Margerit (Burbidge, Ellnor Margaret).

Berbidž, Džefri (Burbidge, Jeffrey, 1925—).

Ber, Vilhelm (Beer, Wilhelm, 1797—1850).

Berd Džon (Bird John, 1709—1776).

Berkovski.

Bernuli, Danijel (Bernoulli, Daniel, 1700—1782).

Bernull, Jakob (Bernoulli, Jacob, 1654—1705).

Bernhem, Šerberl Uesli (Burnham, Sherbury Wesley, 1838—1921).

Berozus (Berosus 7. vek pre n.e.).

Besel, Fridrih Vilhelm (Bessel, Fridrich Wilhelm, 1784—1846).

Bete, Hans Albreht (Bete, Hans Albrecht, 1906—).

Benington, T. (Benington, T.).

Birgi, Jost (Bürgli, Jost, 1552—1632).

Birk, B.

Bjankini, Frančesko (Bianchini, Francesco, 1662—1729).

Bjela, Vilhelm f. (Bléla Wilhelm, v., 1782—1856).

Bjelopolski, Aristarh Apolonovič (1854—1934).

Blaško, Sergej Nikolajevič (1870—1956).

Bode, V. (Bode, W.).

Bode, Johan Eiert (Bode, Johann Eiert, 1747—1824).

Bajarčuk.

Boke.

Bol, De (Ball, De).

Bol, Viljem (Bal, William, XVII vek).

Bolcman, Ludvig (Boltzmann, Ludwig, 1844—1906).

Bond, Vilijem Kranč (Bond, William Cranch, 1789—1859).

Blo, Žan Batist (Blot, Jean Baptiste, 1774—1850).

Bond, Džordž Filips (Bond George Phillips, 1825—1865).

Bonplan (Bonpland).

Borda, Žan Šarl. (Borda, Jean Charles, 1733—1799).

Boreli, Đovani Alfonso (Borelli, Giovanni Alphonso, 1608—1679).

Bor, Nils Henrik David (Bohr, Niels Henrik David, 1885—1962).

Bos, Bendžamin (Boss, Benjamin).

- Bos, Lujis, (Boss, Lewis, 1846—1912).
- Boven, Ajra Sprejg (Bowen, Ira Sprage, 1898—1973).
- Bošković, Ruder Josip (1711—1787).
- Brandes, Hajnrh Vilhelm (Brandes, Heinrich Wilhelm, 1777—1834).
- Brant, H. (Brandt, H.).
- Brauer, Dirk (Brower, Dirck, 1902—1966).
- Braun, Ernst Vilijem (Brown, Ernst William 1866—1938).
- Braun Karl Ferdinand (Braun Karl Ferdinand, 1850—1918).
- Brahe Tiho (Brache Tycho, 1546—1601).
- Brašer, Džon Alfred (Brachear John Alfred, 1840—1920).
- Bredihin, Fjodor Aleksandrovič (1831—1904).
- Bredli, Džems (Bradley, James, 1692—1762).
- Brejt, Gregori (Breit, Gregory, 1899—).
- Brosen, Teodor (Brosen, Theodor, 1819—1894).
- Bruno, Đordano (Bruno, Giordano, 1548—1600).
- Bruns Kristijan (Bruhns Christian, 1830—1881).
- Bruster, Dejvid (Brewster, David, 1781—1868).
- Buvar, Aleksis (Bouvard, Alexis, 1767—1843).
- Buge, Pjer (Bouguer, Pierre, 1688—1758).
- Bunzen, Robert (Bunsen, Robert, 1811—1899).
- Burke, Bernard (Burke, Bernard).
- Buš, August Ludvig (Bush August Ludwig, 1804—1855).
- Cajger.
- Cajdel, L.
- Caj-Jong (2. i 3. vek).
- Cajs, Karl Fridrih (Zeiss, Carl Fridrich, 1816—1888).
- Cah, Fransua Ksavije de (Zach, François Xavier de, 1754—1832).
- Celzijus, Andre (Celsius, André, 1701—1744).
- Ceiner, Johan Karl Fridrih (Zöllner, Johann Carl Fridrich, 1834—1882).
- Ceraski, Vitold Karlovič (1849—1925).
- Cizat, Johan Baptist (Cizat, Johann Baptist, 1586—1657).
- Cinger, Nikolaj Jakovljevič (1842—1918).
- Čolkovski, Konstantin Eduardovič (1857—1938).
- Cvikl, Fric (Zwicky, Fritz, 1898—1974).

- Čalis, Džems (Challis James, 1803—1882).
- Čandler, Set Karl (Chandler, Seth Carl, 1846—1913).
- Čemberlen, Tomas Krouder (Chamberlin, Thomas Crowder, 1843—1928).
- Čečik, P.
- Či-Hoang-Ti (3. vek pre n.e.).
- Čudakov, Aleksander Exgenievič (1921—).
- Ču-Čong (5. vek).
- Dagan, Rejmond Smit (Dugan, Raymond Smith 1878—1940).
- Dager, Luj (Daguerre, Louis, 1787—1851).
- Dajk Valter Franc Anton f. (Dyck Walther Franz Anton v. 1856—1934).
- Dajson, Frenk Vetsn (Dyson, Frank Waltsn, 1868—1939).
- Dalamber Žan L Ron (D'Alembert, Jean Le Rond, 1717—1783).
- Damuazo, Mari Šarl Teodor (Damoiseau Marie Charles Théodore, 1768—1846).
- Dicearth iz Mesime (4. vek pre n.e.).
- Dolond, Džon (Dollond, John, 1706—1762).
- Dolifis, Oduen (Dolfus, Audoen, 1924—).
- Danžon Andre (Danjon, André, 1890—1967).
- Dankan Džon Čarls (Durkan, John Charles, 1882—1967).
- Darvin, Džordž Hauerd (Darwin, George Howard, 1845—1912).
- Dati, Dž
- Dajvis Džon (Davies John, 1850—1905).
- Dajvis Viljem (Dawes, William Rutter, 1799—1868).
- Dekart, Rene (Descartes René-Cartésius, 1596—1650).
- Delambr, Žan Batist Žozef (Delambre, Jean Baptiste Joseph, 1749—1822).
- Delandr, Ami Aleksandr (Deslandres, Henry Alexandre, 1853—1948).
- Delone, Šarl Ežen (Delaunay, Charles Eugène, 1816—1872).
- Demibrovski, Herkules (Demibrowsky, Hercules, 1815—1881).
- Demiscijan (Demiscianus).
- Dening, Viljem Frederik (Denning, William Frederic, 1848—1931).
- Dik Tom (Dick Thom, XIX v.).
- Dionisije Mali (6. vek).
- Diem, Pjer Moris-Mari (Duhéma, Pierre-Maurice-Marie, 1861—1916).

- Dombrovski, Viktor Aleksejevič (1913—1972).
- Donati, Dovani Batista (Donati, Giovanni Battista, 1826—1873).
- Dopler, Kristijan (Doppler, Christian, 1803—1853).
- Drajer, Johan Ludvig (Dreyer, Johann Ludwig 1852—1926).
- Dreper, Henri (Draper Henry, 1837—1882).
- Dreper, Džon Vilijem (Draper, John William, 1837—1882).
- Driļankur (Driencourt).
- Duner, Nils Kristofer (Dunér, Nils Christofer, 1839—1914).
- Dakoni, Rikardo (Giacconi Riccardo, 1931—).
- Džefrejs, Herold (Jeffreys, Harold, 1891—)
- Dženkins (Jenkins).
- Džins, Džems Hopvud (Jeans, James Hopwood 1877—1946).
- Džipan.
- Džonsn, Harold Lester (Johnson, Harold Laster, 1921—).
- Ebert, H. (Ebert, H.).
- Edi, Lindzi Atkins (Eddie, Lindsey Atkins, 1845—1913).
- Edingtn, Artur Stenli (Eddington, Arthur Stanley, 1882—1944).
- Edlen, Bengt.
- Eksner, K. (Exner, K.).
- Eld.
- Eliot Th (Elliot, Th; XIX v.).
- Elkin, Vilijem Luis (Elkin, William Lewis, 1855—1933).
- Elsmor.
- Elster, Johan Filip Ludvig Julijus (Elster, Johann Philipp Ludwig Julius, 1854—1920).
- Emden, Robert (Emden, Robert, 1862—1940).
- Endrjus.
- Enke, Johan Franc (Enke, Johann Franz, 1791—1865).
- Eratosten iz Kirene (oko -276. -194).
- Eri, Ser Džordž Bidel (Airy, Sir George Biddell, 1801—1892).
- Esen, L. (Essen, L.).
- Etken, R. (Altken, R.).

Etkinson, R de E. (Atkinson, R d'E.).

Eudoks sa Knida (-409—356).|

Euklid (4. | 3. vek pre n.e.).

Fabrilijus, David (Fabricius, David, 1564—1617).

Fabrilijus Johan (Fabricius, Johann, 1587—1616).

Faj, Erve Ogist (Faye, Hervé Auguste, 1814—1902).

