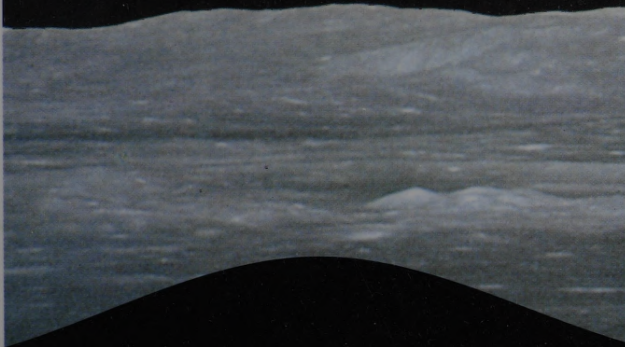
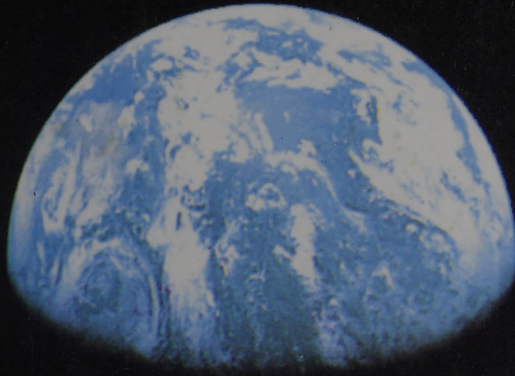


Ilgonis Vilks



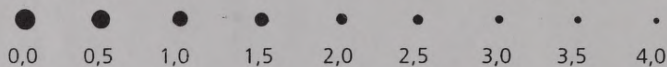
ASTRONOMIJA
VIDUSSKOLA I



ZVAIGZNE ABC

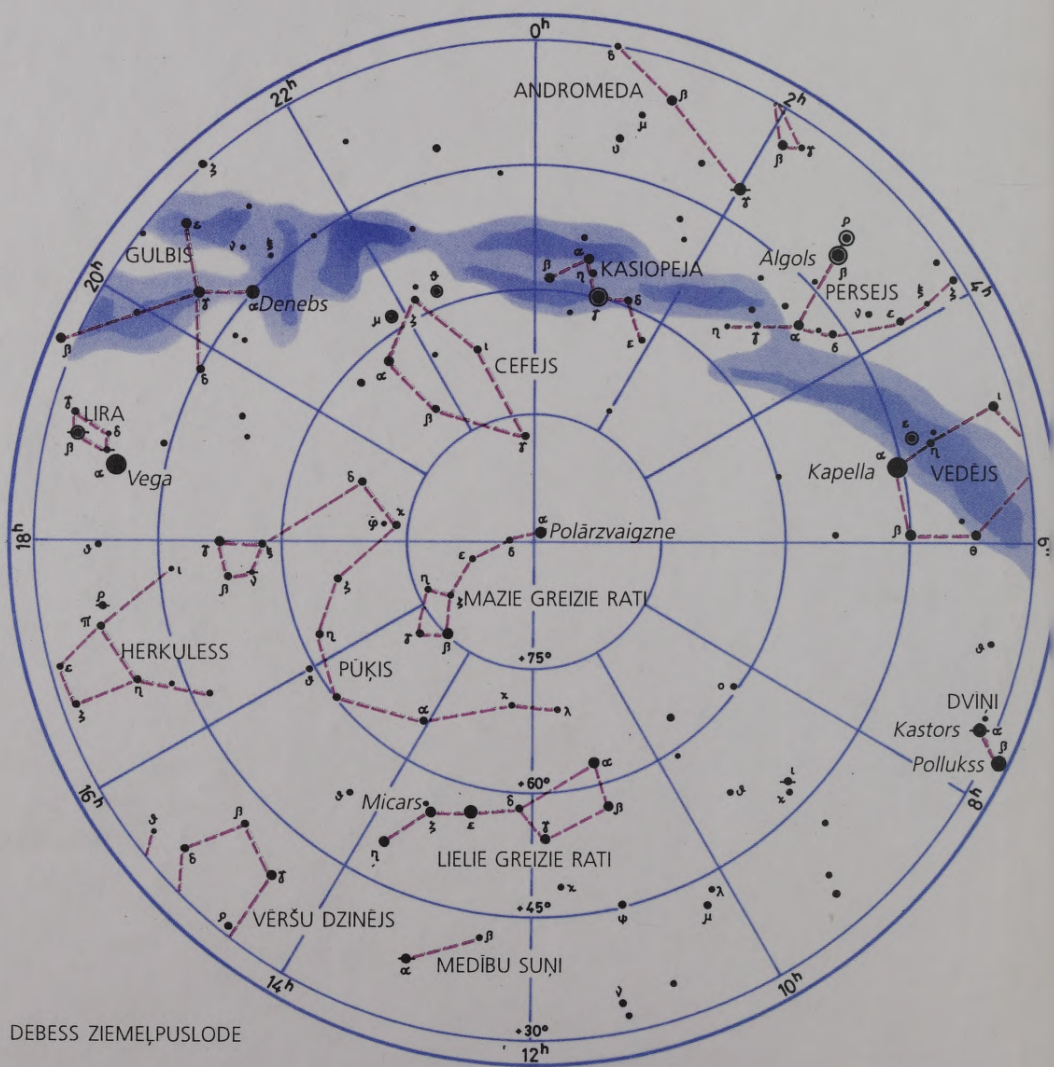
ZVAIG

ZVAIGŽNĪELUMI



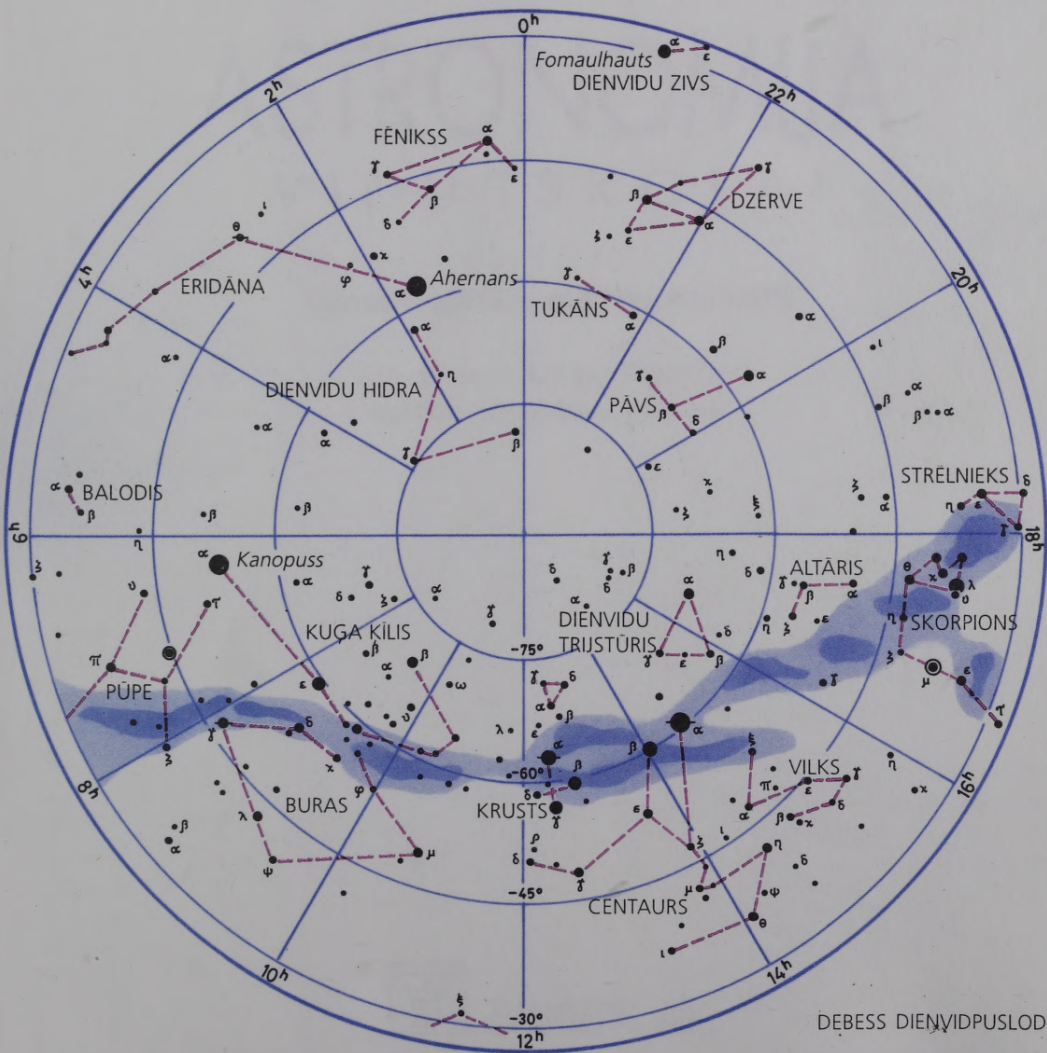
DUBULT-ZVAIGZNE

MAIŅ-ZVAIGZNE



DEBESS ZIEMEĻPUSLODE

ĢĀ DEBESS



DĒBESS DIENVIDPUSLODE

PLATE I

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40.

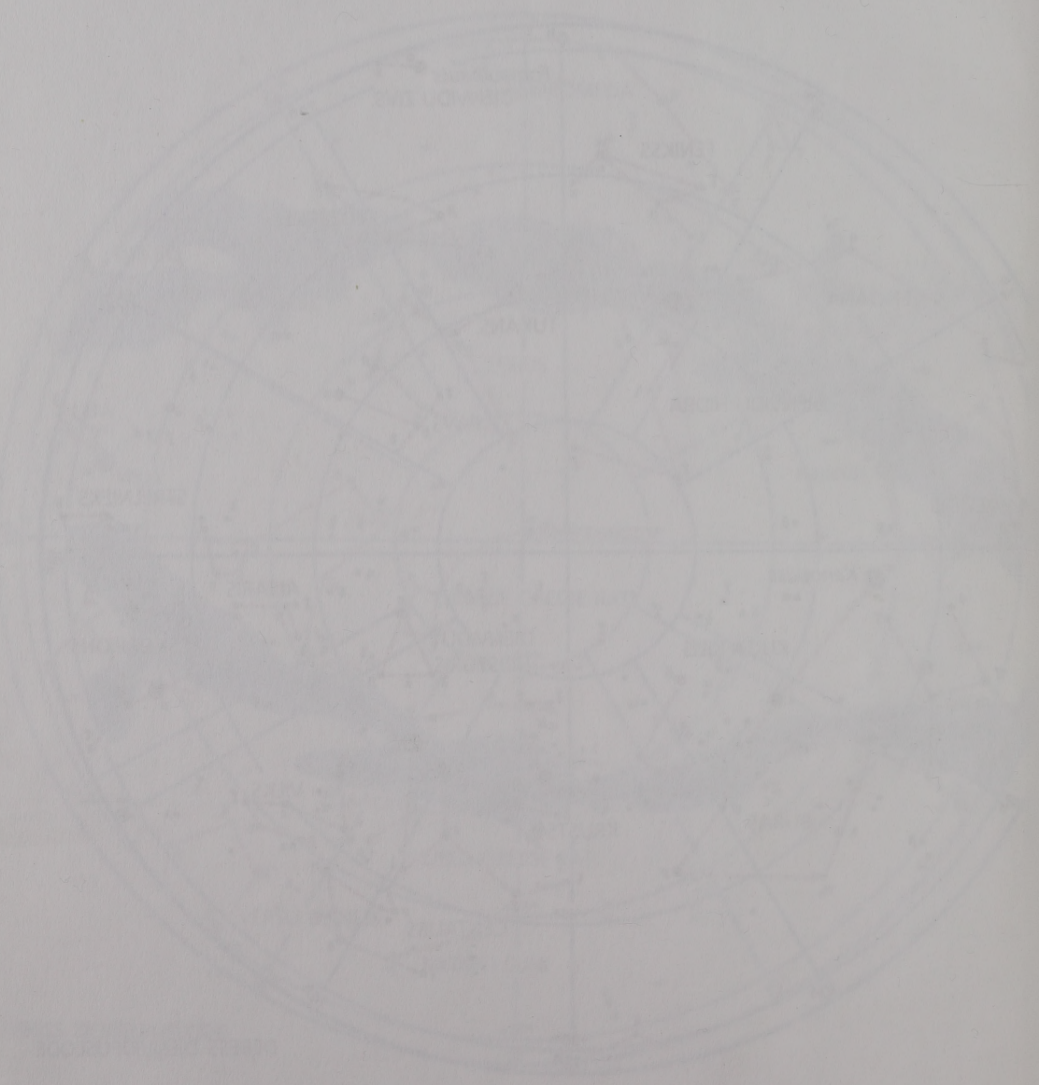


PLATE II

96-5
21

L
52

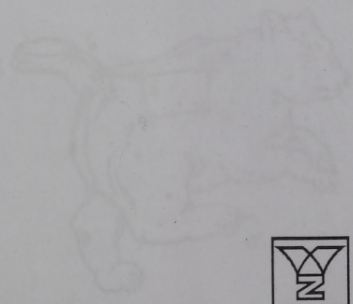
Ilgonis Vilks

ASTRONOMIJA

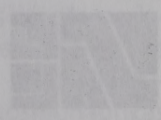
VIDUSSKOLAI

Eksperimentāla mācību grāmata

Atļāvusi lietot Latvijas Republikas
Izglītības un zinātnes ministrija



ZVAIGZNE ABC



U. Džergers vācu noformējumā.
Izstrādājums izmantoti NASA fotoattēli.
Kā arī D. Vānuļa fotoattēli.
no žurnāla "Līdri un Līdriņi".

© 1996. gada. Izdevums ir aizsargāts ar autortiesībām. Atļauts izmantot šo grāmatu skolās un bibliotēkās. Izdevuma izmaksas: 1000.00. ISBN 9984-04-108-1

501 (075.3)
Vi 456

Latvijas Nacionālā
BIBLIOTĒKA

~~96-6921~~
0303045942



Grāmata izdota ar
SOROSA FONDA-LATVIJA
atbalstu

Redaktore M. Ozoliņa
Recenzents *Dr. phys. hab.* A. Alksnis

U. Drengera vāka noformējums.
Ilustrācijām izmantoti NASA fotomateriāli,
kā arī D. Nunuka fotodarbs
no žurnāla "Sky & Telescope".

© 1996, apgāds "Zvaigzne ABC"
ISBN 9984 - 04 - 208 - 1



1.1. ASTRONOMIJAS PRIEKŠMETS. ZVAIGŽNOTĀ DEBESS

Astronomijas zinātne. Nosaukums "astronomija" ir veidojies no grieķu valodas vārdiem *astron* — zvaigzne un *nomos* — likums. Taču astronomija ir zinātne ne tikai par zvaigznēm. *Astronomija ir zinātne par debess ķermeņiem, to uzbūvi, rašanos, kustību un attīstību.* Tāpat astronomija pēta planētu Zemi kā kosmisku objektu, meklē atbildes uz jautājumiem par Visuma rašanos, attīstību un nākotni, kā arī cilvēka vietu tajā.

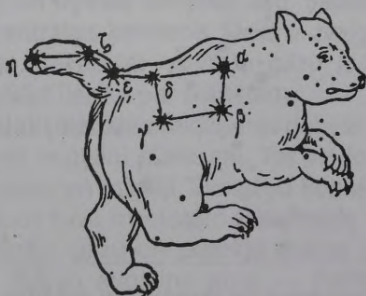
Astronomijai ir daudzas nozares. Svarīgākās no tām ir astrometrija, kas nosaka debess spīdekļu stāvokļus; zvaigžņu astronomija, kas pēta zvaigžņu izvietojumu un to īpašības no statistiskā viedokļa; debess mehānika, kas pēta kosmisko objektu kustības likumus; astrofizika, kas pēta debess ķermeņu uzbūvi un īpašības. Galvenā mūsdienu astronomijas nozare ir astrofizika. Astronomija ir cieši saistīta ar daudzām citām zinātnēm — matemātiku, fiziku, ķīmiju, ģeoloģiju un izmanto šo zinātņu metodes, atziņas. Taču astronomija praktiski ir vienīgā zinātne, kas sniedz vispusīgu priekšstatu par milzīgi plašo pasauli ārpus mūsu planētas robežām. Salīdzinājumā ar citām zinātnēm astronomijas galvenā

īpatnība ir tā, ka vairums debess ķermeņu atrodas tik tālu, ka tos izpētīt tieši nav iespējams. Tādēļ galvenā astronomu darba metode ir novērojumi.

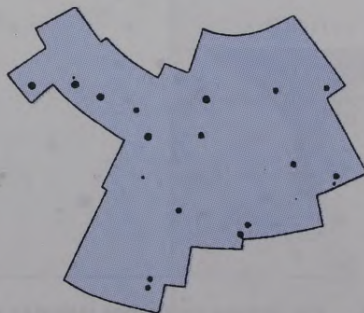
Astronomijas priekšmets. Apgūstot astronomijas priekšmetu, uzzināsim par dažādiem astronomiskiem objektiem, to īpašībām un kustību gan pie debess, gan kosmiskajā telpā. Astronomijas kursa mērķis ir sniegt priekšstatu par astronomiskajām parādībām, pasaules uzbūves kopējo ainu un iespēju izprast, iegaumēt galvenos astronomijas faktus un jēdzienus.

Mācību materiāls sakārtots piecās nodaļās. Ievadā ir raksturoti debess spīdekļi, to kustība, galvenie astronoma darba instrumenti — teleskopi, kā arī kosmonautikas principi un sasniegumi. Otrajā nodaļā stāstīts par astronomijas attīstību gadsimtu gaitā pasaulē un Latvijā. Trešajā nodaļā aplūkoti Saules sistēmas objekti, bet ceturtajā nodaļā — Saules un citu zvaigžņu īpašības. Piektā nodaļa veltīta likumsakarībām zvaigžņu sistēmu — galaktiku pasaulē. Grāmatā iekļauts arī papildmateriāls, kuru var apgūt, ja ir intereses un vēlēšanās.

Zvaigznāji. Bezmēness naktī debess plešas pāri novērotāja galvai un liekas, ka tajās mirdz bezgalīgi daudz zvaigžņu. Tomēr tā



a



b

1.1. att. a — Lielā Lāča jeb Lielo Greizo Ratu zvaigznājs, kā tas attēlots senās zvaigžņu kartēs. Spožākās zvaigznes apzīmētas ar grieķu alfabēta burtiem. b — Lielā Lāča zvaigznājs mūsdienu zvaigžņu kartē.

nav. Vienlaikus debesis var redzēt aptuveni 2400 zvaigžņu. Tā ir tikai puse visu ar neapbruņotu aci redzamo zvaigžņu, otra puse atrodas zem apvāršņa.

Spožākās zvaigznes veido raksturīgas figūras, ko sauc par zvaigznājiem. *Zvaigznājs ir noteikts debess apgabals, kas ietver visas tajā esošās zvaigznes un citus objektus* (1.1. att.). Pie debess pavisam ir 88 zvaigznāji, 55 no tiem var redzēt Latvijā — viena gada laikā. Zvaigznājā ietilpst ne tikai spožākās zvaigznes. Zvaigznāju tagadējās robežas ir nospraustas 1922. gadā. Zvaigžņu attālums no Zemes var stipri atšķirties, taču ar aci tas nav pamanāms (1.2. att.).

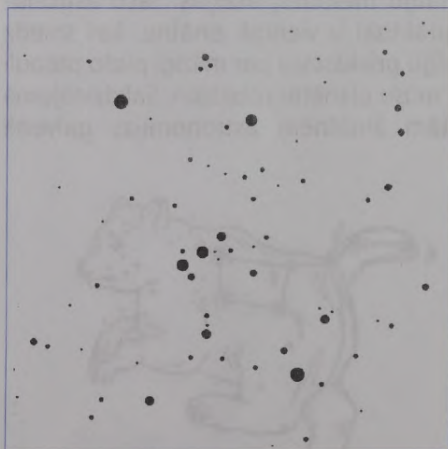
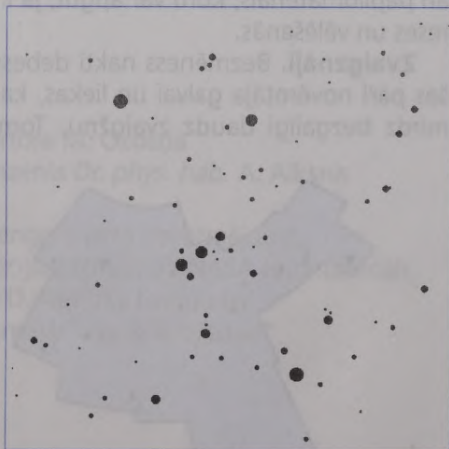
Zvaigžņu spožumi. Zvaigznes atšķiras pēc spožuma. Visas ar neapbruņotu aci redzamas zvaigznes iedala vairākās zvaigžņlieluma klasēs. Spožākajām zvaigznēm ir piešķirts 1. vai 0. zvaigžņlielums. Dažām visspožākajām zvaigznēm zvaigžņlielumu apzīmē ar negatīvu skaitli. Zvaigžņlielums nav saistīts ar zvaigznes patiesajiem izmēriem. Ja viena zvaigzne ir par vienu zvaigžņlielumu spožāka nekā otra, tad tā dod 2,5 reizes vairāk gaismas uz Zemes virsas. Visvājākā spožuma zvaigznes, kas pilsētā redzamas ar neapbruņotu aci, raksturo ar 5. zvaigžņlielumu. Neapdzīvotā apvidū redzamas zvaigznes līdz 6^m (m ir zvaigžņlieluma apzīmējums). Ar binokli

vai tālskati var ieraudzīt vēl par diviem, trīs zvaigžņlielumiem vājāka spožuma zvaigznes. Šāda spožuma zvaigžņu pie debess ir aptuveni piecdesmit tūkstoši. Latvijas lielākais teleskops ļauj fotografēt zvaigznes, kuru spožums ir pat 20^m (1.3. att.). Šādu zvaigžņu ir simtiem miljonu. Pasaules spēcīgākie teleskopi spēj reģistrēt daudzus miljardus zvaigžņu.

Zvaigznes un planētas. Zvaigznes nedaudz atšķiras arī pēc krāsas. Vairums zvaigžņu izskatās baltas, bet, rūpīgāk aplūkojot, var redzēt, ka dažas zvaigznes ir dzeltenīgas, arī sarkanīgas, citas — savukārt zilgas.

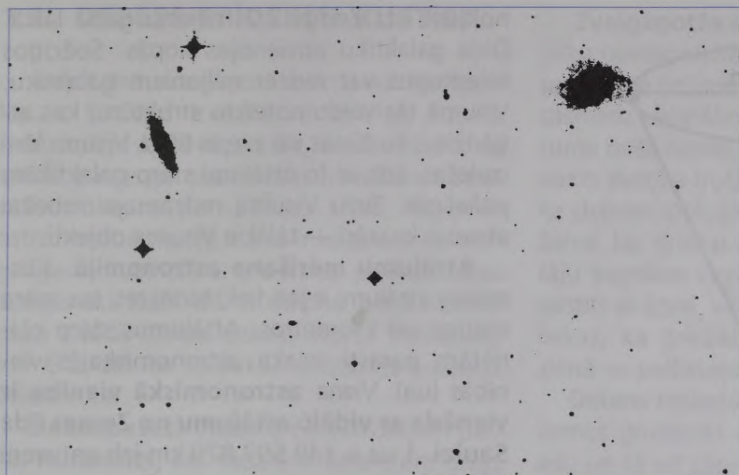
Zvaigžņu pasaule ir ļoti daudzveidīga. Daudzas zvaigznes ir divkāršas, trīskāršas vai pat daudzkāršas. Daļa zvaigžņu maina spožumu. Pastāv dažādas zvaigžņu apzīmējumu sistēmas. Taču parastī zvaigznes apzīmē ar grieķu alfabēta burtiem. Spožākā zvaigznāja zvaigzne ir alfa, tad beta utt. Vairāk kā diviem simtiem spožāko zvaigžņu ir savi nosaukumi, pāris desmiti no tiem ir ļoti labi zināmi, un tos bieži lieto. Tāda, piemēram, ir Mazā Lāča α , kuru sauc par Polārzvaigzni.

Attiecībā pret zvaigznēm pārvietojas spoži spīdekļi — planētas. Šis nosaukums veidojies no grieķu valodas vārdiem [*astēr*] *planētēs*, kas nozīmē klejojoša [zvaigzne]. Ar neapbruņotu aci ir redzamas piecas planētas — Merkurs, Venera, Marss, Jupiters un



1.2. att. Pie debess zvaigznes izskatās vienādi tālu, bet patiesībā tās atrodas ļoti dažādos attālumos no Zemes.

Lai ieraudzītu zvaigžņu telpisko izvietojumu, aplūkojiet šos Oriona zvaigznāja attēlus cenšoties panākt, lai abi attēli saplūstu vienā! Tad starp diviem plakaniskiem attēliem izveidosies trešais — telpiskais attēls.



1.3. att. Neliela debess apgabala fotouzņēmums, kas iegūts ar lielāko teleskopu Latvijā (Šmita teleskopu).

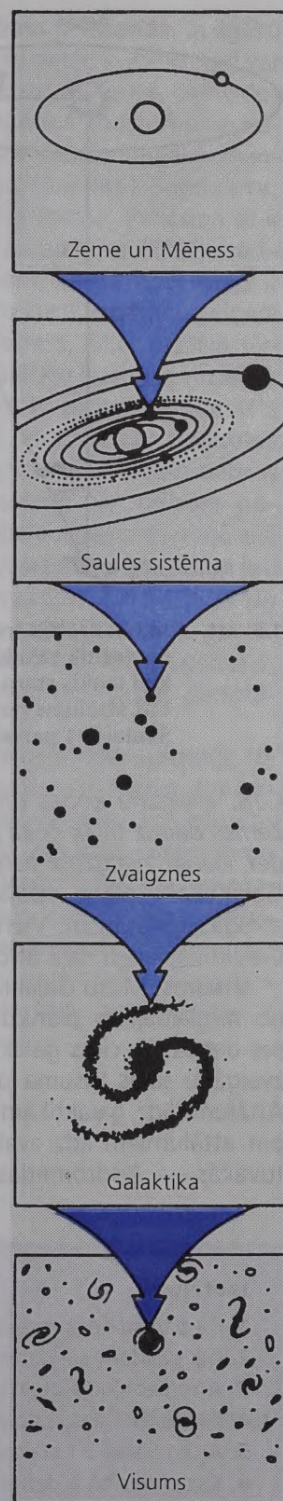
Redzamas trīs spožākās zvaigznes, daudz ļoti vāja spožuma zvaigžņu un divas tālas zvaigžņu sistēmas — galaktikas.

Saturns. Planētas pārvietojas pa zodiaka zvaigznāju joslu.

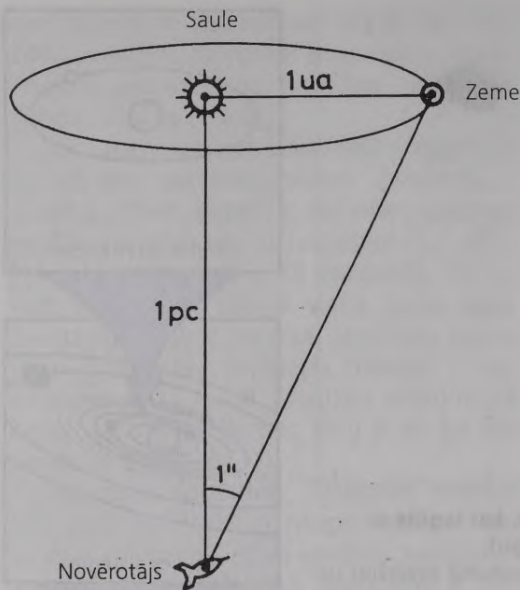
Saules sistēma. Saules sistēmā ir zināmas deviņas lielās planētas, ieskaitot Zemi. *Zvaigznes spīd pašas, bet planētas tikai atstaro Saules gaismu.* Daudzām planētām ir viens vai vairāki pavadoņi. Zemes pavadonis Mēness ir Zemei tuvākais debess ķermenis.

Ar neapbruņotu aci nav saskatāmas mazās planētas — sīki debess ķermeņi, kuru visvairāk ir starp Marsa un Jupitera orbitām. Laiku pa laikam pie debess parādās "astes zvaigznes" — komētas. Tās ir sasaluši ledusgabali, kas riņķo ap Sauli pa izstieptām orbitām. Saules tuvumā komētas viela daļēji iztvaiko un izveido komētas asti. Saules sistēmas centrālais ķermenis *Saule ir zvaigzne — milzīga, sakarsēta, spīdoša gāzu lode*, kas daudzkārt lielāka par planētām.

Galaktika. Pie zvaigžņotās debess šur tur redzami miglaini plankumi. Tos veido zvaigžņu kopas un miglāji. Zvaigžņu kopas sastāv no daudz tuvu izvietotām zvaigznēm. Miglāji ir spīdošas gāzu un putekļu masas. Debessjumu šķērso miglaina josla — Piena Ceļš, kuru latvieši sauc arī par Putnu Ceļu. Šī josla sastāv no milzīga daudzuma vāju zvaigžņu. *Visas pie debess redzamās zvaigznes, Piena*



1.4. att. Visuma struktūra.



1.5. att. Ja novērotājs (raķete) attālinās no Saules tik tālu kā attēlotajā situācijā, kad leņķis starp Zemi un Sauli ir $1''$, tad attālums no novērotāja līdz Saulei ir 1 parseks.

Ceļš, zvaigžņu kopas un miglāji atrodas no Zemes daudz tālāk nekā planētas, un tie pieder vienai zvaigžņu sistēmai — Galaktikai. Galaktikai ir plāna, apaļa diska forma. Diskā atrodas spirāļu zari. Vienā no spirāļu zariem Galaktikas ārējā daļā atrodas Saules sistēma.

Visums. Mūsu Galaktika nav vienīgā. Daži no miglainajiem plankumiem, kas redzami pie debess, ir citas galaktikas — patstāvīgas zvaigžņu salas Visuma plašumos (1.4. att.). Attālumi līdz galaktikām ir daudzkārt lielāki par attālumiem līdz zvaigznēm. Pat no vistuvākās — Andromedas galaktikas gaismā

nokļūst līdz Zemei 2,2 miljonu gadu laikā. Daļa galaktiku apvienojas kopās. Spēcīgos teleskopos var redzēt miljoniem galaktiku. Visumā tās veido noteiktu struktūru, kas atgādina bišu šūnas vai zvejas tīklu. Visums lēni izplešas, līdz ar to attālumi starp galaktikām palielinās. Tuvu Visuma redzamajai robežai atrodas kvazāri — tālākie Visuma objekti.

Attālumu mērīšana astronomijā. Kosmiskie attālumi ir ļoti lieli, tādēļ reti tos mēra metros vai kilometros. Attālumus starp planētām parasti izsaka astronomiskajās vienībās (ua). Viena **astronomiskā vienība ir vienāda ar vidējo attālumu no Zemes līdz Saulei.** $1 \text{ ua} = 149\,597\,870 \text{ km}$ jeb aptuveni $150 \cdot 10^6 \text{ km}$.

Attālumus līdz zvaigznēm mēra gaismas gados (ly) vai parsekos (pc). **Gaismas gads ir attālums, ko gaisma veic vienā gadā.** $1 \text{ ly} = 63\,240 \text{ ua}$. **Parseks ir attālums, kādā viena astronomiskā vienība ir redzama vienu loka sekundi lielā leņķī.** $1 \text{ pc} = 206\,265 \text{ ua}$. Parseku un gaismas gadu saista šāda sakarība: $1 \text{ pc} = 3,262 \text{ ly}$ (1.5. att.).

Astronomijas attīstība. Astronomijas vēsture ir mērojama gadu tūkstošos. Īpaši 20. gadsimtā astronomu sasniegumu rezultātā ir izdevies izveidot samērā viengabalainu pasaules uzbūves ainu. Taču izziņas process joprojām turpinās. Ik pēc dažiem gadu desmitiem pasaules uzbūves ainas daudzi elementi tiek būtiski papildināti. Ar katru jaunu, spēcīgu uzbūvētu teleskopu vai kosmisko aparātu iespējams atklāt vēl neizzinātus zvaigžņotās debess noslēpumus un ielūkoties vēl tālāk Visuma dzīlēs. Domājams, ka uz Visuma redzamās robežas mūs gaida vēl daudzi pārsteidzoši atklājumi.

Jautājumi.

1. Kā parasti apzīmē zvaigznāja spožāko zvaigzni?
2. Cik pavisam pie debess zvaigžņu?
3. Atrodiet kļūdu izteicienā "Kosmosa kuģis devās uz Pūķa zvaigznāju"!
4. Kāpēc attālumus starp zvaigznēm nemēra kilometros?
5. Ar ko Saule un zvaigznes atšķiras no planētām?
6. Kas patiesībā ir debesis redzami miglainie plankumi?
7. No kādiem struktūrelementiem "uzbūvēts" Visums?

1.2. DEBESS SPĪDEKĻU KUSTĪBA

Izejot ārā zvaigžņotā naktī, novērotājam liekas, ka viņš ir nokļuvis milzīga kupola centrā. Ilgu laiku uzskatīja, ka šāda aina arī atbilst patiesajai pasaules uzbūvei, un šo kupolu nosauca par debess sfēru. Senatnē astronomi uzskatīja, ka tā ir liela, bet ne bezgalīga rādiusa sfēra, pie kuras piestiprinātas zvaigznes. Kaut arī mūsdienu priekšstati ir gluži citādi, tomēr debess sfēras jēdziens ir ļoti ērts debess spīdekļu redzamās kustības attēlošanai.

Debesspusēs. Visapkārt novērotājam planēšas **horizonts**, kas sadala debess sfēru divās daļās: redzamajā un neredzamajā.

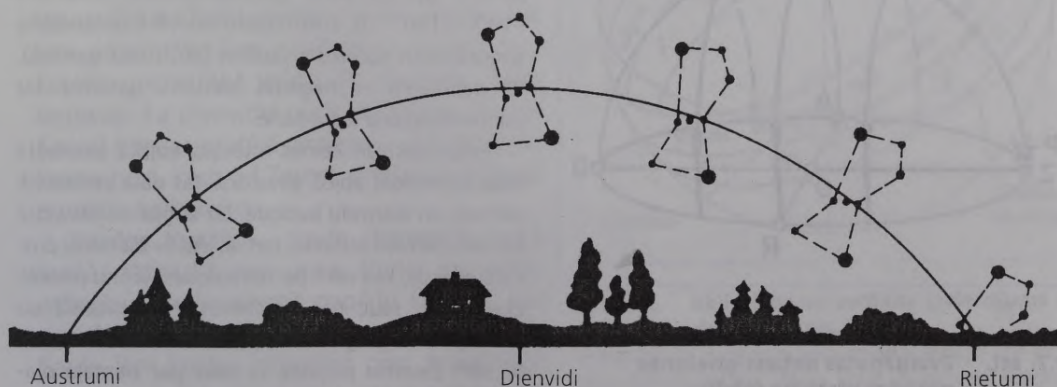
Te jāatšķir redzamais horizonts no matemātiskā horizonta, kas atrodas tuvu viens otram, bet ne vienmēr sakrīt. Uz sauszemes redzamais horizonts ir neregulāra līnija. Jūrā redzamais horizonts ir matemātiskajam horizontam paralēls riņķis, kas atmosfēras efektu dēļ var atrasties nedaudz augstāk vai zemāk par matemātisko horizontu.

Tieši virs galvas atrodas **zenīts**, bet zem novērotāja kājām, virzienā uz Zemes centru, zenītam pretējais punkts — **nadīrs**. Ja pagriežas ar seju pret **dienvidiem** (D), tad aiz muguras paliek **ziemeļi** (Z), kreisajā pusē atrodas **austumi** (A), bet labajā — **rietumi** (R).

Zvaigžņotās debess griešanās. Ja ilgāku laiku novēro debess spīdekļu kustību, tad var redzēt, kā tie uzlec austrumu pusē, dienvidos sasniedz vislielāko leņķisko augstumu un rietumu pusē noriet. Tā ir debess spīdekļu dienakts kustība (rotācija) (1.6. att.). Saprotams, ka *debess rotācija ir šķietama*. Patiesībā tā ir Zeme, kas griežas ap asi pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam. Tā kā novērotājs ir saistīts ar Zemi, viņš šo kustību nejūt un viņam liekas, ka griežas debess, tikai pretējā virzienā — pulksteņa rādītāju kustības virzienā.

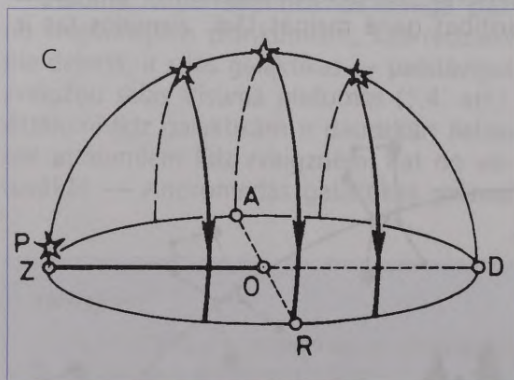
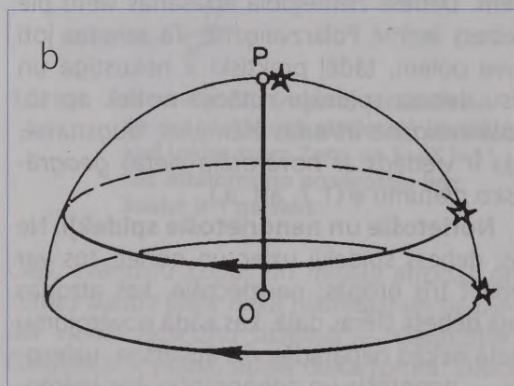
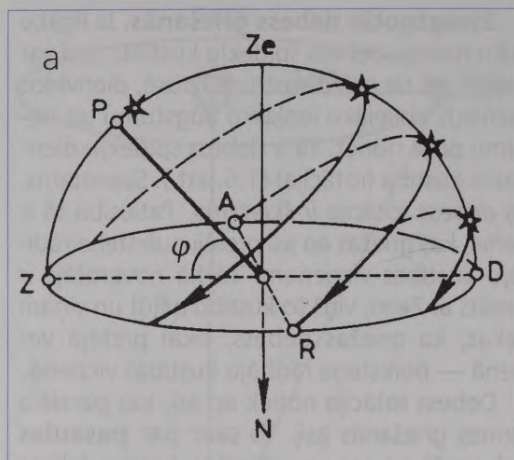
Debess rotācija notiek ap asi, kas paralēla Zemes griešanās asij. To sauc par **pasaules asi**, un tā iet caur novērotāju, krusto debess sfēru punktus, kurus sauc par **debess poliem**. Debess ziemeļpola atrašanās vietu pie debess iezīmē Polārzvaigzne. Tā atrodas ļoti tuvu polam, tādēļ praktiski ir nekustīga un visu debess spīdekļu rotācija notiek ap to. *Polārzvaigzne atrodas ziemeļos, augstumā, kas ir vienāds ar novērotāja vietas ģeogrāfisko platumu φ* (1.7. att. a).

Norietošie un nenorietošie spīdekļi. Ne visi debess spīdekļi uzlec un noriet, tos var iedalīt trīs grupās: neuzlecošie, kas atrodas tajā debess sfēras daļā, kas kādā novērojumu vietā nekad neparādās virs apvāršņa, uzlecošie — norietošie un nenorietošie, kas izvietojušies apgabalā ap debess polu. Nenorietošo spīdekļu leņķiskais augstums dienakts kustības gaitā mainās šādi: ziemeļos tas ir



1.6. att. Zvaigžņotās debess griešanās.

Oriona zvaigznājs uzlec austrumos, vislielāko augstumu sasniedz dienvidos un noriet rietumos.



1.7. att. Zvaigžņotās debess griešanās dažādos platumu grādos:

a — vidējā platumu grādos (Latvijā), *b* — uz ziemeļpola, *c* — uz ekvatora. (*P* — debess ziemeļpols, *O* — novērotājs, *Ze* — zenīts, *N* — virziens uz nadīru.)

vismazākais, austrumos — vidējs, zenīta apkaimē tas ir vislielākais un rietumos — arī vidējs. Jāievēro, ka Latvijā nenorietošs spīdekļis, sasniedzis vislielāko leņķisko augstumu, var atrasties gan uz dienvidiem, gan uz ziemeļiem no zenīta.

Debess aina dažādos platumu grādos.

Tā kā debess pola augstums ir atkarīgs no novērojumu vietas ģeogrāfiskā platumā, debess griešanās aina dažādās vietās uz zemeslodes ir atšķirīga. Situāciju vidējos platumu grādos jau aplūkojām. Zemes Ziemeļpolā Polārzcvaigzne atrodas virs novērotāja galvas, zenītā. Visi spīdekļi riņķo paralēli horizontam, un vienmēr ir redzamas tikai debess sfēras ziemeļu puslodes zvaigznes (1.7. att. *b*).

Uz Zemes ekvatora Polārzcvaigzne atrodas uz horizonta un pasaules ass atrodas horizonta plaknē. Spīdekļi uzlec vertikāli austrumos, sasniedz maksimālo leņķisko augstumu augstu virs novērotāja galvas un pēc tam vertikāli noriet rietumos. Uz ekvatora vienas diennakts laikā, ja vien netraucētu Saule, būtu iespējams aplūkot visas zvaigznes (1.7. att. *c*).

Lai labāk orientētos zvaigžņotās debess ainas atšķirībās, jāatceras, kā apraksta zemeslodi ģeogrāfijā. Zemes rotācijas ass "parādās" zemes virspusē divos punktos — Ziemeļpolā un Dienvidpolā. Ja iedomāti savieno abus polus, veicot līniju pa zemeslodes virsmu, tad iegūst pusriņķi, ko sauc par meridiānu. Meridiānu, kas iet caur Griničas observatoriju Anglijā, sauc par sākummeridiānu. No tā uz abām pusēm ģeogrāfiskais garums mainās intervālā $-180...+180^{\circ}$. Uz austrumiem no sākummeridiāna ģeogrāfiskais garums ir pozitīvs (austrumu garums), uz rietumiem — negatīvs (rietumu garums). Uz sākummeridiāna tas ir nulle.

Perpendikulāri Zemes rotācijas asij kā iedomāta stīpa zemeslodi apjož ekvators. Tas daļa zemeslodi ziemeļu un dienvidu puslodē. Uz augšu no ekvatora atrodas ziemeļu puslode, bet uz leju — dienvidu puslode. Riņķus, kas vilkti pa zemeslodes virsmu paralēli ekvatoram, sauc par paralēlēm. No ekvatora uz abām pusēm ģeogrāfiskais platumu mainās intervālā $0...90^{\circ}$. Ziemeļu puslodē to sauc par ziemeļu platumu, bet dienvidu puslodē — par dienvidu platumu. Polos ģeogrāfiskais platumu ir 90° , bet uz ekvatora tas ir 0° . Paralēles un meridiāni ir perpendikulāri.



1.8. att. Zodiaka zvaigznāji.

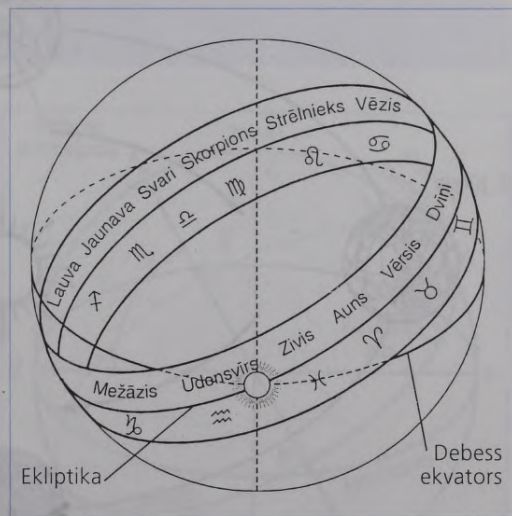
Dažas paralēles tiek izceltas īpaši. Paralēli ar $23^{\circ}26'$ ziemeju platumu sauc par Ziemeļu tropu loku jeb Vēža tropu, bet paralēli ar $23^{\circ}26'$ dienvidu platumu sauc par Dienvidu tropu loku jeb Mežāža tropu. Starp tiem atrodas zemeslodes tropiskā josla, kurā Saule vismaz vienu reizi gadā var atrasties zenītā. Paralēli ar $66^{\circ}34'$ ziemeju platumu sauc par Ziemeļu polāro loku, bet paralēli ar $66^{\circ}34'$ dienvidu platumu — par Dienvidu polāro loku. No polārā loka līdz polam plešas apgabali, kuros iespējama polārās dienas un polārās nakts iestāšanās.

Vēl tālāk dienvidu puslodē Polārzcirnis aiz horizonta ziemeļu pusē, bet dienvidu pusē virs horizonta parādās debess dienvidpols, kas atrodas Oktanta zvaigznājā un kuru neiezīmē neviena spoža zvaigzne. Spīdekļi šeit tāpat uzlec austrumu pusē un noriet rietumu pusē, taču maksimālo augstumu sasniedz novērotājam aiz muguras (ja viņš skatās uz dienvidiem) ziemeļu pusē. Loģiski liekas pagriezties un raudzīties uz spīdekļu kustību pierastākā veidā. Tā rezultātā rodas iespaids, ka dienvidu puslodē debess (un arī Saule) griežas pretējā virzienā — no labās uz kreiso pusi, kaut arī Zemes griešanās virziens ir palicis nemainīgs.

Saules kustība. Saule diennakts laikā kustas tāpat kā zvaigznes, tomēr ar nelielu atšķirību. Saulei piemīt papildu kustība, kas norisinās diennakts kustībai pretējā virzienā. Saule lēni kustas attiecībā pret zvaigznēm virzienā no rietumiem uz austrumiem jeb no labās uz kreiso pusi. Vienā gadā tā veic pie debess pilnu apli, ko sauc par **ekliptiku**, un

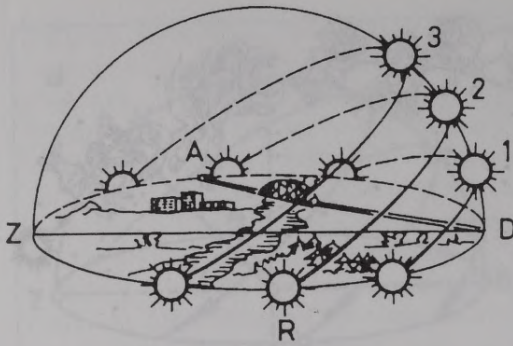
šajā laikā tā iziet cauri 12 zodiaka zvaigznājiem (1.8. att.).

Ekliptikai ir četri svarīgi punkti: pavasara punkts (Υ), vasaras saulgriežu punkts (☉), rudens punkts (♏) un ziemas saulgriežu punkts (♊) (1.9. att.). Saulei nokļūstot tajos, mainās astronomiskie gadalaiki. Tas notiek ik gadus ap 21. martu, 22. jūniju, 23. septembri un 22. decembri. Dažādos gadalaikos mainās Saules augstums virs horizonta. Ziemā Saules



1.9. att. Ekliptikas un zodiaka izvietojums uz debess sfēras.

Pavasara un rudens punkti atrodas vietās, kur ekliptiku šķērso debess sfēras līnija — debess ekvators. Vasaras saulgriežu punkts ir ekliptikas augstākais punkts, bet ziemas saulgriežu punkts atrodas ekliptikas zemākajā vietā.