Falls, N. (Falls, N., 1664— ?).

Fauler, Alfred (Fowler, Alfred, 1868—1940).

Ferma, Pjer de (Fermat, Pierre de, 1601—1665).

Fesenkov, Vasilij Grigorjevič (1889—1972).

Fernel Žan (Fernel, Jean, 1497—1558).

Filips, Dž.

Fiso, Ipolit Luj (Fizeau Hippolyte Louis, 1819—1896).

Fild (Field).

Filolaos (5. vek pre n.e.).

Flamarion, Nikola Kamij (Flammarion, Nicolas Camil, 1842—1925).

Fleming, Santord (Fleming, Sanford).

Flemstid, Džon (Flamsteed John, 1646—1719).

Fogel, Herman Karl (Vogel, Hermann Carl, 1841—1907).

Fontana Frančesko (Fontana Francesco, 1585—1656).

For, A. (Foure, H.).

Frajndlih (Finlej), Erven (Freundlich (Finley), Erwen, 1885—1964).

Frakastor, Žerom (Fracastor, Jérôme, 1483—1553).

Fraunhofer, Žezef (Fraunhofer, Joseph, 1787—1826).

Frenklin, K.

Fridman, Aleksandr Aleksandrovič, 1888—1925).

Fridman, Herbert (Friedman, Herbert, 1916—).

Frizije, Gema (Frisius, Gemma, 1508—55).

Frike, V. (Fricke W.).

Fric, Herman (Fritz, Hermann).

Fuko, Žan Bernar Leon (Faucault, Jean Bernard Léon, 1819—1868).

Gagarin, Jurij Aleksejevič (1934—1968).

Gajger, Hans (Johanes) Vilhelm (Gelger Hans /Johannes/Wilhelm. 1882—1945).

Gajo.

Gale, John, Gotfrid (Galle, Johann Gotfrid, 1812—1910).

Gallej, Galileo (Galilei, Galileo, 1564—1642).

Gamov Džordž (Antonovič Georgij) (Gamov, George, 1904—1968).

Garfinkel.

Gasandi, Pjer (Gassendi, Pierre, 1592—1655).

Gaskoanj Vilijem (Gascolgne, William, 1621—1644).

Gaus, Karl Fridrih (Gauss, Karl Friedrich, 1777—1855).

Gej-Lisak, Žozef Luž (Gay-Lussac, Joseph Louis, 1778—1850).

Gerhard iz Kremone (Gerhardus Cremonensis, 1114—1187).

Gigas (Gigas).

Gil, Georg (Gill, Georg).

Gil, Dejvid (Gill, David, 1843—1914).

Gilden, Johan August Hugo (Gylden, Johann August Hugo, 1841—1896).

Ginan, Pjer Luž (Guinand, Pierre Louis, 1718—1824).

Gino Bernar (Guinot, Bernard).

Girs.

Gilise (Gilese).

Godfri, Tomas (Godfrey Thomas, 1704—1749).

Gor Georg (Gore, George, 1826—1908).

Gordon, Volter (Gordon Walter, 1893—1940).

Gotje, Arman E.J. (Gautler, Armand E.J., 1920—).

Gotje, Ferdinand Pol (Gautier Ferdinand Paul, 1842—1909).

Grinštajn, Džesi Leonard (Greenstein, Jessy Leonhardt, 1909—).

Grob Tomas (Grubb Thomas, 1800—1878).

Graf, Kazimir Romuald (Graff, Kazimir Romuald, 1878—1950).

Gračev.

Grgur XIII, papa (Gregor XIII, 1502—1572—1585).

Gregori, Olinthus Džilbert (Gregory, Olinthus Gilbert, 1774—1841).

Gregori Džems (Gregory James, 1638—1675).

Grejem Džordž (Graham, George, 1678—1751).

Grigori.

Grimaldi, Frančesko Marija (Grimaldi, Francesco Maria, 1618—1663).

Grinbelt (Greenbelt).

- Grinberger, Kristof (Greenberger, Christoph).
- Gudejkr, Volter (Goodacre, Walter, 1856 — 1938).
- Gudrajk, Džon (Goodricke, John, 1764—1786).
- Guld, Bendžamin Antorp (Goold, Benjamin, Antorp, 1824—1896).
- Gurski, H.
- Gusjev.
- Gutnik, Paul (Guthnick Paul, 1879—1947).
- Hajaši.
- Hajgens, Kristijan (Huyghens, Christian, 1629—1695).
- Halej, Edmund (Halley, Edmond, 1656— 1743).
- Hanasi, Hilel (4. vek).
- Hanzen, Peter Andreas (Hansen, Peter Andreas, 1795—1874).
- Hanski, Aleksej Pavlovič (1870—1908).
- Harding Karl Ludvig (Harding, Carl Ludwig, 1765—1834).
- Harison, Džon (Harrisson, John, 1693—1776).
- Harknes, Uilljem (Harkness, William, 1837—1903).
- Hartvig, Karl Ernest Albreht (Hartwig, Carl Ernest Albreht, 1851—1923).
- Hartman, Johanes Franc (Hartmann, Johannes Franz, 1865—1936).
- hartman Karl Fridrih Aleksander (Hartmann, Carl Friedrich Alexander, 1796—1863).
- Harcer Pol (Harzer Paul, 1857—).
- Hasi, Džon Tomas (Hassey, John Thomas).
- Hati, Ć.
- Haukin, S. (Houking, S.).
- Hauning.
- Hautgast, J.
- Hedli, Džon (Hadley, John, 1682—1744).
- Hedok.
- Heg (Hög).
- Hegins, Vilijem (Huggins, William, 1824—1910).
- Hej, Džems Stenli (Hey, James Stanley).
- Hejford, Džon Fajlmor (Hayford, John Fillmore, 1868—1925).
- Hejl, Džordž Elerl (Hale, George Ellery, 1868—1938).
- Hejs, Eduard.
- Heker.
- Helmert, Fridrih Robert (Helmert Friedrich Robert, 1843—1917).
- Helmholz, Ludvig Ferdinand Herman f. (Helmholtz, Ludwig Ferdinand Hermann v., 1821—1894).

Henberl-Braun, R.

Henderson, Tomas (Henderson, Thomas, 1798—1844).

Heraklid Pontijski (-388- -315).

Herik (Herrik).

Heriot, Tomas (Herriot, Thomas, 1560—1621).

Herlofson, N.

Heron iz Aleksandrije (2. vek pre n.e.).

Hercsprung, Ajnar (Hertzprung, Einar, 1873—1967).

Heršel, Vilijem (Herschel, William, 1738—1822).

Heršel, Džon Frederik Vilijem (Herschel, John Frederick William, 1792—1871).

Hes, Viktor Franc (Hess, Victor Franz, 1883—1964).

Hevelije, Jan (Hevelius, Johann, 1611—1687).

Hevisajd, Oliver (Heaviside, Oliver, 1850—1925).

Hezard, K.

Hidman.

Hiketas iz Sizakuze (5. vek pre n.e.).

Hiltner, Vilijem Albert (Hiltner, William Albert, 1914—).

Hil, Džordž Vilijem (Hill, George William, 1838—1914).

Hind, Džon Rasel (Hind, John Russel, 1823—1895).

Hindke (Hynks).

Hiparh iz Nikeje (2. vek pre n.e.).

Hir, Filip de la (Hire, Philippe de la, 1640—1718).

Hirš Adolf (Hirsch, Adolf, 1830—).

Hjelming.

Hjerter, Olaf Peter (Hjörter, Olaf Peter).

Hjuiš, Entoni (Hewish Antony, 1924—).

Hladni, Ernst Florens Fridrih (Chladni, Ernest Florens Fridrich, 1756—1827).

Hojl, Fred (Hoyle, Fred, 1915—).

Hok, Martin (Hock, Martin, 1834—1873).

Hol, Asaf (Holl, Assaf, 1829—1907).

Holvarda, Facilid (Holworda, Phacylides, 1618—1651).

Hol, Čester Mur (Hall, Chaster Moor).

Hol, Džems (Hall, James, 1811—1898).

Holden, Eduard Singleton (Holden, Edward Singleton, 1846—1914).

Holm, Dž. (Holmes, XVII vek).

Horebau, Kristijan (Horrebow, Christian, 1718—1770).

Horoks, Džerlmaž (Horrox, Jeremiah, 1618—1641).

- Hodžsn, Džon Entoni (Hodgson, John Antony, 1777—1848).
- Huip (Whipple).
- Huk, Robert (Hooke, Robert, 1635—1702).
- Hulst, Hendrik Kristofer van de (Hulst, Hendricke Christopher van de 1918—).
- Humbolt, Aleksander f. (Humboldt Alexander v., 1769—1859).
- Huper, T.
- Hut (1763—1818).
- Huzo, Žan Šarl de Lhe (Houzeau, Jean Charles de Lehaie, 1820—1888).
- Ibn Junis (10. i 11. vek).
- Isa, Ali-ben (9. vek).
- Iserštet (Isserstedt).
- Iston, K. (Easton, K.).
- Ivn.
- Jakobi, Karl (Jacobi Carl, 1804—1851).
- Jansen, Zaharijas (Janssen, Zacharias, 1580—1638).
- Janski, Karl.
- Jegorova, N.G.
- Jung, Čarls Augustus (Young, Charles Augustus, 1834—1908).
- Kajzer, Hajnrh Johanes Gustav (Kayser Heinrich Gustav, 1853—1940).
- Kajzer, Frederik (Kaiser Frederik, 1808—1872).
- Kajtel.
- Kalandro, Pjer Žan Oktav (Callandreau, Pierre Jear. Octave, 1852—1904).
- Kallnjak.
- Kameron, A.
- Kampani, Duzepe (Campani, Giuseppe, 1635—1715).
- Kamp, Piter (Kamp, Peter van de, 1901—).
- Kant, Imanuel (Kant, Immanuel, 1724—1804).
- Kaptajn, Jakobus Kornelijus (Kapteyn, Jacobus Cornelius, 1851—1922).
- Kardan, Hijeronim (Cardanus, Hyeronimus, 1501—1576).
- Karlson, A.
- Karpenter, Džems (Carpenter, James, 1840—1899).
- Kasegren (Cassegrain, 1672—?).
- Kasini, Žan Dominik (Cassini, Jean Dominique 1625—1712).
- Kasini, Sezar Fransua de Tiri (Cassini, César François de Thury, 1714—1784).
- Kauel, Filip Herbert (Cowell, Philip Herbert, 1870—1949).
- Kauling (Cowling).

Kembel, Vilijem Voles (Campbell William Wallace, 1862—1938).

Kempf, Paul (Kempf, Paul).

Kemp, Dž.

Kendl, Jakob-al (9. vek).

Keneli, Artur Edvin (Kennelly, Arthur Edwin, 1861—1939).

Kenon, Eni Džamp (Kennon, Anny Jamp, 1863—1941).

Kepler, Johan (Kepler, Johannes, 1571—1630).

Keringtn, Ričard Kristofer (Carrington, Richard Christopher, 1826—1875).

Kern.

Kertis, Heber (Curtis, Heber, 1872—1942).

Ker, F.

Kettle, Lamber Adolf Žak (Quetelet, Lambert Adolph Jacques, 1796—1874).

Kevndiš, Henri (Cavendish, Henry, 1731—1810).

Kiler, Džems Eduard (Keeler, James Edward, 1857—1900).

Kiler, Džems (Keeler, James).

King, D. (King, D.).

Kirkvud, Danijel (Kirkwood, Daniel, 1814—1895).

Kirhof, Gustav Robert (Kirchhoff, Gustav Robert, 1824—1887).

Kistner, F. (Küstner, F.).

Klavlje, Kristof (Clavius, Christoph, 1537—1612).

Klajn, Herman Jozef (Klein, Herman Joseph, 1844—1914).

Klark Alvan (Clark, Alvan, 1804—1887).

Klark, Alvan Grejem (Clark, Alvan Graham, 1832—1897).

Klauzen Tomas (Clausen, Thomas, 1801—1885).

Klemens, Džerald (Clemenc, Gerald, 1908—1974).

Kleomed (oko -10- +50).

Klero, Aleksis Klod (Clairaut, Alexis Claude, 1713—1765).

Klengenstjern, Semjuel (Klengenstjerna Samuel, 1698—1765).

Klinkerfus, Ernst Fridrih Vilhelm (Klinkerfuss, Ernst Friedrich Wilhelm, 1827—1884).

Klod, Žorž (Claude Georges, 1870—1960).

Koblenc, Vilijem Veber (Coblentz, William Weber, 1873—1962).

Kočeu King (13. vek).

Kodža Dž. (Coggia G.).

Kolper, Džerard Piter (Kulper, Gerald Peter, 1905—1973).

Kolherster, V.

Kolšiter, Arnold (Kolschütter, Arnold, 1883—1969).

Komen (Commen).

Komstok, Džordž (Comstock, Georg, 1855—1934).

Kondorse, Antoan Nikola (Condorcet, Antoine Nicolas, 1743—1794).

Kopernik, Nikolaj (1473—1543).

Kopf, August (Kopff, August, 1882—1960).

Košl, Ogisten Luj (Cauchy, Augustin Louis, 1789—1857).

Kovalski (Vojtehovič), Marjan Albertovič (1821—1884).

Kramp, Kristijan (Kramp Christian, 1760—1826).

Krasovski, Nikolaj Nikolajevič (1924—).

Krasovskij, Feodosij Nikolajevič (1878—1948).

Kričfild, K.

Kriger, Peter (Krüger, Peter, 1580—1639).

Kriger, F. (Krüger, F.).

Kristijani, D. (Christiani, D.).

Kristijansen (Christiansen).

Kron, Džerald.

Kruks, Vilijem (Crookes, William, 1832—1919).

Krul, Luj (Cruls, Louis, 1848—1908).

Ktezibije (Ktesibios, 3. vek pre n.e.).

Kukarkin, Boris Vasiljevič (1909—).

Kulenkampf.

Kulik, Leonid Aleksejevič, (1883—1942).

Kulvije-Gravije, Remi Arman (Coulvier-Gravier, Rémi Armand, 1802—1868).

Kuper.

Kušvaha, R.S. (Kushwaha, R.S.).

Kuzanski Nikola (Cusanus Nicolas-de Cusa, 1401—1464).

Lagranž, Žozef Luj de (Lagrange, Joseph Louis de, 1736—1813).

La Hir, Filip de (La Hire, Philippe de, 1640—1718).

Lajten, Vilijem (Luyten, William, 1899—).

Lakaj, Nikola Luj de (Lacaille, Nicolas Louis de, 1713—1762).

Lakondamin, Šarl Mari de (La Condamine, Charles, Marie de, 1701—1774).

Laland, Žozef Žerom le Fransua de (Lalande, Joseph G erome le François de, 1732—1807).

Lalman, Andre (Lallemand, Andrée, 1904—).

Lambert, Johan Henrjh (Lambert, Johann Henrich, 1728—1777).

Lamont, Johanes (Lamon, Johannes, 1805—1879).

Lampland, Karl (Lampland, Carl, 1873—1951).

Langenštajn, Hajnrjh f (Langenstein, Heinrich v. Henricus de Hassia, 1325—1397).

Langli, Semjuel Pjerpont (Langley, Samuel Pierpont, 1834—1906).

Langren, Mihael Florent van (Langrenus, Michael Florent van, 1600—1675).

Lankaster (Lancaster).

Laplas, Pjer Simon de (Laplace, Pierre Simon de, 1749—1827).

Larsen, P.

Lasel, Vilijem (Lassel, William, 1699—1880).

Latišev, I.N.

Lau, Hans Emil (Lau Hans Emil, 1879—1918).

Launing.

Lebedev, Pjetr Nikolajevi (1866—1912).

Lejn, Dzonatan Homer (Lane, Jonatan Homer, 1819—1880).

Lejton, R.

Leksel (Lexell), Andrej Ivanovi (1740—1784).

Lemetr, Žorž (Lemaitre, George, 1894—1966).

Lomonije, Pjer Šarl (Le Monnier, Pierre Charle, 1713—1799).

Leonov, Aleksej Arhipovi (1834).

Lepot.

Lerebur, Nikola (Lerebours, Nicolas, 1807—1873).

Leverlje, Irben Žan Žozef (Leverrier, Urbain Jean Joseph, 1811—1877).

Ležandr, Adrljen Mari (Legendre, Adrien Marie, 1752—1833).

Libert.

Libher (Liebherr XIX vek).

- Lijeu Hong (2. i 3. vek).
- Lijuvil, Žozef de (Lilouville, Joseph de, 1809—1882).
- Lillo, Luidi Alojzio (Lillo, Luigi Alojzio, 1576—1620).
- Lindblad, Bertil (Lindblad, Bertil, 1895—1965).
- Line, Šarl de (Linné, Charles de, 1741—1783).
- Lin, S.C. (Lin, C.C.).
- Lio, Bernar (Liot, Bernard, 1897—1952).
- Lipershej, Hans (Lippershe, Hans, —1619).
- Listing (Listing).
- Litlton, Rejmond Artur (Littleton, Raymond Arthur).
- Livit, Henrijeta Suon (Levitt, Hanriette Swon, 1868—1921).
- Lobačevski, Nikolaj Ivanovič (1792—1856).
- Lobok, Džon Uilijem (Lubbock, John William, 1803—1865).
- Lodž, Oliver Džozef (Lodge, Oliver Joseph, 1851—1940).
- Loeul, Moris (Loewy, Maurice, 1833—1907).
- Lokajer, Džozef Ser Norman (Lockyer Joseph Sir Norman, 1836—1920).
- Lomonosov, Mihail Vasiljevič (1711—1765).
- Lorman, Vilhelm Gothelf (Lohrmann, Wilhelm Gott-helf, 1796—1840).
- Lou, F.
- Lovel, Persival (Lowell, Percival, 1855—1916).
- Ložlje, Pol Ogist Ernst (Laugler Paul Auguste Ernest, 1812—1868).
- Ludendorf, Fridrih Vilhelm Hans (Ludendorf, Fri-edrich Wilhelm Hans, 1873—1941).
- Ljapunov A.M. (1857—1918).
- Ljevin, Boris Juljevič (1912—).
- Magelan, Fernand de (Magellan, Fernand de, 1470—1521).
- Majer, Kristijan Gustav Adolf (Mayer, Chirstian Gustav, Adolf, 1839—1908).
- Majer, Kristijan (Mayer Christian, 1719—1783).
- Majers.
- Majer, Tobljas Johan (Mayer, Tobias Johann, 1723—1762).
- Majklison, Albert Abraham (Michelson, Albert Abra-ham, 1852—1931).
- Mak-Keljar, Endrju (Mac-Kellar, Andrew 1910—1960).