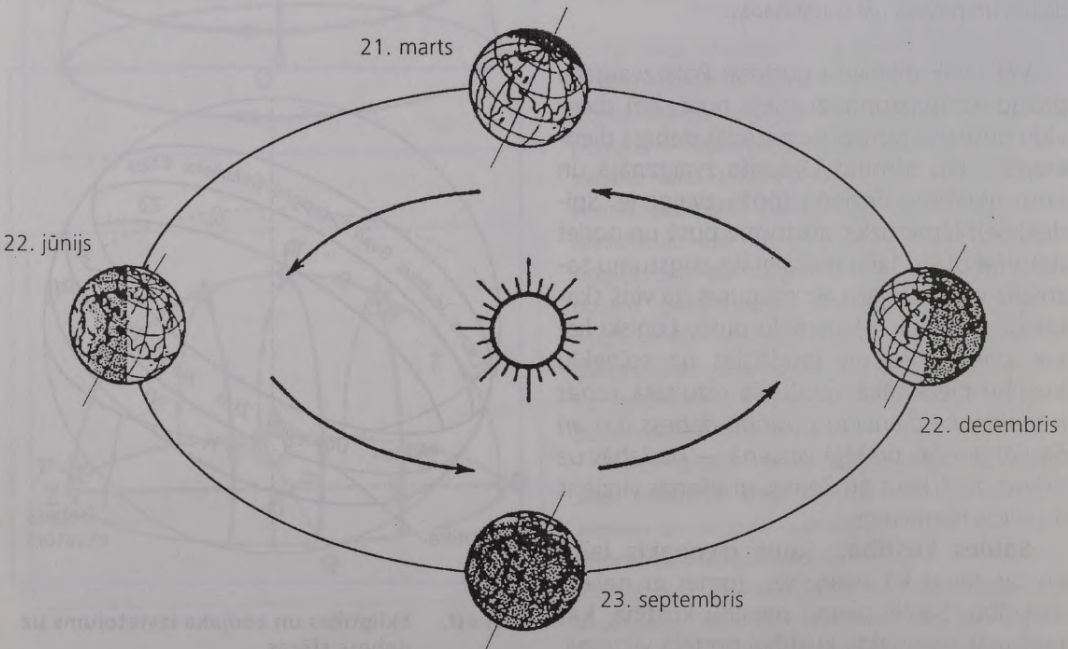
1.10. att. Saules redzamais ceļš pie debess:

1 — ziemas saulgriežu dienā, 2 — pavasara un rudens iestāšanās dienā, 3 — vasaras saulgriežu dienā. Rīgā ziemas saulgriežu dienā Saules leņķiskais augstums pusdienlaikā ir tikai 10° , pavasara un rudens iestāšanās dienā — 33° , bet vasaras saulgriežu dienā — 56° . Atbilstoši mainās arī Saules atrašanās ilgums virs horizonta (dienas garums) un tās lēkta, rieta punkti.

redzamais ceļš iet tuvu horizontam, pavasarī un rudenī — vidējā augstumā, bet vasarā — visaugstāk (1.10. att.).

Zvaigžņu kustība gada laikā. Tā kā Saule pārvietojas starp zvaigznēm, tad naktī dažādos gadalaikos ir redzami dažādi zvaigznāji. Ik mēnesi, skatoties debesis noteiktā datumā un stundā, var redzēt, ka austrumu pusē pakāpeniski parādās arvien jauni zvaigznāji, bet rietumu pusē redzamie zvaigznāji pazūd. Tādējādi *vienā gadā zvaigžņotā debess veic pilnu apli*. Šī šķietamā zvaigžņu kustība notiek no austrumiem uz rietumiem — pretēji Saules kustības virzienam starp zvaigznēm. Pēc redzamības perioda zvaigznājus iedala pavasara, vasaras, rudens un ziemas zvaigznājos. Debess pola apkaimē izvietoto zvaigznāji jeb nenorietošie zvaigznāji ir redzami visu gadu.

Zemes kustība kosmosā. Saules kustība pa ekliptiku ir šķietama. Tās patiesais cēlonis ir Zemes kustība pa orbītu apkārt Saulei. Ja



1.11. att. Gadalaiku maiņa, Zemei riņķojot ap Sauli.

Ievērojiet, ka 22. jūnijā Ziemeļpola apvidus ir pilnīgi apgaismots, bet 22. decembrī tas atrodas ēnā, 21. martā un 23. septembrī ēnā iet tieši caur Ziemeļpolu!

mēs domās pārceltos uz Saules centru, tad liktos, ka Saule ir nekustīga, bet Zeme kustas starp zvaigznājiem pa šo pašu apli — ekliptiku, turklāt tādā pašā virzienā kā Saule, tikai tā būtu redzama tieši pretējā debess pusē. Ekliptikas plakne jeb Zemes orbītas plakne (kas ir viens un tas pats) astronomijā ir ļoti svarīga. Ja būtu iespējams paskatīties uz Saules sistēmu no Saules Ziemeļpola, tad varētu redzēt, ka Zeme riņķo ap Sauli pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam. Arī Zemes griešanās ap asi notiek šajā pašā virzienā. Zemes rotācijas ass veido $66^{\circ}34'$ leņķi ar Zemes orbītas plakni.

Gadalaiki un gads. Zemei riņķojot ap Sauli, tās ass stāvoklis nemainās — tā vienmēr vērsta virzienā uz Polārzcvaigzni.

Šī iemesla dēļ dažādos orbītas posmos pret Sauli tiek pavērsti dažādi zemeslodes rajoni un mainās gadalaiki (1.11. att.). Kad pret Sauli pavērsta Zemes ziemeļu puslode, tajā valda vasara, bet dienvidu puslodē ir ziema. Kad pret Sauli pavērsta ekvatora apvidus, tad uz visas zemeslodes iestājas pavasaris vai rudens. Kad pret Sauli pagriežas Zemes dienvidu puslode, tad Latvijas platuma grādos valda ziema.

Gads ir laika posms, kas nepieciešams, lai Saule veiktu pilnu apli pa ekliptiku jeb, citiem vārdiem sakot, laika intervāls, ar kādu nomainās visi četri astronomiskie gadalaiki. Viena gada garums ir 365 dienas 5 stundas un 49 minūtes. Tas praktiski sakrīt ar laiku, kādā Zeme veic vienu apriņķojumu ap Sauli.

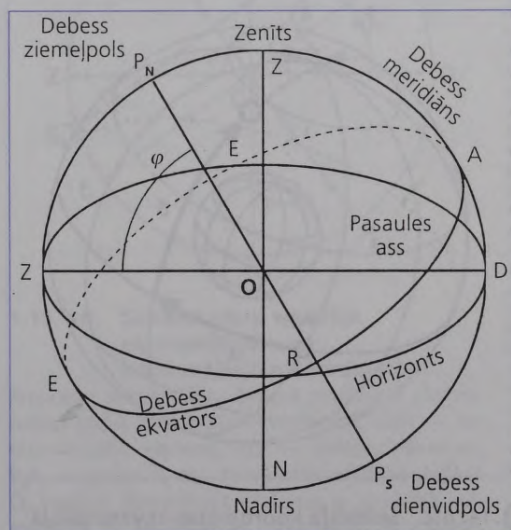
Jautājumi.

1. Vidējos platumā grādos zvaigzne uzlec ziemeļaustrumos. Kur tā noriet?
2. Vai astronomiskie gadalaiki sakrīt ar gadalaiku maiņu dabā?
3. Kas ap ko riņķo: Saule ap Zemi vai Zeme ap Sauli?
4. Vai ziemas vakarā redzami tie paši zvaigznāji, kas vasaras vakarā? Kāpēc?
5. Saule uzlec tieši austrumos. Vai tā noriet tieši rietumos?
6. Latvijā iestāties pavasaris. Kāds gadalaiks sākas Austrālijā?
7. Kā viena gada laikā mainās sezonas uz ekvatora?

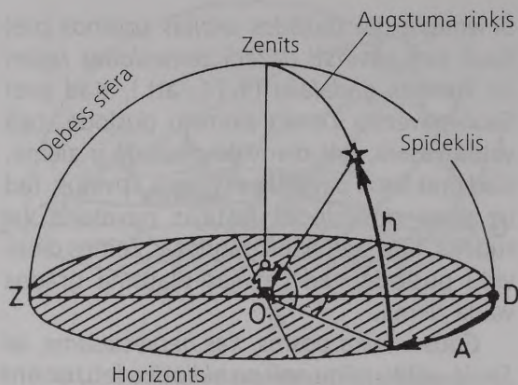
1.3. ASTRONOMISKĀS KOORDINĀTU SISTĒMAS. PRECESIJA

Debess sfēras galvenie jēdzieni. Iepriekšējā paragrāfā noskaidrojām vairākas debess sfēras līnijas un punktus: horizontu un ekliptiku, zenītu un nadīru, debess polus. Šie un vēl citi jēdzieni ir jāzina, lai varētu runāt par astronomiskajām koordinātu sistēmām.

Tāpat kā zemeslodei ir ekvators, arī debess sfērai ir ekvators. Debess ekvatora plakne ir perpendikulāra pasaules asij un daļa debess sfēru divās vienādās daļās — ziemeļu puslodē un dienvidu puslodē (1.12. att.). Pie debess šo riņķi nekas neiezīmē, taču to iespējams iztēloties. *Debess ekvators paceļas virs horizonta austrumos, vislielāko augstumu sasniedz dienvidos un aiziet aiz horizonta rietumos.* Tālākais tā ceļš ved zem horizonta

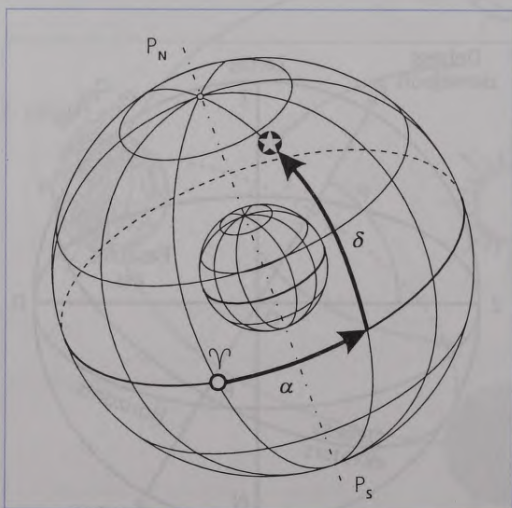


1.12. att. Debess sfēras galvenās līnijas. (O — novērotājs, φ — novērošanas vietas ģeogrāfiskais platumš.)



1.13. att. Spidekļa koordinātas horizontālajā koordinātu sistēmā.

un sasniedz vislielāko dziļumu ziemeļos, tad atkal atgriežas austrumu punktā. Spidekļi, kas atrodas virs debess ekvatora, ietilpst debess ziemeļu puslodē, pārējie zem ekvatora — debess dienvidu puslodē. Līdzīgi kā pasaules ass ir paralēla Zemes griešanās asij, arī debess ekvators atrodas paralēli Zemes ekvatoram. Debess ekvators krustojas ar ekliptiku divos punktos: pavasara punktā un rudens punktā.



1.14. att. Spidekļa koordinātas ekvatoriālajā koordinātu sistēmā:

γ — pavasara punkts, α — rektascensija, δ — deklinācija. Riņķis, kas iet caur debess poliem P_N , P_S un spidekli, ir deklināciju riņķis.

Svarīga līnija ir *debess meridiāns*, kas parādās virs apvēršņa dienvidu punktā, iet cauri zenītam, debess polam un nozūd aiz horizonta ziemeļu punktā. Tā tālākais ceļš ved caur nadīru atpakaļ uz dienvidu punktu. Šķērsojot debess meridiānu, Saule un citi spidekļi sasniedz vislielāko leņķisko augstumu (parasti tas notiek dienvidos). Šo momentu sauc par **augšējo kulmināciju**. Ziemeļu pusē uz debess meridiāna spidekļa leņķiskais augstums ir vismazākais — tas atrodas **apakšējā kulminācijā**.

Horizontālā koordinātu sistēma. Astronomijā lieto vairākas koordinātu sistēmas. Horizontālā koordinātu sistēma, kā rāda nosaukums, ir saistīta ar horizontu, tātad ar novērotāja stāvokli uz zemeslodes virsmas. Šīs sistēmas centrā O atrodas novērotājs, galvenā plakne — horizonta plakne. Spidekļu koordinātas šajā sistēmā ir **leņķiskais augstums** h , ko mēra pa augstuma riņķi no horizonta līdz spideklim, un **azimuts** A — leņķis, kuru mēra pa horizontu no dienvidu punkta līdz spidekļa augstuma riņķim (1.13. att.). Augstuma riņķis iet caur zenītu, spidekli, perpendikulāri šķērso horizontu un sasniedz nadīra punktu. Astronomisko azimutu mēra no dienvidu punkta rietumu virzienā (atšķirībā no ģeogrāfiskā azimuta, ko mēra no horizonta ziemeļu punkta). Azimuts mainās intervālā $0...360^\circ$, bet leņķiskais augstums intervālā $-90...+90^\circ$.

Spidekļu diennakts kustības dēļ augstums un azimuts nepārtraukti mainās. Kad spideklis uzlec austrumos, tā leņķiskais augstums ir nulle, bet azimuts — mazāks nekā 360° . Uz debess meridiāna spidekļa leņķiskais augstums sasniedz maksimālo vērtību, bet azimuts kļūst nulle. Tālāk rietumu pusē spidekļa augstums samazinās, bet azimuts kļūst lielāks par 0° . Ja ir zināmas spidekļa horizontālās koordinātas noteiktā laika momentā, tad viegli orientēties, kurā debess pusē un kādā augstumā spideklis meklējams.

Ekvatoriālā koordinātu sistēma. Horizontālās koordinātas raksturo spidekļa stāvokli attiecībā pret horizontu, bet ekvatoriālās koordinātas nosaka tā stāvokli pie debess sfēras attiecībā pret debess ekvatoru

Kopsavilkums par koordinātu sistēmām

| Koordinātu sistēma | Horizontālā | | Ekvatoriālā | |
|---------------------|---|---------------------------|--|------------------------|
| Raksturojums | Saistīta ar horizonta plakni
Zvaigžņu koordinātas mainās | | Saistīta ar rotējošo debess sfēru
Zvaigžņu koordinātas nemainās | |
| Koordinātas | A — azimuts | h — leņķiskais augstums | α — rektascensija | δ — deklinācija |
| Koordinātu izmaiņas | 0...360° | $\pm 90^\circ$ | 0...24 ^h | $\pm 90^\circ$ |

(1.14. att.). Aptuveni var uzskatīt, ka zvaigžņu stāvoklis pie debess sfēras ir nemainīgs. Zvaigznes ir cieši "piesaistītas" debess sfērai un griežas kopā ar to.

Spīdekļa stāvokli raksturo ar divām koordinātām, tāpat kā, piemēram, pilsētas atrašanās vietu uz zemeslodes raksturo noteikts ģeogrāfiskais platums un garums. Debess sfērai atbilstošie jēdzieni ir deklinācija un rektascensija.

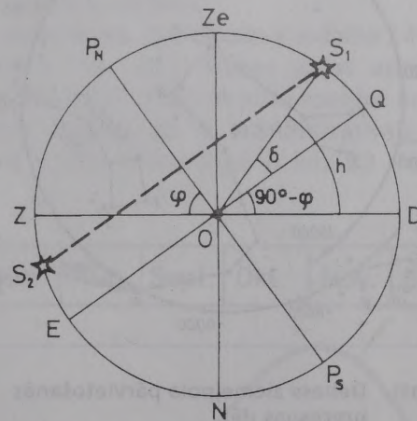
Deklinācija δ ir spīdekļa leņķiskais attālumšs no debess ekvatora, ko mēra pa deklināciju riņķi no debess ekvatora līdz spīdeklim. Deklināciju riņķis iet caur debess ziemeļpolu, spīdekli, perpendikulāri šķērso debess ekvatoru un sasniedz debess dienvidpolu. Debess ziemeļu puslodē deklinācija ir pozitīva, bet debess dienvidu puslodē — negatīva. Deklinācija mainās intervālā $-90^\circ \dots +90^\circ$.

Saistība starp ekvatoriālajām un horizontālajām koordinātām. Ja spīdekļš novērojumu vietā ar ģeogrāfisko platumu φ atrodas uz debess meridiāna (augšējā vai apakšējā kulminācijā), tad tā deklināciju δ un leņķisko augstumu h saista vienkāršas sakarības (1.15. att.).

Augšējā kulminācija. Šeit iespējami divi varianti. 1) Ja spīdekļš kulminē uz dienvidiem no zenīta ($\delta < \varphi$), tad augstumu aprēķina pēc formulas $h = 90^\circ - \varphi + \delta$. 2) Ja spīdekļš kulminē uz ziemeļiem no zenīta ($\delta > \varphi$), tad augstumu aprēķina pēc formulas $h = 90^\circ + \varphi - \delta$.

Apakšējā kulminācija. Neatkarīgi no tā, vai spīdekļš atrodas virs vai zem horizonta, tā augstumu aprēķina pēc formulas $h = \varphi + \delta - 90^\circ$.

Šādi iespējams aprēķināt zvaigžņu, Saules, Mēness, planētu un citu debess spīdekļu kulminācijas augstumu. Ārpus kulminācijām, kad spīdekļš neatrodas uz debess meridiāna, tā ekvatoriālās un horizontālās koordinātas saista sarežģītākas sakarības.

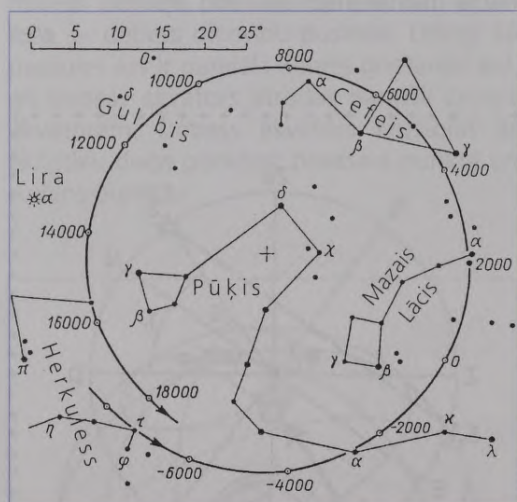


1.15. att. Saistība starp spīdekļa ekvatoriālajām un horizontālajām koordinātām.

Projicējot debess sfēru debess meridiāna plaknē, iegūst šādas līnijas: ZD — horizonts, ZeN — zenīta—nadīra virziens, EQ — debess ekvators, $P_N P_S$ — pasaules ass. Novērotājs atrodas punktā O, vietā ar ģeogrāfisko platumu φ . Augšējā kulminācijā S_1 spīdekļš ar deklināciju δ atrodas leņķiskajā augstumā h . Apakšējā kulminācijā S_2 tas atrodas zem horizonta.

Otra ekvatoriālā koordināta ir **rektascensija** α — leņķis, ko mēra pa debess ekvatoru no pavasara punkta līdz spīdekļa stundu riņķim pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam, t. i., uz austrumiem. Astronomijā rektascensiju pieņemts mērit stundās. To var darīt, jo 24 stundām atbilst pilns riņķis jeb 360° . Rektascensija mainās intervālā $0 \dots 24^h$. Citu vienību atbilstība ir šāda: $1^h = 15^\circ$; $1^\circ = 4^m$; $1^m = 15''$; $1'' = 4^{\cdot}$.

Spīdekļu ekvatoriālās koordinātas ir jāzina, lai varētu attēlot to stāvokli zvaigžņu kartēs un sastādīt zvaigžņu katalogus. Piemēram, Saule, Mēness un planētas pārvietojas attiecībā pret zvaigznēm. Ja zināmas to ekvatoriālās koordinātas, tad iespējams atlikt šo spīdekļu ceļu zvaigžņu kartēs.



1.16. att. Debess ziemeļpola pārvietošanās precesijas dēļ.

Precesija. Tomēr arī zvaigznes nav pilnīgi nekustīgas attiecībā pret debess sfēru. Tās kustas ļoti lēni, un šo kustību izraisa Zemes rotācijas ass pārvietošanās. **Zemes rotācijas ass stāvoklis telpā lēni mainās.** Ļoti ilgā laikposmā, aptuveni 26 tūkstošos gadu tā apraksta konusveida virsmu ap virzienu, kas perpendikulārs Zemes orbītas plaknei. Šo pārdiību sauc par *precesiju*. Kaut arī ass stāvoklis mainās, tā visu laiku saglabā apmēram vienādu slīpumu attiecībā pret orbītas plakni. Precesijas cēlonis ir Mēness un Saules gravitācijas iedarbība uz Zemes ekvatoriālo pārsninājumu. Šo debess ķermeņu iedarbība izkustina Zemes rotācijas asi no līdzsvara un liek tai pārvietoties. Līdzīgu efektu var panākt, uzsitot pa sāniem ātri rotējošam rotaļu vilcīnam.

Precesijas dēļ debess poli un debess ekvators pārvietojas starp zvaigznēm (1.16. att.). Rezultātā mainās zvaigžņu ekvatoriālās koordinātas. Ja debess ekvators pārvietojas, tad mainās tā krustpunkti ar ekliptiku. Vienā gadā pavasara punkts pārvietojas pa ekliptiku uz rietumiem par $50''$. Ar acīm to nevar redzēt, tomēr gadsimtu gaitā šīs izmaiņas sumējas un kļūst manāmas. **Pavasara punkts** (γ), kurš mūsu ēras sākumā atradās Auna zvaigznājā, pašlaik atrodas jau Zivju zvaigznājā.

Mainoties pola stāvoklim pie debess, mainās arī zvaigzne, kas iezīmē tā atrašanās vietu. Pašlaik debess ziemeļpola tuvumā atrodas Polārsvaigzne. Precesijas dēļ gadsimtu gaitā mainās arī zvaigžņotās debess aina. Pēc dažiem tūkstošiem gadu Latvijā varēs pilnībā novērot Strēlnieka un Skorpiona zvaigznājus, toties Sīriuss nozudīs aiz horizonta.

Jautājumi.

1. Kā diennakts laikā mainās nenorietošo spīdekļu azimuts un augstums?
2. Kādā ir četru galveno ekliptikas punktu rektascensija un deklinācija?
3. Atradiet kļūdu izteikumā "spīdekļa augstums ir $94^\circ 83'$ "!
4. Kādā augstumā kulminē spīdekļi, ja tā deklinācija ir vienāda ar vietas ģeogrāfisko platumu?
5. Cik augstu pie debess dienvidu pusē Rīgā atrodas debess ekvators?
6. Kura zvaigzne kļūs par polārsvaigzni pēc 12 000 gadiem?
7. Kādā zvaigznājā pēc 2000 gadiem atradīsies pavasara punkts?

1.4. LAIKA SKAITĪŠANA. KALENDĀRS

Saules gaita pie debess nosaka cilvēka dzīves ritmu, tādēļ par laika mērīšanas pamatu ir pieņemta Saules diennakts, kurā ir precīzi 24 stundas.

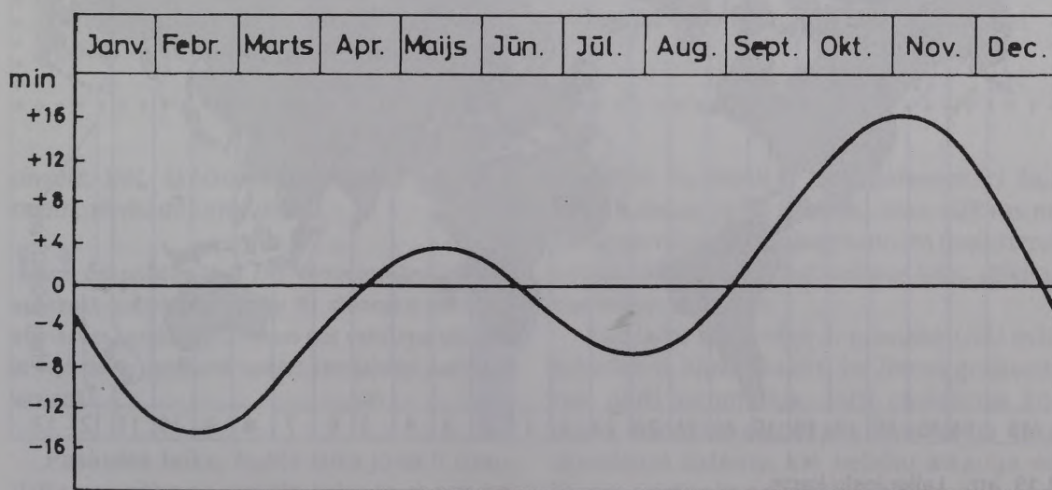
Laika skaitīšana un Saules kustība. Viens no senākajiem laika mērīšanas līdzekļiem bija Saules pulkstenis, kurš laiku rādīja pēc pulksteņa rādītāja mestās ēnas. Kamēr laika mērīšanā nebija vajadzīga liela precizitāte, problēmas neradās, jo patiesi vienā un tajā pašā diennakts stundā Saule atrodas pie debess aptuveni vienā un tajā pašā virzienā. Taču, astronomijas zinātnei attīstoties, atklāja, ka Saules kustība nav gluži vienmērīga un Saules kulminācijas moments mainās aptuveni par 16 minūtēm uz vienu vai uz otru pusi no vidējās vērtības. Lai izveidotu vienmērīgāku laika skalu, astronomiem nācās ieviest "vidējās" Saules jēdzienu. Tas ir iedomāts punkts, kas vienmēr atrodas Saules tuvumā un kura rektascensija mainās vienmērīgi. Rezultātā tika iegūta šāda diennakts definīcija: *diennakts ir laika intervāls starp divām viena otrai sekojošām "vidējās" Saules augšējām vai apakšējām kulminācijām.* Tās notiek katru dienu vienā un tajā pašā laikā, kaut gan faktiski Saule kulminē nedaudz agrāk vai vēlāk.

Saules nevienmērīgajai kustībai galvenokārt ir divi cēloņi: 1) Zeme riņķo ap Sauli ar nedaudz mainīgu ātrumu un 2) Saule kustas pa ekliptiku, kas nesakrīt ar debess ekvatoru, tādēļ Saules rektascensija mainās nevienmērīgi.

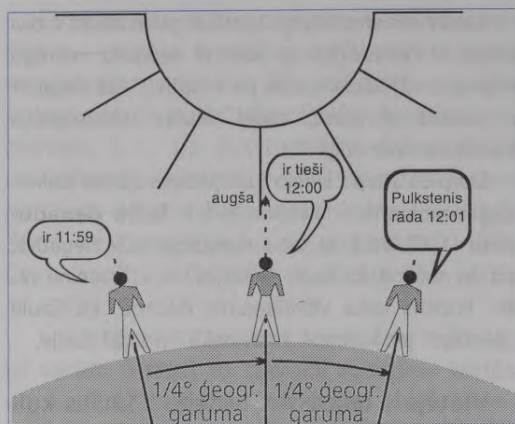
Starpība starp "vidējo" un patieso Saules kulminācijas momentu ir vienāda ar t. s. **laika vienādojumu** (1.17. att.). Ja laika vienādojums ir negatīvs, tad tas nozīmē, ka Saule "kavējas", t. i., kulminē vēlāk. Pozitīvs laika vienādojums nozīmē, ka Saule "steidzas" jeb kulminē ātrāk nekā "vidējā" Saule.

Vietējais laiks. Ar "vidējās" Saules kulminācijas momentu ir saistīts vietējais laiks. Pēc šī laika "vidējā" Saule kulminē precīzi $12^{\text{h}}00^{\text{m}}00^{\text{s}}$. Līdz ar to jebkurā vietā uz zemeslodes var ieviest pietiekami precīzu, ar Sauli saistītu laika skaitīšanas sistēmu. Taču *lietošanai praksē vietējais laiks ir neērts, jo ir atkarīgs no novērotāja atrašanās vietas ģeogrāfiskā garuma* (1.18. att.). Kaut nedaudz pārvietojoties uz austrumiem vai rietumiem, vietējais laiks jau mainās. Tāpēc vietējo laiku lieto astronomijā tikai aprēķinos, bet ikdienas dzīvē lieto joslu laiku.

Joslu laiks. Zemeslode ir iedalīta 24 laika joslās (1.19. att.). Katras joslas aptuvenš platums ir 15° . Precīzās joslu robežas nosaka valstu robežas vai to administratīvais dalījums. Joslas numurē no 0 līdz 23. Nulltās



1.17. att. Laika vienādojuma grafiks.



1.18. att. Vietās, kuru ģeogrāfiskais garums atšķiras par $1/4$ grāda, vietējais laiks atšķiras par 1 minūti. Bultiņa norāda zemeslodes griešanās virzienu.

joslas centrs sakrīt ar Griničas (0°) meridiānu. Visā laika joslas teritorijā tiek lietots viens un tas pats laiks. Uz joslas centrālā meridiāna tas

sakrīt ar vietējo laiku. Maksimālā atšķirība no vietējā laika joslas malā parasti nepārsniedz 30 minūtes. Blakus joslās laiks atšķiras par vienu stundu.

Aplūkosim piemēru. Kad Griničā ir pusdienlaiks (12^h), uz rietumiem no tās pulkstenis rāda mazāk (piemēram, Ņujorkā ir rīts, 7^h), bet uz austrumiem — vairāk (piemēram, Tokijā ir vakars, 21^h).

Lidojot ar lidmašīnu uz austrumiem, pulkstenis jāpagriež uz priekšu, bet, lidojot uz rietumiem, pulkstenis jāpagriež atpakaļ.

Aptuveni pa 180° meridiānu starp Āziju un Ameriku iet **datuma maiņas līnija**. Lai saprastu tās nozīmi, turpināsim iesāktu piemēru. Ja Griničā pulkstenis rāda 12^h , tad Vellingtonā (Jaunzēlandē) pulkstenis rāda 24^h , kur atbilstošais datums beidzas, bet Nomā (Aļaskā) pulkstenis rāda 1^h un tur šis datums ir nupat kā sācies. Tas jāņem vērā, braucot ar kuģi vai lidmašīnu.

Šķērsojot datuma maiņas līniju virzienā uz austrumiem, vienu un to pašu datumu skaita



1.19. att. Laika joslu karte.

Latvija atrodas 2. laika joslā. Katrā joslā laiks atšķiras par vienu stundu no laika blakusjoslā. Dažās valstīs, piemēram, Indijā laiks par pusstundu atšķiras no joslas laika. Šīs teritorijas kartē nav speciāli norādītas.

Laika skaitīšana Latvijā. Latvijas teritorijas lielākā daļa atrodas otrās laika joslas rietumu malā, bet Kurzeme ģeogrāfiskā izvietojuma dēļ ietilpst pirmajā laika joslā. Tomēr visā Latvijas teritorijā pieņemts lietot otrās joslas (Austrumeiropas) laiku. Vietējo laiku atrod, no joslas laika atņemot tabulā uzrādīto laiku starpību.

1.2. tabula

Lielāko Latvijas pilsētu ģeogrāfiskās koordinātas, joslas laika un vietējā laika starpība

| Pilsēta | Ģeogrāfiskais garums, grādos | Ģeogrāfiskais platums, grādos | Joslas laika un vietējā laika starpība, h, min* |
|-----------------|------------------------------|-------------------------------|---|
| Liepāja | 21,0 | 56,5 | 0 36 |
| Ventspils | 21,6 | 57,4 | 0 34 |
| Tukums | 23,2 | 57,0 | 0 27 |
| Jūrmala (Sloka) | 23,6 | 57,0 | 0 26 |
| Jelgava | 23,7 | 56,7 | 0 25 |
| Rīga (centrs) | 24,1 | 57,0 | 0 24 |
| Ogre | 24,6 | 56,8 | 0 22 |
| Cēsis | 25,3 | 57,3 | 0 19 |
| Valmiera | 25,4 | 57,5 | 0 18 |
| Jēkabpils | 25,9 | 56,5 | 0 17 |
| Daugavpils | 26,5 | 55,9 | 0 14 |
| Rēzekne | 27,3 | 56,5 | 0 11 |

* Vasaras laika periodā šī starpība ir par vienu stundu lielāka.

Vairumā valstu, kā arī Latvijā vasaras periodā no marta pēdējās svētdienas (diviem naktī) līdz septembra pēdējai svētdienai (trijiem naktī) lieto vasaras laiku, kas ir par vienu stundu priekšā joslas laikam. *Pārejot uz vasaras laiku, pulkstenis jāpagriež par vienu stundu uz priekšu, bet, pārejot atpakaļ uz joslas (ziemas) laiku, pulkstenis jāpagriež par vienu stundu atpakaļ.* Līdz ar to pavasarī šajā diennaktī viena stunda tiek izlaista, bet rudenī vienu stundu skaita divreiz.

divreiz, bet, šķērsojot to virzienā uz rietumiem, vienu datumu izlaiž.

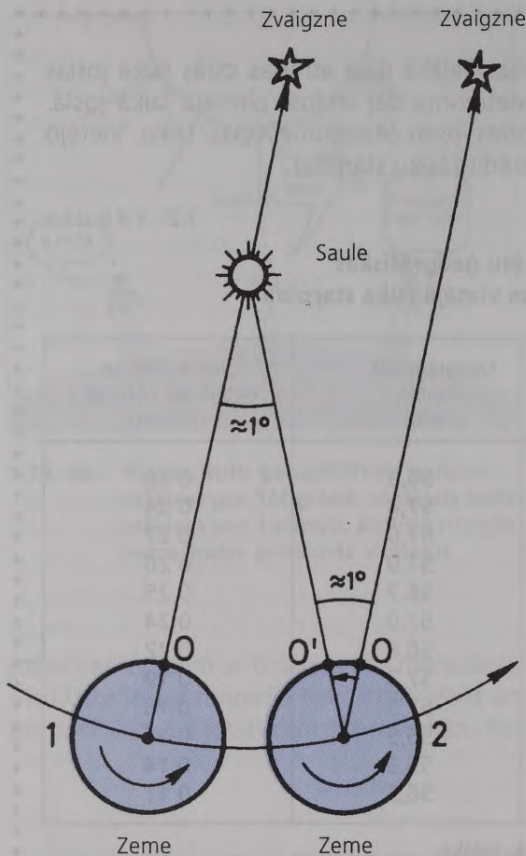


Šis princips ļāva Žila Verna romāna varonim apbraukt apkārt zemeslodei 81 diennaktī un tomēr atgriezties Londonā 80 dienas pēc ceļojuma sākuma, jo viņš devās ceļojumā apkārt zemeslodei austrumu virzienā.

Pasaules laiks. Nulltā laika josla ir izraudzīta par galveno, un tās laiku sauc par pasaules laiku. Astronomiskajās gadagrāmatās

parādību momenti ir doti galvenokārt šajā laikā. Latvijas joslas (ziemas) laiks atšķiras no pasaules laika par divām stundām (pulkstenis Latvijā rāda vairāk), bet vasaras laiks atšķiras par trijām stundām.

Kad laiku sāka mērit ar precizitāti līdz milisekundēm, kļuva skaidrs, ka Zemes griešanās nav gluži vienmērīga. Taču civilizācijai kopumā vajadzīga pietiekami vienmērīga laika skaitīšanas sistēma, kas nebūtu atkarīga no Zemes griešanās neregularitātes un kas vienlaikus būtu cieši saistīta ar diennakts ritmu.



1.20. att. Saules un zvaigžņu diennakts atšķirība.

Stāvoklī 1 novērotājs O redz Sauli un zvaigzni vienā virzienā. Pēc vienas zvaigžņu diennakts (stāvoklī 2) novērotājs ieņem tādu pašu stāvokli O attiecībā pret zvaigzni. Taču, lai novērotājs ieņemtu tādu pašu stāvokli O' attiecībā pret Sauli, Zemei nedaudz jāpagriežas ap asi.

Šim nolūkam lieto **koordinēto pasaules laiku**. To glabā speciāli kvantu pulksteņi. Reizi gadā vai retāk, kad Zemes rotācijas palēnināšanās dēļ rodas nepieciešamība, 30. jūnijā vai 31. decembrī diennakts pēdējā minūtē tiek pieskaitīta lieka sekunde. Tad šis minūtes garums ir 61 sekunde, bet atbilstošās diennakts garums ir 86 401 sekunde. Pareizā laika signāli, ko raida pa radio, tiek doti šajā koordinētā pasaules laika sistēmā. No pasaules laika, ko nosaka Zemes griešanās, koordinētais laiks nekad neatšķiras

vairāk kā par sekundi. Līdz ar to daudzi cilvēki šo starpību nepamana.

Zvaigžņu laiks. Aplūkojot Saules un zvaigžņu kustību, tika minēts, ka Saules un zvaigžņu diennakts kustības ātrumi nedaudz atšķiras (1.20. att.). Saule ("vidējā" Saule) veic vienu apriņķojumu 24 stundās, bet *zvaigžņotā debess sfēra veic vienu apriņķojumu $23^{\text{h}}56^{\text{m}}4^{\text{s}}$* — nepilnas četras minūtes ātrākā laikā. Šo laika periodu sauc par **zvaigžņu diennakti**.

Zvaigžņu diennakts ir reālais Zemes rotācijas periods, jo, aplūkojot Zemes kosmisko kustību, šajā laikā Zeme veic vienu apgriezīgu ap asi attiecībā pret tālajām, nekustīgajām zvaigznēm. Ik dienas Zeme nedaudz pārvietojas pa orbītu. Tādēļ, lai ieņemtu tādu pašu stāvokli attiecībā pret Sauli, kā diennakti iepriekš, tai vajadzīgs par $3^{\text{m}}56^{\text{s}}$ ilgāks laiks.

Zvaigžņu diennakts kustības raksturošanai lieto **zvaigžņu laiku**. Reizi gadā, kad Saule atrodas rudens punktā, zvaigžņu laiks sakrīt ar pasaules laiku, bet turpmāk katru diennakti tas aizsteidzas priekšā pasaules laikam par $3^{\text{m}}56^{\text{s}}$. Zinot zvaigžņu laiku, var viegli pateikt, kādi debess spidekļi tobrīd redzami, jo *zvaigžņu laiks ir vienāds ar to debess spidekļu rektascensiju, kas noteiktajā brīdī kulminē*. Ja, piemēram, zvaigžņu laika pulkstenis rāda $6^{\text{h}}45^{\text{m}}$, tad debess dienvidu pusē kulminē spožais Sīriuss, kuram ir šāda rektascensija.

Mēness kalendārs. Pirmais kalendārs cilvēces vēsturē bija Mēness kalendārs. Tajā par laika mērīšanas pamatciklu pieņemts Mēness fāžu maiņas laiks, ko sauc par sinodisko mēnesi. Tā garums ir nepilns mēnesis, precīzāk, 29,53 dienas. Jau pats nosaukums rāda, ka šis jēdziens ir saistīts ar Mēness kustību. *Mēness kalendāru vēl tagad lieto vairākās islama valstīs*. Galvenais Mēness kalendāra trūkums ir tas, ka *Mēness kalendārs nav saskaņots ar gadalaikiem un zemkopības sezonām*.

Mēness—Saules kalendārs. Nākamais solis kalendāra attīstībā bija Mēness—Saules (lunāri solārā) kalendāra ieviešana. Tajā mēnešus skaitīja pēc Mēness fāzes, bet gadus — pēc Saules. Laika skaitīšana pēc Mēness—Saules kalendāra bija diezgan sarežģīta, jo

vienā gadā ietilpst 12,37 sinodiskie mēneši, kas nav vesels skaitlis. Šo ciklu saskaņošanai kalendārā iekļāva papildu mēnešus un papildu dienas.

Saules kalendārs. Pastāv uzskats, ka Saules kalendāru izgudroja Senajā Ēģiptē, jo šis valsts zemkopība bija cieši saistīta ar ikgadējiem Nīlas plūdiem, tātad ar gadalaikiem. Viena gada garums bija 365 dienas, to iedalīja 12 mēnešos, katrā pa 30 dienām. Atlikušās 5 dienas pievienoja gada beigās. Tā kā faktiskais gada garums bija nedaudz lielāks, tad aptuveni katrus četrus gadus radās vienu dienu liela nobīde. Tas bija ļoti neērti, jo patiesie gadalaiki arvien vairāk atšķīrās no gadalaiku sākuma kalendārā.

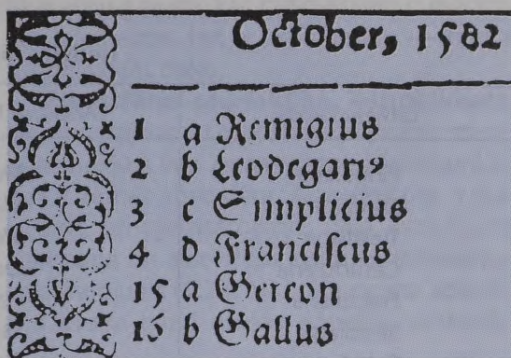
Šo nepilnību novērsa romieši, kas pārņēma ēģiptiešu kalendāra sistēmu. 46. g. p.m.ē. Senajā Romā pēc Jūlija Cēzara pavēles notika kalendāra reforma — katrā ceturtajā gadā (garajā gadā), skaitīja nevis 365, bet 366 dienas. Tā radās **Jūlija kalendārs** — pirmais modernais kalendārs.



Arī mēnešu nosaukumi ir saistīti ar Senās Romas valdīšanas laikiem. Sākumā romiešu kalendārā vienā gadā bija 10 mēneši un tas sākās martā, kas bija nosaukts kara dieva Marsa vārdā. Aprīļa, maija un jūnija nosaukumi bija saistīti ar dabas parādību nosaukumiem un romiešu dievu vārdiem. Turpmākie mēneši tika nosaukti ar skaitļa vārdiem: kvintilis, sekstilis. Vēlāk tos pārdēvēja Romas valdnieku Jūlija un Augusta vārdos. Tiem sekoja septītais mēnesis — septembris, astotais — oktobris, deviņais — novembris un desmitais — decembris. Pēc reformas šiem mēnešiem pievienoja vēl janvāri un februāri, bet gada sākumu pārcēla uz 1. janvāri.

Mēnešu garums bija 30 vai 31 diena, bet februārī bija 29 dienas (garajā gadā 30 dienas). Vēlāk augustu papildināja vēl ar vienu dienu uz februāra rēķina.

Gregora kalendārs. Jūlija kalendāra izveidošana bija liels solis uz priekšu kalendāra attīstībā, bet arī šis kalendārs nebija pietiekami precīzs. Jūlija kalendārā gada garums bija 365 dienas un 6 stundas, bet astronomiskais gads ir par 11^m14^s īsāks, tādēļ Jūlija kalendārs atpalika no gadalaiku maiņas par



1.21. att. 1582. gada kalendāra lappuses fragments.

vienu diennakti 128 gados. Gadsimtu gaitā starpība kļuva arvien lielāka.

Pēc pāvesta Gregora XIII pavēles 1582. gadā tas tika novērst. Šajā gadā pēc 4. oktobra uzreiz sekoja 15. oktobris (1.21. att.). Turklāt tika arī novērst šis nobīdes cēlonis. Kalendārā gada garumu nedaudz samazināja, izmantojot šādu principu: *pilno gadsimtu gadus, kuru pirmie divi cipari nedalās ar 4, uzskatīja par īsajiem gadiem*. Šādi gadi ir 1700., 1800., 1900., bet 1600. un 2000. gads paliek kā garie gadi. Tādā gadījumā kalendāra gada garums ir 365,2425 dienas un vienas dienas starpība izveidojas 3300 gados, kas praktiskām vajadzībām ir pilnīgi pieņemami. Mūsdienās Gregora kalendāru lieto gandrīz visās pasaules valstīs, kaut arī dažviet tas nav oficiālais kalendārs.

Visplašāk izplatītā gadu skaitīšanas sistēma ir no mūsu ēras sākuma (no Kristus dzimšanas). Dažādos vēsturiskajos laikmetos gadi ir skaitīti gan no pasaules radīšanas (3761. g. p.m.ē.), gan no Romas dibināšanas (753. g. p.m.ē.), gan no Muhameda bēgšanas no Mekas (622. g.) u. c.

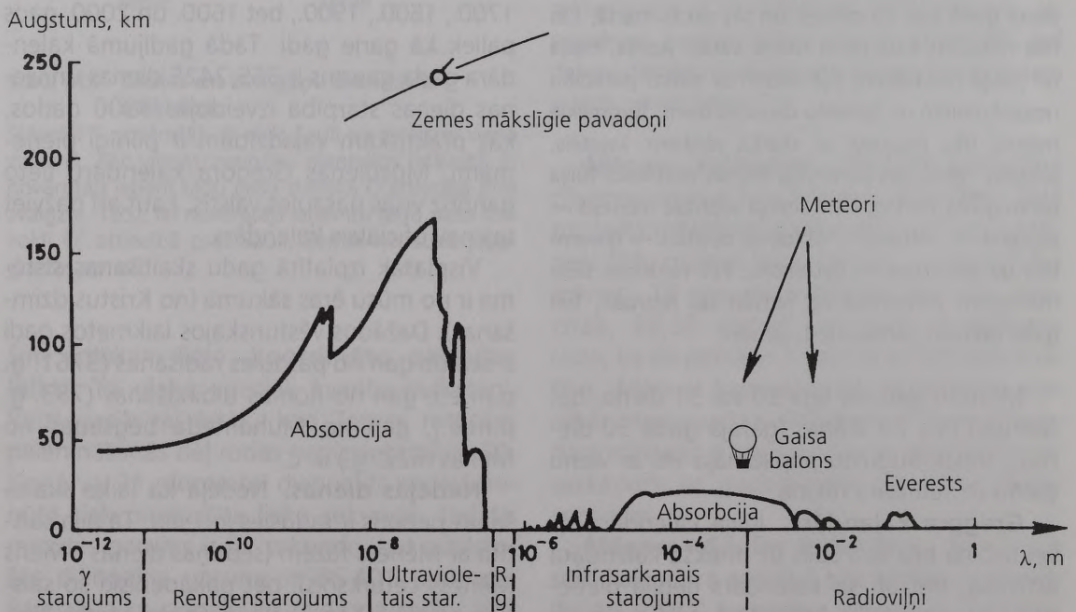
Nedēļas dienas. Nedēļa kā laika skaitīšanas periods ir radusies ļoti sen. Tā bija saistīta ar Mēness fāzēm (septiņas dienas ir viens Mēness ceturksnis), bet pakāpeniski šo saistību zaudēja. Senatnē bija zināmi septiņi kustīgie spīdekļi — piecas planētas, Mēness un Saule. Vairākās valodās nedēļas dienu nosaukumi ir ar tiem saistīti.

Nedēļas dienu nosaukumi

| Latviešu valodā | Angļu vai franču valodā | Tulkojums |
|-----------------|-------------------------|----------------|
| Pirmdiena | <i>Monday</i> | Mēness diena |
| Otrdiena | <i>Mardi</i> | Marsa diena |
| Trešdiena | <i>Mercredi</i> | Merkura diena |
| Ceturtdiena | <i>Jeudi</i> | Jupitera diena |
| Piektdiena | <i>Vendredi</i> | Veneras diena |
| Sestdiena | <i>Saturday</i> | Saturna diena |
| Svētdiena | <i>Sunday</i> | Saules diena |

Jautājumi.

1. Kādos datumos laika vienādojums ir vienāds ar nulli?
2. Kur Saule noteiktā dienā kulminē ātrāk: Āfrikā vai Austrālijā?
3. Kāda ir joslas laika un vietējā laika starpība Rīgā 1. janvārī un 1. jūnijā?
4. Rīgā 30. jūlijā pulkstenis rāda 12^h. Kāds šajā brīdī ir pasaules laiks un kāds — vietējais laiks?
5. Vai vienā minūtē vienmēr ir 60 sekundes?
6. Cik zvaigžņu diennakšu ietilpst vienā gadā?
7. Vai 2100. gads būs garais gads?



1.22. att. Zemes atmosfēras caurlaidības likne raksturo, cik dziļi atmosfērā iespiežas dažādu diapazonu elektromagnētiskais starojums. Līdz Zemes virsai brīvi nokļūst tikai redzamā gaisma (R.g.) un radioviļņi.