- Mak-Kria (Mac-Crea).
- Maksutov, Dmitrij Dmitrijevič (1896—1964).
- Manen, Adrijan van (Maanen, Adrian van, 1884—1946).
- Mantua.
- Maraldi, Đakomo Filipo (Maraldi, Giacomo, Filippo, 1665—1729).
- Marijus, Simon Majer (Marius, Simon Mayer, 1573—1624).
- Marlison, V.
- Markoni Guljelmo (Marconi, Guglielmo, 1874—1937).
- Matje, Klod Luj (Mathieu, Claude Louis, 1783—1875).
- Maultn, Forest Rej (Moulton, Forest Rey, 1872—1952).
- Maunder, Eduard Volter (Maunder, Edward Walter, 1851—1928).
- Mauroliko, Frančesko (Maurollico, Francesco).
- Medler, Johan Henrih (Mädler, Johann Henrich, 1794—1874).
- Mejoli, Nikolas Ulrih (Mayall Nicolas Ulrich, 1906—).
- Mek-Kalaf, T.
- Meksvel, Džejms Klark (Maxwell, James Clark, 1831—1879).
- Melkior, Pol (Melchior, Paul, 1925—).
- Melot.
- Mencel, Donald Hauard (Menzel, Donald Howard, 1901—).
- Meran, Žan Žak de (Méran, Jean Jacques de, 1678—1771).
- Merc. (Merz)
- Meril, Paul Vilard (Merrill, Paul Willard, 1887—1961).
- Meslje, Šarl (Messler, Charles, 1730—1817).
- Meskilajn, Ser Nevil (Maskyline, Sir Nevil, 1732—1811).
- Mestlin, Mihael (Moestlin, Michael, 1550—1631).
- Mešen, Pjer Frasu Andre (Méchain, Pierre François Andre, 1744—1804).
- Metjus, Džordž Belafd (Mattheus George Ballard, 1861—1922).
- Metkalf.
- Meton (oko -460—).
- Mičel, Marija (mitchell, Maria, 1818—1889).
- Mičel, Ormzbi Maknajt (Mitchel, Ormsby Mac-night, 1809—1862).
- Milanković Milutin (1879—1958).

Milders, D.

Miller Dajton Klarens (Miller Dayton Clarens, 1866—1941).

Miller Gustav (Müller, Gustav, 1851—1925).

Miller, Vilijem Alan (Miller, William Allan, 1817—1870).

Milliken Robert Endrjus (Millikan, Robert Andrews, 1868—1953).

Miln, Eduard Artur (Milne, Edward Arthur, 1896—1950).

Mills, Kristofer Duner (Mils, Christofer Dunér).

Minart, Marsel Gilles Jozef (Minnart Marcel Gilles Joseph, 1893—1970).

Minh (Münch).

Minkovski, Rudolf Leo (Minkowsky, Rudolf Leo 1895—1976).

Misovski, L.N.

Mitra, S.K. (Mitra, S.K.).

Molinuks, Semjuel (Molyneux, Samuel, 1689—1728).

Montanari, Deminiano (Montanari Geminiano, 1633—1687).

Monž, Gaspar (Monge, Gaspard, 1746—1818).

Mopertli, Pjer Luj Moro de (Maupertuis, Pierre Louls Moreau 1698—1759).

Moren, Žan Batist (Morin, Jean Boptiste, 1583—1656).

Morgan Herbert Ruo (Morgan, Herbert Rouo, 1875—1957).

Morgan, Vilijem Vilsn (Morgan, William Wilson, 1906—).

Morhauz.

Mori, Antonia Kaetana (Maury, Antonia Caetana, 1866—1952).

Moris, Anri (Maurice Henry).

Moroa, Adrijen de (Maurois, Adrien de).

Morštat, Jozef (Morstadt, Joseph, 1797—1869).

Munk, Georg Vilhelm (Muncke Georg Wilhelm, 1772—1847).

Mur, Siterli Šarlota (Moore, Setterly Charlotte, 1898—).

Mušez, Ernst Amede Bartleml (Mouchez Ernste Amedée Barthelémy, 1821—1892).

Nasir Edin (1201—1274).

Nedermajer, S.

Nejson, Edmund (Neison, Edmund, 1851—1938).

Nijeps, Nisefor (Nièpce, Nicéphore, 1765—1833).

Nikols, Ernst Foks (Nichols, Erneste Fox, 1924—).

Nikolson, Set Baris (Nicholson, Sett Baris, 1891—1963).

Nikonov, Vladimir Borisovič (1905—).

Niren, Magnus Olafson (Nyrén, Magnus Olafson, 1837—1921).

Nojgebauer, Dž.

Nordman, Šarl (Nordman, Charles).

Novikov, I.D.

Nunjes (Nonijus) Pedro (Nunez = Nonius, Pedro 1492—1577).

Njukom, Sajmon (Newcomb, Simon, 1835—1909).

Njutn Isak (Newton, Isaak, 1643—1727).

Njutn, Hjubert Ensn (Newton, Hubert Anson 1830—1896).

Ojler, Leonard (Euler, Leonard, 1707—1783).

Olbers, Hajndrih Vilhelm Matijas (Olbers, Heinrich Wilhelm Matthias, 1758—1840).

Oldrin, Edvard (Oldrin, Edward).

Oliver.

Olmsted, Denisl (Olmstead, Denisson).

Omar-al-Čejam (Hajam) (oko 1050—1123).

Omer, G.S. (Omer, G.C.).

Opolcer, Teodor f. (Oppolzer, Theodor, v., 1841—1886).

Orijani Barnaba, (Oriani Barnaba, 1752—1832).

Oroven (Orowan).

Ort, Jan Hendrik (Oort, Jean Hendrick, 1900—.)

Osterbrok, D. (Osterbrock, D.).

Osthof, H. (Osthoff, H.).

Ozu, Adrijan (Auzogt, Adrian, 1622—1691).

Palen, Emanuel fon der (Pahlen, Emmanuel von der, 1882—1952).

Paliza, Johan (Palisa, Johann, 1848—1925).

Palič, Johan Georg (Palitzsch, Johann Georg 1723—1788).

- Panekuk, Antoni (Pannekoek, Antoni 1873—1960).
- Paolini, F. (Paolini, F.).
- Parenago, Pavel Petrovič (1906—1960).
- Parijski, Nikolaj Nikolajevič (1900—).
- Parkherst, Džon Edalbert (Parkhurst John Addalbert, 1861—1925).
- Parsel Edvard (Purcell Edward, 1912—).
- Parsons, Vilijem = lord Ros (Parsons William = lord Ross, 1800—1876).
- Parsons, S. (Parsons, S.).
- Parton, C.R. (Parton, C.R.).
- Paskal, Blez (Pascal, Blaise, 1623—1662).
- Pasman, Klod Simeon (Passement, Claude Simeon, 1702—1769).
- Paulsen, Adam (Paulsen, Adam).
- Pavlov, Nikolaj Nikiforovič (1902—).
- Pejn-Gapoškin, Sesilija Helena (Payne- Gaposchkin, Cecily Helene 1900—1979).
- Peker, Žan Klod (Pecker, Jean Claude).
- Penzijas, A. (Penzias, A.).
- Perajn, Čarls Dilon (Perrine, Charles Dillon, 1867—1951).
- Peren Žan (Perrin, Jean 1870—1942).
- Peresk, Nikola Klod Fabri de (Pelresc, Nicolas Claude Fabrie de, 1580—1637).
- Perlje, Žorž (Perrier, Georges 1872—1946).
- Peters, V. (Peters, W.).
- Peters, J. (Peters, J.).
- Peters Kristijan August Fridrih (Peters, Christian August Friedrich, 1806—1880).
- Peters Karl F.V. (Peters, Carl F. W., 1844—1894).
- Petit, Edison (Pettit, Edisson, 1889—1962).
- Pecval, Jozef (Petzval, Joseph).
- Peters, Kristijan Hajndrih Fridrih (Peters, Christian Heindrich Friedrich, 1813—1890).
- Pezena, P. Estri (Pézénas, P. Esprit, 1692—).
- Pibls (Peebles).
- Pigot, Natanijel Eduard (Pigott, Nathaniel Edward, 1750—1807).
- Pis, Frensis Gledhelm (Pease, Francis Gladhelm, 1881—1938).
- Piize Pjer Anri (Puisseux, Pierre Henry, 1855—1928).
- Pikar, Žan (Picard Jean, 1620—1682).
- Pikering, Vilijem Henri (Pickering, William Henry, 1858—1938).

Pikering, Eduard Čarls (Pickering Edward Charles, 1846—1919).

Pikolomini, Alesandrio (Piccolomini, Alessandrio, 1508—1578).

Pirs, Dž. (Pears, J.).

Pitagora sa Samosa (oko -580- -500).

Piteas iz Marselja (4. vek pre n.e.).

Pjaci, Đuzepe (Plazzi, Giuseppe, 1746—1826).

Pjevcov.

Plana, Dovani (Plana, Giovanni, 1781—1864).

Plank, Maks (Planck, Max, 1858—1947).

Plantamur, Emil (Plantamour, Émile, 1815—1882).

Plasket, Henri Hemli (Plaskett, Henry Hamly, 1893—).

Plasket, Džon Stenli (Plaskett, John Stanley, 1865—1941).

Plinije Stariji (Gaius Plinius Secundus, Maior 23—79).

Poason, Simeon Deni (Poisson, Siméon Denis, 1781—1840).

Povalski, Karl Rudolf (Powalsky, Karl Rudolph, 1817—1881).

Pogson, Normand Robert (Poggson, Normand Robert, 1829—1891).

Poenkare Anri (Poincaré, Henri, 1854—1912).

Pozi, Džozef Lejd (Pawsey, Joseph Leyd, 1908—1962).

Pond, Dž. (Pond, J.).

Pons, Žan Luj (Pons, Jean Louis, 1761—1831).

Porta, Đambatista de la (Porta, Giambattista de la, 1538—1615).

Posidonije iz Apameje (-133- -49).

Prebles (Prebles).

Pričard, Čarls (Pritchard Charles, 1808—1893).

Proktor, Ričard Entoni (Proctor, Richard Antony, 1837—1888).

Protić Milorad (1910—).

Prohorov.

Ptolemej Klaudije (Ptolemäus, Claudius, oko 87—165).

Puje, Mod Serve Matijas (Pouillet, Maude Servais, Matthias, 1791—1868).

Purbah, Georg (Purbach Georg, 1423—1461).

Purkinje, Johan Evangelista (Purkinje, Johann Evangelista, 1787—1869).

Pšibilok, E. (Przybyllok, E.).

Radau, Rudolf (Radau, Rudolf, 1835—1911).

- Raje, Žorž Antuan Pons (Rayet, George Antoine Pons, 1839—1906).
- Rajl Martin (Ryle, Martine, 1918—)
- Rajmond, J.J. (Raimond, J.J. 1903—1961).
- Rajt, Vilijem Hemond (Wright, William Hammond, 1871—1959).
- Rajt, Tomas (Wright Thomas).
- Rajhenbah, Georg Fridrih f. (Reichenbach, Georg Fridrich, v. 1771—1826).
- Ramović, Mehmed.
- Rasel, Henri Noris (Russel, Henry Noris, 1877—1957).
- Raulend, Henri Augustus (Rowland Henry Augustus, 1848—1901).
- Reber, Grout (Reber, Grote, 1911—).
- Rederford, Luis Moris (Rutherford Luis Morris, 1816—1892).
- Regiomontan Johan Miller (Regiomontanus Johann Müller, 1436—1476).
- Reita, Širli Antoni Marla f. (Rhéita, Schyrlacus Antony Maria v. 1597—1660).
- Rekljem (Réquième).
- Remer, Olaus Kristensen (Römer, Olaus Christiansen, 1644—1710).
- Remsden, Džese (Ramsden, Jesse, 1735—1800).
- Remzi Norman (Ramsey Norman, 1915—).
- Remsl Uilljem (Ramsay, William, 1852—1916).
- Repsold, Johan Georg (Repsold, Johann Georg, 1771—1830).
- Rever, K. (Rawer, K.).
- Riči, Džordž Vilis (Ritchey, George Willys, 1864—1945).
- Ričoll, Đovani Batista (Riccioli, Giovanni Batista, 1598—1671).
- Ridberg, Johanes Robert (Ridberg Johannes Robert, 1854—1919).
- Rijn, Piter van (Rhijn Piter van, 1886—1960).
- Riman, Bernard (Riemann, Bernhard, 1826—1866).
- Riše, Žan (Richer, Jean, 1630—1696).
- Riter, Georg August Ditrh (Ritter, Georg August Ditrich, 1826—1908).
- Riter Johan Vilhelm (Ritter Jochan Wilhelm, 1776—1810).
- Ri, Voren de la (Rue, Warren de la, 1815—1889).
- Roberts, Aleksander (Roberts, Alexander, 1857—1938).
- Roberts, Isak (Roberts, Isaak, 1829—1904).
- Rol (Roll).
- Rordam (Rordam).
- Rosi, Bruno (Rossi, Bruno, 1905—).

- Ros, Džems Klark (Ross, James Clark, 1800—1862).
- Ros, Frenk Elmor (Ross, Frank Elmor, 1874—1960).
- Ros, lord-Parsons,, Villjem (Ross lord-Parsons. William, 1800—1867).
- Roš, Eduard Albert (Roche, Edouard Albert, 1820—1883).
- Roškovski.
- Rošon, Aleksl Mari de (Rochon, Alexis Marie de, 1741—1873).
- Rotman Kristof (Rothmann, Christoph, —1600).
- Roze, Gustav (Rose, Gustav, 1798—1873).
- Rozenberg, Hans Oswald (Rosenberg, Hans Oswald, 1879—1940).
- Runge, Karl David Tolme (Runge, Carl David Tolmé, 1856—1927).
- Saha Megnad (Saha, Meghnad, 1894—1956).
- Sajfert, Karl Kinan (Seyfert, Carl Kinan, 1911—1960).
- Sakrobosko Joan de (Sacrobosco, Joannes de, 1190—1256).
- Saut, Džejms (South, James, 1785—1867).
- Sautvort, Dž.
- Savari, Feliks (Savary, Felix, 1797—1841).
- Sebajn, Eduard (Sabine, Edward, 1788—1883).
- Sebek Tomas (Seebeck, Thomas, 1770—1831).
- Seki, Andelo (Secchi, Angelo, P., 1818—1878).
- Sekvist, E.R.
- Sendedž, E. (Sandage, E.).
- Seneka, Lucijus Aneus (Seneca, Lucius Annaeus, -4 + 65).
- Sen Goben (Saint Gobain).
- Sen-Klu, Gijom de (Saint-Cloud, Gillaume de).
- Sent-Džon, Čarls (St-John, Charles, 1857—1935).
- Serve, Mod.
- Simson, Robert (Simson, Robert, 1687—1768).
- Sims.
- Sisn, Džonatan (Sisson, Jonathan).
- Siter, Vilhelm de (Sitter, Wilhelm de, 1872—1934).
- Sju, Tomas Džeferson Džekson (See Thomas Jefferson Jackson, 1866—1962).
- Skaliger, Žozef Žist (Scala, Joseph Juste de la, 1540—1609).
- Skijapareli, Đovani Virginijus (Schiaparelli, Giovanni Virginus, 1835—1910).
- Skobeljcin, Dmitrij Vladimirovič, (1892—).
- Skot-Arčer (Scott-Archer).

- Slajfer, Vesto Melvin (Slipher Westo Melween, 1875—1969).
- Slouneker, R.
- Snelijus, Vilebrad van Rojen (Snellius, Willebrod van Royen, 1591—1626).
- Soldner, J. (Soldner, J.).
- Solon (-640- -558).
- Sosigen iz Aleksandrije (1. vek pre n.e.).
- Spenser-Džons, ser Herold (Spencer-Jonnes, Sir Harold, 1890—1960).
- Staford, Tomas (Strafford, Thomas).
- Stanjukovič, K.P.
- Stebins, Džouel (Stebbins, Jewel, 1878—1966).
- Stefan, Jožef (1835—1893).
- Stenjen (Stannyan).
- Stjuart, Balfur (Stewart, Balfour, 1828—1887).
- Stjuart, Džordž Nejl (Stewart, George, Nell, 1860—1930).
- Stojko, Nikolaj Mihailovič (1894—1976).
- Ston (Stone).
- Stoni, G. Džonston (Stoney, G. Johnstone, 1826—1911).
- Stremberg.
- Stremgren, Bengt Georg Danijel (Strömgren, Bengt Georg Daniel 1908—).
- Struve, Ludvig Otovič (1858—1920).
- Struve, Oto (Struwa, Otto, 1897—1963).
- Struve, Oto Vasiljevič (1819—1905).
- Struve, Vasilij Jakovljevič (Struwe, Friedrich Georg Wilhelm, 1793—1864).
- Suharev, L.
- Svan.
- Svanger.
- Svasi (Swassey).
- Slift, Džonatan (Swift, Jonathan, 1667—1745).