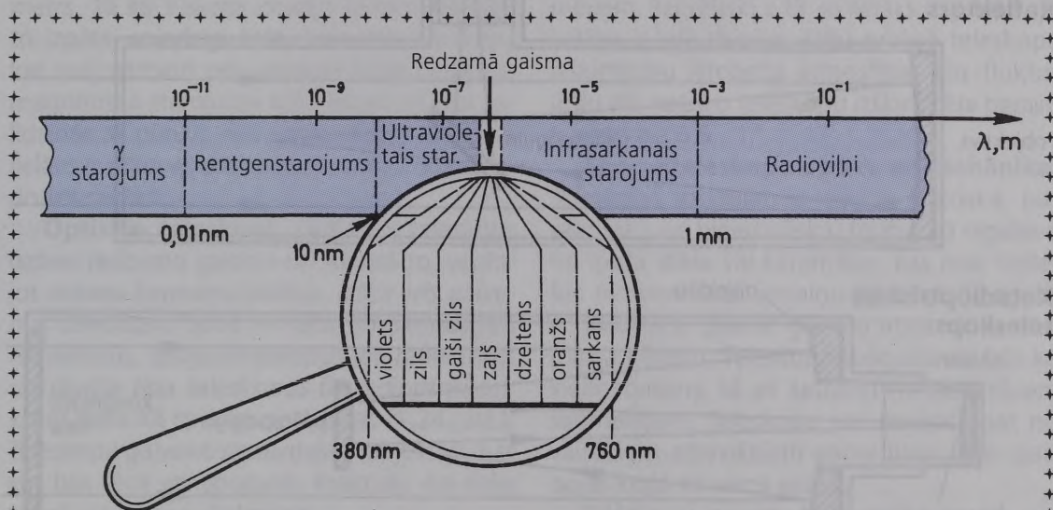
1.5. OPTISKIE TELESKOPI UN STAROJUMA UZTVĒRĒJI

Elektromagnētiskais starojums. Debess ķermeņi izstaro ne tikai redzamo gaismu, bet arī siltumu, radioviļņus, ultravioleto starojumu, rentgenstarojumu un γ (gamma) starojumu. Šie starojumi un viļņi ir elektromagnētiskā starojuma jeb, citiem vārdiem sakot, elektromagnētisko viļņu dažādas izpausmes. To fizikālā būtība ir viena un tā pati, atšķiras

tikai viļņu garumi, kas radioviļņiem ir mērāmi pat kilometros, bet γ starojumam — metra simtmiljardās daļās.

Atmosfēras caurlaidība. Astroklimats.

Ne visu diapazonu elektromagnētiskais starojums nokļūst līdz Zemes virsai. Ievērojami to aiztur Zemes atmosfēra. Aizturēts tiek γ starojums, rentgenstarojums, daļa ultravioletā starojuma un atsevišķās joslās — infrasarkanais starojums (1.22. att.). Starojuma absorbciju izraisa gaisā esošās slāpekļa, skābekļa,



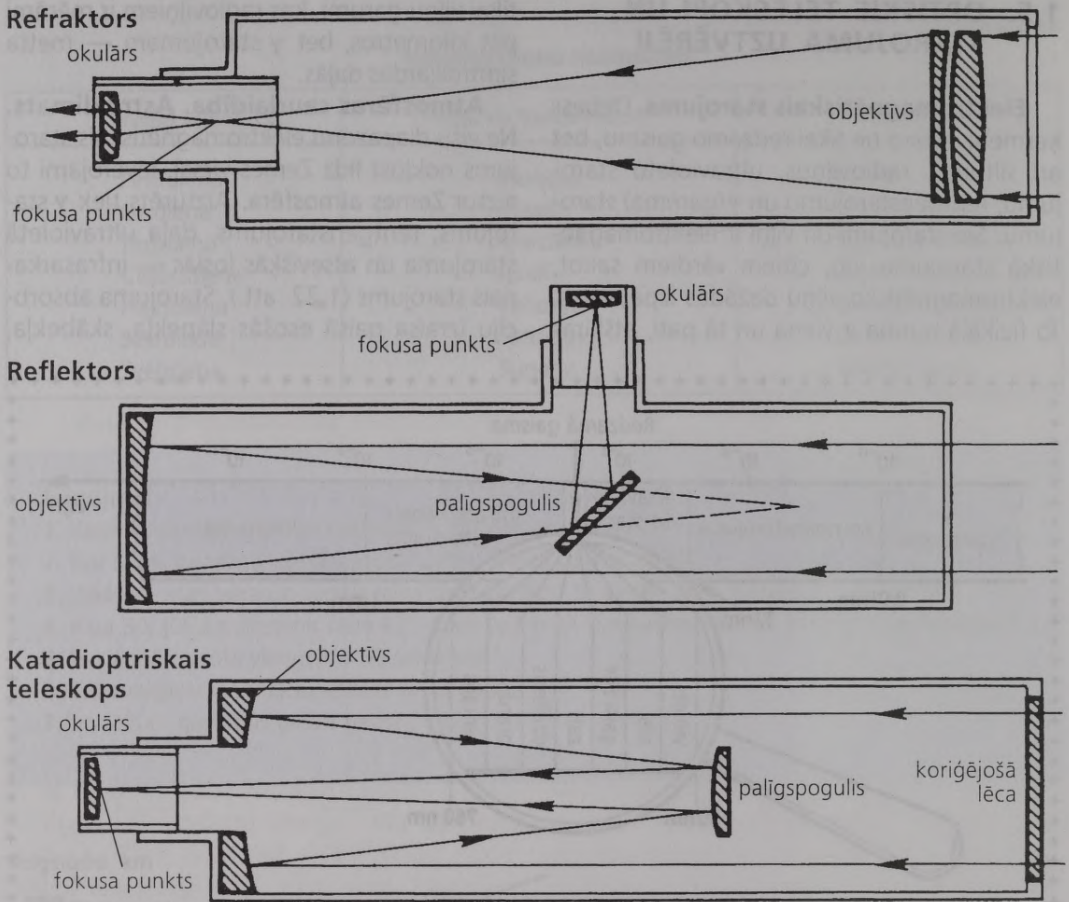
1.23. att. Elektromagnētisko viļņu skala.

Redzamā gaisma tajā aizņem tikai šauru joslu. Uz ass ir atlikts viļņa garums λ .

Redzamā gaisma elektromagnētiskā starojuma spektrā veido niecīgu daļu, taču Saule izstaro visspēcīgāk tieši šajā diapazonā, tādēļ cilvēka acs evolūcijas rezultātā ir ieguvusi spēju uztvert gaismu, nevis kādu citu elektromagnētisko starojumu. Virzienā no īsākajiem uz garākajiem viļņiem spektrā var redzēt septiņas krāsas: violeto, zilo, gaišzilo, zaļo, dzeltenu, oranžo un sarkano (1.23. att.). To viļņa garumi atrodas intervālā 380...760 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

Ultravioletā starojuma viļņa garums ir mazāks nekā redzamajai gaismai. To nevar redzēt, bet sajūst uz ādas, ilgstoši saulējoties. Viļņa garumam samazinoties, ultravioletais starojums pakāpeniski pāriet rentgenstarojumā, tad — γ starojumā. Rentgenstarojumu un γ starojumu bieži raksturo nevis ar to viļņa garumu, bet gan ar starojuma kvantiem piemēroto enerģiju, ko mēra elektronvoltos (eV).

Infrasarkanā starojuma (siltumstarojuma) viļņa garums ir lielāks nekā redzamajai gaismai. Infrasarkanais starojums pakāpeniski pāriet radioviļņos. Radioviļņus parasti raksturo ar atbilstošo svārstību frekvenci, ko mēra hercos (Hz). Radioviļņu diapazonu no tehniskā viedokļa iedala ultraīsviļņos, īsos, vidējos un garos viļņos. Debess ķermeņi "raida" galvenokārt ultraīsviļņos.



1.24. att. Staru gaita teleskopos.

ozona, ūdens tvaika un oglekļa dioksīda molekulas.

Starojuma aizturēšanai zināmā mērā ir pozitīva nozīme, jo dzīvība uz Zemes ir pasargāta no tai bīstamā γ starojuma un rentgenstarojuma. Taču astronomiem ir jāpieliek lielas pūles, lai pētītu Visumu tajos spektra diapazonos, kuru starojums līdz Zemes virsai nenokļūst.

Klimatisko apstākļu kopumu, kas nosaka apvidus piemērotību astronomiskajiem novērojumiem, sauc par **astroklimatu**. Novērojumus var labi veikt tad, ja debess ir tumša un dzidra, bet galvenais — nepieciešami mierīgi atmosfēras apstākļi. Kalnos astroklimats ir labāks nekā līdzenumos, jo tur atmosfēras blīvākā un piesārņotākā daļa paliek tuvāk Zemes

virsai. Turklāt kalnos var labāk veikt novērojumus ultravioletā starojuma un infrasarkanā starojuma diapazonos, jo absorbcija tajos būtiski samazinās. Tāpat kalnos iespējams attālināties no traucējošā pilsētu apgaismojuma. Paceļot teleskopus 3...4 km augstumā virs zemo mākoņu robežas, astronomi nodrošina novērojumiem daudz piemērotākus apstākļus.

Astronomu galvenais darba instruments ir teleskops. Kopš tā brīža, kad pirmais teleskops tika pavērsts pret zvaigznēm, astronomijas attīstība ir cieši saistīta arī ar teleskopu attīstību. Ar mūsdienu teleskopiem iespējams pētīt debess objektus visos elektromagnētiskā starojuma diapazonos.

Teleskopa definīcija. Tradicionālā izpratnē par teleskopu sauc optisku sistēmu,

kas veido tālu debess objektu attēlus. Tehniskie paņēmieni, kas nepieciešami dažādu diapazonu elektromagnētiskā starojuma reģistrēšanai, ir visai atšķirīgi. *Teleskops ir ierīce, kas savāc un uztver elektromagnētisko starojumu noteiktā debess virzienā.* Daudzi teleskopi, bet ne visi, veido debess ķermeņu attēlus. Ir arī tādi teleskopi, kas uztver nevis starojumu, bet gan elementārdaļiņu plūsmas no kosmosa.

Teleskopu raksturo galvenokārt tā diametrs. Tā kā Visuma objekti izstaro ļoti vāji, to izpētei vajadzīgi liela diametra teleskopi, kas spēj pārtvert pēc iespējas lielāku elektromagnētiskā starojuma kūli. Teleskopu var salīdzināt ar piltuvi, kas uztver lietus lāses. Jo lielāks ir piltuves diametrs, jo vairāk ūdens izdodas savākt.

Optiskie teleskopi. Optiskais teleskops uztver redzamo gaismu un fokusē to, veidojot debess ķermeņu attēlus. *Izšķir trīs galvenos teleskopu tipus — lēcu teleskopus jeb refraktorus, spoguļteleskopus jeb reflektoros un jaukta tipa teleskopus (katadioptriskos), kuros lieto kā spoguļus, tā lēcas (1.24. att.).* Teleskopa galvenā sastāvdaļa ir objektīvs, kas var būt lēca vai spogulis. Praktiski visi lieli teleskopi ir spoguļteleskopi.

Optiskā teleskopa galvenie raksturlielumi ir objektīva diametrs, fokusa attālums, redzeslauks un izšķirtspēja. Jo lielāks objektīva

diametrs, jo vājāk starojošus objektus ar šo teleskopu iespējams ieraudzīt. *Ar mūsdienīgu teleskopiem iespējams pētīt zvaigznes līdz 30. zvaigžņlielumam.* Teleskopa fokusa attālums nosaka iegūstamā attēla izmērus. Liela attēla iegūšanai, piemēram, Saules novērojumos izmanto teleskopus ar lielu fokusa attālumu. Vairumam teleskopu redzes lauks ir mazāks nekā 1°. Tikai īpašas sistēmas teleskopiem tas sasniedz vairākus grādus. Teleskopa izšķirtspēja ir atkarīga no objektīva izmēriem. Teorētiski ir tā: jo lielāks objektīvs, jo lielāka ir izšķirtspēja. Taču praksē teleskopa izšķirtspēju ierobežo atmosfēra. Tās fluktuāciju dēļ optisko teleskopu izšķirtspēja parasti ir intervālā 0,5...1".

Spoguļteleskopu optika un mehānika.

Teleskopa spogulim ir ieliekta (sfēriska, paraboliska vai hiperboliska) forma, to izgatavo no īpaša stikla vai keramikas, kas maz izplešas temperatūras izmaiņu ietekmē. Spogulis ir pārklāts ar plānu, gaismu atstarojošu alumīnija kārtiņu. Teleskopa spogulis var būt kā viengabalains, tā arī sastāvēt no atsevišķiem segmentiem. Teleskopu var izveidot pat no vairākiem atsevišķiem spoguļiem, kuri darbojas kopā kā viens vesels.

Teleskopu grozot, tā spogulis ieņem dažādus stāvokļus un nedaudz deformējas sava svara dēļ. Tas pats notiek, ja dažādās spoguļa vietās ir atšķirīga temperatūra. Modernajos

1.4. tabula

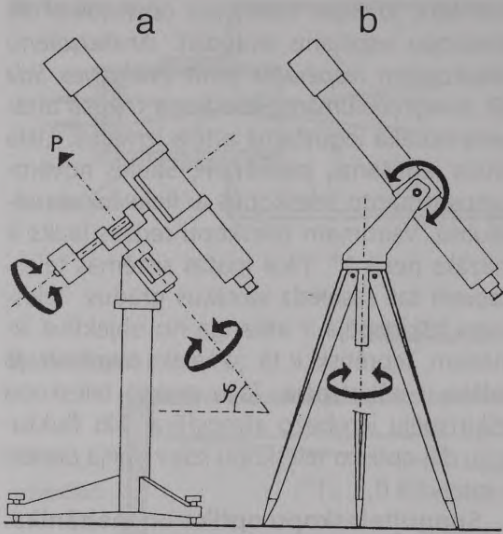
Ziņas par pasaulē lielākajiem teleskopiem

| Nr. p.k. | Nosaukums | Objektīva diametrs, m | Atrašanās vieta | Uzstād. gads |
|----------|------------------------------------|-----------------------|--|--------------|
| 1. | VLT (Very Large Telescope)* | 16 | Eiropas Dienvidu observatorija, Čīle | 2000** |
| 2. | Keka teleskops*** | 9,8 | Maunakea observatorija, Havaju salas | 1991 |
| 3. | BTA (Bolshoi Teleskop Azimutalnij) | 6,0 | Speciālā astrofizikas observatorija, Krievija | 1975 |
| 4. | Heila teleskops | 5,1 | Palomara kalna observatorija, ASV | 1948 |
| 5. | Viljama Heršela teleskops | 4,2 | izmanto Griničas observatorija, Kanāriju salas | 1987 |
| 6. | Serro Tololo teleskops | 4,0 | Starpamerikas observatorija, Čīle | 1976 |

* — Četri 8,2 m diametra teleskopi, kas strādā vienkopus.

** — Projekts.

*** — 36 segmentu spogulis.



1.25. att. Teleskopu montējumi:

a — ekvatoriālais, b — azimutālais. (P — virziens uz debess ziemeļpolu.)

teleskopos šo deformāciju novēršanai lieto *aktīvās optikas* sistēmu, kurā spoguļa formu kontrolē dators. Novirzes no vajadzīgās spoguļa formas izlabo, nedaudz pārvietojot atbalstus spoguļa pamatnē. Tādējādi arī iespējams daļēji novērst atmosfēras radīto zvaigžņu attēlu drebēšanu. Vēl labāk šim nolūkam noder *adaptīvās optikas* sistēma, kurā neliels, datora vadīts palīgspegulis nepārtraukti maina formu, pielāgojoties atmosfēras radītajiem izkropļojumiem. Izmantojot šos paņēmienus, teleskopa izšķiršanas spēju iespējams uzlabot līdz $0,2$ vai $0,3$.

Teleskopa mehānisko daļu, kas nodrošina teleskopa uzvadišanu un sekošanu debess spīdeklim, sauc par montējumu. Ir *divi galvenie montējumu tipi*: *ekvatoriālais* un *azimutālais* (1.25. att.). Ekvatoriālā montējuma galvenā īpatnība ir tā, ka viena no montējuma asīm ir paralēla pasaules asij. Lai teleskops sekotu debess spīdeklim, to griež tikai ap šo vienu asi. Azimutālajiem montējumiem, ko lieto daudzos mūsdienu teleskopos, viena no rotācijas asīm ir vertikāla, bet otra — horizontāla. Lai izsektu debess spīdekļu kustībai, teleskops vienlaikus jāgriež ap abām šīm asīm.

Optiskos teleskopus ievieto grozāmā kupolā ar atveramu lūku. Liela teleskopa kupols ir daudzstāvu mājas augstumā. Kupols vajadzīgs, lai pasargātu teleskopu no vēja, nokrišņiem un sasilšanas dienas laikā. Ja naktī novērojumu laikā temperatūra kupolā un ārpusē atšķiras, tad rodas gaisa plūsmas, kas kropļo attēlu.

Starojuma uztvērēji. Debess objektu vizuālai aplūkošanai teleskopā lieto nelielu lēcu sistēmu — okulāru. Taču *vairums lielo mūsdienu teleskopu nav paredzēti vizuāliem novērojumiem*. Acs vietā tajos lieto citus starojuma uztvērējus, kas ļauj objektīvāk reģistrēt no Visuma dzilēm plūstošo informāciju.

Optiskajos teleskopos attēla reģistrēšanai lieto ļoti jutīgas un smalkgraudainas *fotoplates*, kas spēj uztvert vāju gaismas plūsmu un vienlaikus izšķirt sīkas detaļas. Lieto arī dažādus elektroniskus starojuma uztvērējus. Televīzijas iekārtas un elektronoptiskie pārveidotāji daudzkārt pastiprina vāju debess objektu attēlus un aizvada tos uz ekrānu. Visizplatītākās ir *lādiņa saites matricas*. Tās ir pusvadītāju ierīces ar ārkārtīgi lielu jutību. Matricas iegūto attēlu glabā un apstrādā ar datoru. Ja nepieciešams iegūt nevis debess objekta attēlu, bet gan izmērit tā spožumu, tad lieto *fotoelektrisko fotometru*. Tā galvenā sastāvdaļa ir fotoelektronu daudzkāršotājs, kas spēj uztvert ļoti vāju gaismas plūsmu.

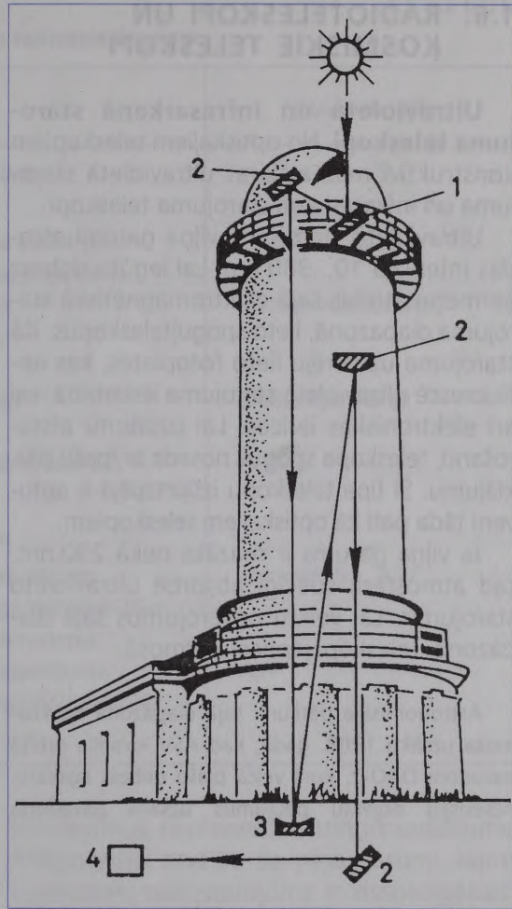
No debess ķermeņa, piemēram, zvaigznes, vienlaikus plūst dažādu viļņa garumu gaisma. Lai izpētītu, kā tās intensitāte ir atkarīga no viļņa garuma, gaisma jāsadala spektrā. To izdara ar *spektrogrāfu*. Izšķir prizmas un difrakcijas spektrogrāfus. Pirmajā gaismu spektrā sadala prizma, otrajā — difrakcijas režģis. Izpētot debess ķermeņa spektru, var noteikt tā ķīmisko sastāvu.

Saules teleskopi. Saules novērošanai izmanto teleskopos ar lielu fokusa attālumu. To garums sasniedz vairākus desmitus metru, tādēļ Saules teleskopu ievieto nekustīgā, vertikālā vai slīpā tornī vai arī garā, horizontālā šahtā (1.26. att.). Saules gaismu teleskopa iekšienē novirza ar pagriežamu spoguļi — **celostatu**. Tā iegūst liela izmēra Saules attēlu, kuru var ērti fotografēt vai citādi

pētīt. Torņa teleskopu ir grūtāk uzbūvēt, toties tas ir tādā augstumā, ka novērojumiem netraucē pats nemierīgākais gaisa slānis, kas atrodas pie zemes virsmas. Horizontālo Saules teleskopu ir vienkāršāk izgatavot, taču to var uzstādīt tikai vietās ar labu astroklimatu.

Astronomiskās observatorijas. Astronomiskos novērojumus koncentrē vienuviet — astronomiskajās observatorijās, kurās parasti cits citam līdzās atrodas optiskie instrumenti, radioteleskopi un citas ierīces. Astronomiskā observatorija ir plašs zinātnisks komplekss, kurā bez teleskopiem ietilpst arī novērojumu apstrādes un zinātniskās laboratorijas, aparatūras konstruēšanas un remontdarbnīcas. Mūsdienās astronomiskās observatorijas darbojas arī orbitā ap Zemi. Zemes mākslīgos pavadoņus un citu kosmisko lidaparātu blokus, kuru galvenais uzdevums ir astronomiskie novērojumi, sauc par **orbitālajām observatorijām**.

Pasaules lielākās astronomiskās observatorijas ir Eiropas Dienvidu observatorija Lasilja kalnā Čīlē; Maunakea observatorija Havaju salās, kur strādā amerikāņu, angļu, franču un kanādiešu astronomi; La Palmas observatorija Kanāriju salās, kur uzstādīti Anglijas, Itālijas un Skandināvijas valstu teleskopi; Speciālā astrofizikas observatorija Zeļenčukā, Krievijā; Astronomijas observatorija Saidingspringā, Austrālijā; Palomara kalna observatorija ASV; Nacionālā radioastronomijas observatorija ASV, kuras instrumenti izvietoti dažādos štatos u. c.



1.26. att. Saules teleskopa uzbūves shēma: 1 — celostats, 2 — palīgspoguļi, 3 — galvenais spogulis, 4 — starojuma uztvērējs.

Jautājumi.

1. Vai ultravioleto un infrasarkano starojumu var redzēt? Kā to var sajuxt?
2. Kādi starojumi nerasniedz Zemes virsu?
3. Kas ierobežo teleskopa izšķirtspēju?
4. Kāpēc rodas teleskopa spoguļa deformācijas? Kā tās novērst?
5. Ar ko atšķiras ekvatoriālais montējums no azimutālā montējuma?
6. Kādus starojuma uztvērējus optiskajos teleskopos lieto attēla iegūšanai?
7. Kāpēc Saules novērošanai izmanto garus teleskopus?

1.6. RADIOTELESKOPI UN KOSMISKIE TELESKOPI

Ultravioletā un infrasarkanā starojuma teleskopi. No optiskajiem teleskopiem konstruktīvi maz atšķiras ultravioletā starojuma un infrasarkanā starojuma teleskopi.

Ultravioletā starojuma viļņa garumi atrodas intervālā 10...380 nm. Lai iegūtu debess ķermeņu attēlus šajā elektromagnētiskā starojuma diapazonā, lieto spoguļteleskopus. Kā starojuma uztvērēju lieto fotoplates, kas ne fluorescē ultravioletā starojuma iedarbībā, vai arī elektroniskas ierīces. Lai uzlabotu atstarošanu, teleskopa spoguļi nosedz ar īpašu pārklājumu. Šī tipa teleskopu izšķirtspēja ir aptuveni tāda pati kā optiskajiem teleskopiem.

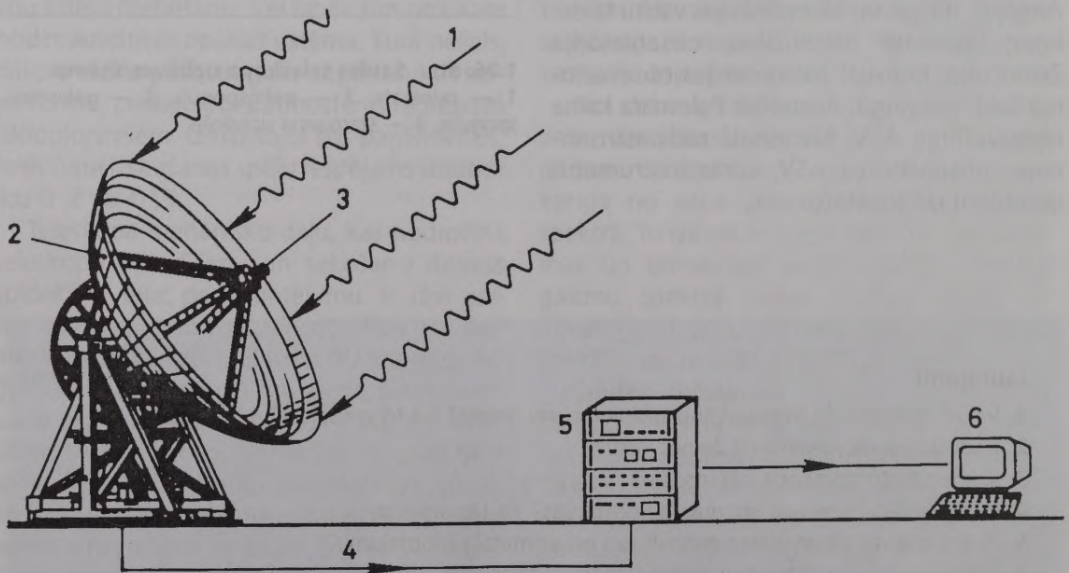
Ja viļņa garums ir mazāks nekā 290 nm, tad atmosfēra spēcīgi absorbē ultravioleto starojumu. Lai veiktu novērojumus šajā diapazonā, teleskopi jāpaceļ kosmosā.

Astronomiskie pētījumi šajā diapazonā no kosmosa uzsākti 1968. gadā, kad ASV ievadīja orbitā pavadoni OAO-2, kurš veica plašu debess apskatu. Atsevišķu objektu pētījumus uzsāka pavadonis

OAO-3 "Koperniks". Detalizētus debess ķermeņu spektrālos pētījumus šajā diapazonā veicis pavadonis IUE (ASV—Rietumeiropa). Pats spēcīgākais ultravioletā starojuma orbitālais teleskops ir Habla kosmiskais teleskops.

Infrasarkanā starojuma viļņa garumi atrodas intervālā no 760 nm līdz ~1 mm. Spoguļteleskopa alumīnija pārklājums infrasarkanā starojumu atstaro pat labāk kā redzamo gaismu. Attēla iegūšanai diapazonā līdz 1300 nm lieto infrasarkanās fotoplates vai elektroniskus uztvērējus, bet tālākajā diapazonā — elektronoptisko pārveidotāju, kas pārveido infrasarkanā attēlu redzamajā. Infrasarkanā starojuma intensitāti mēra ar bolometru, bet infrasarkanā starojumu 0,1...1 mm diapazonā var reģistrēt arī ar radioastronomiskajām metodēm. Šī tipa teleskopu izšķirtspēja ir aptuveni tāda pati kā optiskajiem teleskopiem.

Lai no debess plūstošo infrasarkanā starojumu nošķirtu no fona siltumstarojuma, ko rada gan paša teleskopa konstrukcijas, gan starojuma uztvērējs, teleskops jāatdzesē. Dažos gadījumos atdzesē pat līdz šķidrā hēlija



1.27. att. Radioteleskopa uzbūves shēma:

1 — radioviļņi, 2 — antena, 3 — uztvērējs, 4 — kabelis, 5 — reģistrējošā aparatūra, 6 — dators.

Ziņas par dažiem radioteleskopiem

| Antenas diametrs, m | Raksturojums | Atrašanās vieta |
|---------------------------------|--|-----------------------|
| <i>Atsevišķi radioteleskopi</i> | | |
| 305 | Aresibo radioteleskops; nekustīgs. | Puertoriko, ASV |
| 588 | RATAN-600; gredzens, kura laukums atbilst paraboloidam ar 130 m diametru. Daļēji grozāms. | Zelenčuka, Krievija |
| 110 | Grīnbenkas radioteleskops (projekts); pilnīgi grozāms. Nacionālā radioastronomijas observatorija. | Rietumvirdžīnija, ASV |
| 100 | M. Planka Radioastronomijas institūta radioteleskops; pilnīgi grozāms. | Efelsberga, Vācija |
| 76 | Džodrelbenkas Radioastronomijas observatorijas radioteleskops; pilnīgi grozāms. | Anglija |
| <i>Radiointerferometri</i> | | |
| 25×27 | VLA radioteleskops. Sastāv no 27 atsevišķiem radioteleskopiem. Katra teleskopa diametrs 25 m. Nacionālā radioastronomijas observatorija. | Jaunmeksika, ASV |
| 25×10 | VLBA radioteleskops. Sastāv no 10 atsevišķiem radioteleskopiem, kas izvietoti visā ASV teritorijā. Katra teleskopa diametrs 25 m. | ASV |

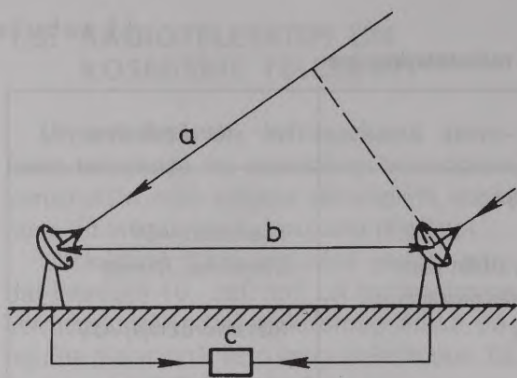
temperatūrai (4,2 K). Zemes apstākļos teleskopiem atdzesē tikai starojuma uztvērēju, bet kosmosā iespējams atdzesēt visu teleskopu. Atmosfēra atsevišķās joslās absorbē infrasarkanā starojumu, un tas nenokļūst līdz Zemes virsai, tādēļ šī tipa teleskopus novieto kalnos, lidmašīnās vai Zemes mākslīgajos pavadoņos.

Uz Zemes lielākais infrasarkanā starojuma teleskops ar 3,8 m diametra spoguļi atrodas Havaju salās 4200 m augstumā. 1983. gadā orbitā Joti sekmīgi darbojās pavadoņi IRAS (Nīderlande, ASV). Tajā uzstādītā teleskopa jutība bija daudzkārt lielāka nekā teleskopiem uz Zemes. Ar to tika veikta visas debess sfēras apskate infrasarkanajā diapazonā un atklāti vairāk nekā 200 tūkst. jaunu infrasarkanā starojuma avotu.

Radioteleskopi. Radioteleskopi uztver debess ķermeņu radiostarojumu ar viļņa garumu intervālā no 1 mm līdz ≈ 10 m. Šajā diapazonā notiek arī televīzijas un radio ultraīsviļņu pārraides. Lai tās neradītu

traucējumus, nepieciešams stingrs sadalījums. Astronomijai atvēlēti tie viļņa garumi, kuros kosmiskais radiostarojums ir visspēcīgākais. Tāpat kā redzamā gaisma, arī radioviļņi brīvi izkļūst cauri atmosfērai, pat mākoņi tiem nav šķērslis. Tā ir liela priekšrocība salīdzinājumā ar optiskajiem novērojumiem.

Radioteleskops sastāv no **antenas** un **uztvērēja** (1.27. att.). Antenai ir paraboliska forma, tāpēc radioteleskops izskatās līdzīgs milzīgam šķīvim. Antena izgatavota no metāla, jo metāls labi atstaro radioviļņus. Pētījumiem garākajos radioviļņos antenas šķīvis var nebūt izveidots vienlaidus. To izgatavo kā režģi, kurā atstarpes starp režģa elementiem nepārsniedz uztveramā viļņa garuma desmitdaļu. Rezultātā tas darbojas tikpat labi kā vienlaidus antena. Radioteleskopa antena, tāpat kā optiskā teleskopa objektīvs, savāc uztverto starojumu vienā punktā. Šajā punktā atrodas neliels uztvērējs — radiometrs, kas noskaņots noteikta garuma radioviļņa uztveršanai. Tālāk radiosignāls tiek aizvadīts uz



1.28. att. Radiointerferometra uzbūves shēma. Radiointerferometra izšķirtspēju nosaka attālums b starp teleskopiem. (a — staru gājienu starpība, c — reģistrējošā aparatūra.)

reģistrējošo aparatūru, kurā uztverto signālu elektroniski daudzkārt pastiprina, atdala trokšņus un izmēra signāla intensitāti. Iegūto informāciju saglabā, izmantojot datorus.

Radioteleskopus izgatavo lielākus nekā optiskos teleskopus, lai labāk uztvertu vāju kosmisko radiostarojumu. Taču ir vēl cits būtisks iemesls. Teleskopa izšķirtspēja ir atkarīga kā no teleskopa diametra, tā no viļņa garuma. Radioteleskopi darbojas daudz garākos viļņos nekā optiskie teleskopi, tādēļ radioteleskopiem ir daudzkārt mazāka izšķirtspēja. Radioteleskopam raksturīgā izšķirtspēja ir $\approx 1^\circ$. Šī iemesla dēļ ar parastu radioteleskopu nevar iegūt debess objektu radioattēlus, jo to leņķiskie izmēri lielākoties ir mazāki nekā teleskopa izšķirtspēja. Taču pastāv paņēmieni, kā radioteleskopa izšķirtspēju būtiski paaugstināt. To var izdarīt ar radiointerferometru.

Vienkāršākais radiointerferometrs sastāv no diviem radioteleskopiem, kas atrodas pietiekami lielā attālumā viens no otra (1.28. att.). Tie uztver debess ķermeņu radiostarojumu, kas katru teleskopu sasniedz nedaudz atšķirīgā laikā. Rodas fāžu nobīde. Abus teleskopus savieno ar kabeli. Ja attālums starp teleskopiem ir pārāk liels, tad tos apgādā ar sinhronizētiem kvantu pulksteņiem. Vēlāk abus novērojumus salīdzina un signālus summē. Izveidojas interferences aina, pēc kuras nosaka radiostarojuma intensitātes sadalījumu.

Radiointerferometra izšķirtspēju nosaka nevis teleskopa diametrs, bet gan attālums starp radioteleskopiem. Radiointerferometru veidojošos teleskopus var izvietot dažādos kontinentos vai, piemēram, vienu teleskopu — orbitā ap Zemi. Tādā gadījumā radiointerferometra bāze var būt daudzus tūkstošus kilometru gara. Šādi iespējams iegūt visaugstāko izšķirtspēju astronomiskajos novērojumos. *Radiointerferometru izšķirtspēja sasniedz $0'',0001$, un tā ir tūkstoš reizes augstāka nekā optiskajiem teleskopiem.* Tiesa, šādu izšķirtspēju iespējams iegūt tikai vienas koordinātas virzienā. Lai iegūtu pilnu debess ķermeņa radioattēlu, novērojumus atkārtoti, mainot attālumu starp radioteleskopiem un to orientāciju. Rezultātus uzkrāj un pēc tam apstrādā. Šādiem novērojumiem izmanto radioteleskopu sistēmas, kas sastāv no vairākiem pārvietojamiem teleskopiem, kas atrodas dažu kilometru attālumā cits no cita.

Dažādas intensitātes radiostarojumu attēlo ar izolīnijām, uzskatāmības labad lieto arī krāsas, tā iegūstot debess ķermeņa radioattēlu nosacītās krāsās. Līdzīgi rīkojas, lai parādītu objekta izskatu infrasarkanajā, ultravioletajā un citā spektra diapazonā, kuru cilvēka acs neuztver.

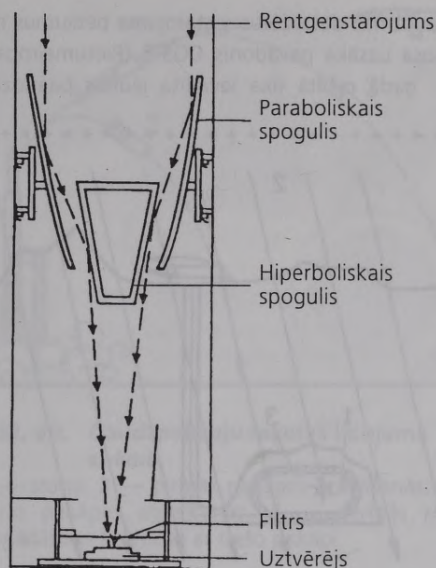
Kosmiskie teleskopi. Lai izvairītos no atmosfēras traucējumiem, kosmosā paceļ arī tos teleskopus, ar kuriem principā var veikt novērojumus no Zemes. Piemēram, kopš 1990. gada orbitā ap Zemi sekmīgi strādā 2,4 m Habla kosmiskais teleskops (ASV), kas paredzēts novērojumiem optiskajā un ultravioletajā diapazonā.

Lai veiktu novērojumus rentgenstarojuma un gamma starojuma diapazonā, teleskopi obligāti jāpaceļ kosmosā. Rentgenstarojuma un γ starojuma teleskopi būtiski atšķiras no iepriekš aplūkotajiem teleskopiem, jo īsviļņu starojums iespiežas praktiski visos materiālos un ir grūti panākt tā atstarošanu un fokusēšanu. Rentgenstarojuma viļņa garumi atrodas intervālā $0,01 \dots 10$ nm. Elektromagnētisko starojumu, kura viļņa garums ir mazāks nekā $0,01$ nm, sauc par γ starojumu.

Rentgenstarojuma avota attēlu iegūst ar speciālas konstrukcijas teleskopu, kurā stari ļoti slīpi krīt uz gludu virsmu un atstarojas (1.29. att.). Vēl isāka viļņa garuma rentgenstarojumu, kas nemaz neatstarojas, uztver ar kolimatorteleskopu, kurš ierobežo aplūkojamo debess apgabalu un ļauj noteikt aptuvenu virzienu uz rentgenstarojuma avotu. Lieto arī t. s. kodētās maskas teleskopus. Rentgenstarojumu reģistrē ar fotoplatēm vai elektroniskiem skaitītājiem. *Rentgenteleskopu raksturīgā izšķirtspēja* ir $1'$. Atstarojošiem teleskopiem — pat loka minūtes daļas.

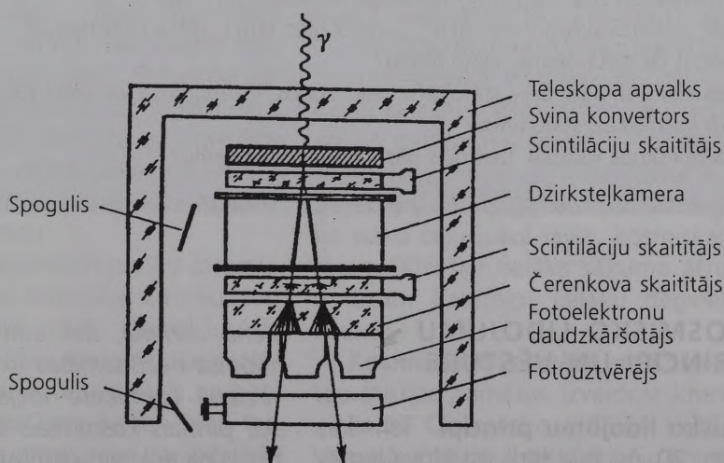
Rentgenstarojuma pētījumus kosmosā uzsāka pavadoņi SAS-1 "Uhuru" (ASV) 1970. gadā. Ar to tika veikta pirmā debess apskate šajā diapazonā. Orbitālā observatorija HEAO-2 "Einšteins" (ASV), kurā bija uzstādīts jutīgs rentgenteleskops ar augstu izšķirtspēju, detalizēti izpētīja aptuveni 10 tūkst. rentgenstarojuma avotu. Novērojumi šajā diapazonā veikti arī orbitālajā observatorijā "Rosat" (Vācija) un orbitālajā observatorijā "Granat" (PSRS).

γ starojuma teleskopu nevar uzskatīt par teleskopu tradicionālā izpratnē. Būtībā tas ir dažādu skaitītāju komplekts (1.30. att.). γ starojuma reģistrēšanai visbiežāk izmanto dzirkstejkameras un scintilāciju skaitītājus. γ starojuma teleskopa izšķirtspēja ir ļoti



1.29. att. Slidošās atstarošanās rentgenteleskopa uzbūves shēma.

zema — aptuveni 1° . Šī teleskopa darbību traucē kosmiskais starojums — lādētas daļiņas (galvenokārt protoni un hēlija atomu kodoli), kuru kosmosā ir ievērojami vairāk nekā γ kvantu. Ar γ starojuma teleskopiem pēta γ starojuma avotus un reģistrē šī starojuma uzliesmojumus.

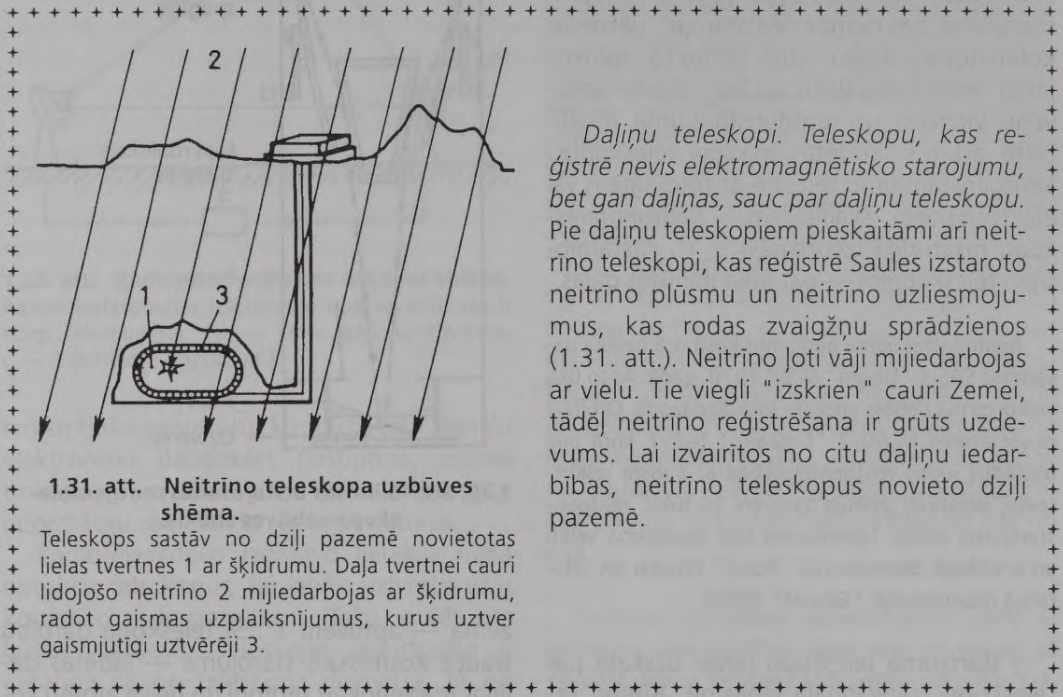


1.30. att. Gamma teleskopa uzbūves shēma.

Teleskopa apvalks "atsijā" lādētās daļiņas, bet skaitītāji nosaka γ kvanta enerģiju un aptuvenu virzienu uz starojuma avotu.

Daudzmaz detalizētus γ starojuma pētījumus no kosmosa uzsāka pavadoņi COS-B (Rietumeiropa). 1991. gadā orbitā tika ievadīta jaunas paudzes

orbitālā γ observatorija GRO (ASV). Tajā bija uzstādīta daudzveidīga un jutīga aparatūra. Tādēļ bija iespējams veikt visaptverošu debess apskati šajā diapazonā.



1.31. att. Neitrīno teleskopa uzbūves shēma.

Teleskops sastāv no dziļi pazemē novietotas lielas tvertnes 1 ar šķidrumu. Daļa tvertnei cauri lidojošo neitrīno 2 mijiedarbojas ar šķidrumu, radot gaismas uzplaisnījumus, kurus uztver gaismjutīgi uztvērēji 3.

Dalīņu teleskopi. Teleskopu, kas reģistrē nevis elektromagnētisko starojumu, bet gan dalīņas, sauc par dalīņu teleskopu. Pie dalīņu teleskopiem pieskaitāmi arī neitrīno teleskopi, kas reģistrē Saules izstaroto neitrīno plūsmu un neitrīno uzliesmojumus, kas rodas zvaigžņu sprādzienos (1.31. att.). Neitrīno ļoti vāji mijiedarbojas ar vielu. Tie viegli "izskrien" cauri Zemei, tādēļ neitrīno reģistrēšana ir grūts uzdevums. Lai izvairītos no citu dalīņu iedarbības, neitrīno teleskopus novieto dziļi pazemē.

Jautājumi.

1. Ar ko infrasarkanais starojums atšķiras no siltumstarojuma?
2. Vai radioteleskopa antenu var izgatavot no stieņu pinuma?
3. Kāpēc radioteleskops ir tik "akls", proti, kāpēc tam ir zema izšķirtspēja?
4. Kā iegūt radiostarojuma avota attēlu?
5. Kuros elektromagnētiskā starojuma diapazonos novērojumus var veikt tikai no kosmosa?
6. Kas ir kosmiskais starojums?
7. Kāds teleskops vislabāk darbojas pazemē, nevis virszemē?

1.7. KOSMISKO LIDOJUMU PRINCIPI UN VĒSTURE

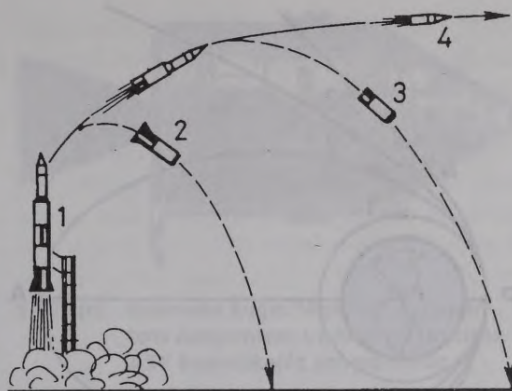
Kosmisko lidojumu principi. Tehnikas sasniegumi 20. gs. bija tādi, ka kļuva iespējams realizēt lidojumus kosmosā. Šie lidojumi pamatojas uz reaktīvās kustības principu. *Gāze vai cita darbviela tiek izsviesta no dzinēja*

vienā virzienā, bet pati raķete saskaņā ar impulsa nezūdamības likumu kustas pretējā virzienā. Lai raķete nokļūtu orbitā, tai jāpiesāks pirmās kosmiskais ātrums. Tad tā kustēsies pa riņķveida orbitu un "nekritīs" atpakaļ uz Zemes. Pirmo kosmisko ātrumu v_1 uz debess ķermeņa ar masu M un rādiusu R aprēķina pēc formulas $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, kur G ir

gravitācijas konstante. **Pirmā kosmiskā ātruma vērtība uz Zemes ir 7,91 km/s.** Uz citām planētām šī vērtība ir citāda. Pirmais kosmiskais ātrums attiecas uz raķeti, kas lido tuvu Zemes virsai. Tā kā tas nav iespējams atmosfēras dēļ, tad raķetes palaiž noteiktā augstumā, kur to ātrums ir nedaudz mazāks nekā pirmais kosmiskais ātrums. Aprēķini rāda, ka vajadzīgo ātrumu sasniegt ar vienkāpju raķeti ir ļoti sarežģīti. Liela ātruma iegūšanai nepieciešams liels degvielas daudzums. Savukārt šīs degvielas pacelšanai kosmosā vajadzīga papildu degviela utt. Tādēļ kosmiskajiem lidojumiem izmanto daudzpakāpju raķetes. Raķete startē no Zemes un sasniedz noteiktu ātrumu, izmantojot pirmās pakāpes dzinēju un degvielas krājumus. Tad pirmā pakāpe tiek nomesta. Pēc tam iedarbina otrās pakāpes dzinēju un tērē otrās pakāpes degvielas krājumus, utt., līdz raķete nokļūst kosmosā (1.32. att.). Atkarībā no veicamā uzdevuma raķetei var būt divas, trīs vai četras pakāpes. Tikai 20. gs. 90. gados uzsākti eksperimenti vienkāpju raķetes radīšanā.