- Šacman, Evri (Schatzman, Evry).
- Šajn, Grigorij Abramovič (1892—1956).
- Šajner, Julius (Schelner, Julius, 1858—1890)
- Šajner, Kristof (Schelner, Christoph 1575—1650)
- Šarlije, Karl Vilhelm (Charlier, Carl Wilhelm, 1862—1934).
- Šarp, Abraham (Sharp, Abracham, 1651—1742).
- Šarples, B.P. (Sharpless, B.P.).
- Šeberle, Džon Martin (Schaeberle, John Marten, 1853—1924).
- Šenfeld, Edvard (Schönfeld, Edward, 1828—1891).
- Šepli, Harlou (Shappley, Harlow, 1885—1972).
- Ševallje.
- Ševarlić Branislav (1914—).
- Šikard, Vilhelm (Schickard, Wilhelm).
- Šklovski, Josif Samuilovič, (1916—)
- Šlezinger, Frank (Schlesinger Frank, 1871—1943).
- Šmit, Bernhard (Schmidt, Bernhard, 1879—1935).
- Šmit Johan Fridrih Julijus (Schmidt, Johann Friedrich Julius, 1825—1884).
- Šmit, Martin (Schmidt, Marten, 1929—).
- Šmit, Oto Juljevič (1891—1956).
- Šnauder (Schnauder).
- Šojhcer, Jakob (Scheuhcer, Jacob, 1672—1733).
- Šort, Džems (Short, James, 1710—1768).
- Šperer, Gustav (Spörer, Gustav, 1822—1891).
- Šreter, Johan Hijeronimus (Schröter, Johann Hieronymus, 1745—1816).
- Štajnhajl, Karl August (Steinheil, Carl August, 1801—1870).
- Šternberg, Pavel Karlovič (1865—1920).
- Štumpe Oskar (Stumpe, Oscar).
- Šuster, A. (Schuster, A.).
- Švabe, Hajnrih (Schwabe, Heinrich, 1789—1875).
- Švajcer.
- Švarcšild, Karl (Schwarzschild, Carl, 1873—1916).
- Tales iz Mileta (-624- - 547).
- Talkot, A. (Talcott, A.).
- Tapman (Tupman).
- Tausl, Ričard (Touzey, Richard, 1908—).
- Taunli, Ričard (Towneley, Richard, 1629—1707).
- Tauns, Čarls (Townes Charles, 1915—).
- Teba! (Tebbutt).

Tejlor, Bruk (Taylor, Brook, 1685—1731).

Telekl Dorde (1928—).

Tempel, Ernst Vilhelm (Tempel, Ernest Wilhelm, 1821—1889).

Tesla Nikola (1856—1943).

Tevno, Melkisedek (Thévenot, Melchisedec, 1620—1692).

Tihov, Gavril Adrijanovič (1875—1960).

Timoharis (Tymocharis, 4. i 3. vek pre n.e.).

Tiseran, Fransua Feliks (Tisserand, François Felix, 1845—1896).

Tjuv, M. (Tuve, M.).

Tod, Č. (Todd, Ch.).

Tom.

Tombau, Klajd Villijem (Tombow, Clayde William, 1906—).

Tomson, ser Villijam = lord Klevin (Thomson, Sir William = lord Kelvin, 1824—1907).

Toskanelli, Paolo (Toscanelli, Paolo, 1397—1482).

Trautn, Eduard (Troughton, Edward, 1753—1836).

Trimpler, Robert Džulljus (Trümpier Robert Julius, 1886—1956).

Tuluz, Bofa de (Toulouse, Boffat de).

Tvlis, R.

Uels.

Ulu-Bej III Ulug-Bek (Ulugh-Beigh, 1394—1450).

Unseid, Albreht Oto Johanes (Ünsöld, Albrecht Otto Johannes, 1905—).

Vagoner.

Vajcseker, Karl Fridrih f. (Weizsäcker Karl Friedrich fon, 1912—).

Valter, Bernhard (Walter, Bernhardt, 1430—1504).

Vanah, B. (Wanach, B.).

Varner (Warner).

Varon, Mark Terencijs (Varro, Marcus Terentius, -116- -25).

Vasenljus (Vassenius).

Vat, Votson (Watt, Wattson).

Vašakidze, Mihail Aleksandrovič (1909—1956).

Veber, Jozef (Weber, Josef, 1919—).

Vegener, Alfred Lotar (Wegener, Alfred Lothar 1880—1930).

Vejman, R. (Weyman, R.).

Vendelin, Gotfrid (Wendelin, Gottfried, 1580—1660).

Veri, Frenk Vašington (Verry, Frank Washington, 1852—1927).

Vernije, Pjer (Vernier, Plerre, 1580—1637).

Vernov, Sergej Nikolajevič (1910—1982).

Vespigi (Vespighi).

Vespuči, Amerigo (Vespucci, Amerigo, 1451—1512).

Vesterhut, G.

Vižije, (Vigier).

Viko, Frančesko de (Vico Francesco, de, 1805—1848).

Vik Hajndrih f. (Wick, Heindrich, v.).

Vild, (Wilde).

Vild, Rupert (Wildt, Ruppert, 1905—1976).

Vilijems, E. (Williams, E.).

Vilijems, Semjuel (Williams Samuel).

Vilijems, A. Stenli (Williams, A. Stanley, 1861—1938).

Vilkes Karl (Wilkes Karl, XIX v.).

Vilkinson (Wilkinson).

Vilsing, Johanes (Wilsing, Johannes, 1856—1943).

Vilsn, Aleksander (Wilson, Alexander, 1714—1786).

Vilsn, Ralf (Wilson, Ralf, 1886—1960).

Vilsn, Č. (Wilson, Ch.).

Vilhelm IV Hesenski (Wilhelm IV v. Hessen, 1532—1592).

Vin, Vilhelm (Wien, Wilhelm, 1864—1928).

Vinči, Leonardo da (Vinci, Leonardo da, 1452—1519).

Visotski.

Vit, Gustav (Witt, Gustav).

Vihert (Wichert).

Volaston, Vilijem Hajde (Wollaston, William Hyde, 1766—1828).

Volter, Fransoa Mari Arue (Voltaire, François, Marie Arouet, 1694—1778).

Volf, Maks (Wolf, Max, 1863—1932).

Folf, Rudolf (Wolf, Rudolf, 1816—1893).

Volf, Šarl Žozef Etjen (Wolf, Charles Joseph Étienne, 1827—1905).

Voroncov-Veljaminov, Boris Aleksandrovič (1904—).

Votsn, Dž. (Wattson Dž.).

Vurm, Karl (Wurm, Carl).

Zanstra, Herman (Zanstra, Herman, 1894—1972).

Zelberg, H. (Selberg, H.).

Zeliger, Hugo f. (Seeliger, Hugo v. 1849—1924).

Zeljdovič, Jakov Borisovič (1914—).

Zeman, P. (Zeemann, P.).

Zuki, Nikola (Zucchius, Nicolaus, 1586—1670).

Zverjev, Mitrofan Stepanovič (1903—).

Žansen, Pjer Žil Sezar (Janssen, Pierre Jule Césaire, 1824—1907).

Žukovski, N.

IMENSKI PREGLED UZ PRILOG 2

Anders, Viljam (Anders, William, 1933—).

Gagarin, Juri| Aleksejevič (Gagarin, Juri| Aleksejevič, 1934—1968).

Armstrong, Nil (Armstrong Nell, 1930—).

Gerlot, Oven (Garriot, Owen, 1930—).

Beljajev, Pavel Ivanovič (Beljajev Pavel Ivanovič, 1925—).

Gibson, Edvard (Gibson, Edward, 1936—).

Glen, Džon (Glenn, John, 1921—).

Gordon, Ričard (Gordon, Richard, 1929—).

Blkovski, Valerij Fjodorovič (Bykovski|, Valerij Fedorovič, 1934—).

Grečko, Georgij Mihailovič (Grečko, Georgij Mihailovič, 1931—).

Bln, Alen (Bean, Alan, 1932—).

Gubarjov, Aleksej Aleksandrovič (Gubarev, Aleksej Aleksandrovič, 1931—).

Bormen, Frenk (Borman, Frank, 1928—).

Hrunov, Jevgenij Vasiljevič (Hrunov, Evgenij Vasil'evič, 1933—).

Dobrovoljski, Georgij Timofejevič (Dobrovol'ski|, Georgij Timofeevič, 1928—).

Jang, Džon (Yung, John, 1930—).

Jegorov, Boris Borisovič (Egorov, Boris Borisovič, 1937—).

Feoktistov, Konstantin Petrovič (Feoktistov, Konstantin Petrovič, 1926—).

Jullisejev, Aleksej Stanislavovič (Eliseev, Aleksej Stanislavovič, 1934—).