Par iespēju pārvarēt Zemes pievilksanas spēku ir "dārgi jāmaksā". Arī daudzpakāpju raķetē visvairāk vietas aizņem degviela. Derīgo krāvu veido tikai 5% raķetes starta masas. Piemēram, lai nogādātu zemā orbītā kosmisko aparātu, kura masa ir 1 t, jāpatērē aptuveni 20 t degvielas. Kad kosmiskais aparāts ir nokļuvis orbītā, tas kustas pēc inerces ar izslēgtiem dzinējiem. Šī kustība var turpināties praktiski mūžīgi, ja neņem vērā bremsēšanos Zemes atmosfēras augšējos slāņos un citus neievērojamus efektus. Dzinēji vajadzīgi vienīgi tad, ja kosmiskais aparāts jāpārvieta uz citu orbītu.

Ja kosmiskajam aparātam piešķir ātrumu, kas lielāks par pirmo kosmisko ātrumu, tad tas kustas pa eliptisku orbītu. Zemei tuvāko orbītas punktu sauc par **perigeju**, bet tālāko — par **apogeju**. Ja kosmiskais aparāts atrodas orbītā nevis ap Zemi, bet ap Sauli, tad atbilstošos orbītas punktus sauc par **perihēliju** un **afēliju**. Kosmisko aparātu kustība notiek pēc tādiem pašiem debess mehānikas likumiem kā citu debess ķermeņu (Mēness,



1.32. att. Daudzpakāpju raķetes lidojuma shēma:

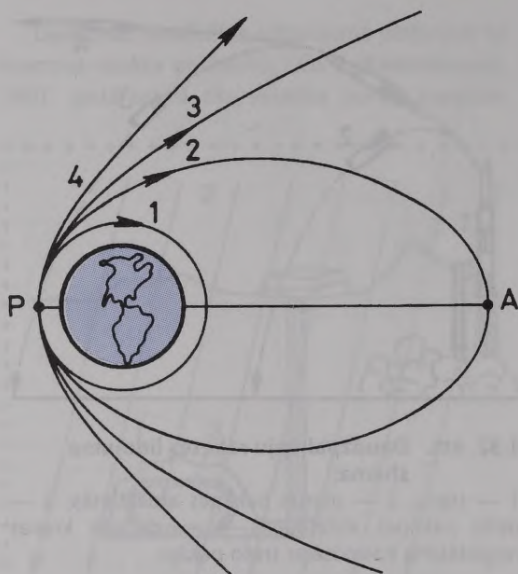
1 — starts, 2 — pirmās pakāpes atdalīšanās, 3 — otrās pakāpes atdalīšanās, 4 — derīgās kravas nogādāšana kosmosā ar trešo pakāpi.

planētu u. c.) kustība. Šie likumi aplūkoti 3. nodaļā.

Ja kosmiskā aparāta ātrums sasniedz vai pārsniedz noteiktu vērtību, ko sauc par otro kosmisko ātrumu, tad kosmiskais aparāts aizlido projām no atbilstošā debess ķermeņa un vairs pie tā neatgriežas. **Otrais kosmiskais ātrums uz Zemes ir 11,19 km/s.** Pirmo un otro kosmisko ātrumu v_1 un v_2 saista vienkārša sakarība: $v_2 = \sqrt{2}v_1$. Otro kosmisko ātrumu sasniegušais aparāts neriņķo vairs ap Zemi, bet ap Sauli un var veikt lidojumu no kādas planētas uz citu planētu (1.33. att.).

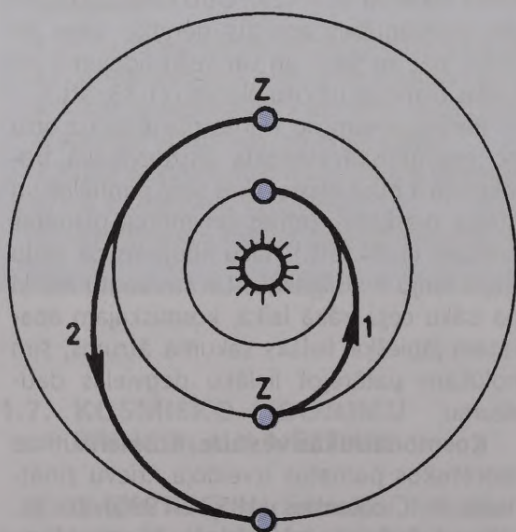
Pārlidojumam no vienas planētas uz otru no enerģētiskā viedokļa visizdevīgākā trajektorija ir puse elipses, kas savā perihēlijā un afēlijā pieskaras Zemes un mērķa planētas orbītām (1.34. att.). Taču lidojums pa šādu trajektoriju ir visilgākais. Lai sasniegtu mērķi pa īsāku ceļu īsākā laikā, kosmiskajam aparātam jāpiešķir lielāks sākuma ātrums, šim nolūkam patērējot lielāku degvielas daudzumu.

Kosmonautikas vēsture. Kosmonautikas teorētiskos pamatus izveidoja krievu zinātnieks K. Ciolkovskis (1857—1935) 20. gs. sākumā. Praktiska raķešdzinēju konstruēšana un izmēģināšana sākās 20. gs. 30. gados. Pie šiem pētījumiem paralēli strādāja ASV, Vācijas un Krievijas zinātnieku grupas. 1926. gadā



1.33. att. Kosmisko aparātu orbītu forma:

1 — riņķveida orbīta, ja ātrums ir vienāds ar pirmo kosmisko ātrumu; 2 — eliptiska orbīta, ja ātrums ir lielāks par pirmo kosmisko ātrumu, bet mazāks par otro kosmisko ātrumu; 3 — paraboliska orbīta, ja ātrums ir vienāds ar otro kosmisko ātrumu; 4 — hiperboliska orbīta, ja ātrums ir lielāks par otro kosmisko ātrumu. (P — perigejs, A — apogejs.)



1.34. att. Starplanētu lidojuma trajektorijas:

1 — no Zemes (Z) uz iekšējo planētu, 2 — no Zemes uz ārējo planētu.

ASV sekmīgi tika izmēģināta pirmā raķete ar šķidrās degvielas dzinēju. Krievijas Reaktīvās kustības pētišanas grupu sākotnēji vadīja rīdzinieks F. Canders (1887—1933). Vēlāk grupas vadību pārņēma krievu zinātnieks S. Koroļovs (1907—1966), kurš pēc otrā pasaules kara kļuva par PSRS galveno raķešu konstruktoru. ASV ar raķešu konstruēšanu šajā laikposmā nodarbojās vācu zinātnieks V. fon Brauns (1912—1977). Sākotnēji kosmisko lidojumu vajadzībām izmantoja pārbūvētas starpkontinentālās ballistikās raķetes.

1957. gada 4. oktobrī PSRS ievadīja orbītā pirmo Zemes mākslīgo pavadoni (ZMP).

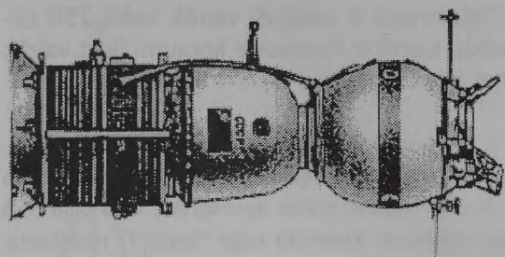
Pirmais ZMP svēra 84 kg, tā lodveida daļas diametrs bija 58 cm. To ievadīja eliptiskā orbītā, kurā tas riņķoja 92 dienas un raidīja uz Zemi radiosignālus.

Pēc mēneša tam sekoja otrais pavadonis, kurā atradās dzīva būtne — suns Laika. Diemžēl kosmiskā aparāta atgriešanās uz Zemes nebija paredzēta, tāpēc pēc lidojuma programmas izpildes suns tika iemidzināts. ASV savu pirmo ZMP "Explorer-1" palaida 1958. gadā. Pirmais kosmiskais aparāts, kas sasniedza otro kosmisko ātrumu, bija PSRS automātiskā starplanētu stacija "Luna-1", kas 1959. gadā tika sūtīta Mēness virzienā.

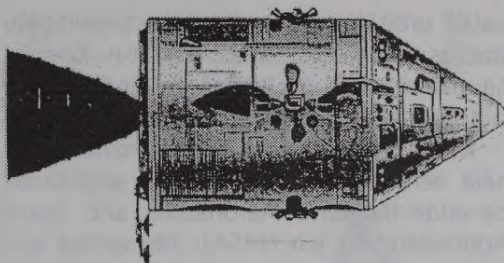
1961. gada 12. aprīlī notika pirmais cilvēka lidojums kosmosā, ko veica PSRS kosmonauts J. Gagarins.

Kosmosa kuģi "Vostok" pacēla orbītā trīspakāpju nesējraķete ar tādu pašu nosaukumu. Lidojums ilga 1 stundu 48 minūtes. Šajā laikā kosmiskais kuģis veica vienu apriņķojumu ap Zemi. Pēc lidojuma beigšanas kosmiskā kuģa nolaižamais aparāts lēni nolaidās uz Zemes. Šis lidojums pierādīja, ka cilvēks var uzturēties un sekmīgi strādāt kosmosā. Pēc mēneša suborbitālo lidojumu (ārpus atmosfēras, bet neapriņķojot Zemi) veica ASV astronauts A. Šepards.

Pirmais pilotējamais kosmiskais lidojums ASV notika 1962. gadā, un to veica astronauts Dž. Glenns kosmiskajā kuģī "Mercury". Kosmiskās telpas apgūšana strauji vērsās plašumā. Pirmie lidojumi vairāk bija paredzēti



1.35. att. Kosmosa kuģi "Sojuz" ilgstoši izmantoja kā galveno transportlīdzekli PSRS kosmiskajā programmā.



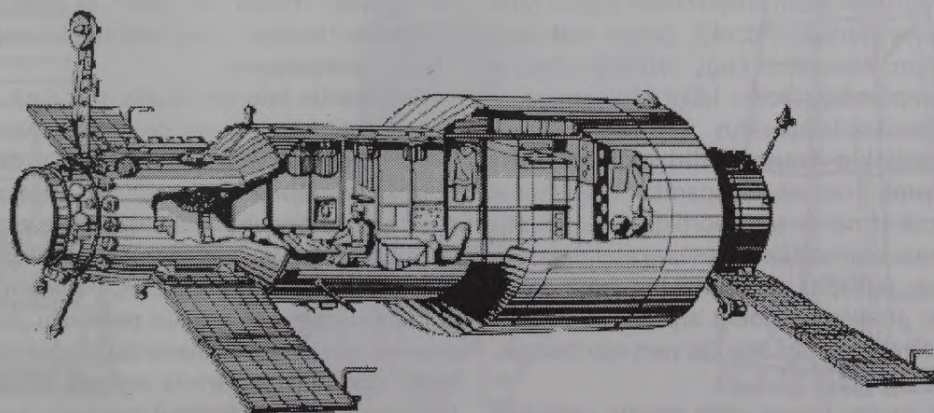
1.36. att. Kosmosa kuģis "Apollo" — izmantots lidojumiem uz Mēnesi un citās ASV kosmiskajās programmās.

kosmiskās tehnikas izmēģināšanai un prioritātes pierādīšanai, bet vēlāk tie ieguva praktisku un zinātnisku ievirzi. Tika palaisti pirmie meteoroloģiskie un astronomiskie, navigācijas un sakaru, arī militārie ZMP. Sākās starpplanētu telpas pētījumi. Uz Mēnesi, Venēru un Marsu tika sūtītas pirmās automātiskās starpplanētu stacijas.

1965. gadā PSRS kosmonauts A. Ļeonovs bija pirmais, kurš izgāja atklātā kosmosā, izmantojot šim nolūkam īpašu skafandru. Arvien tika uzlabotas nesējraķetes un kosmisko kuģu konstrukcijas. Padomju Savienībā kosmosa kuģi "Vostok" nomainīja "Voshod", pēc tam "Sojuz" un tā modifikācijas (1.35. att.). Savukārt ASV nomainīja "Mercury" uz "Gemini" un vēlāk uz "Apollo" tipa kosmiskajiem kuģiem (1.36. att.). *Vēsturisks moments kosmonautikas attīstībā bija pirmais*

cilvēka lidojums uz Mēnesi 1969. gadā, ko veica amerikāņu astronauti. Divus gadus vēlāk PSRS palaida pirmo pilotējamo orbitālo staciju "Saļut" (1.37. att.). Tai sekoja vairākas citas šī tipa stacijas, tai skaitā paredzētas arī militārām vajadzībām. Ilgstošs vairāku apkalpju darbs orbitālajās stacijās kļuva par galveno elementu PSRS kosmiskajā programmā. Vēl kosmosā ir lidojušas orbitālās stacijas "Mir" (PSRS) un "Skylab" (ASV).

ASV un PSRS kļuva par kosmosa lielvalstīm. Pakāpeniski kosmosa apgūšanā iesaistījās arī citas valstis. Arī Francija palaida pirmo pavadoni 1965. gadā. Desmit gadus vēlāk Eiropas valstis apvienojās kosmiskās telpas izpētei un izveidoja Eiropas kosmonautikas pārvaldi (European Space Agency jeb ESA). Tajā ietilpst vienpadsmit valstis. ESA īsteno ļoti daudzveidīgus kosmiskos projektus. Tā



1.37. att. Orbitālā stacija "Saļut".

palaiž orbitālās observatorijas, starpplanētu stacijas un citus kosmiskos aparātus. Kosmonautika attīstījās arī Japānā un Ķīnā, kas palaidušas savus ZMP, kā arī Indijā un citur.

Kosmiskos pētījumus ASV koordinē Nacionālā aeronautikas un kosmosa apgūšanas pārvalde (National Aeronautics and Space Administration jeb NASA). Tās vadībā vairākus gadus ilga daudzkārt izmantojamā kosmiskā transportlīdzekļa — kosmoplāna "Space Shuttle" izstrāde. 1981. gadā notika pirmais kosmoplāna lidojums. Kopš tā laika "Space Shuttle" programma ieņem svarīgu vietu ASV kosmonautikā. Kosmoplāna veikto lidojumu skaits jau tuvojas simtam. Pēc konstrukcijas līdzīgs kosmoplāns "Buran" 1988. gadā tika izmēģināts arī PSRS.

Kosmosā ir pabijuši vairāk nekā 250 cilvēku. Garākie kosmiskie lidojumi ilgst vairāk nekā gadu.

Kosmonautikas vēsturē ir arī traģiski notikumi. Vēl uz Zemes izmēģinājuma laikā kosmiskā kuģa "Apollo" kabīnē izcēlās ugunsgrēks, kurā gāja bojā trīs astronauti. Kosmiskā kuģa "Sojuz-1" nolaižamajam aparātam sapinās izpletis, kā rezultātā kosmiskā kuģa pilots gāja bojā. Trīs kosmonauti gāja bojā, kosmiskā kuģa "Sojuz-11" nolaižamajam aparātam priekšlaikus dehermetizējoties pārāk lielā augstumā. Kosmonautikas traģiskākā lappuse ir kosmoplāna "Challenger" katastrofa 1986. gadā, kurā gāja bojā visi septiņi apkalpes locekļi. Katastrofas cēlonis bija bojājums starta paātrinātāja korpusā, kas izraisīja galvenās degvielas tvertnes eksploziju.

Jautājumi.

1. Vai pirmā kosmiskā ātruma vērtība uz Mēness ir tāda pati kā uz Zemes?
2. Kad kosmiskais aparāts nokļuvis kosmosā, tas kustas ar izslēgtiem dzinējiem. Kā tas iespējams?
3. Atrast kļūdu izteikumā "kosmiskais aparāts perigejā tuvojas Saulei līdz 50 milj. km attālumam".
4. Ap ko riņķo kosmiskais aparāts, kas sasniedzis otro kosmisko ātrumu?
6. Kāda ir F. Canderla loma kosmonautikas attīstībā?
6. Cik gadu pagājis kopš pirmā ZMP palaišanas un kopš pirmā cilvēka lidojuma kosmosā?
7. Kuras valstis nodarbojas ar kosmisko lidaparātu palaišanu?

1.8. KOSMISKIE LIDAPARĀTI

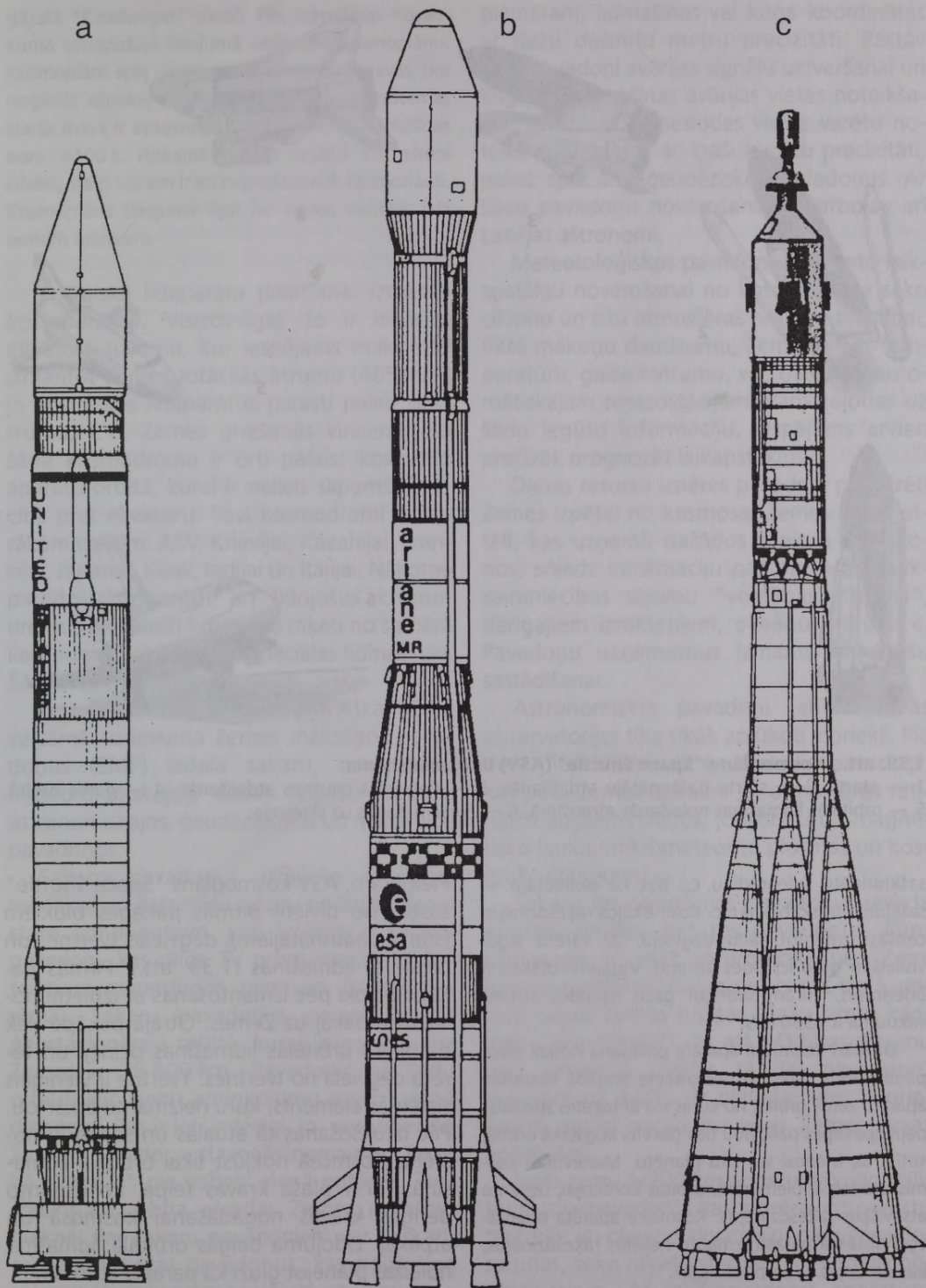
Pie kosmiskajiem lidaparātiem pieskaitāmi kosmiskie transportlīdzekļi, Zemes mākslīgie pavadoņi, kosmiskie kuģi, orbitālās stacijas un starpplanētu stacijas. Izšķir pilotējamus un automātiskos lidaparātus.

Kosmiskie transportlīdzekļi un kosmodromi. Kosmiskā lidaparāta nogādāšanai kosmosā izmanto transportlīdzekli — nesējraķeti vai kosmoplānu. Nesējraķetei parasti ir vairākas pakāpes, kas lidojuma laikā pakāpeniski atdalās un nokrīt atpakaļ uz Zemes. Otrreizējai izmantošanai tās vairs nav derīgas.

ESA ietvaros Eiropas valstis izmanto nesējraķeti "Ariane". ASV kosmiskajās programmās ir izmantoti dažādas nesējraķetes (1.38. att.), galvenokārt

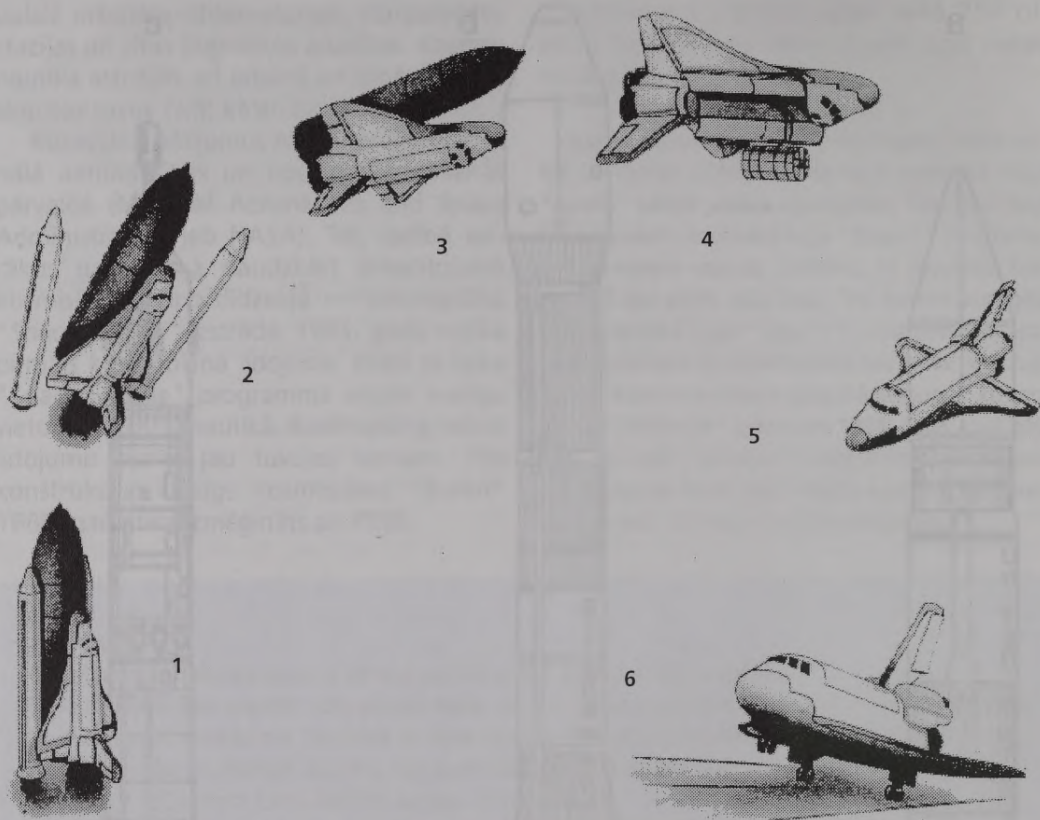
"Atlas", "Titan" un "Saturn" (ar to tika sūtīti kosmiskie kuģi uz Mēnesi). Krievijā galvenās nesējraķetes ir "Sojuz", "Proton" un "Zenit", kā arī lielaudas nesējraķete "Energija", kuru izmantoja kosmoplāna "Buran" izmēģinājumos.

Nesējraķetēs lieto gan šķidrās, gan cietās degvielas raķešdzinējus. Cietās degvielas dzinējiem ir vienkārša konstrukcija un liela jauda, taču to darbība ir grūti kontrolējama. Tos parasti lieto nesējraķešu starta paātrinātājos un papildpakāpēs. Par cieto degvielu izmanto dažādu vielu maisījumu, kas spēj sadegt bez gaisa skābekļa klātienes, piemēram, pulverveida alumīniju un amonija perhlorātu. Šķidrās degvielas raķešdzinējus izmanto dažādās raķešu pakāpēs. Dzinēja kamerā ievada degvielas un oksidētāja (vielas, kas uztur degšanu) maisījumu. Sadegot rodas gāzes, kas ar lielu ātrumu izlido pa dzinēja sprauslu. Par šķidro degvielu izmanto petroleju,



1.38. att. Kosmiskās nesējaķetes:

a — "Atlas/Centaur" (ASV), b — "Ariane" (Eiropas kosmonautikas pārvalde), c — "Sojuz" (Krievija).



1.39. att. Kosmoplāna "Space Shuttle" (ASV) lidojuma shēma:

1 — starts, 2 — starta paātrinātāju atdališanās, 3 — degvielas tvertnes atdališanās, 4 — darbs orbitā, 5 — orbitālās lidmašīnas nolaišanās atmosfērā, 6 — piezemēšanās uz skrejceļa.

sašķidrinātu ūdeņradi u. c., bet kā oksidētāju — sašķidrinātu skābekli u. c. Kosmiskajos raķešdzinējos cenšas izmantot tādu degvielu, lai varētu iegūt vislielāko gāzu izplūdes ātrumu. Vispiemērotākais ir ūdeņradis, kuram sadegot gāzu izplūdes ātrums vakuumā ir 4380 m/s.

Dažkārt kosmiskā aparāta palaišana notiek divos paņēmienos. Sākumā nesēja raķete nogādā kosmisko aparātu zemā orbitā, no kuras tas ar raķetes speciālas papildpakāpes palīdzību tiek pacelts augstākā orbitā, sūtīts uz Mēnesi vai citu planētu. Manevriem kosmiskajā telpā, piemēram, orbītas korekcijai, izmanto atsevišķus raķešdzinējus. Kosmiskā aparāta orientācijas sistēmā parasti izmanto nelielus raķešdzinējus, kas darbojas ar saspiestu gāzi.

Savādāk ir iekārtots kosmoplāns — daudzkārt lietojamais kosmiskais transportlīdzeklis.

Piemēram, ASV kosmoplāns "Space Shuttle" sastāv no diviem pirmās pakāpes blokiem (starta paātrinātājiem), degvielas tvertnes un orbitālās lidmašīnas (1.39. att.). Pirmās pakāpes bloki pēc izmantošanas ar izpletņi nolaižas atpakaļ uz Zemes. Otrajā pakāpē tiek darbināti orbitālās lidmašīnas dzinēji un tērēta degviela no tvertnes. Tvertne ir vienīgais sistēmas elements, kuru neizmanto atkārtoti. Pēc iztukšošanas tā atdalās un sadeg atmosfērā. Kosmosā nokļūst tikai orbitālā lidmašīna. Tai ir plaša kravas telpa, ko izmanto derīgās kravas nogādāšanai kosmosā un atpakaļ. Lidojuma beigās orbitālā lidmašīna nolaižas planējot gluži kā parasta lidmašīna.

ASV izmanto četras orbitālās lidmašīnas "Atlantis", "Columbia", "Discovery" un "Endeavour" (bojā

gājušā "Challenger" vietā). Pēc lidmašīnas nosaukuma atbilstošajā lidojumā dēvē visu kosmoplānu. Kosmoplāns spēj pacelt zemā orbitā 30 t kravas, bet nogādāt atpakaļ uz Zemi — 15 t. Visas sistēmas starta masa ir aptuveni 2000 t, orbitālās lidmašīnas svars ≈100 t. Apkalpē ietilpst septiņi vai astoņi cilvēki, starp kuriem ir arī neprofesionāli kosmonauti. Kosmoplāna lidojums ilgst no vienas nedēļas līdz vienam mēnesim.

Kosmiskā lidaparāta palaišanai izmanto kosmodromu. Visizdevīgāk, to ir iekārtot ekvatora tuvumā, kur iespējams maksimāli izmantot Zemes rotācijas ātrumu (465 m/s), jo kosmiskos lidaparātus parasti palaiž austrumu, t. i., Zemes griešanās virzienā. No šāda kosmodroma ir ērti palaist kosmisko aparātu orbitā, kurai ir neliels slīpums attiecībā pret ekvatoru. Savi kosmodromi ir vairākām valstīm: ASV, Krievijai, Kazahijai, Francijai, Japānai, Ķīnai, Indijai un Itālijai. Nākotnē paredzēts izmantot arī lidojošus kosmodromus — palaist kosmisko raķeti no samērā lielā augstumā lidojošas speciālas lidmašīnas. Šādi eksperimenti jau ir veikti.

Zemes mākslīgie pavadoņi. Atkarībā no veicamā uzdevuma Zemes mākslīgos pavadoņus (ZMP) iedala sakaru, navigācijas, meteoroloģiskajos, dabas resursu izpētes, astronomiskajos, ģeodēziskajos un militārajos pavadoņos.

Sakaru pavadoņus izmanto telefona, telefaksa un datortīklu sakaru nodrošināšanai starp kontinentiem. Ļoti izplatīti ir sakaru pavadoņi, kas raida TV programmas uz noteiktiem zemeslodes rajoniem (satelīttelevīzija). Sakaru pavadoņus parasti ievada ģeostacionārajā orbitā, kuras augstums virs Zemes ir 35 800 km. Pavadonis pa šādu orbitu veic vienu apriņķojumu precīzi vienā diennaktī. Tas ir ļoti izdevīgi, jo, raugoties no Zemes, pavadoņa stāvoklis nemainās. Tas it kā "karājas" pie debess vienā punktā. Ģeostacionārā orbīta atrodas Zemes ekvatora plaknē. Par sakaru pavadoņiem var uzskatīt arī retranslācijas pavadoņus, kas nodrošina sakarus starp kosmosa kuģiem un Zemi.

Izmantojot navigācijas pavadoņus, iespējams noteikt kāda objekta atrašanās vietu,

piemēram, lidmašīnas vai kuģa koordinātas ar dažu desmitu metru precizitāti. Pastāv īpaši pavadoņi avārijas signālu uztveršanai un kuģa vai lidmašīnas avārijas vietas noteikšanai. Lai dažās zemeslodes vietās varētu noteikt koordinātas ar īpaši augstu precizitāti, palaiž speciālus ģeodēziskos pavadoņus. Ar šādu pavadoņu novērošanu nodarbojas arī Latvijas astronomi.

Meteoroloģiskos pavadoņus izmanto laikapstākļu novērošanai no kosmosa. Tie seko ciklonu un citu atmosfēras procesu attīstībai, fiksē mākoņu daudzumu, Zemes virsas temperatūru, gaisa mitrumu, vāc datus no automātiskajām meteostacijām. Pamatojoties uz šādu iegūto informāciju, iespējams arvien precīzāk prognozēt laikapstākļus.

Dabas resursu izpētes pavadoņi paredzēti Zemes izpētei no kosmosa. Zemes virsas attēli, kas uzņemti dažādos spektra diapazonos, sniedz informāciju par mežu un lauksaimniecības sējumu "veselības stāvokli", derīgajiem izrakteņiem, okeānu tīrību u. c. Pavadoņu uzņēmumus izmanto arī karšu sastādīšanai.

Astronomiskie pavadoņi jeb orbitālās observatorijas tika sīkāk aplūkoti iepriekš. Pie tiem pieskaitāmi arī ģeofizikālie pavadoņi, kas pēta Zemes apkaimi — atmosfēras retinātos augšējos slāņus, jonosfēru un magnētisko lauku, mikrometeorītu plūsmas un kosmisko starojumu.

Sakaru un navigācijas pavadoņus ievada augstās orbītās, bet tos pavadoņus, kuru uzdevums ir vākt informāciju par Zemi (meteoroloģiskos, dabas resursu u. tml.), parasti palaiž zemās orbītās (dažu simtu kilometru augstumā) (1.40. att.). Orbītas slīpumu pret ekvatoru izvēlas tā, lai pavadonis, kustoties pa orbitu un planētai zem tā griežoties, secīgi pārlūkotu visus Zemes virsas apgabalus.

Īpaši zemu (≈200 km augstumā) lido militārie izlūkpavadoņi, kas novēro citu valstu teritoriju un okeānu akvatoriju, pārtver radiosarunas, seko raķešu startiem un kodolizmēģinājumiem. Ar izlūkpavadoņu aparatūru iespējams izšķirt uz Zemes pat atsevišķus automobiļus. Taču šo pavadoņu mūžs ir īss —

tikai dažas nedēļas, jo tie lido atmosfēras augšējos slāņos, kuri tos pakāpeniski bremzē, līdz tie atstāj orbītu un sadeg.

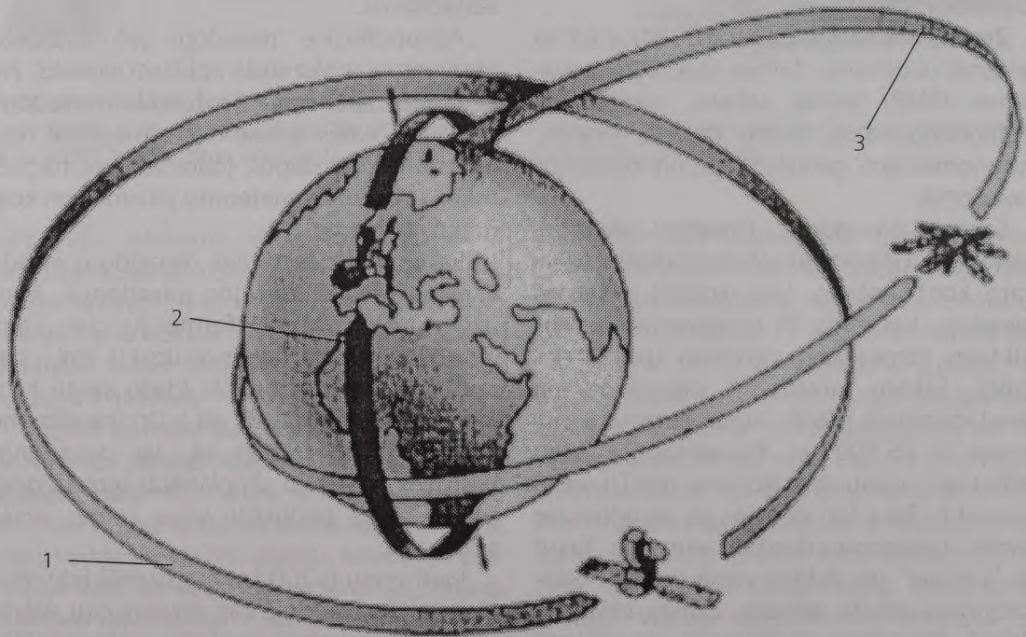
Zemes mākslīgajos pavadoņos un arī kosmosa kuģos par enerģijas avotu visbiežāk izmanto saules baterijas — pusvadītāju materiāla plāksnītes, kas Saules starojumu tieši pārveido elektroenerģijā. To lietderības koeficients 10 %. Ar 1 m² lielu Saules bateriju var iegūt 130 W lielu elektrisko jaudu.

Kosmosa kuģi un orbitālās stacijas. *Vairums kosmosa kuģu ir pilotējami.* Tie ir nodarīgi kosmonautu un kravas nogādāšanai uz orbitālo staciju vai arī veic patstāvīgu lidojuma programmu, piemēram, kā to veic kosmoplāna "Space Shuttle" orbitālā lidmašīna.

Orbitālā lidmašīna var pacelt kosmosā un palaist lidojumā vienu vai vairākus ZMP vai automātiskās starplanētu stacijas. Ar to iespējams tuvoties agrāk palaistiem ZMP un izdarīt remontu uz vietas vai nogādāt tos atpakaļ uz Zemes. Šāds remonts orbītā

jau vairākkārt ir veikts. Tā, piemēram, 1993. gadā tika salabots Habla kosmiskais teleskops. Orbitālās lidmašīnas kravas telpā var novietot autonomu pētniecības platformu vai kosmisko laboratoriju, kurā strādā apkalpe.

Kosmiskā kuģa lidojumam raksturīgas visas kosmiskā lidojuma fāzes. Pacelšanās (aktīvajā) posmā tas kustas ar lielu paātrinājumu, tādēļ kosmonauti izjūt spēcīgu pārslodzi — viņu svars palielinās vairākkārt. Pēc nokļūšanas orbītā dzinējus izslēdz un sākas lidojuma pasīvais posms. Uz ilgāku laiku iestājas bezsvara stāvoklis, kas līdzinās brīvajai krišanai. Pēc lidojuma programmas izpildes kosmiskais kuģis ar dzinēju tiek bremzēts, atstāj orbītu un uzsāk nolaišanos. Atmosfēras blīvajos slāņos tas strauji bremzējas, līdz ar to rodas liela pārslodze. Berzes dēļ kosmiskā kuģa virsma spēcīgi sakarst, tādēļ to pārklāj ar īpašu siltumizolācijas slāni. Nolaišanās pēdējā fāze (piezemēšanās) notiek, izmantojot izpletņi vai planējot. Uz Zemes atgriežas vai nu visa



1.40. att. Zemes mākslīgo pavadoņu orbītas:

1 — ģeostacionārajā orbītā pavadoņi nepārtraukti atrodas virs viena zemeslodes punkta; 2 — polārajā orbītā daudzu aprīņojumu laikā pavadoņi pārlūko visu zemeslodes virsmu; 3 — eliptiskajā orbītā ar zemu perigeju parasti ievada izlūk-pavadoņus.

Strādājot orbitālajā stacijā vai orbitālajā lidmašīnā, bieži rodas nepieciešamība iziet atklātā kosmosā, lai nomainītu, remontētu aparāturu vai veiktu citus darbus. Tādēļ izmanto speciālu kosmisko skafandru, ar kuru iespējams uzturēties bezgaisa telpā, kur nav atmosfēras spiediena, pastāv zema temperatūra un bīstami starojumi (1.41. att.).

Skafandrs sastāv no vairākiem slāņiem, kas nodrošina hermētiskumu, izturību un siltumizolāciju. Locītavu vietās tam ir šarnīri. Skafandrs apgādāts ar aparātiem, kas nodrošina elpošanai nepieciešamā skābekļa pievadi un izelpotā oglekļa dioksīda absorbciju. No cilvēka ķermeņa izdalīto siltumu aizvada speciāls kostīms, kurā cirkulē ūdens. Skafandrā iemontēta arī sakaru sistēma.

Kosmonautu un kosmisko kuģi saista drošības trose, lai nejauša grūdienu rezultātā viņš neaizlidotu projām kosmosā. Lai brīvi pārvietotos dažu simtu metru attālumā no kosmiskā kuģa, izmanto individuālo reaktīvo lidiekārtu. Darbs atklātā kosmosā var ilgt vairākas stundas vai pat dienu.



1.41. att. Skafandrs darbam atklātā kosmosā.

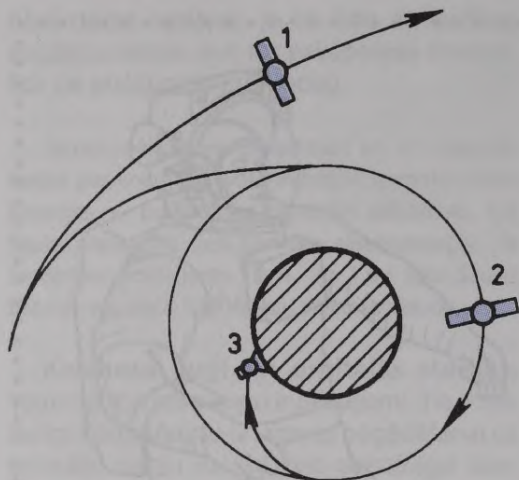
Nodalījumā uz muguras atrodas elpošanai nepieciešamais skābeklis un citas ierīces.

orbitālā lidmašīna, vai tikai kosmiskā kuģa nolaižamais aparāts.

Orbitālā stacija paredzēta ilgstošam lidojumam kosmosā. Tā aprīkota ar dažēji noslēgtu dzīvību nodrošinošu sistēmu. Orbitālā stacija parasti sastāv no vairākiem blokiem: dzīvojamā, pētījumu u. c. Vienlaikus tai var piekabināties vairāki kosmiskie kuģi. Gandrīz visā lidojuma laikā orbitālā stacija darbojas pilotējamā režīmā un to izmanto Zemes pētīšanai no kosmosa, debess objektu novērojumiem, medicīniskiem un bioloģiskiem eksperimentiem u. c. Liela uzmanība tiek veltīta tehnoloģiskiem eksperimentiem, jo bezsvara apstākļos iespējams iegūt materiālus ar izcilām īpašībām, kādus nevar iegūt uz Zemes.

Nākotnē orbitālās stacijas paredzēts izmantot arī kosmisko lidaparātu montāžai orbitā.

Starplanētu stacijas. Automātiskās starplanētu stacijas izmanto planētu, to pavadoņu, komētu un asteroīdu, starplanētu telpas un Saules izpētei. Ceļā uz galamērķi tiek veikta viena vai vairākas trajektorijas korekcijas. Lidojums līdz tuvākajām planētām ilgst vairākus mēnešus, bet līdz tālākajām — vairākus gadus. Gan lidojuma, gan planētas izpētes laikā starplanētu stacijas darbību vada specializēti borta datori, kas saņem arī radiokomandas no Zemes. Sakaru uzturēšanai izmanto virziendarbības antenu. Uz Zemes starplanētu stacijas raidītos signālus uztver ar radioteleskopu.



1.42. att. Starpplanētu lidaparātu trajektorijas:

1 — pārlidojuma trajektorija, 2 — mākslīgā pavadoņa orbīta, 3 — nolaišanās uz planētas.

Starpplanētu stacijas aparatūras funkcionēšanai nepieciešama enerģija. Tajās stacijās, kas lido uz Veneru vai Marsu, uzstāda Saules baterijas, bet stacijās, kas lido uz tālajām planētām, izmanto citus enerģijas avotus, piemēram, ģeneratorus, kas radioaktīvo izotopu sabrukšanas siltumu pārveido elektroenerģijā. Sakarā ar mainīgajiem temperatūras apstākļiem starpplanētu stacijai vajadzīga laba termoregulēšanas sistēma. Lai precīzi veiktu orbītas korekcijas, pagrieztos pret pētāmo debess ķermeni un uzturētu sakarus ar Zemi, staciju apgādā ar orientācijas sistēmu.

Kad starpplanētu stacija sasniegusi mērķi, tā veic pētījumus no *pārlidojuma trajektorijas* vai ieiet orbītā ap debess ķermeni un kļūst

par tā *mākslīgo pavadoņi* (1.42. att.). Pārlidojuma trajektorijas gadījumā iespējami tikai īslaicīgi pētījumi, toties pārlidojuma trajektoriju var izraudzīties tā, lai atbilstošā debess ķermeņa gravitācijas lauks novirzītu starpplanētu staciju cita debess ķermeņa virzienā. To sauc par *gravitācijas manevru*. Piemēram, gravitācijas manevrs tika izmantots, lai novirzītu ASV starpplanētu staciju "Voyager-2" no Jupitera uz Saturnu un tālāk uz Urānu un Neptūnu.

Starpplanētu stacija, kas atrodas orbītā ap planētu, var ilgstoši veikt visdažādākos pētījumus: kartēt planētas virsu vai mākoņu segu, sastādīt virsas temperatūru un reljefa kartes, pētīt planētas atmosfēru un magnetosfēru u. c. Ja lidojuma programmā paredzēta nolaišanās, tad starpplanētu stacija tiek apgādāta ar *nolaižamo aparātu*, kuram ir bremsēšanās iekārta (izpletis vai raķešdziņņis), kas ļauj veikt lēno nolaišanos. Nolaižamajā aparātā izvietota aparatūra mērījumiem planētas atmosfērā un uz tās virsas. Tajā ietilpst telekameras, temperatūras un spiediena devēji, atmosfēras un grunts ķīmiskā sastāva analizatori u. c. Nolaižamajam aparātam jāspēj darboties dažādos ekstremālos apstākļos: uz Veneras lielā karstumā, uz Marsa lielā aukstumā, uz Jupitera augstā spiedienā u. tml. Nolaižamais aparāts var nogādāt uz pētāmo debess ķermeni pašgājēju aparātu, iekārtu grunts paraugu ņemšanai u. c. Iegūtos datus pārraida pats nolaižamais aparāts vai arī tos translē uz Zemi tā starpplanētu stacijas daļa, kas atrodas orbītā vai pārlidojuma trajektorijā.

Jautājumi.

1. Kas ir kosmoplāns — kosmiskais transportlīdzeklis vai kosmosa kuģis?
2. Kādas ir kosmoplāna priekšrocības salīdzinājumā ar nesējaķeti?
3. Kāpēc satelittelevīzijas pavadoņus ievada ģeostacionārā orbītā?
4. Kādas ZMP funkcijas var veikt kosmiskais kuģis un kādas — orbitālā stacija?
5. Kādus kosmiskos lidaparātus apgādā ar nolaižamo aparātu?
6. Kādi ir lēnās nolaišanās paņēmieni uz Zemes vai cita debess ķermeņa?
7. Kāda tipa pavadoņus novēro Latvijas zinātnieki?



2.1. ASTRONOMIJA SENATNĒ

Astronomijas rašanās. Astronomija ir viena no vecākajām zinātnēm. Tā radusies no nepieciešamības apjaust telpu un laiku, orientēties tajā, izskaidrot novērojamās debess parādības un, ja iespējams, — iemācīties paredzēt tās. Senatnē par debess parādībām uzskatīja arī meteoroloģiskās parādības — pērkonu, zibeni u. c. Debess parādības un spīdekļi tika godāti kā dievības, tādēļ astronomiskajiem novērojumiem bija arī rituāla nozīme. Senajām klejotāju ciltīm, sākot nodarboties ar zemkopību, radās nepieciešamība savlaicīgi noteikt gadalaikus. Savukārt tautām, kas dzīvoja pie jūras, astronomijas zināšanas bija nepieciešamas sekmīgai kuģniecībai. Tā astronomija ieguva arī praktisku nozīmi.

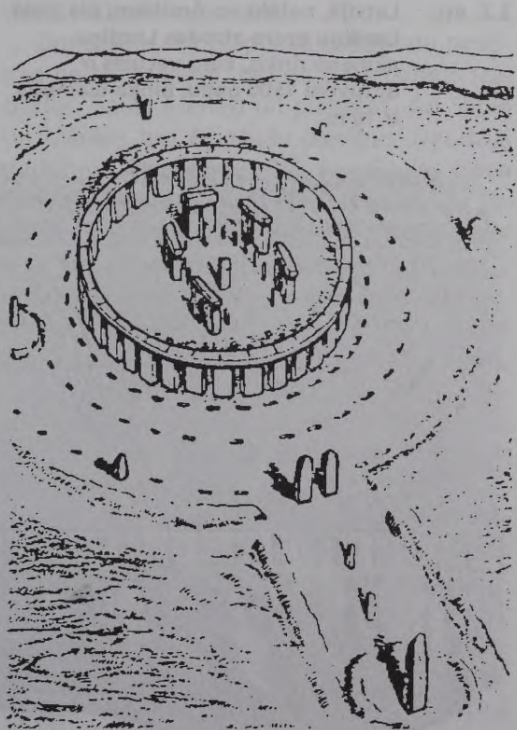
Akmens laikmeta astronomija. Debess spīdekļi un parādības attēloti jau alu un klinšu zīmējumos, bet senākās liecības par astronomiskajiem novērojumiem sniedz vēlā akmens laikmeta (neolīta) arheoloģiskie pieminekļi. *Dažviet Eiropā un Āzijā, arī Āfrikā saglabājušies akmens stabi (menhiri) vai akmeņu riņķi (kromlehi), kas lietoti svarīgu astronomisku virzienu noteikšanai.* Ar tiem tika novēroti Saules un Mēness lēkti un rieti. Pēc rietošas Saules stāvokļa pie horizonta bija iespējams noteikt saulgriežu momentus un līdz ar to arī gadalaikus un gada garumu. *Lielākā "akmens laikmeta observatorija" ir Stonhendža (Stonehenge) Lielbritānijā, netālu no Solsberi pilsētas (2.1. att.).*

Daudz kromlehu ir Bretaņā, Francijas ziemeļu piekrastē. Līdzīgi akmeņu krāvumi vai atsevišķi akmeņi ar iecirstām zīmēm sastopami daudzās Eiropas zemēs, tai skaitā arī Lietuvā un Igaunijā. Arī Latvijā dažviet atrasti lokveida akmeņu krāvumi (2.2. att.). Tomēr nav drošu ziņu, ka Latvijā akmeņu riņķi būtu saistīti ar astronomiskiem novērojumiem.

Astronomisko informāciju, kas ietverta arheoloģiskajos pieminekļos un etnogrāfijā, pēti astronomijas nozare — arheoastronomija.

Astronomija Senajā Babilonijā. Daudz labāku priekšstatu par astronomijas zināšanām senatnē var gūt, izpētot rakstveida pieminekļus. *Pirmās liecības par astronomiskajiem novērojumiem senatnē sniedz babiloniešu māla ķīļrakstu plāksnītes (2.3. att.).*

Divus gt. p.m.ē. Mezopotāmijā, tagadējā Irakas un Irānas teritorijā, izveidojās spēcīgā Babilonijas valsts. Astronomiskie novērojumi tās teritorijā sākās aptuveni 2500 gadus p.m.ē. Sākotnēji babiloniešu astronomi interesējās tikai par spožākajām zvaigznēm un raksturīgākajiem zvaigznājiem pie debess,



2.1. att. Stonhendža — no milzīgiem akmens blūkiem veidota apļveida celtne (2800—1600 p.m.ē.).



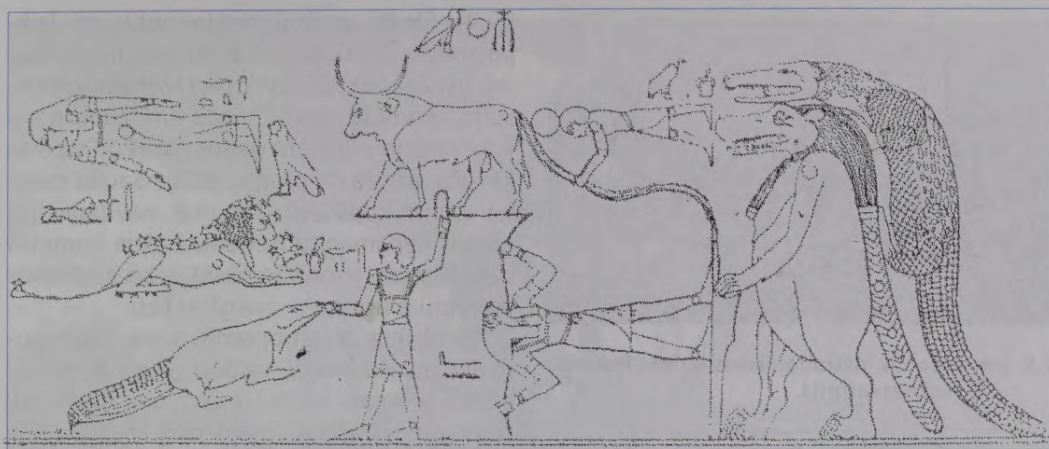
2.2. att. Latvijā, netālu no Āraišiem, pie Lielā Lazdiņu ezera atrodas Lazdiņu akmeņu riņķis, kura vecums ir aptuveni 1500 gadu. Riņķa diametrs ir 10 m.

piemēram, par Sīriusu un Orionu. Īpaša uzmanība tika pievērsta Pūķa zvaigznājam, kura spožākā zvaigzne tolaik atradās debess pola tuvumā. Tūkstoš gadus p.m.ē. babilonieši jau pazina piecas planētas, zināja, ka rīta un vakara zvaigzne ir viens un tas pats spīdekļis Venera. Debess spīdekļus uzskatīja par zvaigžņu dievībām un atkarībā no to stāvokļa pie debess izteica astroloģiskus pareģojumus par valsts un valdnieku labklājību un nākotni. Priesteri rūpīgi fiksēja notiekošās debess parādības un meklēja tajās likumsakarības, taču necentās tās izskaidrot. Babiloniešu priekšstati par pasaules uzbūvi bija gluži mitoloģiski.

Īpašs astronomijas uzplaukums Babilonijā sākās ar 7. gs. p.m.ē. **Babiloniešu astronomi ieviesa debess ekliptikas joslas dalījumu divpadsmit zodiaka zvaigznājos.** Viņi atklāja 19 gadu Mēness—Saules ciklu. Tādējādi kļuva iespējams pietiekami labi saskaņot Mēness un Saules kalendāru. Planētu stāvokļu paredzēšana to nevienmērīgas kustības dēļ senatnē astronomiem bija grūts uzdevums, bet arī šajā jomā viņi guva vēra ņemamus panākumus.



2.3. att. Sietiņa, Mēness un Vērša zvaigznāja attēlojums (no kreisās uz labo pusi) babiloniešu māla ķīlrakstu plāksnītē.



2.4. att. Zvaigznāju attēlojumi kapenēs Senajā Ēģiptē.

Zinot planētu aprīņošanas periodus, to iespējamo stāvokli noteica pēc iepriekšējiem novērojumiem. Lai noteiktu spidekļu stāvokli attiecībā pret zvaigznēm, tika ieviesta pirmā astronomiskā koordinātu sistēma — ekliptiskā koordinātu sistēma, saskaņā ar kuru aprēķināja spidekļu atrašanās vietas zodiaka zīmēs.

Attīstoties tirdzniecības un kultūras sakariem starp valstīm, daudzi babiloniešu astronomiskie atklājumi kļuva zināmi grieķiem. Īpašu precizitāti babiloniešu astronomija sasniedza pēdējos gadsimtos p.m.ē., taču drīz pēc tam sākās babiloniešu kultūras noriets.

Astronomija Senajā Ēģiptē. Ziņas par astronomijas attīstību Senajā Ēģiptē ir niecīgas. Uz astronomiskajām parādībām ir attiecināmi daži hieroglifu teksti un zīmējumi, netiešas ziņas atrodamas grieķu un romiešu vēsturnieku darbos (2.4. att.).

Trešajā gt. p.m.ē. Nīlas ielejā izveidojās liela valsts, kuru daudzus gadsimtus pārvaldīja faraonu dinastijas. Šis valsts saimniecībā liela nozīme bija ikgadējiem Nīlas plūdiem, kas nodrošināja zemes auglību, tādēļ *Ēģiptē agri sāka lietot Saules kalendāru*. Arī Ēģiptē ar astronomiju nodarbojās priesteri, no pārējiem iedzīvotāju slāņiem šis zināšanas tika slēptas.

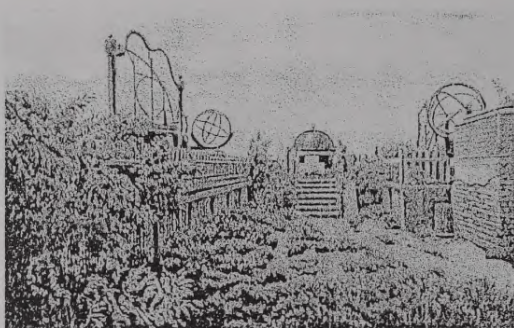
Nīlas plūdu paredzēšanai izmantoja Sīriusa pirmo parādīšanos rītausmā, vasaras sākumā pēc neredzamības perioda. Šādu parādību

sauc par zvaigznes heliakālo lēktu. Zvaigžņu, zvaigznāju un planētu heliakālo lēktu novērojumi antīkajā astronomijā bija ļoti izplatīti. Sīriusam bija tik liela nozīme ēģiptiešu dzīvē, ka tas kļuva par auglības un zemkopības dievietes Izīdas iemiesojumu.

Domājams, ka ēģiptiešu astronomi novēroja ne tikai Sīriusu, bet arī citus debess spideklus: Sauli, Mēnesi un planētas. Arī Saule un Mēness bija ēģiptiešu dievības. Daudzus gadsimtus Ēģiptē valdošais bija Saules dieva (Ra, vēlāk Amona) kulta. Nav skaidrs, vai Senajā Ēģiptē regulāri novēroja un mācēja paredzēt aptumsumus, taču nosaukums "saross", ar kuru apzīmē aptumsumu atkārtotās periodu, ir radies Senajā Ēģiptē. Senajā Ēģiptē arī ieviesa diennakts dalījumu 24 stundās, kuru lieto vēl joprojām. Diena tika dalīta desmit daļās, tai pievienojot vēl pa stundai no rīta un vakarā, ieguva 12 stundas. Arī nakts tika sadalīta 12 daļās.

Astronomijas attīstību Ēģiptē bija ietekmējusi babiloniešu kultūra. Tā no Babilonijas Ēģiptes astronomi pārņēma zodiaka zvaigznāju sistēmu un astroloģijas principus. Vēlāk savukārt daudzi grieķu astronomi apguva astronomijas zināšanas pie Ēģiptes priesteriem.

Astronomija Senajā Ķīnā. Senajā Ķīnā astronomija sāka attīstīties vēlāk nekā Babilonijā un Ēģiptē (laikā no 1500.—1200. g. p.m.ē.). Ķīniešu astronomi zodiaka zvaigznāju joslu



2.5. att. Senas astronomiskas ierīces Pekinas observatorijā.

dalīja 28 daļās — katrā no tām vienu dienu uzturējās Mēness. Viņu interesi saistīja arī Piena Ceļš, ko ķīnieši sauca par Debess Upi. Ķīniešu astronomi patstāvīgi atklāja Saules un Mēness kustības ciklus un uzlaboja kalendāra precizitāti.

Senajā Ķīnā tika izmantots 60 gadu cikla kalendārs. Tajā ietilpa 5 cikli pa 12 gadiem katrā. Ciklus apzīmēja ar stihijām: koku, uguni, zemi, metālu, ūdeni vai ar krāsām: zilu (zaļu), sarkanu, dzeltenu, baltu, melnu. Katram no 12 gadiem bija sava dzīvnieka nosaukums: Pele, Vērsis, Tīģeris, Zaķis, Pūķis, Čūska, Zirgs, Auns, Pērtiķis, Gailis, Suns, Cūka.

Astronomijas vēsturē pirmo zināmo zvaigžņu katalogu sastādīja ķīniešu astronomi ap 355. g. p.m.ē. Tajā ietilpa vairāk nekā 800 zvaigžņu. Mūsu ēras sākumposmā ķīnieši atšķīra pie debess 124 zvaigznājus. Viņi novērojumiem lietoja armilāro sfēru — konstrukciju, kas parāda galvenās debess sfēras līnijas — horizontu, debess ekvatoru, ekliptiku un citas. Šie novērojumi tika veikti speciāli iekārtotos laukumos — observatorijās (2.5. att.).



Ķīnas imperatoriem bija ierēdņi — astronomi, kas nodarbojās ar novērojumiem un debess parādību paredzēšanu. Sods par neveiksmīgiem paredzējumiem bija smags. Pēc leģendas divi ķīniešu astronomi Ho un Hi tika sodīti ar nāvi par to, ka nebija mēcējuši paredzēt Saules aptumsuma iestāšanos.

Līdz pat mūsdienām savu vērtību saglabājušas ķīniešu astronomiskās hronikas,

kurās fiksēti astronomiskie notikumi laikposmā no 1500. g. p.m.ē. līdz pat mūsu ēras 14. gs. Tajās minēti Saules un Mēness aptumsumi, komētu parādīšanās un supernovu uzliesmojumi. Trīs simt gadus pirms mūsu ēras ķīniešu astronomi pirmie atklāja Saules plankumus un kopš 240. g. p.m.ē. nav palaiduši garām nepamanītu nevienu Haleja komētas parādīšanos. Hronikās fiksētas arī intensīvas meteoru plūsmas — zvaigžņu lieti.

Vienlaikus ar astronomiskajiem novērojumiem ķīniešu filozofi veidoja arī pasaules uzbūves teorijas, kurās reizēm parādījās ļoti mūsdienīgas idejas, piemēram, par Visuma rašanos. Atšķirībā no Babilonijas un Ēģiptes Ķīnā astronomijas attīstība ar uzplaukuma un pagrimuma posmiem turpinājās arī mūsu ēras pirmajos gadsimtos un viduslaikos.

Astronomija Senajā Indijā. Senajā Indijā astronomija attīstījās gluži citādi nekā citās seno valstu civilizācijās. *Indiešu astronomija saturēja vairāk filozofijas nekā matemātiskus aprēķinus.* Ap 1500. g. p.m.ē. Indijas teritorijā izveidojās indoeiropiešu kultūra.

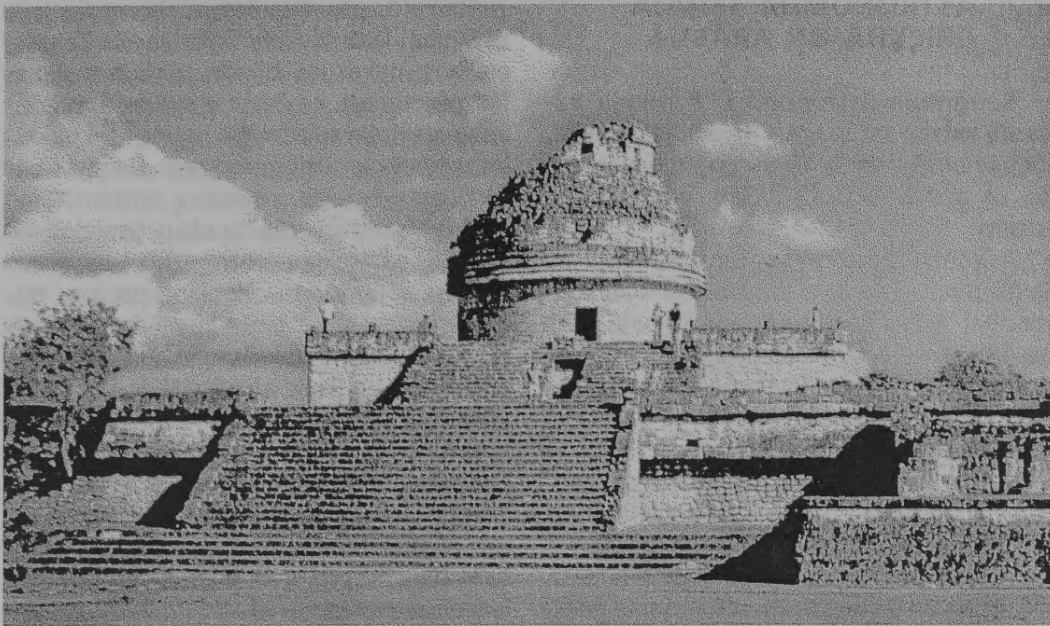


Līdz mūsdienām ir saglabājis reliģisko himnu sakopojums "Rigvēda", kurā liela uzmanība pievērsta pasaules uzbūves jautājumiem.

Pasaules uzbūves jautājumi "Rigvēdā" aplūkoti ļoti vispārīgi, tādēļ daudzos no tiem var saskatīt mūsdienas kosmoloģisko teoriju elementus. Tāda, piemēram, ir ideja par pasaules rašanos no kosmiskā karsuma, par Visuma attīstību, ievērojot kārtības principu "ritu", kas ir pretstatīts haosam un tumsai "anritai".

Tāpat kā citas senās civilizācijas, arī indieši galvenokārt pievērsa uzmanību Mēness kustībai. Debess apgabals, pa kuru kustējās Mēness, tika sadalīts 28 daļās. Katru no tām identificēja kāda spoža zvaigzne vai zvaigžņu grupa. 6. gs. p.m.ē. Indijā jau lietoja vairākas kalendāra sistēmas, galvenokārt Saules—Mēness kalendāru.

Tikai mūsu ēras pirmajos gadsimtos indiešu astronomija atdalījās no filozofijas. Šajā laikā astronomiskie sacerējumi tika rakstīti dzejas rindās un saturēja ziņas par Saules,



2.6. att. Maiju astronomijas observatorijas drupas Jukatanas pussalā, Meksikā.

Mēness un planētu kustību, par dienas un naktis garum bez sīkākiem paskaidrojumiem. Indiešu astronomiskos priekšstatus lielā mērā ietekmēja grieķu astronomu sasniegumi.

Maiju astronomija. Arī Amerikā radās dažādas civilizācijas. Viena no tām bija maiju civilizācija, kas izveidojās tagadējās Meksikas un Gvatemalas teritorijā. Maiju astronomija veidojās visai vēlu (2.—10. gs. m.ē.), un tā praktiski bija izolēta no citu kultūru ietekmes. Neraugoties uz to, maijiem bija labas zināšanas matemātikā. Hronoloģiskajos aprēķinos viņi izmantoja pat vairākus miljonus gadu garus laika periodus.

Kaut arī maijiem bija precīzs kalendārs — pēc dažu pētnieku domām, pat precīzāks par mūsdienās lietoto, viņu priekšstatiem par pasaules uzbūvi bija izteikts mitoloģisks raksturs. Maiju zodiaka zvaigznāju riņķi bija 13 zvaigznāji, nevis 12. Arī pasaule, pēc maiju domām, sastāvēja no 13 debess sfērām. To secība bija pakārtota reliģiskajiem priekšstatiem un maz saistīta ar spīdekļu reālo izvietojumu. Rituālo novērojumu veikšanai maiji būvēja tempļus — observatorijas (2.6. att.). Diemžēl 16. gs. gandrīz visas liecības par maiju astronomiskajiem sasniegumiem iznīcināja spāņu iekarotāji.

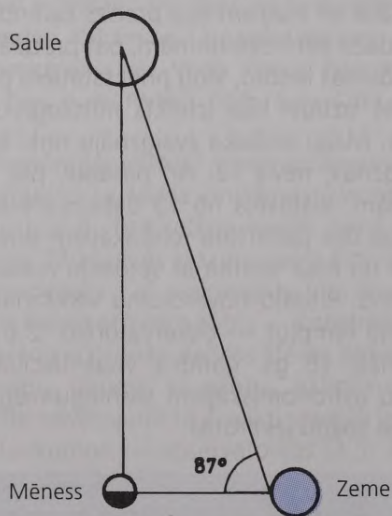
Jautājumi.

1. Kādas kalendāra sistēmas lietoja tautas senatnē?
2. Kurā zemē radusies astroloģija?
3. Kas ir saross?
4. Kādās astronomijas nozarēs ir izmantojamas ķīniešu hronikās sniegtās ziņas?
5. Kāpēc antikajā astronomijā īpaša uzmanība pievērsta zodiaka zvaigznāju joslai?
6. Kā radies diennakts dalījums stundās?
7. Kādas tautas pārņēma seno civilizāciju astronomu sasniegumus?

2.2. ASTRONOMIJA SENAJĀ GRIEĶIJĀ UN ARĀBIJĀ

Sengrieķu astronomija. Antīkajā pasaulē astronomija īpaši attīstījās Grieķijā. Tā pamatojās uz rūpīgiem novērojumiem, kā arī uz grieķu filozofu idejām par pasaules uzbūvi.

Astronomijas zināšanas Senajā Grieķijā jau 2. gt. p.m.ē. kļuva vajadzīgas sekmīgai kuģniecībai Vidusjūrā. Aptuveni šajā pašā laikā sacerēti pirmie mīti par pasaules radīšanu. Astronomijas uzplaukums Grieķijā sākās 6. gs. p.m.ē. Ekliptikas dalījums 12 daļās tika pārņemts no babiloniešiem, bet 19 gadu ciklu Saules un Mēness kalendāra saskaņošanai grieķi atklāja patstāvīgi. Šajā laikā grieķi jau pazina piecas planētas, turklāt atšķīra Veneras rīta un vakara redzamību. Viņi sāka izdalīt arvien jaunus zvaigznājus. *Senie grieķi pazina aptuveni pusi mūsdienās zināmo zvaigznāju un ieviesa astronomijas praksē to nosaukumus.*



2.7. att. Novērojot Mēnesi 1. ceturksnī, sengrieķu astronoms Aristarhs noteica, ka leņķis starp Mēnesi un Sauli ir 87° . No tā viņš secināja, ka Saule atrodas 19 reizes tālāk nekā Mēness. Kaut arī šis novērtējums ir ļoti aptuvens (faktiski Saule atrodas 390 reizes tālāk), tas bija pirmais zināmais attāluma mērījums līdz citam debess ķermeņim.

Uzskatos par pasaules uzbūvi valdīja liela dažādība. Daži filozofi uzskatīja, ka Zeme ir plakans, nekustīgs cilindrs. Pitagora skolas filozofi domāja, ka Zeme ir lodveida, griežas ap asi un riņķo ap centrālo uguni. Šajā pasaules uzbūves modeļi pirmo reizi planētas bija izkārtotas pareizā attālumu secībā. Tāpat grieķu filozofi izvirzīja daudzus ģeniālus minējumus par vielas atomāro uzbūvi, Saules un Mēness aptumsumu cēloņiem, par citu planētu sistēmu un zvaigžņu sistēmu pastāvēšanu. Taču bija arī daudz aplamu spriedumu, piemēram, ka Saule atrodas tālāk par zvaigznēm. Diemžēl šie spriedumi nepamatojās uz novērojumiem. Kopš 3. gs. p.m.ē. vairāku paudžu garumā grieķu astronomi novēroja un aprakstīja Grieķijā redzamos zvaigznājus, mērija planētu stāvokļus un precizēja ekliptikas slīpumu pret debess ekvatoru. *Novērojumus un pieredzi analizēja un sakārtoja vienotā dabaszinātņu sistēmā sengrieķu zinātnieks Aristotelis (384-322 p.m.ē.).* Aristotelis uzskatīja, ka uz Zemes viss sastāv no četriem elementiem — zemes, ūdens, gaisa un uguns, bet debess spīdekļus veido piektais elements — ēters. Viņš uzskatīja, ka Zeme ir lodveida, taču vienlaikus, pamatojoties uz ikdienas pieredzi, pieņēma, ka Zeme ir nekustīga un atrodas pasaules centrā, bet visi debess ķermeņi un zvaigznes griežas ap to.

Aristoteļa teorija bija liels solis uz priekšu astronomijas attīstībā, jo tā izskaidroja daudzas parādības un ieviesa zinātniskus izpētes paņēmienus. Taču Aristotelis pieļāva arī daudz kļūdu. Sadalot pasauli "zemmēness" pasaulē, kurā notiek visas mainīgās parādības, un nemainīgajā kosmosā, līdz ar zibeni un meteoriem "zemmēness" pasaulē nokļuva arī komētas un uzliesmojošās zvaigznes — novas. Šādi priekšstati astronomijā noturējās turpat vai 2000 gadus! Taču *Aristoteļa teorijas galvenā kļūda bija ģeocentrisms — nekustīgas Zemes novietošana pasaules centrā.* Vēlāk, viduslaiku Eiropā, Aristoteļa mācība dogmatiski kļuva par valdošo pasaules uzskatu un būtiski kavēja astronomijas un citu dabaszinātņu attīstību.

Hellēnisma laikmeta astronomija. 4. gs. p.m.ē. grieķu karavadoņi iekaroja

daudzas zemes apkārt Vidusjūrai. Saplūstot grieķu un uzvarēto tautu kultūrai, izveidojās un uzplauka hellēnisma kultūra. Viens no šīs kultūras centriem atradās Aleksandrijā, Ēģiptē, kur pulcējās dažādu valstu zinātnieki. Viņu vidū bija sengrieķu astronoms Aristarhs (ap 310—230 g. p.m.ē.). Novērojot Sauli un Mēnesi, viņš noteica, ka Saule ir vismaz 250 reižu lielāka par Zemi (2.7. att.). Šī iemesla dēļ viņš uzskatīja, ka pasaules centrā atrodas Saule, bet Zeme riņķo ap to. Tādējādi kļuva vienkārši izskaidrot dienas un nakts maiņu un citas parādības. Taču Aristoteļa teorija jau bija nostiprinājusies un Aristarha idejas netika pieņemtas.

Izcilākais hellēnisma laikmeta sengrieķu astronoms bija Hiparhs. Rūpīgu novērojumu rezultātā viņš izveidoja Mēness un Saules nevienmērīgās kustības teoriju. Saskaņā ar to Mēness un Saule kustējās ap Zemi pa riņķiem, taču Zeme bija nobīdīta no riņķu centra. Izmantojot šo teoriju, Hiparhs varēja paredzēt Saules un Mēness aptumsumus ar 1...2 stundu precizitāti. Hiparhs arī sastādīja zvaigžņu katalogu, kurā ietilpa aptuveni 850 zvaigznes, kas bija iedalītas sešās spožuma klasēs. Salīdzinot savus un priekšgājēju veiktos Spikas (Jaunavas α) stāvokļa mērījumus, viņš atklāja precesiju.

Hiparha veidoto spīdekļu kustības teoriju loģiski attīstīja Aleksandrijas astronoms un matemātiķis Klaudijs Ptolemajs. Viņa darbs "Lielais sacerējums" 13 sējumos bija lielākais sasniegums antikajā astronomijā. **Ptolemajs izraudzījās tolaik vislabāk pamatojamo ģeocentrisko pasaules uzbūves modeli ar nekustīgu Zemi centrā un izveidoja Saules, Mēness un planētu kustības teoriju,** kurā katrs spīdekļi kustējās pa nelielu apli — epiciklu, bet epicikla centrs kustējās pa lielāku apli — deferentu (2.8. att.). Saskaņā ar Ptolemaja teoriju varēja samērā precīzi noteikt spīdekļu stāvokļus ilgākam laika periodam uz priekšu. Tiesa, tā bija diezgan sarežģīta teorija. Spīdekļu kustības aprakstīšanai kopumā bija vajadzīgi 80 epicikli un deferenti.

Ptolemaja teorija labi aprakstīja spīdekļu stāvokli pie debess, neiedziļinoties to

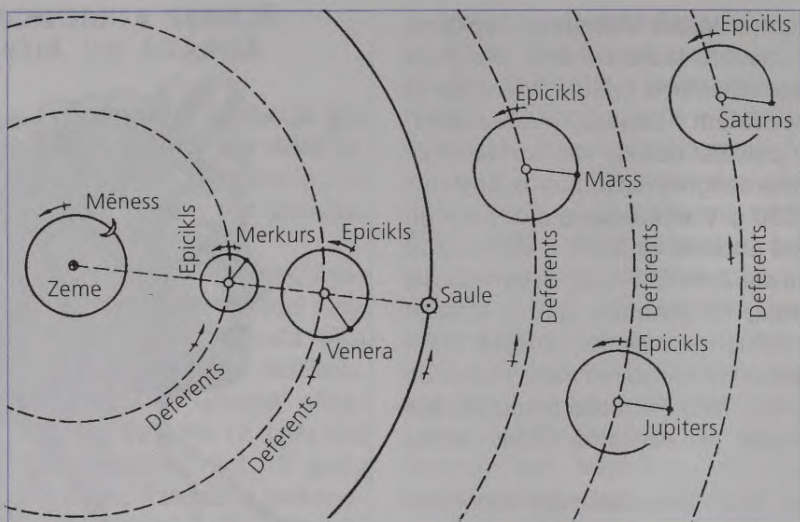


Sengrieķu astronoms Hiparhs (ap 190-125 p.m.ē.)

patiesajā telpiskajā izvietojumā. Pēc Ptolemaja, piemēram, viena apriņķojuma laikā Mēness redzamajiem izmēriem jāmainās divkārt, kas nav novērots. Neraugoties uz to, šo teoriju izmantoja aptuveni 1300 gadus.

Arābu astronomija. Sabrūkot Romas impērijai, **5. gs. Eiropā sākās ievērojams astronomijas zinātnes pagrimums, kas turpinājās aptuveni tūkstoš gadus.** Liela daļa astronomisko zināšanu tika zaudētas. Kristietībai kļūstot par vadošo reliģiju Eiropā, pasaules rašanās un uzbūves skaidrojums lielā mērā pamatojās uz Biblii. Protams, arī šajos gadsimtos bija oriģināli domātāji, taču viņu ideju ieguldījums astronomijas attīstībā bija niecīgs.

Par astronomijas kultūras centru agrajos viduslaikos kļuva Tuvie Austrumi. 7. gs. arābu iekarojumu rezultātā Arābijas pussalā un zemēs ap to izveidojās Arābu kalifāts. Arābu matemātika un astronomija tajā attīstījās ciešā mijiedarbībā ar Indijas kultūru. **Arābu astronomi pārņēma daudzus hellēnisma laikmeta zinātnes sasniegumus.**



2.8. att. Ptolemaja ģeocentriskās teorijas shematisks attēlojums.

Debess spīdekļi kustas ap Zemi pa nelieliem riņķiem — epicikliem, kuru centri savukārt kustas pa lielākiem riņķiem — deferentiem. Saule ierindojas pēc attāluma starp Veneru un Marsu.

9. gs. arābu valodā tika pārtulkots Ptolemaja darbs "Lielais sacerējums", kas atstāja spēcīgu ietekmi uz arābu astronomiju. Tas ieguva nosaukumu "Almagest". Sākoties renesansei, šis darbs un citi astronomiska

satūra rokraksti atkal nokļuva Eiropā. Tādējādi daļa antīkās pasaules astronomijas zināšanu ir saglabājusies līdz mūsdienām.

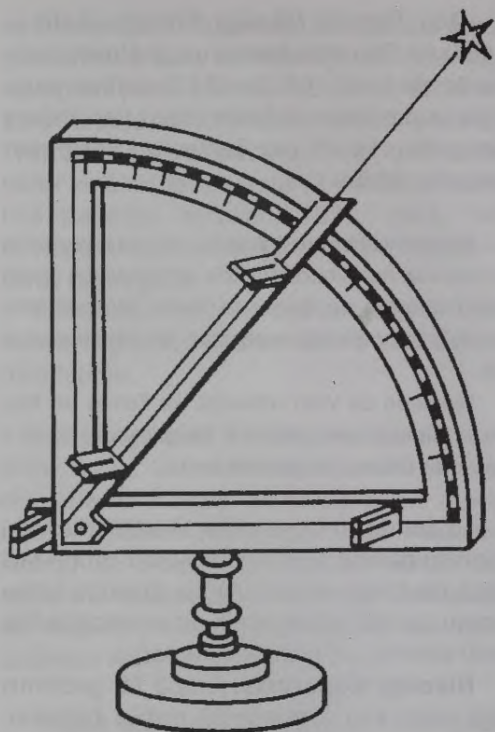


Izcilākais hellēnisma laikmeta astronoms Klaudijs Ptolemajs (ap 90—168 m.ē.)

Arābu astronomi bija prasmīgi novērotāji. Viņi pirmie sāka būvēt lielus astronomiskos instrumentus. Ar tiem varēja precīzāk izmērit astronomijā svarīgus lielumus: Zemes rādiusu, gada garumu, precesijas konstanti, ekliptikas slīpumu u. c. Arābu astronomi konstatēja, ka Ptolemaja astronomiskās tabulas nav pietiekami precīzas, un daudz pūļu veltīja jaunu Saules, Mēness un planētu kustības tabulu sastādīšanai.

Ievērojamākie šī laikmeta astronomi bija Birunī (973—1048) un Ulugbeks (1394—1449). Zinātnieks — enciklopēdistis Birunī sacerējis vairāk nekā 40 darbus astronomijā. Novērojumiem viņš izmantoja lielu, nekustīgu kvadrantu, ar kuru bija iespējams spīdekļu stāvokļus mērit ar augstu precizitāti (2.9. att.).

Mongoļu iekarojumu rezultātā 12. gs. arābu astronomijas kultūras centrs pārvietojās uz Vidusāziju. Uzbeku astronoms Ulugbeks izveidoja Samarkandas tuvumā tolaik unikālu observatoriju, kurā galvenais instruments bija kvadrants ar 40 m rādiusu (2.10. att.). Šajā



2.9. att. Kvadrants — ierīce debess spīdekļu leņķiskā augstuma vai to savstarpējā leņķiskā attāluma mērīšanai.

Tas sastāv no ceturtdaļriņķa ar leņķa vienībās iedalītu skalu un vizūras iekārtas.



2.10. att. Ulugbeka observatorijas lielais kvadrants.

Redzams skalas fragments, kas saglabājies līdz mūsdienām.

observatorijā daudzus gadus tika veikti sistematiski Saules un citu spīdekļu novērojumi. Ar ievērojami augstu precizitāti izdevās izmērīt ar Saules kustību saistītus astronomiskos lielumus. Ulugbeks 1437. gadā sastādīja jaunu zvaigžņu katalogu, kurā bija uzskaitītas vairāk nekā 1000 zvaigznes.

Arābu astronomi guva labus panākumus astronomiskajos novērojumos un to matemātiskajā apstrādē, taču viņu priekšstati par pasaules uzbūvi praktiski nemainījās — tajos stabili valdīja geocentrisms.

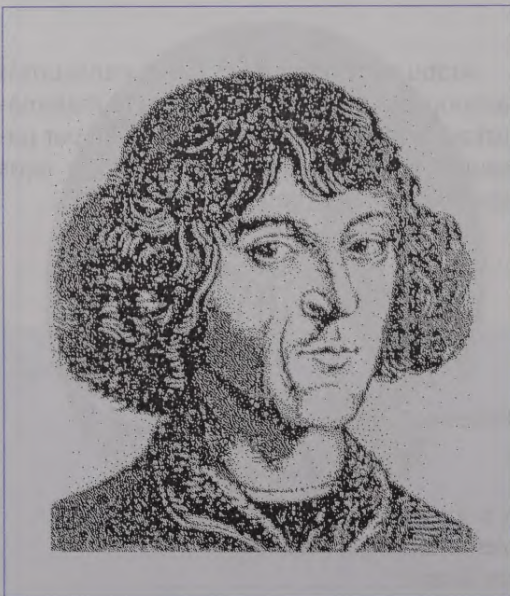
Jautājumi.

1. Kura no teorijām ir aptverošāka: Aristoteļa vai Ptolemaja?
2. Kur atradās Aleksandrijas pilsēta?
3. Kādi ir Ptolemaja teorijas galvenie trūkumi?
4. Kādās jomās arābu astronomiem bija ievērojami sasniegumi un kādās — ne?
5. Kā viduslaiku Eiropā kļuva zināmi antikās pasaules astronomijas sasniegumi?
6. Kādi bija astronomijas zinātnes pagrimuma cēloņi Eiropā?
7. Kādā veidā instrumentu izmēru palielināšana ļauj paaugstināt novērojumu precizitāti?

2.3. ASTRONOMIJAS ATDZIMŠANA EIROPĀ. IEVĒROJAMĀKO ASTRONOMU IDEJAS

Astronomijas atdzimšana Eiropā saistāma ar renesansi. Renesanse sākās Itālijā 14. gs. un sākumā aptvēra mākslu un literatūru. Pakāpeniski tā izplatījās visā Rietumeiropā un ietekmēja arī zinātnes attīstību.

Rietumeiropā 15. gs. astronomija sāka veidoties par precīzu zinātni. Vācu astronoms Regiomontāns (Johans Millers, 1436—1476) kopā ar citiem astronomiem uzsāka Saules, Mēness un komētu novērojumus. No 1471. gada viņš strādāja Nirnbergā, kur izveidoja savu astronomisko observatoriju. Novērojumi liecināja, ka iepriekšējos gadsimtos sastādītās astronomiskās tabulas ir novecojušas, tādēļ, pamatojoties uz Ptolemaja teoriju, Regiomontāns sastādīja jaunas astronomiskās tabulas, kuras savos jūras ceļojumos izmantoja, piemēram, Kristofors Kolumbs un Amerigo Vespuči. Regiomontāns izveidoja arī tipogrāfiju astronomisko traktātu iespiešanai.



Poļu astronoms Nikolajs Koperniks (1473—1543)

Vācu filozofa Nikolaja Kūzieša (1401—1464) un itāļu mākslinieka un zinātnieka Leonardo da Vinči (1452—1519) darbos parādījās jaunas kosmoloģiskās idejas par Visuma bezgalību, kā arī par Zemes un kosmiskās pasaules līdzību.

Nikolajs Kūzietis uzskatīja, ka Visums ir bezgalīgs un tam nav noteikta centra, līdz ar to pasaules centrā nevar atrasties ne Zeme, ne Saule. Zeme atrodas kustībā, ko novērotājs nepamana, jo pats atrodas uz tās.

Leonardo da Vinči uzskatīja, ka Zemes un kosmosa pasaules savā uzbūvē ir līdzīgas un ka Saule ir galvenais siltuma un gaismas avots.

Šo domātāju idejas vēlāk tika attīstītas citu filozofu darbos. Lielu uzplaukumu Eiropā šajā laikā piedzīvoja arī astroloģija. Daudzu astronomu darbos astronomija un astroloģija bija cieši saistītas un grūti atšķiramas.

Nikolajs Koperniks. *Eiropā 16. gadsimts bija laiks, kad astronomijā notika būtiskas, revolucionāras izmaiņas priekšstatos par pasaules uzbūvi.* Šo revolūciju ievadīja poļu astronoms Nikolajs Koperniks. Viņš mācījās Polijas un Itālijas universitātēs, kur iepazinās ar Ptolemaja un citu sengrieķu astronomu darbiem. Pēc N. Kopernika uzskatiem, Ptolemaja planētu kustības teorija bija pārāk sarežģīta. Vēlēdamies atjaunot priekšstatus par planētu kustības vienkāršību un harmoniju un kritiski izvērtējot gadu tūkstošos uzkrāto astronomijas pieredzi, **N. Koperniks postulēja pasaules uzbūves heliocentrisko principu** — *Saule atrodas planētu sistēmas centrā, bet Zeme griežas ap to.* Tādējādi daudz ko varēja ļoti vienkārši izskaidrot. Debess sfēras redzamās griešanās cēlonis ir Zemes griešanās ap asi, gadalaiku maiņas cēlonis — Zemes riņķošana ap Sauli. Taču galvenais bija tas, ka kļuva iespējams izskaidrot planētu cilpveida kustību pie debess, kas savukārt bija daudzu citu teoriju klupšanas akmens.

Tā kā saskaņā ar Kopernika teoriju planētas kustējās pa riņķiem, nevis pa elipsēm, kā tas ir patiesībā, tad pilnīgai planētu kustības attēlošanai nācās ieviest dažus desmitus epiciklu un deferentu, tiesa, tikai 34, nevis 80

kā Ptolemajam. Kopernika teorija bija aprēķinos vienkāršāka, ko nekavējoties izmantoja astronomi jaunu planētu tabulu sastādīšanai. Savu teoriju N. Koperniks izklāstīja darbā "Par debess sfēru griešanos", kas ietvēra visu tolaik zināmo astronomijā (2.11. att.). Darbs tika pabeigts aptuveni 1530. gadā, bet N. Koperniks to publicēja tikai 1543. gadā — savas nāves gadā.

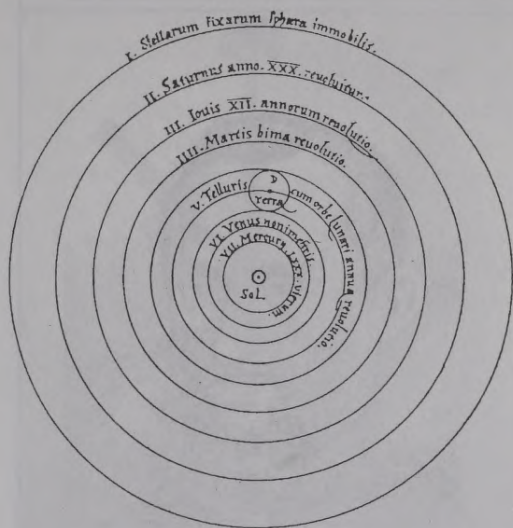
Patiesības meklējumi bija sākušies, taču tie nebija viegli. Ne visi astronomi atzina Kopernika teoriju.

Svarīgs arguments, ko izvirzīja N. Kopernika pretinieki, bija tas, ka Zemes orbitālās kustības gaitā netika novērota zvaigžņu pārvietošanās pie debess sfēras — respektīvi paralaktiskā nobīde. Mūsdienās zināms, ka zvaigžņu paralaktiskā nobīde nav redzama ar neapbruņotu aci to milzīgās attālinātības dēļ. Paralaktisko nobīdi izdevās konstatēt tikai četrus gadsimtus vēlāk.

Pagāja daži gadu desmiti, un 1616. gadā baznīca aizliedza Kopernika mācību kā ķecerīgu un Aristoteļa principi neatbilstošu. Tomēr daudzi viņa laikabiedri jau bija iepazinušies ar to un saskatīja Kopernika teorijā ne tikai jaunu metodi planētu kustības aprēķiniem, bet arī būtiski jauno ideju — Zeme nebija Visuma centrālais ķermenis, bet gan parasta planēta. Tas bija milzīgs solis uz priekšu astronomijas un pasaules uzskatu attīstībā.

Protams, raugoties no mūsdienu viedokļa, arī Kopernika teorija nebija pilnīga. Tā, piemēram, visa pasaule tajā aprobežojās ar vienu planētu sistēmu, kuru apņēma nekustīga, vienādā attālumā esošu zvaigžņu sfēra.

Tiho Brahe. Vēl joprojām arī 16. gs. vidū Eiropā astronomiskie novērojumi notika laiku pa laikam. Daudzi astronomiskie lielumi tika nevis noteikti novērojumos, bet gan meklēti antīko autoru darbos. Par precīzu astronomisko novērojumu pamatlicēju kļuva dāņu astronoms Tiho Brahe (1546—1601). Par savas darbības mērķi viņš izvirzīja novērojumu precizitāti. Salā pie Dānijas krastiem 1576. gadā viņš uzbūvēja pirmo speciālo astronomisko observatoriju Eiropā — Uraniborgu un kopā ar palīgiem novēroja tajā katru skaidru dienu



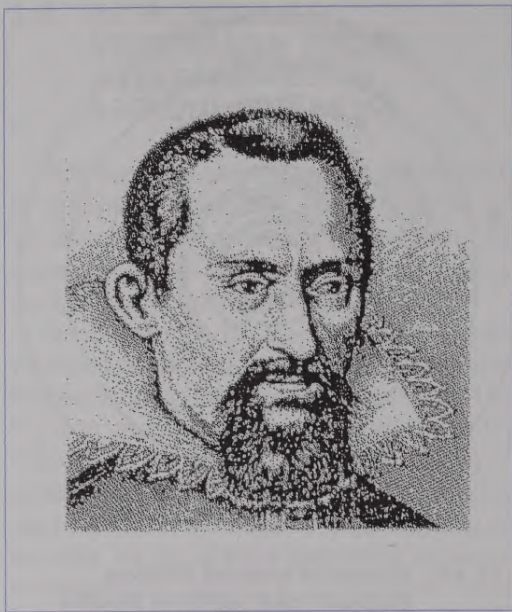
2.11. att. Kopernika pasaules uzbūves heliocentriskās sistēmas modelis.

Ap Sauli riņķo sešas planētas, septīto sfēru veido nekustīgas zvaigznes. (Oriģinālzīmējums no N. Kopernika grāmatas "Par debess sfēru griešanos.")

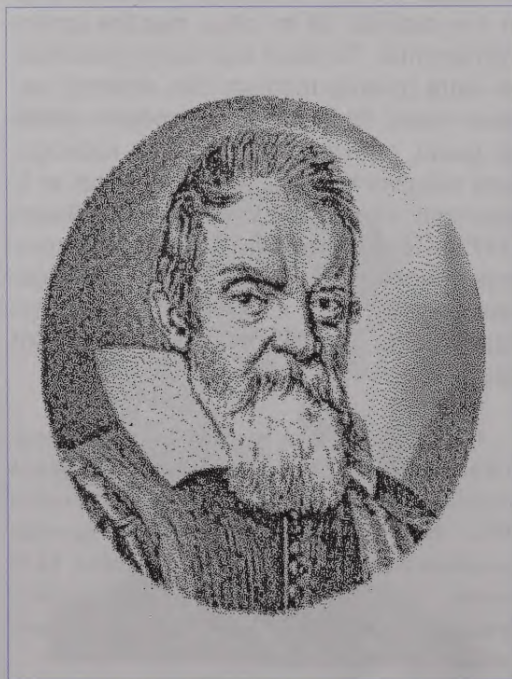
un nakti. T. Brahe izmantoja lielu kvadrantu ar 6 m rādiusu, kā arī citus, mazāka izmēra instrumentus. To skalas bija rūpīgi graduētas, un katra spidekļa mērījumi tika atkārtoti vairākas reizes. Tādējādi kļuva iespējams sastādīt jaunu, aptuveni 800 zvaigžņu katalogu, kurā zvaigžņu koordinātas bija noteiktas ar 1' precizitāti. Vācu astronoms Johanness Bajers (1572—1625) izmantoja T. Brahes novērojumus zvaigžņu atlanta "Uranometrija" sagatavošanai, kurā viņš ieviesa spožāko zvaigžņu apzīmējumus ar grieķu alfabēta burtiem. Šos apzīmējumus lieto arī mūsdienās.

1572. gadā T. Brahe novēroja Kasiopejas zvaigznājā uzliesmojušo supernovu un izteica pieņēmumu, ka šī parādība attiecināma uz zvaigžņu sfēru, bet 1577. gadā parādījušās komētas paralakses mērījumi ļāva viennozīmīgi noteikt, ka tā atrodas tālāk nekā Mēness. Tā tika apgāzts Aristoteļa apgalvojums, ka kosmiskajā pasaulē nekādas izmaiņas nenotiek.

T. Brahe īpaši pievērsās Marsa novērojumiem, kurus viņš veica 16 gadus. Pedējos



Vācu astronoms Johanness Keplers (1571—1630)



Itāļu astronoms un fiziķis Galileo Galilejs (1564—1642)

dzīves gadus T. Brahe pavadīja Prāgā, kur par viņa palīgu kļuva vācu astronoms J. Keplers. Dāņu astronoma precīzo Marsa novērojumu rezultāti palīdzēja J. Kepleram atklāt patiesos planētu kustības likumus.

Johanness Keplers. Astronomijā visgrūtāk bija atkāpties no Aristoteļa principa par debess ķermeņu kustību pa ideāliem riņķiem. To izdarīja vācu astronoms Johanness Keplers, kurš atklāja, ka planētas kustas pa elipsēm. Līdz ar to Kopernika teorijas deferenti un epicikli kļuva lieki.

Arī J. Keplers planētu kustības likumsakarības sāka meklēt, pieņemot, ka planētas kustas pa riņķiem. Taču aprēķini nesakrita ar novērojumu datiem. Piecu gadu laikā viņš izpētīja visdažādākās planētu kustības līknes, līdz beidzot saprata, ka pareizā planētas orbītas forma ir elipse, kuras vienā fokusā atrodas Saule. Tā aptuveni 1605. gadā tika atklāts pirmais Keplera likums. Nedaudz agrāk J. Keplers bija atklājis pēc mūsdienu numerācijas otro likumu, kura būtība ir šāda: jo tuvāk planēta atrodas Saulei, jo ātrāk tā kustas. Taču pagāja vairāk nekā desmit gadi, kamēr J. Keplers formulēja trešo likumu, kas saista planētas vidējo attālumu no Saules ar tās apriņķošanas periodu. Sākumā šie likumi attiecās tikai uz Marsa kustību, bet vēlāk tika vispārināti un attiecināti uz visām planētām.

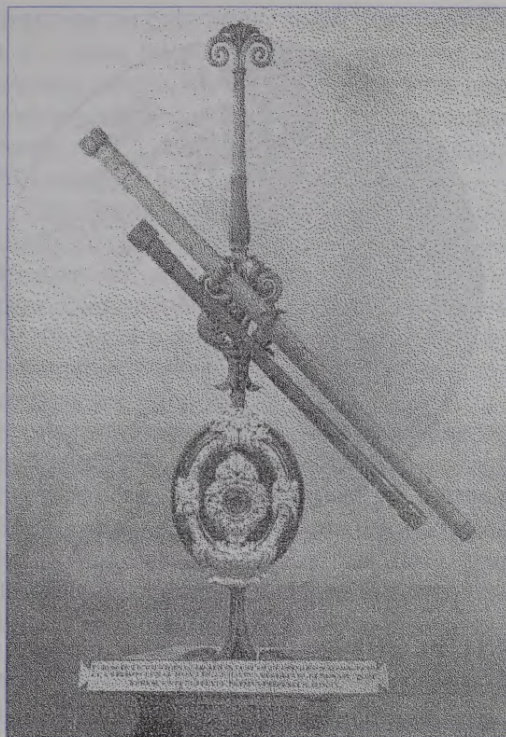
J. Keplers formulēja trīs planētu kustības likumus, uz kuriem pamatojoties vēlāk izveidojās jauna astronomijas nozare — debess mehānika. Saskaņā ar šiem likumiem 1627. gadā viņš sastādīja jaunas, precīzas planētu kustības tabulas. J. Kepleram izdevās sasniegt savu mērķi — atklāt apslēpto dabas harmoniju un formulēt to matemātiski. Taču līdzās precīzam likumu izklāstam viņa darbos netrūka arī mistisku spriedumu. Viņš daudz nodarbojās arī ar optikas likumu izpēti. Tā, piemēram, 1611. gadā J. Keplers aprakstīja (taču nerealizēja praksē) t. s. Keplera tālskata optisko shēmu, kuru parasti lieto mūsdienu binokļos un tālskatos.