- Kar, Džerald (Carr, Gerald, 1932—).
- Kervin, Džozef (Kerwin, Joseph, 1932—).
- Klimuk, Pjotr Iljič (Klimuk, Petr' Il'ič, 1942—).
- Kolins, Majkl (Collins, Michael, 1930—).
- Komarov, Vladimir Mihailovič (Komarov, Vladimir Mihailovič, 1927—1967).
- Konrad, Čarls (Conrad, Charles, 1930—).
- Lavel, Džems (Lovel, James, 1928—).
- Leonov, Aleksej Arhipovič (Leonov, Aleksej Arhipovič, 1930—).
- Luzma, Džek (Lousma, Jack, 1936—).
- Mak Divit, Džems (Mc Divitt, James, 1929—).
- Oldrin, Edvin (Aldrin, Edwin, 1930—).
- Pacajev, Viktor Ivanovič (Pacaev, Viktor Ivanovič, 1933—1971).
- Poug, Vilijem (Pogue, William, 1930—).
- Sernan, Judžin (Cernan, Eugene, 1934—).
- Sevastjanov, Vitalij Ivanovič (Sevast'janov, Vitalij Ivanovič, 1935—).
- Staford, Tomas (Stafford, Thomas, 1930—).
- Šatalov, Vladimir Aleksandrovič (Šatalov, Vladimir Aleksandrovič, 1927—).
- Terješkova, Valentina Vladimirovna (Tereškova, Valentina Vladimirovna, 1937—).
- Vajc, Pol (Weitz, Paul, 1932—).
- Vajt, Edvard (White, Edward, 1930—1967).
- Volinov, Boris Valentinovič (Volinov, Boris Valentinovič, 1934—).
- Volkov, Vladislav Nikolajevič (Volkov, Vladislav Nikolaevič, 1935—1971).

IMENSKI PREGLED
uz Prilog 3.

Abakumov, Nikolaj (1882—1965).

Avzec, France (—).
Andonović, Milan (1849—1926).

Andellć, Tatomir (1903—).
Aristotel (-383- -321).
Arhidakon Toma (1201—1268).

Atanasijević, Ivan (1919—).

Balšić, Đurađ (—1378).
Balšić, Jelena (oko 1368—1442).
Baljić, Vinka (1913—1980).
Bandulović, Ivan (16. 17. vek).
Berberović, Elmilijan (1849—1889).

Billimović, Anton (1879—1970).
Bogdanić, Danijel Mirko (1762—1802).
Bošković, Stevan (1868—1957).

Brankovan, Olga (1914—).
Brekerfeld, Franc (1681—1744).
Brkić Zaharije (1910—1979).
Bulić, Vasilije (1786—1826).

Cah, Franc Ksaver f. (Zach, Franz Xaver v.,
1754—1832).
Cergol Andrej (1595—1645).

Čadež, Andrej (—).
Čermelj, Lavo (1890—1980).
Česmički, Ivan (1434—1472).
Čokor, Julijan (1811—1871).

Danilo II (oko 1270—1337).

Danić, Radovan (1893—1979).
Daničić, Ivan (1579—1660).

Delambr, Žan Batist Žozef
(Delambre, Jean Baptiste Joseph, 1741—1822).
Divković, Matija (1563—1631).
Dimitrijević, Slobodanka (1913—).
Dominko, Fraņi (1903—).
Dragašević, Jovan (1836—1915).
Držić, Vlaho (1503—1567).

Đuričić, Vojin (1888—1944).
Đurković Pero, (1908—1980).
Đurović Dragutin (1937—).

Egzarh Jovan (10. vek).
Emanuel, Pavle (1906—).
Erber, Janez Benjaņin (1699—1759).

Fereti, Benedikt (1655—).
Filosof, Konstantin (14-15. vek).
Florjančić, Ivan Dizma (1691 — posle 1757).

- Gazulić, Ivan (1438—1503).
 Getaldić, Marin (1568—1626).
- Gopčević, Spiridon (Brener Leo 1855—1928).
 Gospodnetić, Markantun (1566—1624).
 Gradić, Stjepo (1613—1683).
 Gramitk, Teodor (13. vek).
 Gramatik, Teodor (13. vek).
 Grgur XIII (papa od 1572—1585).
 Grašelj, Pavel (1883—1940).
 Grisigono, Lorenzo (1590—1650).
 Grisigono, Franja (1490—1570).
 Gruber, Gabrijel (1740—1805).
 Grujić Vojislav (1903—1944).
 Grujić, Radomir
- Gučetić, Ambrozije (1563—1632).
 Gučetić, Nikola (1540—1610).
- Halerštajn, Avguštin (1703—1774).
 Hamakolo, Đorđe (9. vek).
 Hartman Stjepan.
 Heneberg, Većeslav.
 Horvat, Ivan (1729—1799).
- Hranić, Sandalj (oko 1370—1435).
- Indijoplov, Kosma (6. vek).
 Inok Gavriilo (17. vek).
- Javornik Miro (—).
 Janković, Nenad (1910—).
 Janković-Tetovac, Jefrem (—1718).
 Jerusallmac Nikola (oko 1382 — posle 1468).
- Kašanin, Radivoje (1892—).
 Kilar, Bogdan (—).
 Klavije, Kristof (Clavius, Christoph, 1537—1612).
 Kmet, Danilo (1783—1825).
 Koban Andrej (1598—1654).
 Kolarović, Svetislav (1815—1909).
 Kralj Milutin (Stefan Uroš II vladar 1282—1321).
- Krčelić, Baltazar Adam (1715—1778).
 Kubičela, Aleksandar (1930—).
 Kunaver, Pavel (1889—).
 Kučera, Oton (1857—1931).
- Lazović, Jovan (1931—).
 Leksel, Andrej Ivanovič (Lexell Anders I., 1740—1784).
 Lornja, Antun (1736—1796).
- Maletić, Đorđe (1816—1888).
 Mance, Miroslav.
 Margetić, Branko (1928—).
 Marinković Vuk (1807—1859).
 Marković, Zeljko.
 Martinović, Ignjat (1730—1795).
 Marić, Aleksandar (1913—).
 Marković, Željko (1889—1974).
 Matić, Andrija (1851—1925).
 Mer, Kristof (Maire, Christoph, 1697—1767).
 Mesije, Šarl (Messier, Charles, 1730—1817).
- Mešen, Pjer Fransua Andre (Méchain, Pierre François André, 1744—1804).
 Mikloušić, Tomaš (1767—1833).
 Miličević, Niko (1887—1963).
- Milovanović, Vladeta (1928—).
 Milogradov-Turlin, Jelena (1935—).
 Mitić, Ljubiša (1920—).
 Mihailović, Jelenko (1869—1956).
- Mišković, Vojislav (1892—1976).
 Monah Domentijan (13. vek).
 Monah Lazar (14-15. vek).
 Mohorovičić, Stjepan (1890—1980).
 Muminović, Muhamed (1948—).
- Nalješković, Nikola (1510—1587).
- Nedeljković, Milan (1857—1950).
 Nikolić, Đorđe (1908—1971).
- Novaković Stojan (1842—1915).
- Njukom, Sajmon (Newcomb, Simon, 1835—1909).

Ogrinc, Viljem (1845—1883).
 Oskanjan, Vasilije (1921—).

Pavlović, Pavle (14-15. vek).
 Paskvić, Jovan (1753—1829).
 Patrišević, Franjo (1527—1597).
 Paunović, Ljubomir (1907—).
 Perlan, Andrija (1490—1560).
 Petrović, Mihailo (1868—1943).
 Petronijević, Branislav (1875—1954).
 Pirc, Ciril (1888—1973).
 Popović Božidar (1913—).
 Popović, Gavrilo (1811—1871).
 Popović Sterija Jovan (1806—1856).
 Pop Sava (kraj 18. veka).
 Prosen, Marijan (—).
 Protić, Milorad (1910—).
 Psel, Mihailo (1018—1078).

Radovanović, Petar (1808—1857).
 Račević, Andrija (17. vek).
 Rajić Jovan (1726—1801).
 Ralsner, Jožef (1875—1955).
 Randić, Leo (1917—).
 Ranzinger, Pavla (—).
 Rački, Franjo (1828—1894).
 Regiomontan, Johan Miller (Regiomontanus,
 Johann, Müller, 1436—1476).
 Rudolf II (1576—1611).
 Rukavina, Kosta.

Savić, Pavle (1908—).
 Sagrojević, Nikola (—1573).
 Saron, Žan Batist Gaspar Božar de, (Saron, Jean
 Baptiste Gaspar Bochart de, 1730—1794).
 Sadžakov, Sofija (1929—).
 Sveti Sava (1174—1235).
 Sežur, Ašii Pjer Dionis di (Séjour, Achille-Pierre
 du, 1734—1794).
 Simovljević, Jovan (1929—).
 Slavik, Oton.
 Solarić, Pavle (1781—1821).
 Stanojević, Đorđe (1858—1921).

Stejić, Jovan (1803—1853).
 Stefanović-Venclović, Gavril (oko 1680—1749).
 Stefanović-Orfelin, Zaharije (1726—1785).