Galileo Galilejs. *Pirmais, kurš pavērsa teleskopu pret debesjumu, bija itāļu astronoms un fiziķis Galileo Galilejs. Tas notika 1610. gadā, un ar šo brīdi astronomijā sākās teleskopu ēra.*

17. gs. sākumā holandiešu optiķi sāka izgatavot tālskatus, kas pietuvināja attālus priekšmetus. Ši ziņa sasniedza G. Galileju, un pēc vairāku mēnešu mēģinājumiem viņš pats arī izgatavoja šādu ierīci. Ar pirmo teleskopu Galilejs varēja iegūt tikai trīskārtīgu palielinājumu un samērā neskaidru attēlu, tomēr ar to izdevās ieraudzīt daudz ko līdz šim cilvēka acij aplēptu (2.12. att.). Pakāpeniski G. Galilejs uzlaboja savus teleskopus. Viņa otrā teleskopa objektīva diametrs bija 4,5 cm, un ar to varēja iegūt 34 reižu palielinājumu. Savos teleskopos viņš izmantoja tādu optisko sistēmu, kādu lieto arī mūsdienu teātra binokļos.

Uz Mēness G. Galilejs ieraudzīja krāterus, kalnus un ielejas. Tātad varēja pieņemt, ka Mēness nav lode ar gludu virsmu, bet daudzējādā ziņā ir līdzīgs Zemei. Uz Saules ar Galileja teleskopu bija iespējams ieraudzīt plankumus. Neatkarīgi no G. Galileja tos atklāja arī citi astronomi. Pēc plankumu pārvietošanās G. Galilejs noteica, ka Saule griežas ap asi. G. Galilejs bija ļoti pārsteigts, kad atklāja četrus Jupitera pavadoņus. Abpus Jupiteram viņš ieraudzīja četras mazas zvaigznes, kas mainīja savstarpējo stāvokli, riņķojot ap planētu (2.13. att.). Šī "Saules sistēma miniaturā" netieši apstiprināja Kopernika teoriju, jo nu kļuva zināms, ka pavadoņi ir arī citām planētām, ne tikai Zemei. **G. Galilejs sniedza arī tiešu apstiprinājumu Kopernika teorijai.** Savā teleskopā viņš novēroja Venerai tādas pašas fāzes kā Mēnesim, to skaitā arī pilno fāzi. Taču pēc Ptolemaja teorijas Venerai pilna fāze nebija iespējama.

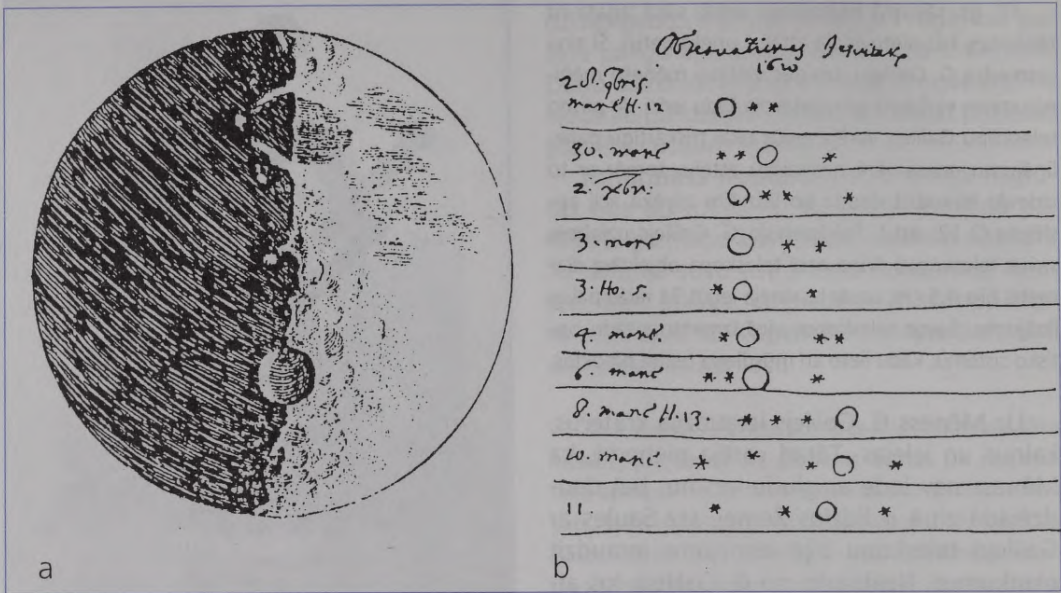
Pagriežot teleskopu pret Piena Ceļu un dažiem citiem miglainajiem plankumiem pie debess, G. Galilejs ieraudzīja, ka tie sastāv no milzīga daudzuma vāju zvaigžņu. Tas nozīmēja, ka Visumu veido ļoti daudz zvaigžņu un pasaules robežas ir daudz plašākas nekā līdz tam uzskatīja. Itāļu zinātniekam bija jāpieliek lielas pūles, lai par savu atklājumu patiesumu pārliecinātu laikabiedrus. Novērojumu rezultātus un secinājumus G. Galilejs izklāstīja darbos "Zvaigžņu vēstnesis" (1610) un "Dialogs par divām galvenajām pasaules sistēmām" (1632). G. Galileja novērojumu rezultāti bija krasā pretrunā ar baznīcas mācību. Drīz pēc tam G. Galilejam bija jāstājas baznīcas tiesas



2.12. att. G. Galileja teleskopi.

priekšā, kas viņu piespieda atsāties no saviem "maldiem". Taču zinātnieka gars palika nesalauzts, jo leģenda viņam piedēvē vārdus, ko viņš esot teicis pēc tiesas: "Un tomēr tā griežas!" G. Galilejs bija ne tikai astronoms, bet arī lielisks fiziķis - eksperimentētājs, kurš licis pamatus mūsdienu mehānikai.

Džordāno Bruno. Kopernika teorijā ietvertais heliocentrisma princips bija pamats tālāko secinājumiem. To nekavējās izmantot itāļu filozofs Džordāno Bruno (1548—1600). N. Kopernika un N. Kūzieša darbu ietekmēts, viņš izvirzīja savu pasaules uzbūves koncepciju. **Dž. Bruno uzskatīja, ka Visums ir bezgalīgs,** tajā ir bezgalīgs daudzums zvaigžņu, ap kurām riņķo planētas. Viņš pieņēma, ka zvaigznes ir pašspīdošas, bet planētas — apdzīvotas. Tādējādi Dž. Bruno būtiski paplašināja Visuma "robežas", kas N. Kopernikam aprobežojās vienīgi ar Saules sistēmu un zvaigžņu sfēru ap to.



2.13. att. Galileja atklājumi ar teleskopu:

a — uz Mēness redzami krāteri; b — Jupitera pavadoņu kustības shēmas (oriģinālzīmējumi).

Dž. Bruno idejas, kuras viņš dedzīgi aizstāvēja publiskos disputos, bija tik krasā pretunā ar baznīcas mācību, ka viņš tika apcietināts un stājās inkvizīcijas tiesas priekšā. Dž. Bruno nenoliedza savas idejas un 1600. gadā Romā tika sadedzināts kā ķeceris. Daudzas šī itāļu filozofa idejas palika nesaprstas, jo tās nepamatojās uz faktiem, kādus tolaik

novēroja. Tomēr viena no tām iegūlās laika-biedru prātos. Tā bija ideja par pasaules daudzveidību.

Nepilna gadsimta laikā N. Koperniks, T. Brahe, J. Keplers, G. Galilejs un Dž. Bruno būtiski mainīja priekšstatus visās astronomijas jomās, ievirzot tās attīstību kvalitatīvi jaunā pakāpē.

Jautājumi.

1. Kādas bija Kopernika teorijas priekšrocības un kādi — trūkumi?
2. Vai T. Brahe novērojumos izmantoja teleskopu?
3. Kāda ir triju Keplera likumu būtība?
4. Kuri G. Galileja atklājumi apstiprināja Kopernika teoriju?
5. Kas ieviesa astronomijā zvaigžņu apzīmējumus ar grieķu burtiem?
6. Kādi lieli atklājumi 16. gs. un 17. gs. sākumā tika veikti ģeogrāfijā un fizikā?
7. Kuras Dž. Bruno idejas ir aktuālas arī mūsdienās?

2.4. TELESKOPU ĒRA

Turpmākā astronomijas attīstība lielā mērā bija saistīta ar teleskopu uzbūves pilnveidošanu. Eiropā 17. gs. otrajā pusē viena pēc otras izveidojās astronomiskās observatorijas, kurās strādāja ne vien atsevišķi astronomi, bet arī zinātnieku grupas (2.14. att.). Gdaņskā 1641. gadā observatoriju izveidoja poļu astronoms Jans Hevēlijs (1611—1687), vēlāk 1671. gadā tika nodibināta Parīzes observatorija, bet 1675. gadā — Griničas observatorija Anglijā.

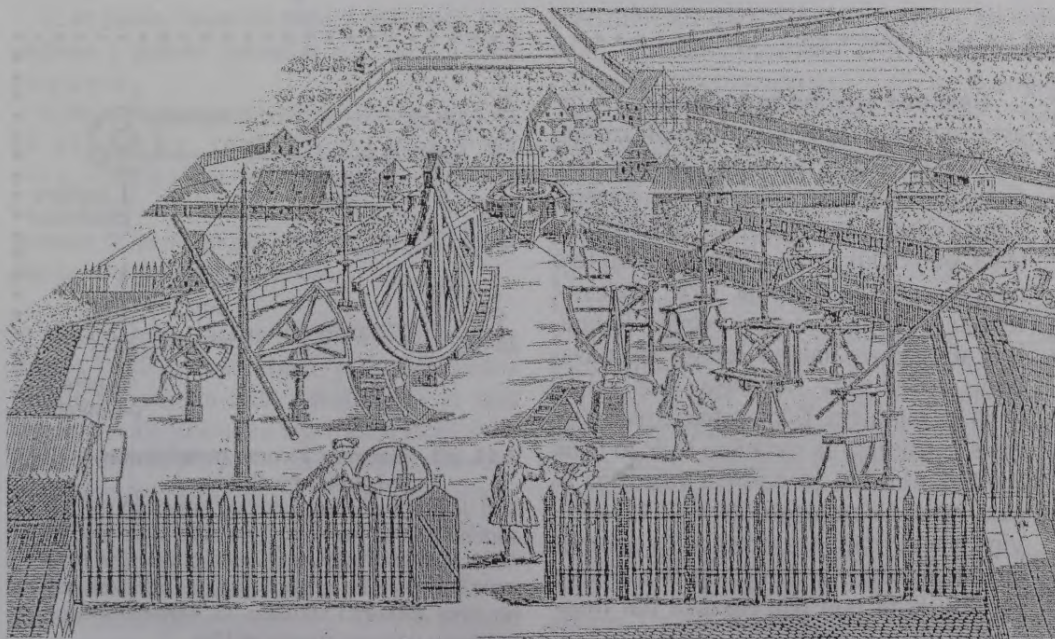
Iepriekšējo gadsimtu laikā astronomi galvenokārt nodarbojās ar debess spīdekļu stāvokļa noteikšanu, turpretī kopš 17. gs. sākās spīdekļu fizikālās dabas izpēte.

Teleskopi 17. gadsimtā. Šajā gadsimtā astronomiskajiem pētījumiem izmantoja milzīgi garus teleskopus, kuru garums pārsniedza pat 50 metrus. Tie bija lēcu teleskopi — refraktori. Tik gari teleskopi bija vajadzīgi, lai novērstu vienlēcas objektīvam piemītošās optiskās nepilnības, kas attēla malas padara

krāsainas un pašu attēlu neasu. Pastāvēja arī t. s. "gaisa teleskopi", kuros objektīvu un okulāru saistīja vienīgi aukla. Objektīvs bija piekārts staba galā, bet okulāru novērotājs turēja rokā. Lai novērotu ar šādu teleskopu, bija vajadzīga liela prasme.

Teleskopus sāka izmantot arī debess spīdekļu pozīciju noteikšanai, pierīkojot tos kvadrantiem un citām leņķu mērīšanas ierīcēm. Dāņu astronoms Ole Rēmers (1644—1710) izgudroja pasāžinstrumentu ģeogrāfiskā garuma noteikšanai un zvaigžņu rektascensijas mērīšanai. Par svarīgu darba instrumentu astronomiem šajā laikā kļuva precīzs pulkstenis. 17. gadsimtā radās arī jauna tipa teleskopi. Angļu dabaszinātnieks I. Ņūtons 1668. gadā izgatavoja pirmo spoguļteleskopu. Tā objektīva diametrs bija tikai 3 cm. Taču tas bija sākums reflektoru "uzvaras gājienam" nākamajos gadsimtos.

Atklājumi Saules sistēmā. J. Hevēlijs 1647. gadā sastādīja pirmo precīzo Mēness karti. Viņš arī atklāja četras komētas un apkopoja datus par aptuveni 400 agrāk novērotām komētām. Šīs ziņas vēlāk izmantoja vairāku



2.14. att. Nirnbergas observatorija, kas dibināta 1678. gadā.

paaudžu astronomi. J. Hevēlijs bija pēdējais no astronomiem, kurš zvaigžņu koordinātu noteikšanai neizmantoja teleskopu. Viņš sasniedza iespējamo precizitātes robežu novērojumos ar neapbruņotu aci, pārspējot pat T. Brahes mērījumu precizitāti. Poļu astronoms sastādīja sīkas zvaigžņu kartes, kas tika iespiestas 1690. gadā. Viņš ieviesa astronomijas praksē vairākus jaunus zvaigznājus. Astoņi no tiem atrodami arī mūsdienu zvaigžņu kartēs. Tie ir Medību Suņi, Žirafe, Ķirzaka, Mazais Lauva, Sekstants, Vienradzis, Lapsiņa un Vairogs.

Prasmīgs teleskopu būvētājs bija nīderlandiešu zinātnieks Kristiāns Heigenss (1629—1695). Ar saviem teleskopiem viņš ieraudzīja mākoņu svītras uz Jupitera, Marsa polāro cepuri un Saturna pavadoni Titānu. Viņš atklāja Saturna "mīklu". Tur, kur planētas sānos citi astronomi redzēja vienīgi izaugumus, K. Heigenss ievēroja plānu gredzenu, kas apjoza Saturnu, tam nepieskaroties. K. Heigensam bija nozīmīgi darbi arī optikā un mehānikā.

Franču astronoms Džovanni Kasīni (1625—1712) bija ļoti labs debess novērotājs. Viņš atklāja četrus Saturna pavadoņus un

spraugu Saturna gredzenā. Novērojot plankumus uz Marsa un Jupitera virsmas, Dž. Kasīni noteica šo planētu rotācijas periodus.

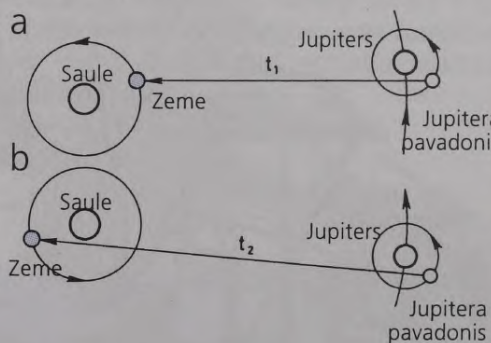
Pēc Keplera likumiem varēja aprēķināt planētu attālumus no Saules, taču tie bija izteikti astronomiskajās vienībās. Zemes attālums no Saules, piemēram, kilometros, nebija precīzi zināms. Tā noteikšanai Dž. Kasīni Parīzē un citi franču astronomi Dienvidamerikā 1672. gadā vienlaikus veica Marsa novērojumus, lai noteiktu tā paralaksi. Izmērot planētas paralaksi, varēja aprēķināt Marsa attālumu no Zemes un pēc tam — Zemes attālumu līdz Saulei. Mūsdienās precīzs astronomiskās vienības garums ir noteikts, izmērot attālumu līdz tuvākajām planētām ar radiolokatoru.

I. Ņūtona ieguldījums astronomijā.

I. Ņūtons ir veicis svarīgus atklājumus vairākās zinātnes nozarēs, kuriem bija liela ietekme uz astronomiju. Neapšaubāmi svarīgākais ir I. Ņūtona formulētais vispasaules gravitācijas likums. Tā būtība ir šāda: visi ķermeņi savstarpēji pievelkas un šis pievilkšanas spēks ir atkarīgs no ķermeņu masas un attāluma starp tiem. Ņūtona gravitācijas

Gaismas ātruma noteikšana. 17. gs.

astronomiskos novērojumus plaši izmantoja kuģa atrašanās vietas noteikšanai. Ģeogrāfisko garumu noteica pēc novērojumiem Jupitera pavadoņu aptumsuma laikā. Šim nolūkam tika izveidota Jupitera pavadoņu kustības teorija. Taču, salīdzinot teoriju ar novērojumiem, secināja, ja Jupiters atrodas vistālāk no Zemes, tad pavadoņu aptumsumi nokavējas par vairāk nekā 20 minūtēm. Dāņu astronoms O. Rēmers izskaidroja šo parādību šādi: jo tālāk Jupiters atrodas, jo gaismai vajadzīgs ilgāks laiks, lai sasniegtu Zemi (2.15. att.). Viņš bija pirmais, kas noteica, ka gaismas ātrums ir galīgs, un aprēķināja tā skaitlisko vērtību, kura gan bija mazāka par mūsdienās zināmo vērtību.



2.15. att. Gaismas ātruma noteikšanas mēģinājuma shēma.

Kad Jupiters atrodas vistuvāk Zemei (a), tā pavadoņu gaisma sasniedz Zemi isākā laikā ($t_1 < t_2$) nekā tad, kad attālums līdz Jupiteram ir tuvu maksimālajam (b). Izmērot gaismas aizkavēšanos un zinot attālumu starpību, O. Rēmers noteica aptuvenu gaismas ātruma vērtību.

teorija aprakstīta viņa darbā "Dabas filozofijas matemātiskie principi", kas nāca klajā 1687. gadā.

No I. Ņūtona gravitācijas teorijas izrietēja vairāki svarīgi secinājumi.

1. Ķermenis ar mazu masu kustas ap lielu ķermeni pa elipsi. Tādējādi novērojumu rezultātā atklātie Keplera likumi ieguva pamatojumu. Vēl vairāk — kļuva skaidrs, ka kustība pa elipsi ir tikai viens no iespējamajiem kustības veidiem. Riņķojošais ķermenis varēja kustēties ap centrālo ķermeni arī pa parabolu vai hiperbolu. Saules sistēmā šādas orbītas ir raksturīgas daudzām komētām.

2. I. Ņūtons aprēķināja, ka rotējošai Zemei jābūt saplacinātai poliem. Par Zemes precīzo formu tolaik nebija īstas skaidrības. Francijā veiktie uzmērijumi liecināja, it kā Zeme pie poliem ir izstiepta. Taču vēlākie mērijumi, ko veica Dienvidamerikā, apstiprināja, ka I. Ņūtonam ir bijusi taisnība.

3. Zemes formas atšķirība no lodes formas izraisa Zemes ass pārvietošanos telpā — precesiju. I. Ņūtons aprēķināja precesijas konstanti, kuras vērtība labi sakrīt ar novērojumos iegūto rezultātu.

4. Ar Zemes, Saules un Mēness savstarpējo pievilkšanos I. Ņūtons izskaidroja paisumu un bēgumu.

5. No ķermeņu savstarpējās pievilkšanās izriet, ka arī planētas iedarbojas cita uz citu, radot neregularitātes (perturbācijas) savstarpējā kustībā. Ievērojot šīs perturbācijas, ar laiku izdevās izveidot precīzas planētu kustības teorijas.

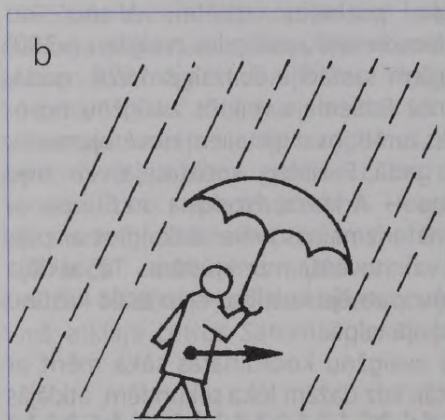
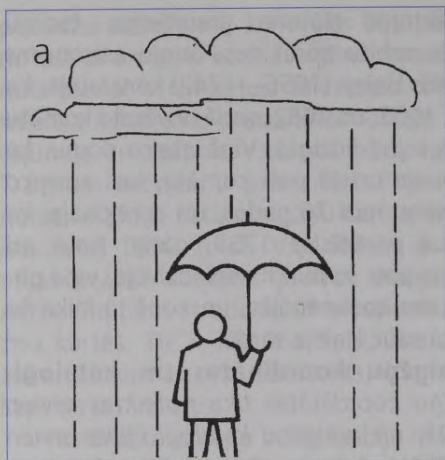
Ņūtona gravitācijas teorija bija spēcīgs līdzeklis pasaules izziņāšanā, taču laikabiedru prātus tā iekaroja tikai pakāpeniski, jo šajā laikposmā ļoti populāra bija franču zinātnieka Renē Dekarta (1596—1650) teorija, kas debess ķermeņu īpašības un kustību izskaidroja ar pasaules matērijas virpuļu mijiedarbību. I. Ņūtonam ir arī nozīmīgi darbi optikā. Viņam pirmajam 1666. gadā izdevās ar stikla prizmu sadalīt balto gaismu spektrā. Tas bija būtisks sasniegums, uz kuru pamatojās vēlāk izveidotā spektrālnāle.

Pielietojot Ņūtona gravitācijas teoriju komētu orbītu aprēķinos, angļu astronoms Edmunds Halejs (1656—1742) konstatēja, ka 1531., 1607. un 1682. gadā novēroto komētu orbītas ir ļoti līdzīgas. Viņš izteica domu, ka tā ir viena un tā pati komēta, kas apriņķo Sauli vienu reizi 76 gados, un aprēķināja, ka tā atkal parādīsies 1758. gadā. Kaut arī E. Halejs pats šo mirkli nepiedzīvoja, viņa paredzējums apstiprinājās, un kopš tā laika šo komētu sauc Haleja vārdā.

Zvaigžņu koordinātas un katalogi. *Zvaigžņu koordinātas tika noteiktas arvien precīzāk, un zvaigžņu katalogi kļuva arvien apjomīgāki.* Astronomi pievērsās arī debess dienvidu puslodes izpētei. Vienu no pirmajiem dienvidu puslodes zvaigžņu (≈ 300) katalogiem sastādīja E. Halejs 1676. gadā. Salīdzinot Ptolemaja veiktos zvaigžņu novērojumus ar 18. gs. veiktajiem novērojumiem, 1718. gadā E. Halejs konstatēja, ka triju zvaigžņu — Arktura, Prociona un Sīriusa — koordinātu izmaiņas nevar izskaidrot ar precesiju vai novērojumu kļūdām. Tā atklāja zvaigžņu īpatnējo kustību — to reālo kustību kosmiskajā telpā.

Kad zvaigžņu koordinātas sāka mērit ar precizitāti līdz dažām loka sekundēm, atklājās jauni, līdz šim nezināmi efekti. Novērojot Pūķa γ un citas zvaigznes, 1728. gadā angļu astronoms Džeimss Bredlijs (1693—1762) konstatēja, ka visas zvaigznes viena gada laikā pie debess sfēras veido nelielas elipses, kuru lielās pusass garums ir $20''$,5. Šo parādību sauc par **aberāciju**, un tās cēlonis ir Zemes kustība pa orbītu. Kaut arī Zemes kustības ātrums ir daudz mazāks par gaismas ātrumu, gaisma it kā "nokavējas" un kustībā esošs novērotājs redz spīdekli nedaudz nobīdītu. Līdzīgi, ātri ejot lietū, — arī lietussargs ir nedaudz jāsašķiebj kustības virzienā (2.16. att.). Aberācija ir pierādījums Zemes kustībai ap Sauli.

1737. gadā Dž. Bredlijs konstatēja vēl kādu parādību — zvaigžņu stāvoklis lēni mainās ar 18,6 gadu periodu. Tāpat kā aberācijas gadījumā, zvaigznes pie debess sfēras veidoja nelielas elipses, tikai to lielās pusass garums bija $9''$,2. Šo parādību sauc par



2.16. att. Aberācijas izpratnei:

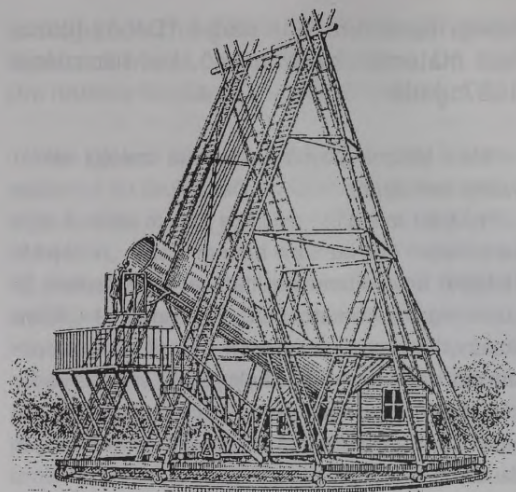
a — stāvošs cilvēks tur lietussargu vertikāli, b — ejošs cilvēks sašķiebj lietussargu kustības virzienā.

nutāciju, un tās cēlonis ir Zemes rotācijas ass nelielas svārstības ap vidējo stāvokli, kas rodas galvenokārt Mēness orbītas novietojuma periodiskas maiņas dēļ. Nutācija uzklājas Zemes ass precesijas kustībai.

Griničas observatorijā Dž. Bredlija vadībā ar augstu precizitāti tika veikti vairāk nekā 60 tūkst. zvaigžņu pozīciju mērījumi, kuri ir nozīmīgi arī mūsdienās.

Saules sistēmas veidošanās teorija.

18. gs. vidū daži zinātnieki centās pamatot Saules sistēmas rašanos dabiskā ceļā, bez dieva līdzdalības. Vienu no vislabāk izstrādātajām hipotēzēm izvirzīja vācu filozofs



2.17. att. V. Heršela uzbūvētais spoguļteleskops.

Imanuels Kants (1724—1804). Pēc viņa uzskatiem Saules sistēma radusies no auksta, retināta putekļu miglāja. No tā centrālās daļas izveidojās Saule, bet no ārējās daļas — planētas. I. Kanta idejas tika publicētas 1755. gadā, taču palika nezināmas gandrīz pusgadsimtu.

1796. gadā franču zinātnieks Pjērs Simons Laplāss (1749—1827) neatkarīgi no I. Kanta izvirzīja līdzīgu teoriju, pēc kuras Saules sistēma veidojusies no karsta gāzu miglāja. **Apvienojot I. Kanta un P. Laplāsa idejas un tās sīkāk izstrādājot, ir izveidota mūsdienu Saules sistēmas rašanās teorija.**

Kaut arī P. Laplāss kļuva pazīstams tieši ar planētu veidošanās hipotēzi, viņa galvenie darbi bija saistīti ar debess mehāniku.

Teleskopi 18. gadsimtā. Garo refraktoru izmantošanas laiks gāja uz beigām. Ap 1720. gadu Anglijā sāka būvēt spoguļteleskopus. Paralēli pilnveidojās arī lēcu teleskopi. 1757. gadā angļu optiķiem izdevās izgatavot no divām lēcām sastāvošu objektīvu, t. s. ahromātisko objektīvu, ar kuru ieguva kvalitatīvu attēlu. Tā laika teleskopu objektīva diametrs bija neliels, bet, lai ieraudzītu vājos Visuma objektus, bija nepieciešami daudz spēcīgāki teleskopi. Šādus teleskopus 18. gs. beigās sāka būvēt angļu astronoms V. Heršels. Viņš

izgatavoja teleskopus ar 30 cm un 48 cm diametra spoguļiem. 1789. gadā V. Heršels uzbūvēja pasaulē lielāko teleskopu, kura

metāliskā spoguļa diametrs bija 122 cm (2.17. att.). Teleskopa caurules garums sasniedza 12 m.

Jautājumi.

1. Kāpēc 17. gadsimtā astronomi izmantoja ļoti garus teleskopus?
2. Kādus zvaigznājus ieviesa astronomijas praksē J. Hevēlijs?
3. Kā tika izmērīts astronomiskās vienības garums?
4. Kādi secinājumi izrietēja no Ņūtona gravitācijas teorijas?
5. Kādus atklājumus veica E. Halejs?
6. Ar ko atšķirās I. Kanta un P. Laplasa hipotēzes?
7. Raksturojiet 18. gs. lielāko teleskopu!

2.5. MODERNĀS ASTRONOMIJAS SĀKUMS UN ATTĪSTĪBA

Modernās astronomijas veidošanās.

18. gs. beigas un 19. gs. sākumu var uzskatīt par modernās astronomijas rašanās laiku.

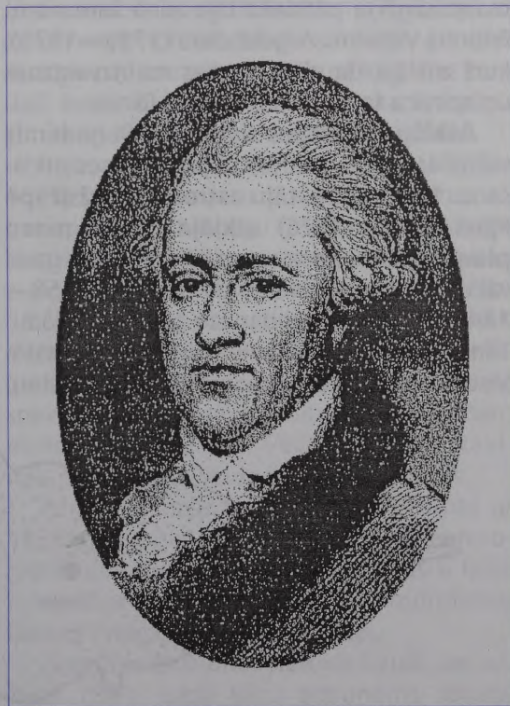
Viens no modernās astronomijas pamatlicējiem bija angļu astronoms Viljams Heršels.

Rūpīgi aplūkojot zvaigžņoto debesi ar pašizgatavotu teleskopu, 1781. gadā V. Heršels atklāja jaunu planētu — Urānu. Līdz ar Urāna atklāšanu Saules sistēmas izmēri divkārsējās. Šis atklājums padarīja V. Heršelu slavenu. Vēl viņš atklāja dažus planētu pavadoņus, taču visvairāk V. Heršelu interesēja zvaigznes. Cenšoties noteikt attālumus līdz zvaigznēm, viņš piemeklēja zvaigžņu pārus paralaksu mērīšanai un pārliecinājās, ka šādu pāru ir pārāk daudz, lai to līdzās atrašanos pie debess varētu izskaidrot ar nejaušu sakritību. Tām vajadzēja būt reālām dubultzvaigznēm. V. Heršels uzsāka plašus dubultzvaigžņu pētījumus, tomēr viņš nebija dubultzvaigžņu atklājējs. *Pirmos zvaigžņu pārus ievēroja vācu astronoms Kristiāns Majers (1719—1783), kurš 1779. gadā sastādīja pirmo dubultzvaigžņu katalogu.*

Gribēdams izprast Galaktikas uzbūvi, V. Heršels uzsāka visu teleskopā saskatāmo zvaigžņu skaitīšanu izraudzītos debess apgabalos. Rezultātā 1785. gadā viņš aprakstīja

iespējamo Galaktikas formu (2.18. att.). Tā radās pirmais Galaktikas uzbūves modelis.

Milzīgu darbu V. Heršels ieguldīja miglains debess objektu izpētē. Līdz 1802. gadam viņš publicēja trīs katalogus, kuros ietilpa vairāk



Angļu astronoms Viljams Heršels (1738—1822)

nekā 2500 viņa atklāto miglāju, zvaigžņu kopu un galaktiku. Tolaik gan vēl nebija skaidrības par šo miglaino objektu dabu. V. Heršels daudz paveicis, darbotamies gandrīz visās astronomijas nozarēs. Viņš, piemēram, atklāja infrasarkanā starojumu, Saules sistēmas kustību Herkulesa zvaigznāja virzienā u. c.

Neaizstājams V. Heršela palīgs bija viņa māsa Karolina Heršela (1750—1848), kas palīdzēja viņam slīpēt teleskopu spoguļus, veikt novērojumus. Viņa arī ir atklājusi vairākas komētas. Tēva darbu astronomijā turpināja arī dēls Džons Heršels (1792—1871), kurš pētīja debess dienvīdu puslodi.

18. gs. beigās sākās maiņzvaigžņu pētījumi. Iespējams, ka dažu zvaigžņu spožuma maiņu bija novērojuši arābu astronomi, taču *nopietna maiņzvaigžņu izpēte sākās ar 1782. gadu, kad angļu astronoms Džons Gudraiks (1764—1786) konstatēja Perseja β mainīgumu*. Vēlāk viņš atklāja, ka spožumu maina arī citas zvaigznes. Angļu astronoms Eduards Pigots (1753—1825) 1786. gadā sastādīja pirmo maiņzvaigžņu katalogu.

Nākamajā 19. gadsimtā veiksmīgākais maiņzvaigžņu pētnieks bija vācu astronoms Frīdrihs Vilhelms Argelanders (1799—1875), kurš atklāja daudzas jaunas maiņzvaigznes un noteica to spožuma maiņas liknes.

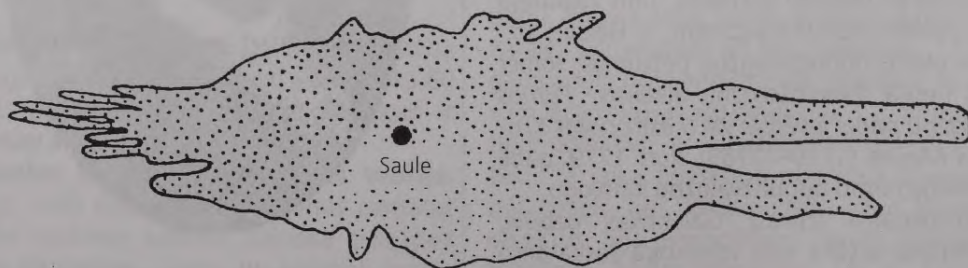
Atklājumi Saules sistēmā. 19. gadsimts sākās ar jaunas debess objektu klases atklāšanu. **1801. gadā itāļu astronoms Džuzepe Pjaci (1746—1826) atklāja pirmo mazo planētu**, kuru nosauca par Cereru. Pēc gada vācu astronoms Heinrihs Olberss (1758—1840) atklāja nākamo mazo planētu Pallādu. Tām sekoja mazās planētas Jūnona un Vesta. Visu šo debess ķermeņu orbītas atradās starp

Marsa un Jupitera orbītām. Vēlāk mazo planētu atklājumi sekoja cits citam.

Kaut arī vairākās astronomijas jomās šajā laikā bija gūti ievērojami panākumi, netrūka arī neskaidrību. Viena no tādām bija jautājums par meteorītu izcelsmi. 1749. gadā Sibīrijā tika atrasts Pallasas akmens — milzīgs dzelzs blukis (620 kg) ar akmens ieslēgumiem, kura izcelsmi zinātnieki nemācēja izskaidrot. Tāpat laiku pa laikam astronomus sasniedza ziņas par novērotiem ugunīgiem bolīdiem. *Debess akmeņu (meteorītu) krišanas un bolīdu parādīšanās saistību pirmais izskaidroja vācu fiziķis Ernsts Hladni (1756—1827)*. Viņš uzskatīja, ka Pallasas akmens ir kosmiskās matērijas fragments, kas nokritis uz Zemes. Tomēr pagāja vēl ilgs laiks, kamēr E. Hladni idejas pieņēma arī citi zinātnieki.

Meteorītu kosmisko izcelsmi apstiprināja periodisku meteoru plūsmu atklāšana. 1833. gadā tika novērots spēcīgs meteoru lietus, kas nāca no Lauvas zvaigznāja. Analizējot tā novērojumus, tika konstatēts, ka meteoru lietus ir kosmiska izcelsme. H. Olberss paredzēja nākamo meteoru lietu, kas notika 1866. gadā. Tā pakāpeniski veidojās jauna astronomijas nozare — meteoru astronomija.

Liels Ņūtona gravitācijas teorijas panākums bija jaunas planētas — Neptūna atklāšana 1846. gadā. Šis atklājums vispirms tika veikts uz papīra. Urāna kustībā pastāvēja novirzes, ko nevarēja izskaidrot ar zināmo planētu ietekmi. Divi astronomi — francūzis Žans Irbēns Leverjē (1811—1877) un angļis Džons Kūčs Adamss (1819—1892) izvirzīja uzdevumu pēc šīm novirzēm noteikt jaunās planētas atrašanās vietu. Pirmais aprēķinus



2.18. att. Galaktikas modelis, kuru izveidoja V. Heršels.

pabeidza Dž. Adamss, taču jaunā planēta tika atklāta, pamatojoties uz Ž. Leverjē iegūtajiem rezultātiem. Tomēr par Neptūna atklājējiem uzskata abus astronomus. Tātad Saules sistēmas izmēri vēl vairāk paplašinājās.

19. gs. otrajā pusē astronomi nodarbojās ar komētu intensīvu novērošanu. Krievu astronoms Fjodors Bredihins (1831—1904) izveidoja komētu astu klasifikāciju, kuru ar nelielām izmaiņām lieto joprojām. Pētot komētu orbitas, noskaidrojās, ka dažu komētu un meteoru plūsmu orbitas praktiski sakrīt. Ievērojot šo faktu, itāļu astronoms Džovanni Skjaparelli (1835—1910) izvirzīja hipotēzi, ka meteoru plūsmas veidojas komētu sabrukšanas rezultātā.

Astrometrijas attīstība. Vēl arvien nebija zināmi attālumi līdz zvaigznēm. Lai tos aprēķinātu, vajadzēja izmērīt zvaigžņu paralaksi ar precizitāti līdz loka sekundes daļām. Šo uzdevumu 1838. gadā izdevās veikt vācu astronomam Frīdriham Beselim (1784—1846).

Attāluma noteikšanai F. Beselis izraudzījās zvaigzni ar lielu ipatnējo kustību — Gulbja 61. Viņš izmērija tās paralaksi un noteica, ka zvaigzne atrodas 9 ly attālumā. Gadu agrāk attālumu līdz citai zvaigznei Vegai bija noteicis krievu astronoms V. Struve (1793—1864), bet dienvidu puslodē — attālumu līdz Centaura α bija izmērijis skotu astronoms Tomass Hendersons (1798—1844).

Beidzot panākumiem vainagojās gadsimtiem ilgie astronomu pūliņi noteikt attālumus līdz zvaigznēm. Paralaksu mērīšana bija grūts un sarežģīts uzdevums, tādēļ līdz 19. gs. beigām tās noteica tikai aptuveni 50 zvaigznēm.

Apstrādājot Dž. Bredlija novērojumus, F. Beselis precizēja daudzas astronomiskās konstantes, kā arī pats veica plašus un precīzus zvaigžņu pozīciju mērījumus. Viņš konstatēja, ka divas zvaigznes — Sīriuss un Prociens — pārvietojas pie debess sfēras pa neredzamiem trajektoriju, un izteica pieņēmumu, ka šīm zvaigznēm ir neredzami pavadoņi. Pēc dažiem gadu desmitiem tie tika atklāti.

Zvaigžņu skaits tā laika katalogos sasniedza jau vairākus simtus tūkstošu. Novērot šādu zvaigžņu daudzumu vienam astronomam vai observatorijai nebija pa spēkam, tādēļ astronomijā sākās starptautiska

sadarbība. Katras observatorijas astronomi novēroja savu debess zonu, bet rezultātus apstrādāja kopīgi. Tika sastādīti vairāki lieli zvaigžņu katalogi.

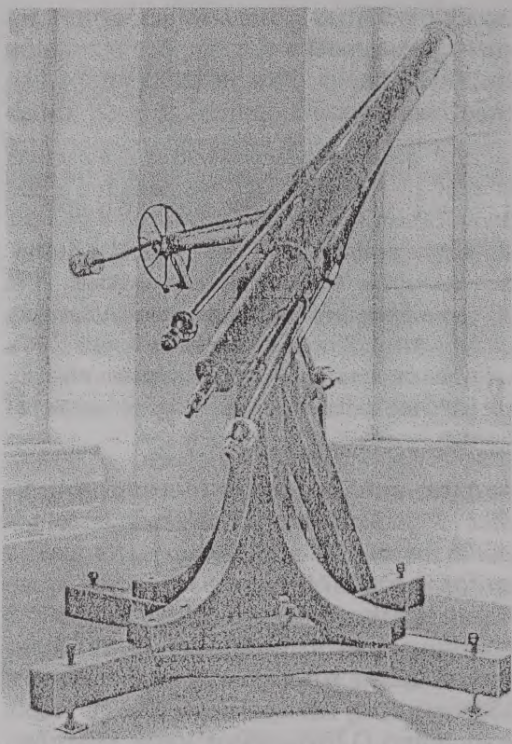
1859. gadā F. Argelāndera vadībā tika pabeigts katalogs, kurā bija minēti 324 tūkst. zvaigžņu ar precīzi noteiktiem spožumiem. Šo katalogu dēvēja par t. s. Bonnas apskatu. 1890. gadā nāca klajā H. Dreipera katalogs ar 10 tūkst. zvaigžņu spektriem, bet trīs gadus pirms tam tika izdots Jaunais Vispārējais katalogs (New General Catalogue, saīsināti NGC), kas saturēja datus par 13 tūkst. miglaino objektu. 20. gadsimtā dažādu katalogu skaits vēl vairāk palielinājās.

Astronomijas jaunās metodes. *Aptuveni 19. gs. vidū astronomijā tika ieviestas trīs jaunas metodes — spektrometrija, fotogrāfija un fotometrija. Tās kļuva par topošās astrofizikas stūrakmeņiem.* 19. gadsimta sākumā izgudroja spektroskopu, ar kuru Saules spektrā atklāja pirmās tumšās spektrāllīnijas. 1815. gadā tās sīki izpētīja vācu fiziķis Jozefs Fraunhofers (1787—1826). Vēlāk šādas līnijas atklāja arī zvaigžņu spektros. 1861. gadā tika izveidota spektrālanalīze — metode, ar kuru varēja noteikt debess ķermeņu ķīmisko sastāvu pēc to spektra. Taču neilgi pirms tam daži zinātnieki bija pārliecināti, ka zvaigžņu ķīmisko sastāvu nekad neizdosies uzzināt.

Itāļu astronoms Andželo Seki (1818—1878) izpētīja daudzu zvaigžņu spektros un izveidoja pirmo zvaigžņu spektrālo klasifikāciju. Veicot spektru analīzi, konstatēja, ka Saulei un zvaigznēm principā ir vienāda daba. Pētot Saules spektru, tika atklāts jauns ķīmiskais elements — hēlijs. Gadījās arī aplami atklājumi. Tā, piemēram, miglāju spektros redzamās spektrāllīnijas piedēvēja dabā neeksistējošam elementam nebulijam. Vēlāk 20. gs. noskaidroja, ka šīs līnijas veido jonizēts skābeklis.

Pirmās Mēness fotogrāfijas datējamas ar 1839. gadu, bet 1850. gadā izdevās nofotografēt pirmo zvaigzni — Vēgu. Kopš šī laika fotogrāfija kļuva par precīzu un informatīvu līdzekli zvaigžņu pasaules izpētei.

Zvaigžņu spožumus noteica vizuāli, ar aci. Tikai 1861. gadā vācu astronoms Johans Celnērs (1834—1882) izgudroja vizuālo fotometru, kurā zvaigznes spožums tika

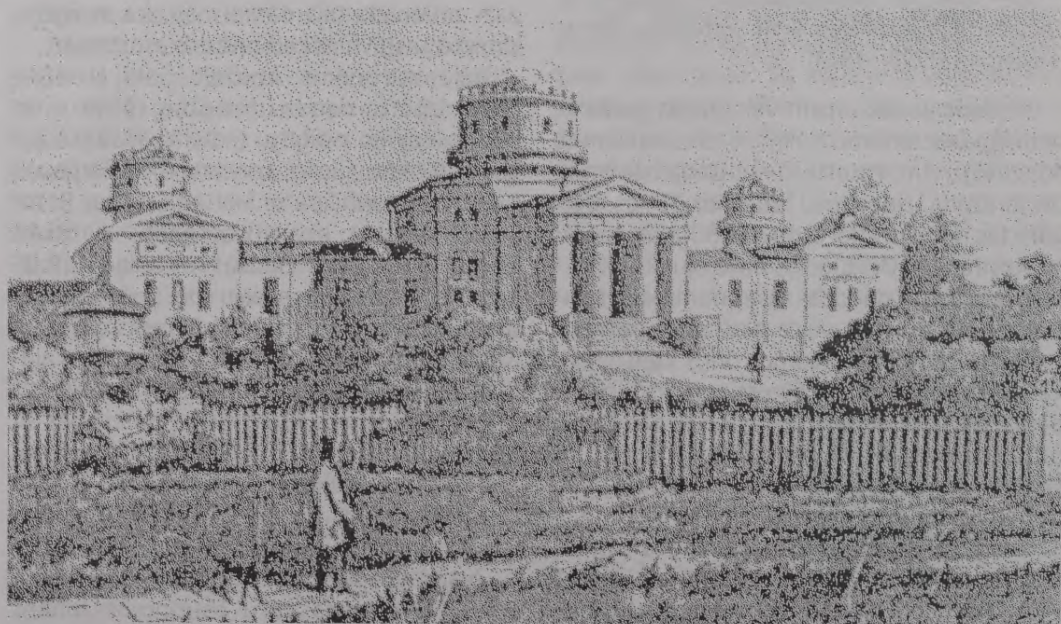


2.19. att. Tērbatas (tagad Tartu, Igaunijā) observatorijas refraktors.

salīdzināts ar kāda zināma gaismas avota spožumu. Ar jauno ierīci viņš veica precīzus zvaigžņu un planētu spožuma mērījumus. 20. gs. sākumā izgudroja fotoelektrisko fotometru, ar kuru zvaigžņu spožumu varēja noteikt ar precizitāti līdz $0^m,01$. Fotometrijā ar nelielām izmaiņām lietoja sengrieķu astronoma Hiparha ieviesto zvaigžņu spožuma skalu.

Atklājumi zvaigžņu pasaulē. Vislabāk pieejama izpētei bija Saule — Zemei tuvākā zvaigzne. **Pēc ilgstošiem novērojumiem 1843. gadā konstatēja, ka Saules plankumu skaits periodiski mainās.** Astronomi uzsāka regulārus Saules novērojumus. Tika izpētīta Saules rotācija un veidojumi uz redzamās virsas, atklātas protuberances un uzliesmojumi.

Viduslaikos astronomi Eiropā novēroja divu spožu zvaigžņu uzliesmojumus. Šādu parādību astronomiem vairāk negadījās novērot līdz 1848. gadam, kad Čūsksneša zvaigznājā uzliesmoja nova. Vēlāk atklāja zvaigžņu uzliesmojumus arī citos zvaigznājos. 1885. gadā novēroja pirmo supernovas uzliesmojumu citā galaktikā — Andromedas miglājā. Sākās novu un supernovu izpēte, taču šo zvaigžņu uzliesmojumu teoriju izdevās izveidot tikai 20. gs.

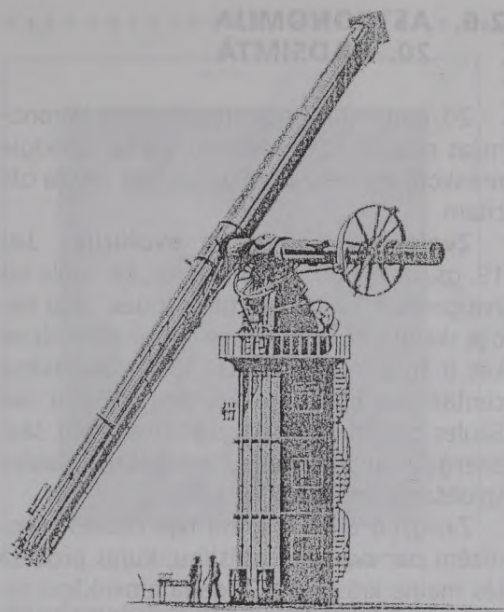


2.20. att. Pulkovas observatorija 19. gadsimtā.

**Observatorijas un teleskopi 19. gad-
simtā.** 19. gs. daudzās pasaules valstīs vei-
dojās astronomiskās observatorijas. Krievijā
1809. gadā nodibināja Tērbatas (Tartu) obser-
vatoriju. Krievu astronoms un ģeodēzists
Vasilijs Struve tajā veica dubultzvaigžņu no-
vērojumus un zvaigžņu attāluma mērijumus
ar 24 cm diametra refraktoru (2.19. att.). Ar
šo teleskopu V. Struve atklāja vairāk nekā
2300 jaunas dubultzvaigznes. Kad 1839. gadā
izveidoja Pulkovas observatoriju Sankt-
Pēterburgas tuvumā, V. Struve kļuva par tās
direktoru. Viņa vadībā Pulkovās observatorija
uz ilgāku laiku kļuva par pasaules galveno
astrometrisko observatoriju (2.20. att.). Svarī-
gākajiem novērojumiem tajā izmantoja re-
fraktoru, kura objektīva diametrs bija 38 cm.

Teleskopu pilnveidošana turpinājās. Ar lēcu slīpē-
šanas mākslu izcēlās vācu un amerikāņu optiķi, kuri
sāka izgatavot arvien lielākus lēcu objektīvus. 1875.
gadā Vašingtonā uzstādīja refraktoru, kura objektīva
diametrs 66 cm, bet 1885. gadā Pulkovā — tele-
skopu, kura objektīva diametrs 76 cm. Drīz pēc tam
franču optiķi Medonas observatorijai izgatavoja vēl
lielāku refraktoru ar objektīvu, kura diametrs 83 cm.

Strauji attīstījās astronomija ASV. Divi
lielākie sasniegumi refraktoru būves jomā
pieder ASV. Lika observatorijā Kalifornijā tika
uzstādīts refraktors ar 91 cm objektīva dia-
metru, bet 1897. gadā Jerkīza observatorijā
Viskonsinas štatā (ASV) sāka darboties pa-
saulē lielākais refraktors, kura objektīva dia-
metrs 102 cm (2.21. att.). Lielāki refraktori
vairs netika būvēti, jo bija sasniegta lēcu
teleskopu izmēru robeža. Vēl lielāka diametra
lēcas pārāk stipri vājina gaismu, kā arī defor-
mējas sava svara dēļ un izliec teleskopa cauruli.



2.21. att. Pasaulē lielākais lēcu teleskops.

Kaut arī spoguļteleskopus varēja izgatavot
lielākus nekā lēcu teleskopus, tomēr 19. gs.
tie vēl nebija plaši izplatīti. Lielus spoguļteles-
kopus būvēja angļu astronoms Viljams Lasels
(1799—1880). Viņa pirmais teleskops bija ar
61 cm diametru, bet otrais teleskops atkā-
rtoja V. Heršela sasniegumu — 122 cm. Vēl lie-
lāku spoguļteleskopu ar 183 cm diametru un
17 m fokusa attālumu 1845. gadā izgatavoja
īru astronoms Viljams Pārsons (1800—1867).
Ar to viņam izdevās saskatīt daudzu miglāju
spirālveida struktūru. Šis teleskops izmēru
ziņā palika nepārspēts līdz pat 20. gs.
sākumam.

Jautājumi.

1. Kādi V. Heršela atklājumi paplašināja izpētītā Visuma robežas?
2. Kāda saistība pastāv starp meteorītiem, meteoriem un komētām?
3. Kā tika atklāts Neptūns?
4. Kāpēc tikai 19. gs. izdevās noteikt attālumus līdz zvaigznēm?
5. Kādas trīs metodes tika ieviestas astronomijā 19. gs.? Ko jaunu tās deva?
6. Kāds astronomiskais atklājums 19. gs. neapstiprinājās?
7. Kāpēc mūsdienās nebūvē lēcu teleskopus, kuru objektīva diametrs pārsniedz 1 m?

2.6. ASTRONOMIJA 20. GADSIMTĀ

20. gadsimtā strauji attīstījās visas astronomijas nozares. Dažādas teorijas un spēcīgie teleskopi veicināja atklājumus, kuri sekoja cits citam.

Zvaigžņu uzbūve un evolūcija. Jau 19. gs. otrajā pusē bija zināms, ka Saule un zvaigznes ir kvēlojošas gāzu lodes, taču nebija skaidrs, kā norisinās zvaigžņu attīstība un kas ir to enerģijas avots. Saules spīdēšanu centās izskaidrot ar komētu krišanu vai Saules pakāpenisku saspiešanos, taču šādi enerģijas avoti nespētu nodrošināt Saules spīdēšanu pietiekami ilgu laiku.

Zvaigžņu dažādā krāsa bija cēlonis hipotēzēm par zvaigžņu attīstību, kuras procesā tās maina krāsu. 1912. gadā amerikāņu astronoms Henrijs Noriss Rasels (1877—1957) pabeidza dāņu astronoma Ajnara Hercšprunga (1873—1967) iesākto darbu milzīga daudzuma zvaigžņu spektru salīdzināšanā un

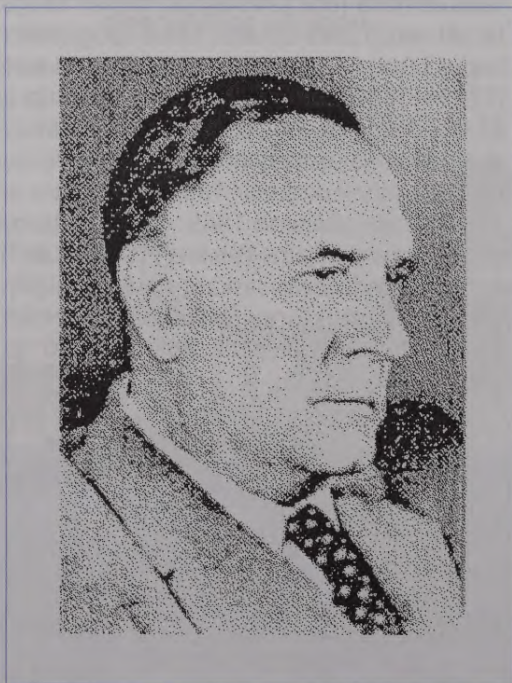
izveidoja t. s. Hercšprunga—Rasela diagrammu. Šai **diagrammai bija liela nozīme zvaigžņu uzbūves un evolūcijas izpratnē.**

Pirmo zvaigžņu atmosfēras uzbūves teoriju 20. gs. sākumā izveidoja vācu astronoms Karls Švarcšilds (1873—1916). Tika izvirzītas idejas, ka zvaigžņu spīdēšanu uztur tādi procesi kā radioaktivitāte vai anihilācija. Taču 1920. gadā angļu astronoms Arturs Edingtons (1882—1944) izteica hipotēzi, ka zvaigžņu enerģijas avots ir kodoltermiskās reakcijas. 1938. gadā to apstiprināja konkrētu kodolreakciju ciklu atklāšana. A. Edingtons izstrādāja zvaigžņu uzbūves teoriju, kas aprakstīja zvaigznes raksturlielumus un procesus tās iekšienē. Pamatojoties uz šīs teorijas vienādojumiem, varēja veidot zvaigžņu matemātiskos modeļus. K. Švarcšilda un A. Edingtona pētījumi kļuva par pamatu mūsdienu zvaigžņu uzbūves teorijai.

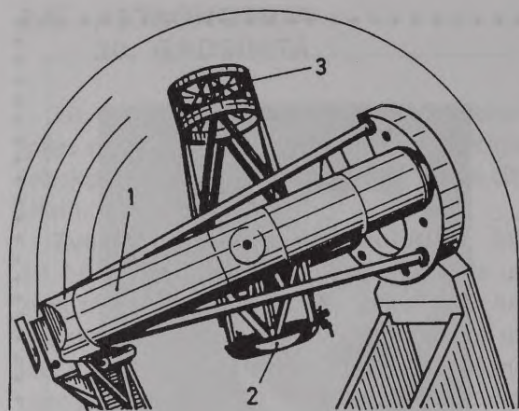
Sasniegumi zvaigžņu uzbūves un enerģijas avotu izpētē sekmeja detalizētas zvaigžņu evolūcijas teorijas izveidi, kas labi izskaidroja zvaigžņu izvietojumu Hercšprunga—Rasela diagrammā. Šī teorija ir daudzu zinātnieku kopīga darba rezultāts.

Galaktikas uzbūve. Nīderlandiešu astronoms Jakobuss Korneliuss Kapteins (1851—1922) turpināja V. Heršela uzsāktos zvaigžņu izvietojuma pētījumus. Viņš noteica zvaigžņu izvietojuma blīvumu dažādos virzienos un attālumos no Galaktikas plaknes un izveidoja Galaktikas modeli. Pētot zvaigžņu kustību, J. Kapteins konstatēja, ka pastāv divas zvaigžņu plūsmas, kas pārvietojas pretējos virzienos. 1927. gadā cits nīderlandiešu astronoms Jans Hendriks Orts (1900—1992) pierādīja, ka šo redzamo efektu izraisa zvaigžņu un Saules riņķošana ap Galaktikas centru.

Galaktikas izmēru noskaidrošana galvenokārt saistās ar amerikāņu astronoma Hārlova Šeplija (1885—1972) vārdu. Viņš noteica attālumus līdz lodveida zvaigžņu kopām, kuri izrādījās ļoti lieli. H. Šeplijs izveidoja Galaktikas modeli, saskaņā ar kuru Galaktikas centrs atradās Strēlnieka zvaigznāja virzienā. H. Šeplija noteiktie Galaktikas izmēri tomēr bija pārāk lieli. Vēlāk galaktisko attālumu skala tika precizēta.



**Amerikāņu astronoms Edvins Habls
(1889—1953)**



2.22. att. Palomara kalna observatorijas reflektors:

1 — montējums, 2 — galvenais spogulis, 3 — novērotāja kabīne.

atklāja arī eksperimentāli. A. Einšteins uzskatīja, ka Visums ir laikā nemainīgs, taču, lai tas būtu spēkā, viņam nācās ieviest savos vienādojumos atgrūšanās spēku jēdzienu.

Ja Visums izplešas, tad saprotams, ka kādreiz šī izplešanās ir sākusies. A. Fridmanis novērtēja, ka tas noticis pirms 10 mljrd. gadu. Aktuāls kļuva jautājums, — kā Visums ir radies? Neatkarīgi no A. Fridmaņa 1927. gadā beļģu astronoms Žoržs Lemētrs (1894—1966) izvirzīja ideju par Visuma rašanos un tālāku izplešanos.

Konkrētāku, *fizikāli izstrādātu Visuma rašanās teoriju* 1946. gadā izveidoja krievu izcelsmes amerikāņu fiziķis Džordžs Gamovs (1904—1968). Saskaņā ar šo teoriju Visums bija radies, katastrofiski strauji izplešoties ļoti karstam, blīvam un masīvam veidojumam. Vēlāk to nosauca par Lielā Sprādziena teoriju. Dž. Gamovs paredzēja, ka mūsdienās jābūt novērojamai Lielā Sprādziena "atbalsij" — relikststarojumam. Aptuveni pēc divdesmit gadiem šāds starojums tika atklāts.

Atklājumi Saules sistēmā. Uz visu šo sniegumu fona atklājumi Saules sistēmā var likties mazāk nozīmīgi, taču arī tiem ir sava vieta astronomijas attīstībā. *Amerikāņu astronoms Klaidis Tombo (1906) pēc ilgiem meklējumiem 1930. gadā atklāja devīto Saules*

sistēmas planētu — Plūtonu. Ar spēcīgiem teleskopiem tika detalizēti izpētīta planētu virsa, atklāti vairāki planētu pavadoņi, daudzas mazās planētas. Arvien palielinājās ik gadus atklāto komētu skaits. 1910. gadā astronomi intensīvi novēroja Haleja komētu tās kārtējā atgriešanās reizē. J. Orts izteica hipotēzi, ka Saules sistēmas ārējā daļā atrodas liels komētu mākonis, no kura laiku pa laikam kāda komēta nokļūst Saules tuvumā.

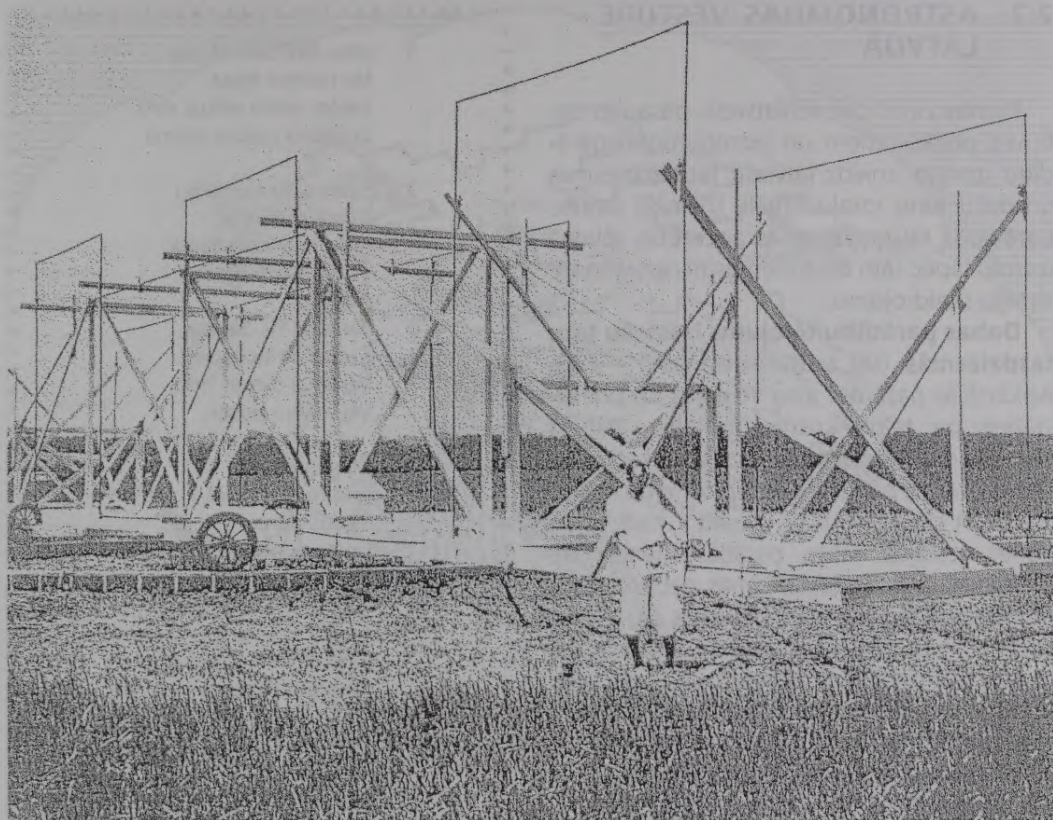
Teleskopi 20. gadsimtā. Kopš 20. gs. sākuma par galveno astronomisko instrumentu kļuva spoguļteleskops.

1908. gadā Vilsona kalna observatorijā (ASV) tika uzstādīts teleskops ar 1,5 m diametra spoguļi. Vēlāk 1917. gadā šajā observatorijā uzstādīja teleskopu ar spoguļi, kura diametrs bija 2,5 m. Ar to veikti daudzi nozīmīgi atklājumi. Vairāk nekā 30 gadus tas bija spēcīgākais teleskops pasaulē, kamēr 1948. gadā Palomara kalna observatorijā (ASV) sāka darboties milzīgs reflektors ar 5 m diametru (2.22. att.). Ar to varēja "ieskatīties" Visuma dziļēs daudz tālāk nekā ar iepriekš uzbūvētajiem teleskopiem. Šis teleskops palika lielākais pasaulē līdz pat 1975. gadam.

Radioastronomijas izveidošanās. 20. gs. 40. gados sāka veidoties jauna astronomijas nozare — radioastronomija. 1931. gadā tika atklāts kosmiskais radiostarojums. Sešus gadus vēlāk uzbūvēja pirmo radioteleskopu. Pēc Otrā pasaules kara sākās strauja radioastronomijas attīstība.

Pētot atmosfēras radiotraucējumus, amerikāņu inženieris K. Janskis konstatēja pastāvīgu radiostarojumu, kas nāca no Piena Ceļa apkaimes. Viņš secināja, ka starojumam ir kosmiska izcelsme. Sākumā ne astronomi, ne radioinženieri šim atklājumam nepievērsa uzmanību. Pētījumus turpināja vienīgi cits amerikāņu inženieris G. Rebers, kurš sastādīja pirmo debess radiokarti un atklāja Saules radiostarojumu. Tā, lūk, pat 20. gadsimtā atkārtojās situācija, kad pētījumi pavisam jaunā zinātnes nozarē tika uztverti skeptiski vai pat nepamanīti!

Kvalitatīvās pārmaiņas astronomijā. 20. gs. vidū sākās jauns, kvalitatīvs posms



2.23. att. K. Janska izveidotā antena, ar kuru atklāja kosmisko radiostarojumu.

astronomijas attīstībā. Pēc pirmajiem novērojumiem ar radioteleskopiem sekoja novērojumi no stratosfēras baloniem infrasarkanajā un ultravioletajā starojuma diapazonā. Līdz ar kosmiskās ēras sākumu astronomiskos instrumentus sāka sūtīt kosmosā. Sākās novērojumi visos elektromagnētiskā starojuma

diapazonos. Šī pāreja būtiski paplašināja debess ķermeņu izpētes iespējas.

Iztēlojieties cilvēku, kurš visu laiku pasauli redzējis melnbaltu, bet nu pēkšņi to ieraudzījis krāsās!

Pasaules astronomijas attīstības apskats noslēdzas ar 20. gs. vidu.

Jautājumi.

1. Kāds ir zvaigžņu spīdēšanas cēlonis?
2. Kāda planēta tika atklāta 20. gs.?
3. Kas patiesībā ir spirālveida miglāji?
4. Kurš zinātnieks teorētiski atklāja Visuma izplešanos un kurš — to pierādīja eksperimentāli?
5. Vai Ņūtona teorija no Einšteina teorijas viedokļa ir nepareiza?
6. Kāds atklājums apstiprināja Lielā Sprādziena teoriju?
7. Kāda nozīme bija pārejai uz novērojumiem visos starojuma spektra diapazonos?

2.7. ASTRONOMIJAS VĒSTURE LATVIJĀ

Pirmās ziņas par senlatviešu pasaules uzbūves priekšstatiem un astronomisko parādību izpratni sniedz latviešu tautasdziesmas un dažu seno rotaļu rituāli. Diemžēl debess parādības tautasdziesmās apcerētas tēlainā formā, tāpēc tām bieži vien grūti rast viennozīmīgu skaidrojumu.

Dabas parādību tēlojums latviešu tautasdziesmās (sk. tautasdziesmas 1.—14.). Apkārtējās pasaules aina veidojās no priekšstatiem par telpu, kustību un laiku. *Debess velvi jeb debess sfēru senlatvieši uzskatīja par debess kalnu, pa kuru augšup un lejup kustas Saule un citi spīdekļi* (2.24. att.). Kad Saule noriet, iestājas nakts, parādās Mēness un zvaigznes (1.). Tautasdziesmās debess kalnu norobežo gan jūra, gan Daugava (2.). Šī robeža ir horizonts — līnija, kas dala pasauli divās daļās: debess un zemes daļā. Dienā laiku skaitīja pēc Saules, dalot dienu trīs daļās — rītā, pusdienlaikā (launagā) un vakarā (3.). Naktī laiku skaitīja pēc zvaigznēm, īpaši — pēc Sietiņa (4.).

Senlatvieši bija labi izpētījuši Mēness fāžu maiņu, zināja, ka Mēness uz trīs dienām pazūd Saules tuvumā (5.). Tautasdziesmās izskan mēģinājumi rast atbildi uz jautājumu, kur naktī paliek Saule (6.). Tāpat bija pazīstams Saules ceļš pie debess — Saules taka (7.) un ievērots, ka vasarā Mēness kustas pie debess tāpat kā Saule ziemā (8.). Īpaši tika izcelta vasaras saulgriežu nakts (9.).

No planētām senlatvieši vislabāk bija ievērojuši spožo Veneru, kad tā redzama no rītiem kā Auseklis (10.). Tautasdziesmās tēlaini minēti Dieva dēli un Saules meitas. Par to astronomisko nozīmi pētnieku domas dalās. Acīmredzot senlatviešiem bija arī savi zvaigznāju nosaukumi, diemžēl tos grūti identificēt ar pašlaik pieņemtajiem. Tautasdziesmās zvaigznāji nosaukti par dārzjiem. Viens no tādiem ir Jāņa dārzs (11.). Iespējams, ka tautasdziesmas satur informāciju par konkrētiem astronomiskiem notikumiem: Saules aptumsumiem (12.), komētu parādīšanos (13.), planētu tuvošanos (14.).

1. Lēni, lēni Dieviņš jāja
No kalniņa lejiņā;
Saules meita vārtus vēra,
Zvaigžņu cimdus rociņā.

2. Saule savu kumeliņu
Jūriņā peldināja,
Rītos agri uzlēkdama,
Vakaros noiedama.

3. Parādies tu, Saulīte,
Kuru vidu tu ligoji;
Vai ligoji dienas vidu,
Vai vakara pusītē.

4. Māmiņa mīļā,
Laid meitas gulēt,
Sietiņš ritina
Launaga pusē.

5. Saul' sacirta Mēnestiņu
Ar aso zobentiņu,
Kam atņēma Ausekļam
Saderētu līgaviņu.

6. Kas to teica, kas meloja,
Ka Saulīte naktī guļ?
Vai Saulīte tur uzlēca,
Kur vakar norietēja?

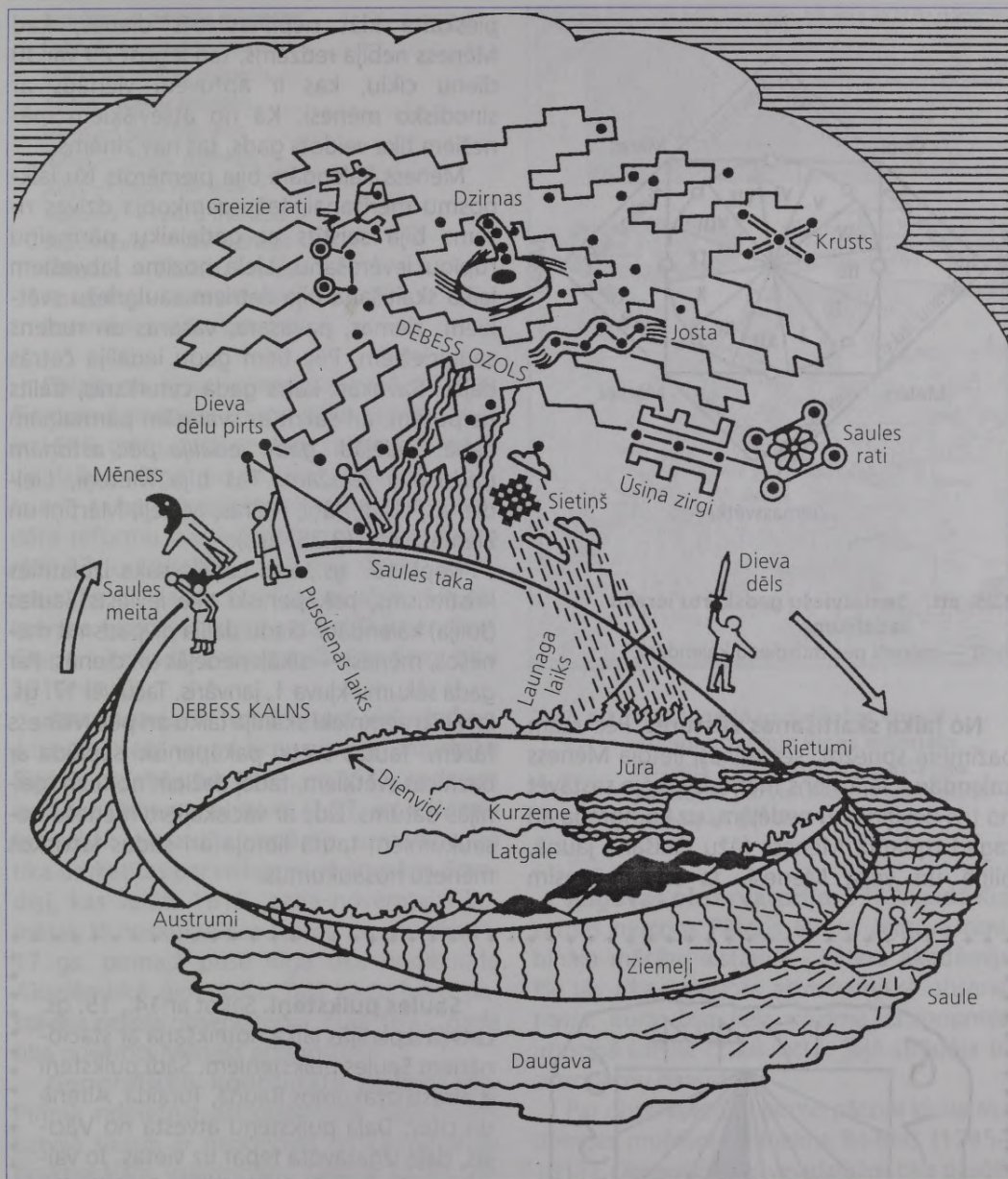
7. Kupla liepa izaugusi
Saules taka maliņā;
Tur Saulīte jostu kāra,
Ik vakarus noiedama.

8. Ei, Saulīt, Mēnestiņ,
Kā jūs skaisti mijaties:
Kur Saulīte ziemu tek,
Tur vasaru Mēnesnīca.

9. Īsa, īsa Jāņu nakts
Par visām naksniņām:
Vienā malā Saule gāja,
Otrā Saule uzlīgoja.

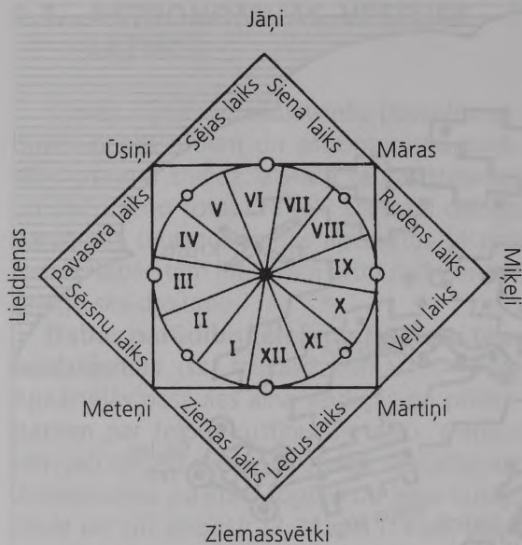
10. Auseklītis agri lēca,
Saules meitas gribēdams.
Lec, Saulīte, pati agri,
Nedod meitas Ausekļam.

11. Nevienam tāda dārza,
Kā tam mūsu Jānišam:
Zelta sēta, vara vārti,
Sidrabiņa atslēdziņa...



2.24. att. Pasaules uzbūves un debess spīdekļu (arī zvaigznāju) attēlojums senlatviešu skatījumā. Latviešu tautasdziesmās minētie zvaigznāji: Greizie Rati (Lielais Lācis), Dzirnas (Mazais Lācis un Polārsvaigzne debess ozola vidū), Krusts (Gulbis), Josta (Kasiopeja), Ūsiņa Zirgi (Andromeda), Saules Rati (Pegazs), Dieva dēlu pirts (Dviņi). [Izveidots pēc dažu autoru pieņēmumiem.]

| | | |
|--|---|---|
| + + + + +
+ 12. Spīguļo, Saulīte,
+ Spīguļo, spīguļo!
+ Met melnu kreklu zemē,
+ Velc baltu mugurā!
+ + + + + | + 13. Saule laida Mēnešam
+ Ar sidraba čakārnīti,
+ Kam tas gaiši nespīdēja
+ Tumšajā naksniņā.
+ + + + + | + 14. Div' svecītes jūrā dega
+ Sudrabiņa lukturos:
+ Tās dedzina Dieva dēli,
+ Saules meitu gaidīdami.
+ + + + + |
|--|---|---|



2.25. att. Senlatviešu gadskārtu ieražu iedalījums.

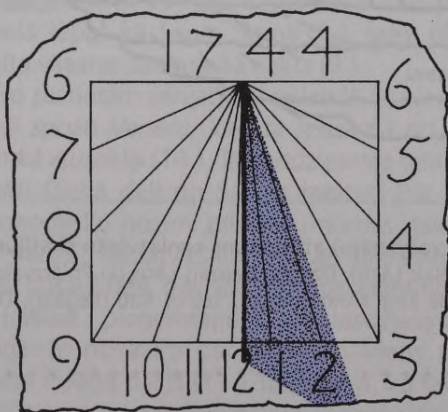
Vidū — mēneši pēc mūsdienu kalendāra.

No laika skaitīšanas vēstures. Pēc visām pazīmēm spriežot, senlatvieši lietoja Mēness kalendāru. Tajā viens mēnesis varēja sastāvēt no trīs deviņdienu nedēļām, uz ko norāda arī tagad izplatītā Mēness fāžu dalīšana jaunā, pilnā un vecā Mēnesī. Ja šim mēnesim

pieskaita klāt nepilnas trīs dienas, kad Mēness nebija redzams, tad iegūst 29 vai 30 dienu ciklu, kas ir aptuveni vienāds ar sinodisko mēnesi. Kā no atsevišķiem mēnešiem tika veidots gads, tas nav zināms.

Mēness kalendārs bija piemērots īsu laikposmu mērīšanai, taču zemkopja dzīves ritums bija saistīts ar gadalaiku pārmaiņu rūpīgu ievērošanu. Liela nozīme latviešiem laika skaitīšanā bija četriem saulgriežu svētkiem: ziemas, pavasara, vasaras un rudens saulgriežiem. Pēc tiem gadu iedalīja četrās daļās. Savukārt katrs gada ceturksnis, dalīts uz pusēm, arī sakrīt ar svarīgām pārmaiņām dabā. Tādējādi *gadu iedalīja pēc astoņām gadskārtu ieražām*. Tās bija Meteņi, Lieldiēnas, Ūsiņi, Jāņi, Māras, Miķeļi, Mārtiņi un Ziemassvētki (2.25. att.).

Kopš 13. gs., kad Latvijā sāka izplatīties kristietisms, pakāpeniski tika ieviests Saules (Jūlija) kalendārs. Gadu dalīja divpadsmit mēnešos, mēnesi — sīkāk nedēļās un dienās. Par gada sākumu kļuva 1. janvāris. Taču vēl 17. gs. latviešu zemnieki skaitīja laiku arī pēc Mēness fāzēm. Tautas svētki pakāpeniski saplūda ar baznīcas svētkiem, tādēļ dažiem no tiem mainījās datums. Līdz ar vāciskajiem mēnešu nosaukumiem tautā lietoja arī šādus latviskos mēnešu nosaukumus.



2.26. att. Saules pulkstenis Jāņa baznīcā Cēsīs.

Saules pulksteņi. Sākot ar 14., 15. gs. Latvijā izplatījās laika noteikšana ar stacionāriem Saules pulksteņiem. Šādi pulksteņi ir atrasti izrakumos Raunā, Turaidā, Altenē un citur. Daļa pulksteņu atvesta no Vācijas, daļa izgatavota tepat uz vietas. Jo vairāk radās nepieciešamība pēc precīza laika, jo arvien plašāk sāka lietot Saules pulksteņus. Viens no vecākajiem darba kārtībā esošajiem Saules pulksteņiem atrodas Cēsīs, Jāņa baznīcas sienā (2.26. att.). Tas izgatavots 1744. gadā. Vēlāk izgatavoja pārnēsājamus Saules pulksteņus. Saules pulksteņus laika noteikšanai izmantoja līdz 19. gs. vidum.

Janvāris — ziemas mēnesis
 Februāris — sveču mēnesis
 Marts — sērsnu mēnesis
 Aprīlis — sulu mēnesis
 Maijs — lapu mēnesis
 Jūnijs — ziedu mēnesis
 Jūlijs — liepu mēnesis
 Augusts — rudzu mēnesis
 Septembris — silu mēnesis
 Oktobris — zemliku mēnesis
 Novembris — sala mēnesis
 Decembris — vilku mēnesis

Pāreja no Jūlija kalendāra (vecā stila) uz Gregora kalendāru (jauno stilu) Latvijā sākās ar 1586. gadu, taču ne visos Latvijas novados vienlaikus. Rīgā pat notika "kalendāra nemieri" — bagātie pilsētnieki izmantoja kalendāra reformu par ieganstu cīņai pret Rīgas rāti. 17. un 18. gs., mainoties varai Latvijā, mainījās arī laika skaitīšanas stils. 19. gs. Latvijas teritorijā lietoja vecā stila kalendāru. Gregora kalendāru visā Latvijā sāka lietot tikai 1919. gadā.

Astronomiskie novērojumi viduslaikos.

Atsevišķi novērojumi tika veikti arī viduslaiku Rīgā. Ir saglabājušies 1531. un 1577. gada komētu novērojumu apraksti (2.27. att.). Komētas tolaik piesaistīja vispārēju uzmanību, jo tika uzskatītas par nelaimju vēstnesēm. Sprediķi, kas veltīts 1618. gadā novērotajai komētai, tā nosaukta par "dieva dusmu rīksti". 17. gs. pirmajā pusē Rīgā tika nodibināta Akadēmiskā ģimnāzija. Tajā kādu laiku pastāvēja neliela observatorija, kurā 1697. gadā tika novērots Mēness aptumsums.

Ģeogrāfisko koordinātu noteikšana.

Pirmie nopietnie astronomiskie novērojumi Latvijā saistīti ar ģeodēzijas un kartogrāfijas praktiskajām vajadzībām. Latvijā 18. gs. otrajā pusē sākās ģeogrāfisko koordinātu mērīšana ar astronomiskām metodēm. Šos darbus uzsāka krievu astronomi, jo lielākā daļa Latvijas teritorijas tolaik ietilpa Krievijas impērijas sastāvā. Vidzemē 1816. gadā sākās plaši zemes uzmērīšanas darbi, kurus vadīja krievu astronoms V. Struve. Tika izveidots triangulācijas tīkls, kas bija nepieciešams precīzu karšu sastādīšanai. Mērījumos piedalījās arī Rīgas un Jelgavas astronomi.



2.27. att. 1664. gadā parādījušos komētu rūpīgi novēroja Rīgas mērnieks Johans Svenburgs. Viņš attēloja komētas pārvietošanos un izskata izmaiņas gravūrā.

Jelgavas observatorija. 1775. gadā Kurzemes hercogs Pēteris Bīrons Jelgavā nodibināja mācību iestādi — Pētera akadēmiju. Pie tās tika izveidota astronomiskā observatorija, kurai bija liela nozīme astronomijas attīstībā Latvijā (2.28. att.). Tajā strādāja trīs astronomu paaudzes.

Par observatorijas pirmo pārzini kļuva akadēmijas profesors Vilhelms Beitlers (1745—1811). Observatorijas vajadzībām tika pasūtīti dažādi tālskati un leņķu mērīšanas instrumenti. V. Beitlers kļuva par prasmīgu novērotāju. Viņš noteica observatorijas koordinātas, novēroja vairākus Saules aptumsumus u. c. astronomiskās parādības. V. Beitlera darbi tika publicēti Eiropas zinātniskajos žurnālos. 19. gs. sākumā Pētera akadēmija kļuva par Jelgavas ģimnāziju. V. Beitleram piedāvāja darbu citur, taču viņš palika Jelgavā un turpināja novērojumus līdz mūža galam.

Viņa vietā 1813. gadā Jelgavas observatorijā sāka strādāt Magnuss Georgs Paukers (1787—1855). Pēc viņa iniciatīvas Jelgavā nodibināja Kurzemes literatūras un mākslas biedrību, kas lielu uzmanību veltīja arī dabaszinātņu jautājumiem. Tajā darbojās vairāki pazīstami zinātnieki, to skaitā *pirmais Latvijas meteorītu pētnieks Teodors Grothuss* (1785—1822), kurš *izpētīja 1820. gadā Līksnā nokritušo meteorītu.*

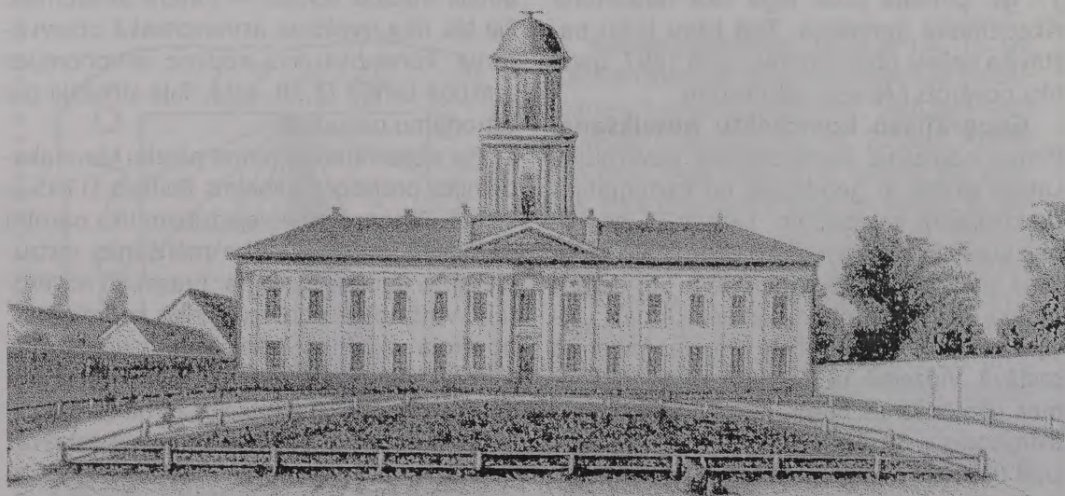
G. Paukers turpināja Jelgavas koordinātu precizēšanu, kā arī noteica Kolkas raga ģeogrāfiskās koordinātas un piedalījās V. Struves vadītajos ģeodēziskajos darbos Vidzemē. Viņš novēroja aptumsumus un zvaigžņu aizklāšanu ar Mēnesi. G. Paukera darbi publicēti gan minētās biedrības rakstu krājumā, gan citur. Atzīstot viņa nopelnus, G. Paukeru ievēlēja par Pēterburgas Zinātņu akadēmijas korespondētājlocekli. 1841. gadā sākās ģimnāzijas ēkas pārbūve, kuras rezultātā tika likvidēta vieta astronomisko instrumentu novietošanai. Drīz pēc tam G. Paukers aizgāja pensijā. Jelgavas observatorijas darbība apstājās.

Kopš 1847. gada par observatorijas pārzini 30 gadus strādāja Augusts Napjerskis (1823—1885). Viņa darbības laikā ģimnāzijas pagalmā uzbūvēja nelielu observatoriju, kurā turpinājās Jelgavas ģeogrāfiskā platuma

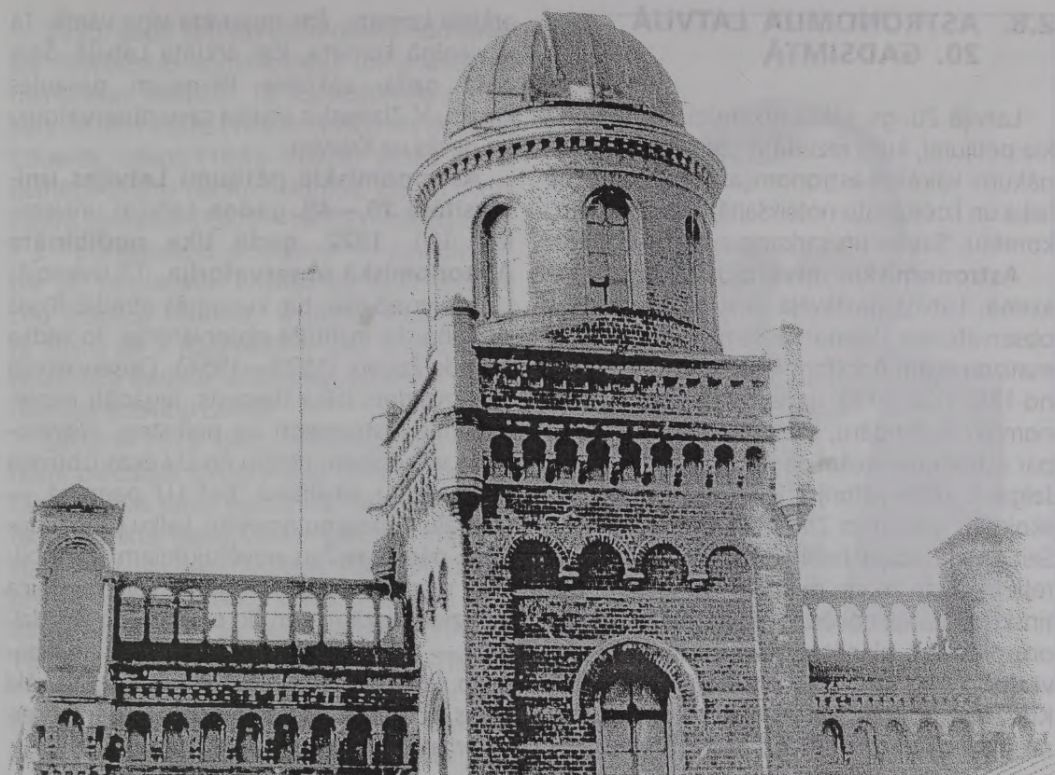
mērījumi. 1919. gadā ģimnāzijas telpas izpostīja bermontieši, līdz ar to beidzās vairāk nekā simts gadus ilgā observatorijas pastāvēšana.

Keislera observatorija Rīgā. Par saviem līdzekļiem astronomisku observatoriju Rīgas pilī 1818. gadā iekārtoja Vilhelms Keislers (1777—1828). Observatorija bija labi apgādāta ar instrumentiem, taču astronomiskie novērojumi tajā notika neregulāri. V. Keislers novērojis 1818. gadā Saules aptumsumu un 1819. gadā komētu, noteicis observatorijas koordinātas un piedalījies V. Struves vadītajos uzmērīšanas darbos. Viņš bieži uzstājās ar publiskām lekcijām par astronomijas jautājumiem. Observatorija pastāvēja līdz viņa nāvei 1828. gadā.

Rīgas Politehnikuma observatorija. 19. gs. *pēdējā ceturksnī par astronomijas centru Latvijā kļuva 1862. gadā nodibinātais Rīgas Politehnikums* (2.29. att.). Tornī uz ēkas jumta tika iekārtota astronomiskā observatorija, kurā uzstādīja refraktoru ar 10 cm diametra objektīvu. Tajā veica novērojumus profesors Aleksandrs Beks (1847—1926). 1874. gadā viņš novēroja komētas parādīšanos, bet piecus gadus vēlāk — Sietiņa aizklāšanu ar Mēnesi. Šī novērojuma rezultāti veicināja Mēness kustības teorijas papildināšanu. Observatorijā notika arī praktiskās nodarbības studentiem.



2.28. att. Jelgavas observatorija.



2.29. att. Rīgas Politehnikuma observatorija (mūsdienu fotogrāfija).

A. Beks konstruēja vairākus oriģinālus astronomiskus instrumentus, t. s. nadinstrumentus ģeogrāfiskā platuma un precīzai laika noteikšanai. Diemžēl tie astronomijas praksē neieviesās. A. Beku var uzskatīt arī par kāda cita astronomiska instrumenta — prizmas astrolābijas izgudrotāju. Taču savu izgudrojumu viņš nerealizēja praksē. Dažus gadus vēlāk prizmas astrolābijas principu neatkarīgi no viņa atklāja un atbilstošu instrumentu uzbūvēja franču zinātnieki.

1897. gadā pēc Politehnikuma reorganizācijas par Rīgas Politehnisko institūtu A. Beks aizbrauca projām no Latvijas un astronomiskā darbība institūtā apsīka. Pirmā pasaules kara laikā (1915. g.) institūts tika evakuēts uz Krieviju un Rīgas Politehniskā institūta observatorija izbeidza savu darbību.

Jautājumi.

1. Kāds debess spīdeklis visbiežāk ir pieminēts latviešu tautasdziesmās?
2. Nosauciet astoņas latviskās gadskārtas!
3. Kad Latvijā pilnībā pārgāja uz Gregora kalendāra lietošanu?
4. Kāpēc ģeogrāfisko koordinātu noteikšanai jānovēro zvaigznes?
5. Cik gadus pastāvēja Jelgavas observatorija?
6. Kādās astronomijas jomās notika pētījumi Latvijā 19. gadsimtā?
7. Kāda astronomiskā observatorija 19. gs. sākumā sāka darboties Igaunijā?

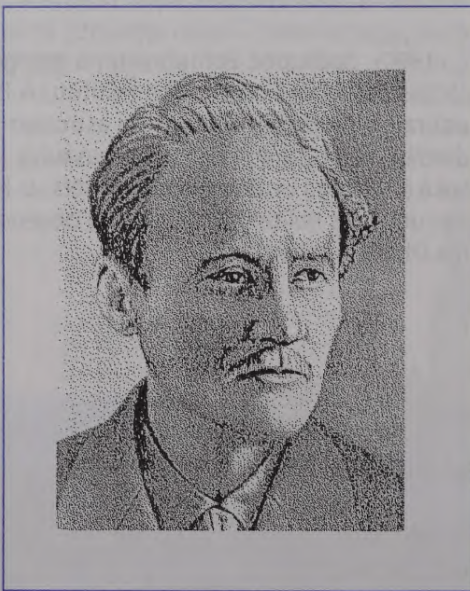
2.8. ASTRONOMIJA LATVIJĀ 20. GADSIMTĀ

Latvijā 20. gs. sākās nozīmīgi astronomiskie pētījumi, kuru rezultātā gūti atzīstami panākumi vairākās astronomijas jomās: pareizā laika un koordinātu noteikšanā, mazo planētu, komētu, Saules un sarkano zvaigžņu izpētē.

Astronomiskie novērojumi 20. gs. sākumā. Latvijā pastāvēja tikai dažas privātās observatorijas. Viena no tām piederēja grāmatizdevējam Ādolfam Rihteram. Laikposmā no 1890. līdz 1914. gadam viņš izdeva astronomisko kalendāru, kas saturēja plašas ziņas par astronomiskajām parādībām. 1910. gadā Jelgavā observatoriju iekārtoja ģimnāzijas skolotājs Vladimirs Zlatinskis (1884—1921). Šeit atradās tolaik lielākais teleskops Latvijā — reflektors ar 20 cm diametra spoguļi. V. Zlatinskis intensīvi novēroja aptumsumus, meteoru plūsmas, planētas, īpašu uzmanību pievēršot Jupiteram. Viņa novērojumi publicēti Krievijas un Francijas astronomijas biedrību rakstu krājumos. 1914. gadā V. Zlatinskis

atklāja komētu, kas nosaukta viņa vārdā. Tā ir vienīgā komēta, kas atklāta Latvijā. Šajā pašā gadā, sākoties Pirmajam pasaules karam, V. Zlatinskis atstāja savu observatoriju un devās uz Krieviju.