Stojković, Atanasije (1773—1832).
 Stupar, Milorad (1954—).
 Sušnik, Ivan (1854—1942).

Šaletić, Dušan (1927—).
 Ševarić, Branislav (1914—).
 Štraus, Jakob (—1590).
 Šubić, Simon.
 Šuvejak Marija (1946—).
 Šoba Jurij (—).
 Štajner, Boštjan (1680—1748).

Terzić, Preurag (1918—).
 Tipa, Petar (1863—1943).
 Tomec, Ivan (1880—1950).
 Torbar, Josip (1824—1900).
 Troičanin, Gavrilo (17. vek).
 Trpković, Maksim (1864—1924).
 Trubar, Primož (1508—1586).
 Truheika, Branimir.
 Uzun-Mirković, Ljubomir (1832—1905).

Vavra, Jelka.
 Varićak, Vladimir (1865—1942).
 Vega, Jurij (1754—1802).
 Veliki, Albert (1183—1280).
 Veliki, Vasilije (329—379).
 Vetranić, Mavro (posle 1492—1576).

Vitezović, Pavle (1652—1713).
 Vlastar, Matija (14. vek).
 Vodužek, Matej (1839—1931).
 Vojinović, Aleksandar (1923—).
 Vojčić, Radovan (1924—).
 Vrtovec, Matej (1784—1851).
 Vujnović, Vladis (1833—).

Vukićević-Karabin, Mirjana (1934—).
Vuković, Božidar (posle 1465—oko 1540).

Zlatousti, Jovan (347—407).

Žardecki, Vjačeslav (1896—1962).
Žigmundovski, R.

LITERATURA

- Laplace, P.S., *Précis de l'histoire de l'astronomie*, Paris, 1821.
- Delambre, J.B.J., *Histoire de l'astronomie moderne*, Paris, 1821.
- Humboldt von, A., *Kosmos, Entwurf einer physischen Weltbeschreibung*, 4 Bde, Stuttgart, 1845—1858.
- Frischauf, J., *Grundriss der theoretischen Astronomie und der Geschichte der Planetentheorien*, Leipzig, 1871. — 3. Aufl. 1922.
- Mädler, J.H., *Geschichte der Himmiskunde*, 2 Bde, Braunschweig, 1872—73.
- Hofer, F., *Histoire de l'astronomie*, Paris, 1873.
- Wolf, R., *Geschichte der Astronomie*, München, 1877, 1933.
- Lebon, E., *Histoire abrégé de l'Astronomie*, Paris, 1899.
- Behrens, H.B., *Die Fortschritte der Astronomie im 19. Jahrhundert*, *Die Natur*, XLIX, 1900.
- Pingré A.G., *Annales célestes du dix-septième siècle*, Paris, 1901.
- Royer, C., *Histoire du Ciel*, Paris, 1901.
- Turner, H.H., *Astronomical Discovery*, London, 1904.
- Repsold, J.A., *Zur Geschichte der astronomischen Messwerkzeuge von Purbach bis Reichenbach, 1450—1830*, Leipzig, 1908.
- Clerke, A.M., *Astronomy (History)*, 1912.
- Forbes, G., *History of Astronomy*, New York a. London, 1912.
- Duhem, P., *Le système du monde, histoire des doctrines cosmologiques*, 8 tomes, Paris, 1913—1919.
- Blgourdan, G., *L'astronomie, évolution des idées et des méthodes*, Paris, 1920.
- Engelhardt, V., *Weltbild und Weltanschauung vom Altertum bis zur Gegenwart*, Leipzig, 1921.
- Dean, J.C., *Astronomy of the twentieth century*, *Pop. Astr.* 32. 1924.
- Shapley, H., Howarth, H.E., *A Source Book In Astronomy*, New-York, 1929.
- Kučera, O., *Nastojanja oko astronomije u Hrvata*, Zagreb, 1929.
- Zinner, E., *Die Geschichte der Sternkunde von den ersten Anfängen bis zur Gegenwart*, Berlin, 1931.
- Brown, B., *Astronomical Atlases, maps and charts*, London, 1932.
- Mineur, H., *Histoire de l'astronomie stellaire jusqu' à l'époque contemporaine*, Paris, 1934.
- Waterfield, R.L., *A Hundred Years of Astronomy*, London, New-York, 1938.
- Zanotti, B.O., *Storia popolare dell'astronomia*, Torino, 1941.
- Evans, D.S., *Frontiers of Astronomy*, London, 1946.
- Berry, A., *A Short History of Astronomy*, Moskau-Leningrad, 1946 (na ruskom).
- Becker, F., *Geschichte der Astronomie*, Bonn, 1947.

- Whittaker, E., *From Euclid to Eddington*, Cambridge, 1949.
- Dolg, P., *A Concise History of Astronomy*, London, 1950.
- Perrier, G., *Kurze Geschichte der Geodäsie*, Veröff. Inst. Ermessung 2, 1950.
- Zinner, E., *Astronomie, Geschichte Ihrer Probleme*, Freiburg, 1951.
- Abetti, G., *The History of Astronomy*, New-York, London, 1952.
- Shakeshaft, J.R., *Radio-astronomy*, London, 1953.
- Couderc, P., *Les étapes de l'astronomie*, Paris, 1955.
- Moore, P., *The picture History, of Astronomy*, 1961.
- Pannekoek, A., *A History of Astronomy*, London, 1961.
- Berry, A., *A short History of Astronomy*, New-York, 1961.
- Schmeidler, F., *Alte und moderne Kosmology*, Berlin, 1962.
- Relchen, C.A., *Geschichte der Astronomie*, Stuttgart, 1963.
- A Hystory of Astronomy*, New-York, 1963.
- Wolf, R., *Geschichte der Astronomie*, München, 1963.
- Moore, P., *The story of astronomy*, London, 1973.
- Ronan, C.A., *Discovering the universe: A history of astronomy*, London, 1973.
- Dorschner, J., Friedemann, C., Marx, S., Pfau, W., *Astronomie vom Altertum bis heute*, Frankfurt a. M., 1975.
- Herrmann, D.B., *Geschichte der Astronomie von Herschel bis Hertzprung*, Berlin, 1975.
- Gingerich, O., *The development of astronomical theory and practice from the 17 th to the 20 th century*, *Vistas Astron.*, Vol. 20. 1976.
- Migliavacca, R., *Storia dell'astronomia*, Roma, 1976.
- Hermann, D.B., *Vom Schattenstab zum Riesenspiegel*, Berlin, 1978.
- Lang, K.R., Gingerich, O. (Ed.), *A source book in astronomy and astrophysics, 1900-1975*, Cambridge (Mass.), London, 1979.
- North American theses and dissertations on the history of astronomy*, *J. Hist. Astron.* Vol. 11, 1980.
- Bibliography of dissertations on the history of astronomy in the URSS after the Second World War*, *J. Hist. Astron.*, Vol. 11, 1980.
- Ševarlić, B.M., *Od gnomona do Galilejeva durbina*, „*Almanah Bošković*“, za 1957., Zagreb, 1956.
- Ševarlić, B.M., *Od Galilejeva durbina do velikih refraktora devetnaestog stoleća*, „*Almanah Bošković*“ za 1958, Zagreb, 1957.
- Ševarlić, B.M., *Od velikih refraktora devetnaestog stoleća do radio-teleskopa*, „*Almanah Bošković*“ za 1959-1960, Zagreb, 1958.
- Ševarlić, B.M., *O uzajamnim odnosima astronomije i matematike*, „*Almanah Bošković*“ za 1961—1962, Zagreb, 1960.
- Ševarlić, B.M., *Dva Milankovićeve kosmička problema*, „*Almanah Bošković*“ za 1966—1967, Zagreb, 1965.
- Mišković, V.V., *Hronologija astronomskih tekovina I*, SANU, Beograd, 1975.
- Mišković, V.V., *Hronologija astronomskih tekovina II*, SANU, Beograd, 1976.
- Ševarlić, B.M., *Greške i zablude profesionalnih astronoma*, „*Dijalektika*“ XIII, 4, Beograd, 1978.
- Ševarlić, B.M., *Fundamental Astrometry — a look through the past*, „*Epitome fundamentorum astronomiae I*“ *Publ. of the Departement of astron. of the Univ. of Beograd*, N° 7, Beograd, 1978.
- Teleki, G., *Fundamental Astrometry — Its present state and future prospcts*, „*Epitome fundamentorum astronomiae I*“, *Publ.*, of the Departement of astron. of the Univ. of Beograd, N° 7, Beograd, 1978.
- Ševarlić, B.M., *Šta su neastronomi otkrili u astronomiji I*, „*Vasiona*“, 1978-2; II „*Vasiona*“, 1978, 3-4, Beograd.
- Ševarlić, B.M., *Sporna prvenstva u astronomskim otkrićima*, „*Dijalektika*“,
- Ševarlić, B.M., *Šta su astronomi otkrili u drugim naukama I*, „*Vasiona*“ II, „*Vasiona*“, Beograd