Astronomiskie pētījumi Latvijas universitātē 20.—40. gados. Latvijas universitātē (LU) 1922. gadā tika nodibināta **Astronomiskā observatorija**. Tā izvietojās LU galvenajā ēkā, tur, kur agrāk atradās Rīgas Politehniskā institūta observatorija. To vadīja Alfrēds Žagers (1878—1956). Observatorijā tika izveidots laika dienests, iegādāti nepieciešamie instrumenti un pulksteņi. Novērojumu vajadzībām netālu no LU ēkas izbūvēja novērojumu paviljonu, bet LU pagrabā — speciālu pulksteņu novietni. Laiku precīzi noteica pēc zvaigžņu novērojumiem un atbilstoši regulēja pulksteņu gaitu. Laiku noteica gan zinātniskām, gan tīri praktiskām vajadzībām — astronomiskā observatorija ziņoja parreizo laiku pastam un telegrāfam, vairāki Rīgas pulksteņi darbojās saskaņoti ar observatorijas laikrāžiem.



Fridrihs Canders (1887—1933) — viens no pirmajiem raķešu konstruktoriem pasaulē

Rīgā dzimis un jaunību pavadījis viens no pirmajiem raķešu konstruktoriem pasaulē Fridrihs Canders, pēc tautības baltvācietis. Jau studenta gados viņš aizrāvās ar ideju par kosmiskajiem lidojumiem. Pēc Rīgas Politehniskā institūta beigšanas F. Canders strādāja kādā Rīgas rūpnīcā, ar kuru kopā Pirmā pasaules kara laikā evakuējās uz Maskavu. Šeit viņš nodarbojās ar reaktīvo dzinēju konstruēšanu un starpplanētu lidojumu teoriju. F. Canderā vadībā tika izgatavota PSRS pirmā raķete ar šķidrās degvielas dzinēju "ГИРД-Х", kas sekmīgi tika izmēģināta 1933. gadā dažus mēnešus pēc izgudrotāja nāves. **F. Canders pirmais izvirzījis vairākas kosmonautikā svarīgas idejas:** ieteicis izmantot raķetes korpusa nevajadzīgās daļas kā degvielu, aprakstījis spārnoto raķeti, "saules buru" un planējošo nolaišanos, veicis daudzus starpplanētu lidojuma trajektoriju aprēķinus. Rīgā atrodas F. Canderā memoriālais muzejs.

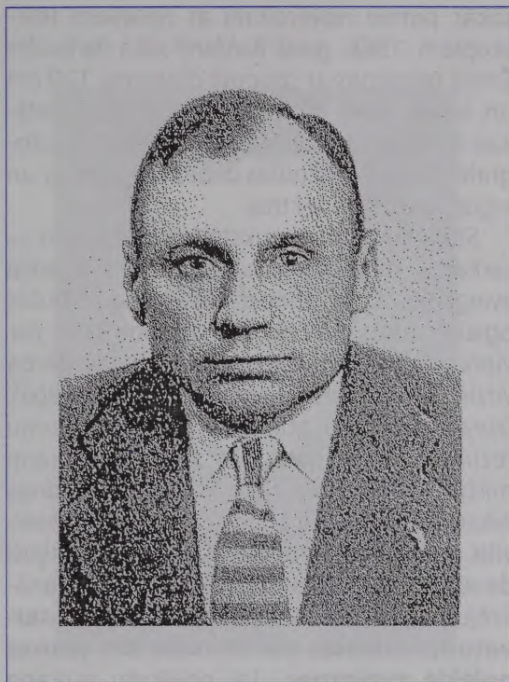
1925. gadā Latvijas universitātē nodibinā-
jās Teorētiskās astronomijas un analītiskās
mehānikas institūts. Tā līdzstrādnieki profes-
sors Alfrēds Kloze (1895—1953) un docents
Eduards Gēliņš (1883—1978) pētīja mazo
planētu orbītu raksturlielumus, bet docents
Eižens Leimanis (1905—1992) nodarbojās ar
t. s. "trīs ķermeņu problēmu" — pētījumiem
par to, kā planētas kustību ap Sauli ietekmē
citu planētu klātie. *Institūtā mācījās arī
K. Šteins un J. Ikaunieks — divi cilvēki, kuru
zinātniskā darbība ievērojami veicināja astro-
nomijas attīstību Latvijā.*

Sākot ar 1929. gadu, observatorijas astro-
nomi piedalījās ģeogrāfisko garumu noteik-
šanā Baltijas jūras valstīs. Ar lielu precizitāti
tika noteikta ģeogrāfisko garumu starpība
starp Rīgu un citām pilsētām. Paplašinājās ob-
servatorijas darbinieku skaits. Tajā sāka strādāt
privātdocenti Sergejs Slaučītājs (1902—
1982) un Staņislavs Vasiļevskis (1907—1988).

Observatorijas un institūta darbību pār-
trauca Otrais pasaules karš. Gandrīz visi uni-
versitātes astronomi 1944. gadā devās emi-
grācijā. S. Vasiļevskis vēlāk ar panākumiem
strādāja astrometrijas jomā ASV, bet E. Lei-
manis Kanādā kļuva par debess mehānikas
speciālistu.

F. Blumbaha darbība. Astronoms un
metrologs Fricis Blumbahs (1864—1949) dzi-
mis un mācījies Latvijā, taču lielāko mūža
daļu pavadījis ārpus tās. Jaunībā F. Blumbahs
neilgi strādāja Pulkovas observatorijā, bet
kopš 1893. gada ilgu laiku strādāja Krievijas
Galvenajā mēru un svaru palātā krievu ķīmiķa
D. Mendeļejeva vadībā, kur nodarbojās ar
metroloģijas jautājumiem, taču neaizmirstot
arī astronomiju. F. Blumbahs vadījis vairākas
izbraukuma ekspedīcijas pilnu Saules aptum-
sumu novērošanai, kuru rezultātā iegūti jauni
dati par Saules vainaga uzbūvi. Pakāpeniski
*F. Blumbahs kļuva par vienu no vadošajiem
speciālistiem metroloģijā.* 1921. gadā viņš de-
vās uz Angliju pārraudzīt metroloģisko un
astronomisko iekārtu izgatavošanu Krievijas
vajadzībām. No turienes 1939. gadā F. Blum-
bahs atgriezās Latvijā.

Latvijas universitātē uz observatorijas un
institūta bāzes 1944. gadā tika izveidota



Latviešu astronoms Jānis Ikaunieks
(1912—1969)

Astronomijas katedra. F. Blumbahs kļuva par
tās vadītāju. Viņš vadīja arī 1946. gadā nodi-
bināto Latvijas PSR Zinātņu akadēmijas Astro-
nomijas sektoru.

Radioastrofizikas observatorija. Pēc
Otrā pasaules kara astronomiskie pētījumi
Latvijā notika divās iestādēs. Latvijas univer-
sitātē turpinājās laika dienesta darbība, bet
Zinātņu akadēmijā astronomi pievērsās astro-
fizikai. Pēc F. Blumbaha par Astronomijas sek-
tora vadītāju kļuva Jānis Ikaunieks. Zinātnis-
ķajam darbam paplašinoties, Astronomijas
sektors 1958. gadā kļuva par Astrofizikas la-
boratoriju, bet 1967. gadā — par Radioastro-
fizikas observatoriju.

Jaunā astronomu kolektīva pirmie pētījumi
attiecās uz zvaigžņu telpisko sadalījumu
Galaktikā. Tos veicot, kļuva skaidrs, ka nepie-
ciešams veikt novērojumus ar daudz moder-
nākiem instrumentiem gan optiskajā diap-
zonā, gan radiodiapazonā. Baldones tuvumā
Riekstukalnā 1957. gadā sākās novērošanas
bāzes celtniecība, un jau nākamajā gadā

sākās pirmie novērojumi ar nelieliem teleskopiem. 1966. gadā Baldonē sāka darboties Šmita teleskops ar spoguļa diametru 120 cm un ieejas atveri 80 cm diametrā. Tas ir lielākais teleskops Latvijā, ar kuru iespējams fotografēt lielus zvaigžņotās debess apgabalus un iegūt zvaigžņu spektrus.

Starp lielajām un aukstajām zvaigznēm — sarkanajiem milžiem sastopamas t. s. oglekļa zvaigznes, kuru atmosfērās ir paaugstināts oglekļa saturs. Šo zvaigžņu pētījumi kļuva par vienu no galvenajiem observatorijas darba virzieniem. *Oglekļa zvaigžņu izpēte ļauj labāk izprast zvaigžņu attīstības gaitu.* Pētījumu rezultātā 1966. gadā tika sastādīts sarkano milžu īpatnējo kustību katalogs. Andrejs Alksnis, Zenta Alksne, Ilga Daube, Uldis Dzērvičis un citi observatorijas astronomi izpētījuši daudzu oglekļa zvaigžņu spektrus un izanalizējuši to atmosfēru ķīmisko sastāvu. **Observatorijā atklātas vairāk nekā 300 jaunas oglekļa zvaigznes.** Lai novērotu sarkano milžu spožuma izmaiņas, observatorijā tika uzstādīti divi teleskopi ar 55 cm spoguļa diametru jeb t. s. "dublteleskops". Observatorijas astronomi veikuši novērojumus ne tikai Baldonē, bet arī ar ārvalstīs izvietotajiem

teleskopiem (piemēram, Krievijā un Eiropas Dienvidu observatorijā).

Lai veiktu kosmisko objektu novērojumus radio diapazonā, bija paredzēts uzbūvēt lielu radiointerferometru, kas sastāvētu no 5 antenām ar 30 m diametru. Darbi tika uzsākti, diemžēl līdzekļu trūkuma dēļ šo projektu līdz galam neizdevās realizēt.

1969. gadā noslēdzās ilggadējā observatorijas vadītāja J. Ikaunieka mūžs. Par Radioastrofizikas observatorijas vadītāju kļuva Arturs Balklavs. Turpmāk darbs observatorijā koncentrējās divos virzienos — turpinājās sarkano milžu izpēte un sākās regulāri Saules novērojumi, kuru veikšanai tika uzstādīts radioteleskops RT-10 ar antenu, kuras diametrs 10 m (2.30. att.). Kopš 1972. gada ar to regulāri tika pētīts Saules radiostarojums, analizētas tā izmaiņas, reģistrēti uzliesmojumi uz Saules. *Saules radiostarojuma novērojumiem ir liela nozīme uz Saules notiekošo procesu izpratnē.* Ar Saules pētījumiem nodarbojās Arturs Balklavs, Natālija Cimahoviča un citi zinātnieki.

Pakāpeniski Radioastrofizikas observatorija kļuva par lielu zinātnisko iestādi, kurā izveidojās vesela astronomu paaudze, kas ar saviem pētījumiem guva starptautisku atzīnību. 20. gs. 90. gados observatorija pārdzīvoja zināmu krīzi, kuras dēļ nācās samazināt zinātnisko pētījumu apjomu un darbinieku skaitu, 1993. gadā nācās pārtraukt Saules novērojumus. 1994. gadā Latvijas Zinātņu akadēmija pārņēma savā rīcībā divas Krievijas armijas radioantenas ar 32 m un 16 m diametru. Tās paredzēts pārveidot par radioteleskopiem.

Latvijas universitātes Astronomiskā observatorija. Vienlaikus astronomiskie pētījumi attīstījās arī Latvijas universitātē. Par universitātes Astronomijas katedras vadītāju 1949. gadā kļuva Kārlis Šteins, ilggadējs observatorijas zinātniskais vadītājs. *K. Šteins kopā ar palīgiem uzsāka regulārus novērojumus ar pasāžinstrumentu Zemes rotācijas nevienmērības noteikšanai.* Šiem novērojumiem bija gan teorētiska, gan praktiska nozīme.



2.30. att. Radioastrofizikas observatorijas radioteleskops Baldonē.

Ar pasāžinstrumentu novēro zvaigznes augšējā kulminācijā un pēc iespējas precīzi nosaka laika momentu, kad zvaigzne šķērso debess meridiānu. Šādā veidā nosaka pasaules laiku, kuru salīdzina ar atompulksteņa rādīto laiku. Atompulkstenis iet vienmērīgi, bet pasaules laiks ir saistīts ar Zemes griešanos. Regulāri nosakot abu laiku starpību, iespējams pētīt Zemes rotācijas nevienmērību.

Sākot ar Starptautisko ģeofizikas gadu (1957—1958), astronomiskie pētījumi LU strauji paplašinājās. Laika dienests iegādājās jaunus instrumentus, palielinājās darbinieku skaits. Pēc pirmā Zemes mākslīgā pavadoņa palaišanas tika izveidota ZMP vizuālās, vēlāk fotogrāfiskās novērošanas stacija. Līdz 1971. gadam to vadīja Valerians Šmelings (1902—1979). Novērojumi ar pasāžinstrumentu tika daļēji automatizēti, un 1968. gadā laika dienests precizitātes ziņā uz kādu laiku izvirzījās pat otrajā vietā pasaulē — aiz Griničas observatorijas.

Paralēli laika dienesta darbam K. Šteins veica teorētiskos pētījumus debess mehānikā. Tradicionāls universitātes astronomu darba virziens bija mazo planētu orbītu pētījumi. Jau 1933. gadā vienai no K. Šteina izpētītajām mazajām planētām tika piešķirts nosaukums "Latvija". Mazo planētu orbītu aprēķinus veica Matiss Dīriķis (1923—1993). Viena no viņa pētītajām mazajām planētām 1971. gadā ieguva nosaukumu "Rīga". Vēl citai mazajai planētai par godu latviešu Dainu tēvam — Krišjānim Baronam tika piešķirts nosaukums "Krišbarons". Atzīstot universitātes astronomu nopelnus šajā nozarē, vēl četras mazās planētas nes viņu vārdus. Tās ir "Dīriķis", "Šteins", "Balodis" un "Agita". Viena mazā planēta nosaukta no Latvijas emigrējušā astronoma S. Vasiļevska vārdā. **Tādējādi Saules sistēmā riņķo astoņi debess ķermeņi, kuru nosaukumi ir saistīti ar Latviju.**

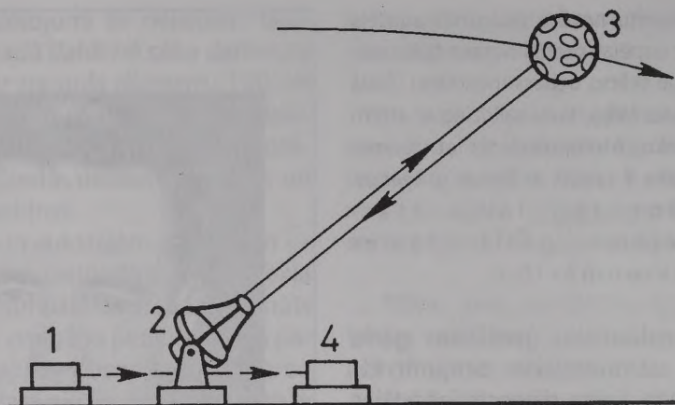
Astronomiskā observatorija 1969. gadā kļuva par zinātniskās pētniecības iestādi. Pakāpeniski tajā izvērtās astrometrisko instrumentu konstruēšana pavadoņu novērojumu vajadzībām. Māra Ābeles vadībā tika



Latviešu astronoms Kārlis Šteins (1911—1983)

izveidota fotokamera AFU-75 pavadoņu koordinātu noteikšanai. To izmantoja ne tikai Rīgā, bet arī pavadoņu novērošanas stacijās vairākās valstīs — Francijā, Japānā, Indijā, Ēģiptē, Bolīvijā un citur. Turp devās strādāt arī observatorijas speciālisti. Observatorijas zinātnisko darbu līdz pat mūža galam vadīja profesors Kārlis Šteins. Pēc viņa nāves laika dienesta novērojumi ar pasāžinstrumentu turpinājās līdz 1991. gadam Leonīda Rozes vadībā.

Nākošais posms pavadoņu novērojumu attīstībā bija pavadoņu lāzerlokācija. Kopš 1987. gada LU Astronomiskajā observatorijā darbojas ZMP lāzera tālmērs ar spoguļi, kura diametrs 105 cm. Tas ir otrs lielākais teleskops Latvijā. Pavadoņu lāzerlokācija ļauj ar augstu precizitāti noteikt vietas ģeogrāfiskās koordinātas, pētīt Zemes rotācijas nevienmērību, kontinentu dreifu u. c. (2.31. att.). Lielu darbu lāzerlokācijas novērojumu organizācijā un veikšanā ieguldījis Kazimirs Lapuška.



2.31. att. Lāzera tālmēra darbības princips.

Lāzers 1 izstaro īsu, spēcīgu gaismas impulsu, kas nokļūst teleskopā 2 un tiek virzīts uz pavadoni 3. Tad tas atstarojas no īpaša atstarotāja, atgriežas atpakaļ teleskopā un nokļūst registrācijas iekārtā 4. Precīzi izmērot laiku, ko gaismas impulss pavada ceļā, iespējams noteikt attālumu līdz pavadonim. (Pat vairākus tūkstošus kilometru lielu attālumu šādi var izmērīt ar dažu centimetru precizitāti.)

Kopš 1986. gada observatorijas kolektīvu vada Juris Žagars. Izstrādāts jauns lāzer-teleskops "Uliss", kuru paredzēts uzstādīt novērošanas punktā dienvidu puslodē. Uz Astronomiskās observatorijas bāzes 1994. gadā izveidots Ģeodēzijas un ģeoinformātikas institūts. Tajā Jāņa Baloža vadībā uzsākti darbi kartogrāfijas un ģeodēzijas jomā.

Latvijas Astronomijas biedrība. 1947. gadā Vissavienības Astronomijas un ģeodēzijas biedrības ietvaros nodibinājās Rīgas, vēlāk Latvijas nodaļa. Tās divas lielākās sastāvdaļas bija astronomijas sekcija un ģeodēzijas

sekcija. Par pirmo biedrības priekšsēdētāju kļuva Jānis Ikaunieks. Biedrības biedri veica aktīvus astronomiskos novērojumus, nodarbojās ar teleskopu būvi, veica ģeodēziskos mērījumus, pētīja zinātnes vēsturi. Laikā no 1954. g. līdz 1990. gadam notika sešas ekspedīcijas uz pilno Saules aptumsumu norises vietām. Liels darbs veikts astronomijas un ģeodēzijas popularizēšanā. Biedrībai ir neliela observatorija Siguldā, kurā uzstādīts teleskops ar 13 cm diametra objektīvu. No 1962. līdz 1993. gadam biedrību vadīja Matīss Dīriķis. Kopš 1993. gada tā pārveidota par Latvijas Astronomijas biedrību.

Jautājumi.

1. Kāda komēta ir atklāta Latvijā?
2. Kāda ir saistība starp LU un RPI observatorijām?
3. Kādus pētījumus veica universitātes astronomi 20. gs. 20.—40. gados?
4. Kuru divu astronomu darbībai bija liela nozīme pētījumu uzsākšanā 50.—60. gados?
5. Kāds ir Latvijas lielākā teleskopa objektīva diametrs?
6. Ar ko atšķiras abu Latvijas astronomisko observatoriju zinātniskā darba virzieni?
7. Ar ko nodarbojas Astronomijas biedrība?



3.1. SAULES SISTĒMAS UZBŪVE. PLANĒTU KUSTĪBA

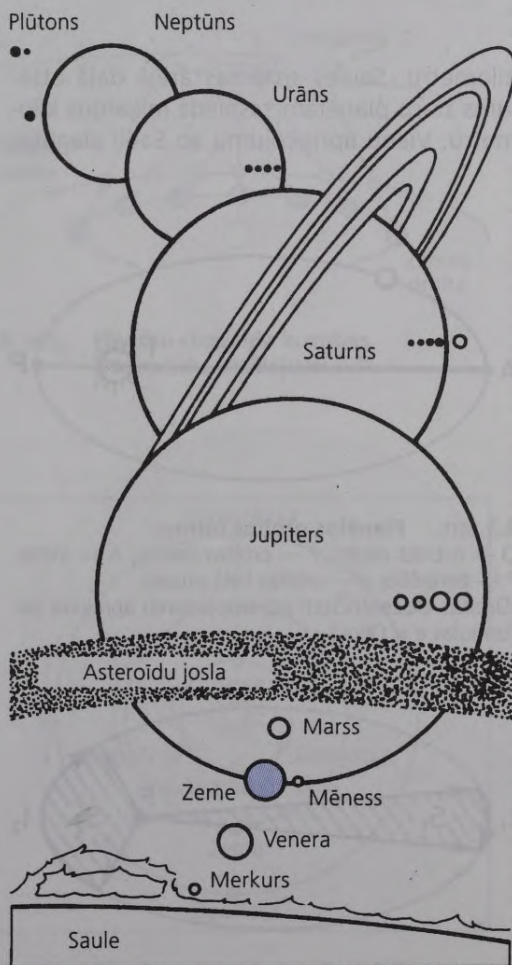
Vispārīgs apskats. Saules sistēmā ietilpst Saule, deviņas lielās planētas un citi mazāki debess ķermeņi — mazās planētas un komētas. Attālumu secībā no Saules lielās planētas ir izvietojušās šādi: Merkurs, Venera, Zeme, Marss, Jupiters, Saturns, Urāns, Neptūns un Plūtons. Vairumam planētu ir viens vai vairāki pavadoņi. Merkuram un Venerai to nav, bet Saturnam un Jupiteram ir visvairāk (3.1. att.). Saules sistēmā riņķo arī daudz meteoroidu.

Saule ir Saules sistēmas centrālais un lielākais ķermenis. Tajā koncentrētas 999/1000 Saules sistēmas masas. Planētu un pārējo debess ķermeņu masa veido atlikušo 1/1000. Četras planētas ir milži. Vislielākā planēta ir Jupiters, tai seko Saturns, Urāns un Neptūns. Visām milzu planētām ir gredzeni, Saturnam tas ir visizteiktākais. Pārējās planētas, izņemot Plūtonu, pieskaitāmas Zemes grupas planētām. Tās ir ievērojami mazākas, piemēram, Zeme pēc diametra ir 11 reišu mazāka par Jupiteru. Vismazākā planēta ir Plūtons. Jupiteram un Saturnam ir vairāki lieli pavadoņi, kas sasniedz planētu izmērus. Tomēr vairums planētu pavadoņu ir nelieli.

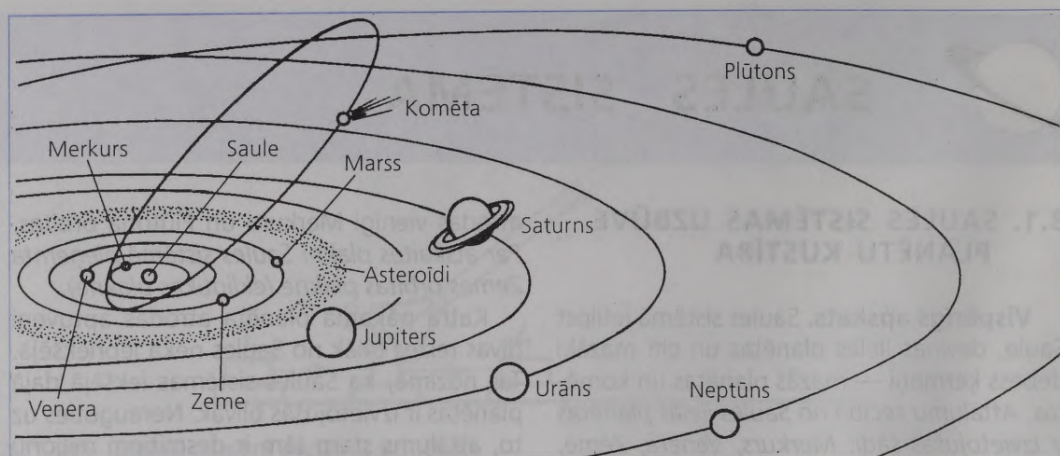
Visas planētas kustas ap Sauli pa elipsēm, kas maz atšķiras no riņķa. Vienīgi Merkura un Plūtona orbītas ir nedaudz vairāk izstieptas. *Planētas kustas ap Sauli vienā virzienā.* Ja būtu iespējams paskatīties uz Saules sistēmu no augšas, tad varētu redzēt, ka planētu riņķošana notiek pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam. Planētu griešanās ap asi notiek šajā pašā virzienā (tāpat griežas arī Saule). Izņēmumi ir Urāns, Venera un Plūtons, kas griežas pretējā virzienā (3.2. att.). Planētu pavadoņi riņķo galvenokārt planētas ekvatora plaknē planētas rotācijas virzienā pa riņķveida orbītām. Planētu orbītas atrodas aptuveni vienā plaknē. Nedaudz slīpāk

atrodas vienīgi Merkura un Plūtona orbītas. *Par atskaites plakni Saules sistēmā pieņemta Zemes orbītas plakne (ekliptikas plakne).*

Katra nākamā planēta atrodas aptuveni divas reizes tālāk no Saules nekā iepriekšējā. Tas nozīmē, ka Saules sistēmas iekšējā daļā planētas ir izvietojušās blīvāk. Neraugoties uz to, attālums starp tām ir desmitiem miljonu



3.1. att. Saules sistēmas planētu un lielāko planētu pavadoņu lielumu salīdzinājums.



3.2. att. Saules sistēmas uzbūve.

kilometru. Saules sistēmas ārējā daļā attālums starp planētām sasniedz miljardus kilometru. Vienu apriņķojumu ap Sauli planētas

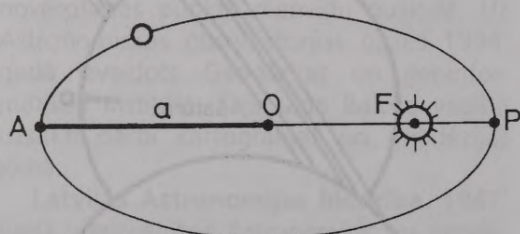
veic dažādā laikā. Visātrāk apriņķo Merkurs (3 mēnešos), Zeme — vienā gadā, bet vislēnāk ap Sauli riņķo Plūtons, veicot vienu apriņķojumu 249 gados.

Planētu kustības likumi. Planētu un citu debess ķermeņu kustība ap Sauli notiek tās gravitācijas laukā pēc Keplera likumiem.

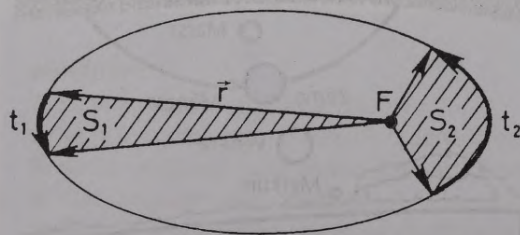
Pirmais Keplera likums. **Visas planētas kustas ap Sauli pa elipsēm, kuru vienā fokusā atrodas Saule.** Planētas orbītas izmērus raksturo orbītas lielās pusass a (3.3. att.). Tās garums ir puse elipses lielās ass AP. **Zemes orbītas lielās pusass garums** (jeb Zemes vidējais attālums no Saules, kas ir viens un tas pats) **ir vienāds ar vienu astronomisko vienību (ua).**

Orbītas formu — tās eliptiskuma pakāpi jeb, citiem vārdiem sakot, orbītas atšķirību no riņķa — raksturo ekscentricitāte e . Riņķim ekscentricitāte ir 0. Elipses ekscentricitāte ir intervālā $0 \dots 1$, galējās robežas nesasniedzot. Ja ekscentricitāte ir 1, tad orbīta ir paraboliska, ja lielāka nekā 1, — tad hiperboliska.

Otrais Keplera likums. **Planētas rādiusvektors vienādos laika sprīžos apraksta vienādus laukumus** (3.4. att.). Būtībā šis likums izsaka faktu, ka dažādos orbītas punktos planētas kustības ātrums mainās. Visātrāk planēta kustas tad, kad tā atrodas vistuvāk Saulei (perihēlijā), bet vislēnāk, — kad atrodas vistālāk no Saules (afēlijā).



3.3. att. Planētas orbītas forma:
O — orbītas centrs, F — orbītas fokuss, A — afēlijs, P — perihēlijs, a — orbītas lielās pusass.
(Orbītas ekscentricitāti jeb saspiedumu aprēķina pēc formulas $e = OF/a$.)



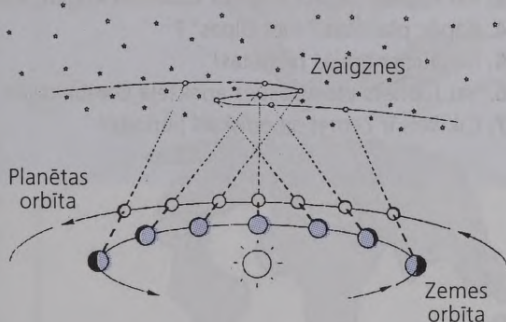
3.4. att. Vienādos laika intervālos planētas rādiusvektors \vec{r} apraksta vienādus laukumus S_1 un S_2 .

Planētu konfigurācijas. Sideriskais un sinodiskais periods. Raugoties no Zemes, kas pati kustas ap Sauli, planētu redzamā kustība izskatās savādāk nekā iedomātam novērotājam no malas. Planētas, pārvietodamās zodiaka zvaigznāju joslā, "met cilpas". Šīs cilpas veidojas, summējoties Zemes un planētas orbitālajai kustībai (3.5. att.). Jo tālāk planēta atrodas no Zemes, jo tās mestā cilpa ir mazāka. Cilpas "vertikālā izvērse" rodas tāpēc, ka planētas un Zemes orbītu plaknes nesakrīt. Mainoties attālumam starp Zemi un planētu, mainās arī planētas leņķiskais attālums no ekliptikas.

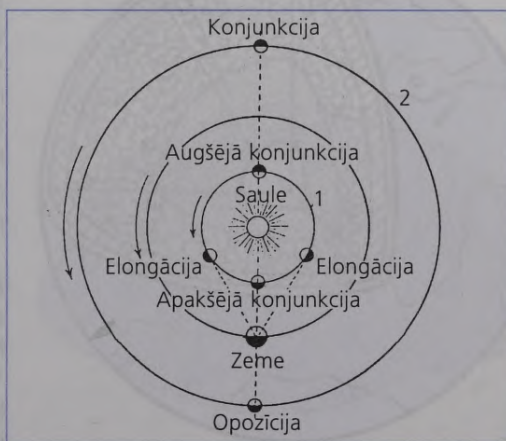
No redzamās kustības viedokļa izšķir ārējās un iekšējās planētas. Iekšējās planētas atrodas tuvāk Saulei nekā Zeme. Tās ir Venera un Merkurs. Šīs planētas vienmēr redzamas pie debess ne pārāk tālu no Saules. *Noteiktus planētu stāvokļus attiecībā pret Sauli sauc par konfigurācijām* (3.6. att.). Iekšējā planēta atrodas maksimālajā **elongācijā**, kad tās leņķiskais attālums no Saules ir vislielākais, **apakšējā konjunkcijā**, kad tā atrodas starp Zemi un Sauli, un **augšējā konjunkcijā**, kad planēta atrodas aiz Saules. Iekšējās planētas vislabāk novērojamas maksimālās elongācijas tuvumā.

Ārējās planētas atrodas tālāk no Saules nekā Zeme. To galvenās konfigurācijas ir šādas. **Opozīcijā** Zeme atrodas starp planētu un Sauli. Attālums starp Zemi un planētu tad ir vismazākais, planēta atrodas pretējā pusē Saulei, un tās novērošanas apstākļi ir vislabākie. Otrā ārējo planētu konfigurācija ir **konjunkcija**, kad planēta atrodas aiz Saules, vistālāk no Zemes, un nav redzama.

Novērojumos no Zemes izšķir divus planētas apriņķošanas periodus — tās reālo, orbitālo apriņķošanas periodu, kuru sauc par **siderisko periodu**, un **sinodisko periodu**. Sinodiskais periods ir periods, pēc kura atkārtojas divas vienādas planētas konfigurācijas. Tā garums ir atkarīgs gan no pašas planētas kustības, gan no Zemes kustības. Piemēram, Venerai sideriskais periods ir 225 dienas, bet sinodiskais periods — 584 dienas. *Sinodisko periodu var precīzi noteikt pēc novērojumiem.* Zinot planētas sinodisko periodu, var aprēķināt tās siderisko periodu un pēc trešā Keplera likuma noteikt orbītas lielo pusasi. Šādi var uzzināt attālumus līdz planētām.



3.5. att. Planētu cilpveida kustības shematisks attēlojums.



3.6. att. Planētu veidotās konfigurācijas:
1 — iekšējā planēta, 2 — ārējā planēta.

Trešais Keplera likums saista planētu apriņķošanas periodus ar to orbītu izmēriem, un to pieraksta ar šādu formulu:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

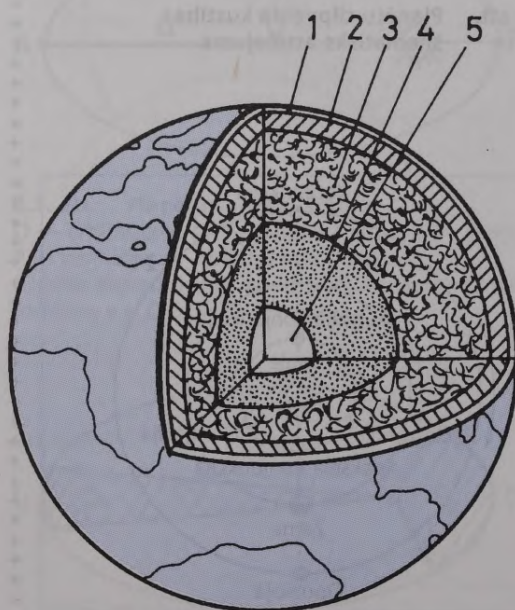
kur T_1 un T_2 — divu planētu apriņķošanas periodi, bet a_1 un a_2 — to orbītu lielās pusasis.

To var formulēt šādi. **Jebkuru divu planētu apriņķošanas periodu kvadrāti attiecas tāpat kā to orbītu lielo pusasu kubi.**

Būtībā Keplera likumi izriet no I. Ņūtona atklātā vispasaules gravitācijas likuma. Ņūtons precizēja trešo Keplera likumu, ietilpinot tajā centrālā ķermeņa un ap to riņķojošo ķermeņu masas.

Jautājumi.

1. Kādā zvaigznāju joslā novērojamas planētas?
2. Vai Plūtons pieder pie milzu planētām vai Zemes grupas planētām?
3. Vai Keplera likumi ir spēkā kosmosa kuģim, kas riņķo ap Mēnesi?
4. Kāpēc planētas "met cilpas"?
5. Nosauciet ārējās planētas!
6. Vai Jupiters var atrasties apakšējā konjunktijā?
7. Cik liels ir Zemes sinodiskais periods?



3.7. att. Zemes uzbūve:

1 — garoza, 2, 3 — mantijas slāņi, 4 — ārējais kodols, 5 — iekšējais kodols.

3.2. ZEME KĀ PLANĒTA

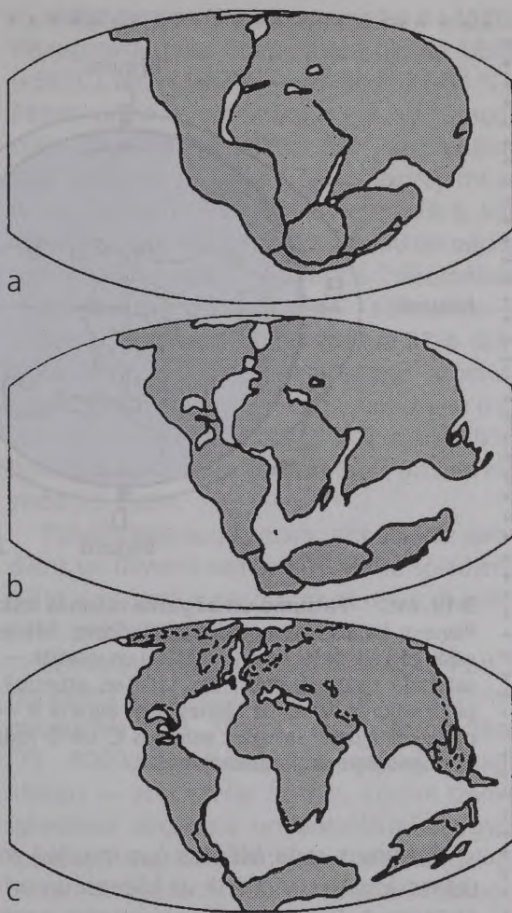
Zeme ir trešā tuvākā Saulei planēta. Tā veic vienu apriņķojumu ap Sauli attiecībā pret tālajām, nekustīgajām zvaigznēm 365,256 dienās. Zemes orbīta ir gandrīz riņķveida. Attālums no Saules perihēlijā un afēlijā mainās maz — no 147,1 līdz 152,1 milj. km. Perihēlijā Zeme atrodas ap 3. janvāri, bet afēlijā — ap 4. jūliju. Zemes ekvatoriālais diametrs ir 6378,14 km. Tai ir viens dabiskais pavadoņš — Mēness.

Zemes uzbūve. Aptuveni divas trešdaļas Zemes virsas klāj okeāni, bet vienu trešdaļu aizņem sauszeme. Planētu apņem atmosfēra, kuras blīvākās daļas augstums ir aptuveni 100 km. Zemes virskārtu veido cieta **garoza**, kuras biezums zem okeāniem ir 6...10 km, bet zem kontinentiem — pat 35...70 km (3.7. att.). Tālāk Zemes centra virzienā atrodas **mantija**, kuras biezums ir 2900 km. Tās ārpusē ir daļēji izkususi, bet iekšpusē —

cieta. Augsto temperatūru mantijā uztur siltums, kas rodas radioaktīvo elementu sabrukšanas rezultātā. Zemes centrā atrodas **kodols**, kas sastāv no diviem slāņiem. Ārējais kodols ir šķidr, bet iekšējam kodolam piemīt cietas vielas īpašības. Kodolu veido dzelzs, citi metāli un silīcija savienojumi. Zemes centrā vielas blīvums ir aptuveni 16 tūkst. kg/m³, kas pārsniedz svina blīvumu, bet temperatūra — aptuveni 4000...8000 °C. Zemes dziļi uzbūve ir noskaidrota, analizējot zemestrīču radītās seismiskās svārstības, kas dažādos Zemes slāņos izplatās ar atšķirīgu ātrumu. Tomēr par kodolā valdošajiem apstākļiem un tā ķīmisko sastāvu vēl nav īstas skaidrības.

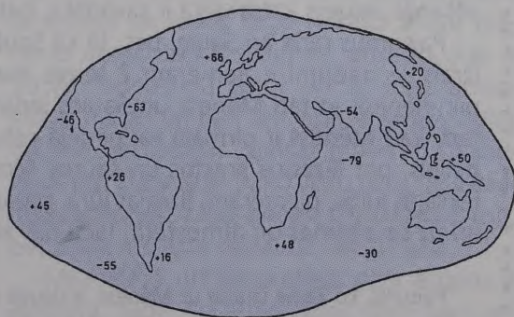
Garozā sastāv no triju veidu iežiem: nogulumiežiem (māls, smilts, kaļķakmens), granītiem un bazaltiem. Garozas vidējais blīvums ir 2700 kg/m³ un tā ir vieglāka par mantiju, tāpēc it kā "peld" tajā. Garozā un mantijas augšdaļa sastāv no atsevišķiem gabaliem — litosfēras plātnēm, kas lēni pārvietojas viena attiecībā pret otru. Notiek t.s. kontinentu dreifs, kā rezultātā Zemes veidols miljoniem gadu laikā pakāpeniski mainās (3.8. att.). Litofēras plātņu saskarvietās, kur tās bīdās cita citai virsū, veidojas kalni. Plātņu malās atrodas seismiskās zonas, kurās notiek vulkāniskā darbība, iespējamās zemestrīces un cunami. Zeme ir planēta ar izteiktu reljefu. Augstumu atšķirība starp visdziļāko okeāna ieplaku (Marianas dziļvaga, dziļums 11 022 m) un visaugstāko kalnu (Everests jeb Džomolungma, augstums 8848 m) sasniedz 20 km.

Zemes forma. Zemes forma ir gandrīz lodveida. Rotācijas dēļ Zeme pie poliem ir nedaudz saplacināta. Tās polārais rādiuss — 6356,775 km ir par 21 km mazāks nekā ekvatoriālais, tādēļ Zemi labāk aprakstīt nevis kā lodi, bet kā rotācijas elipsoīdu. Taču arī tas nav precīzi. Ģeodēzijā ir svarīgi, kādu Zemes formu pieņem par atskaites figūru, lai attiecībā pret tās virsmu varētu mērit zemeslodes punktu ģeogrāfiskās koordinātas un augstumus. *Zemes formu vislabāk apraksta figūra, ko sauc par ģeoīdu* (3.9. att.). Ģeoīda forma ir atkarīga no masas sadalījuma Zemes garozā un tās iekšienē, tādēļ ģeoīds ir neregulārs — tam ir gan pacēlumi, gan iedobumi. Atklātos okeānos ģeoīds



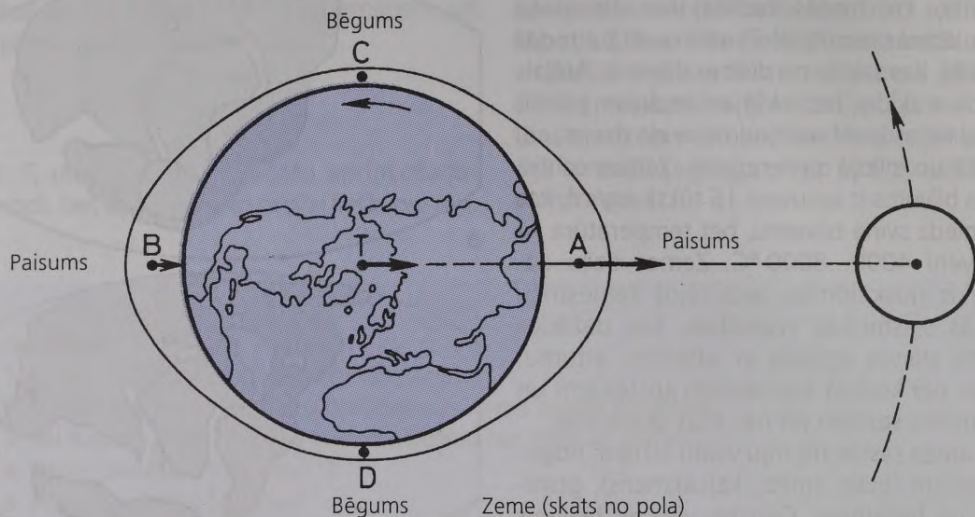
3.8. att. Kontinentu izvietojums:

a — pirms 350 milj. gadu, b — pirms 65 milj. gadu, c — pirms 4 milj. gadu.



3.9. att. Ģeoīda forma.

Pacēlumi un iedobumi ir ievērojami pārspīlēti. Skaitļi metros raksturo, cik lielā mērā ģeoīds atšķiras no rotācijas elipsoīda.



3.10. att. Paisuma un bēguma rašanās izskaidrojums.

Pieņem, ka visu zemeslodi pārklāj ūdens. Mēness visspēcīgāk pievelk ūdeni savā pusē (punktā A), vājāk pievelk pašu Zemi (punktā T) un visvājāk — ūdeni, kas atrodas Zemes otrajā pusē (punktā B). Ja salīdzina paātrinājumus, kas radušies attiecībā pret Zemes centru T, tad redzams, ka punktā A paātrinājums vērsts uz Mēness, bet punktā B — projām no Mēness. Šajos punktos rodas paisuma paaugstinājumi. Savukārt punktos C un D rodas paātrinājumi, kas vērsti uz Zemes centru. Tajos veidojas bēguma pazeminājumi.

Paisumus rada Mēness (un mazākā mērā Saules) gravitācijas iedarbība uz Zemes ūdens apvalku. Virzienā uz Mēness un arī pretējā virzienā okeānos izveidojas paisuma "kūkums". Perpendikulāros virzienos novērojams bēgums (3.10. att.). Zemei griežoties, paisuma paaugstinājums cenšas saglabāt savu stāvokli attiecībā pret Mēness, tādēļ ap zemeslodi, pretēji tās kustības virzienam, pārvietojas paisuma vilnis. Diennaktī novērojami divi paisumi un divi bēgumi. Precīzāk, nevis vienreiz diennaktī, bet vienreiz 25 stundās — laika intervālā, ar kādu atkārtojas Mēness kulminācijas. Paisums precīzi nesakrīt ar Mēness kulminācijas brīdi, bet nokavējas, jo paisuma vilni kavē krasti un sēkļi. Nokavēšanās lielums katrā vietā ir savādāks, bet tā vērtība nemainās.

Paisumus rada arī Saule, bet, tā kā Saule atrodas ievērojami tālāk nekā Mēness, tās izraisītie paisumi ir apmēram 2 reizes mazāki. Vislielākais paisums ir jaunmēnesī un pilnmēnesī, jo tad Mēness un Saules iedarbība summējas, bet vismazākais paisums ir tad, kad Mēness ir pirmajā vai pēdējā ceturksnī. Atklātā okeānā paisuma augstums ir neliels, bet lēzenos krastos un šauros līčos tā augstums var sasniegt 10...16 m. Taču iekšējās jūrās, piemēram, Baltijas jūrā, paisuma augstums ir tikai daži cm. Paisumi notiek arī uz sauszemes un atmosfērā, taču nav tik manāmi.

Paisumi, ko Zeme izraisa uz Mēness, ir daudz spēcīgāki, nekā Mēness izraisītie paisumi uz Zemes, jo Zemes masa ir lielāka nekā Mēness masa. Paisumu berzes iedarbībā Mēness griešanās ir tā palēninājusies, ka tas vienmēr vērsts pret Zemi ar vienu pusi. Pēc daudziem milj. gadu līdzīgi notiks ar Zemi. Tās griešanās pakāpeniski palēnināsies, līdz pret Mēnessi vienmēr būs pavērsta viena Zemes puslode.

sakrīt ar okeāna virsmas līmeni, bet uz sauszemes tas turpinās zem kontinentiem.

No Zemes masas ir atkarīgs tās pievilksanas spēks jeb smaguma spēks uz Zemes virsas. Smaguma spēku raksturo ar brīvās krišanas paātrinājumu, kura vidējā vērtība uz Zemes ir $9,81 \text{ m/s}^2$.

Rotācija un paisumi. Zeme veic vienu apgriezieni ap asi zvaigžņu diennaktī ($23^{\text{h}}56^{\text{m}}04^{\text{s}}$). *Zemes rotācija nav pilnīgi vienmērīga.* Pirmkārt, rotācijas ātrumam piemīt sezonālas izmaiņas, ko izraisa ikgadēja gaisa un ūdens masas pārvietošanās. Zeme visātrāk griežas augustā, bet vislēnāk — martā. Protams, šīs izmaiņas ir nelielas. Diennakts garums mainās tikai par $2/1000$ sekundes (2 ms). Taču iespējamās arī neregulāras, lēcienveida ātruma izmaiņas, kuru rezultātā diennakts garums palielinās vai samazinās par 4 ms. Otrkārt, Zemes griešanās ātrums pakāpeniski samazinās paisumu izraisītās bremsēšanās dēļ, kā rezultātā diennakts garums palielinās par 1,4 ms gadsimta laikā.

Par Zemes rotāciju eksperimentāli var pārlicināties, izmantojot Fuko svārstu. Vairākus metrus garā auklā iekar smagu atsvaru un ļauj tam brīvi svārstīties, atzīmējot sākotnējo svārstību virzienu. Pēc kāda laika var konstatēt, ka svārstis ir pagriezies. Taču īstenībā svārstību plakne ir saglabājusies nemainīga, bet pagriezusies pati Zeme. Eksperiments labāk izdodas ar garu svārstu. Svārstību plaknes šķietamais pagriešanās ātrums atkarīgs no ģeogrāfiskā platuma. Rīgā Fuko svārstis pagriežas vienā stundā par $12^{\circ},6$.

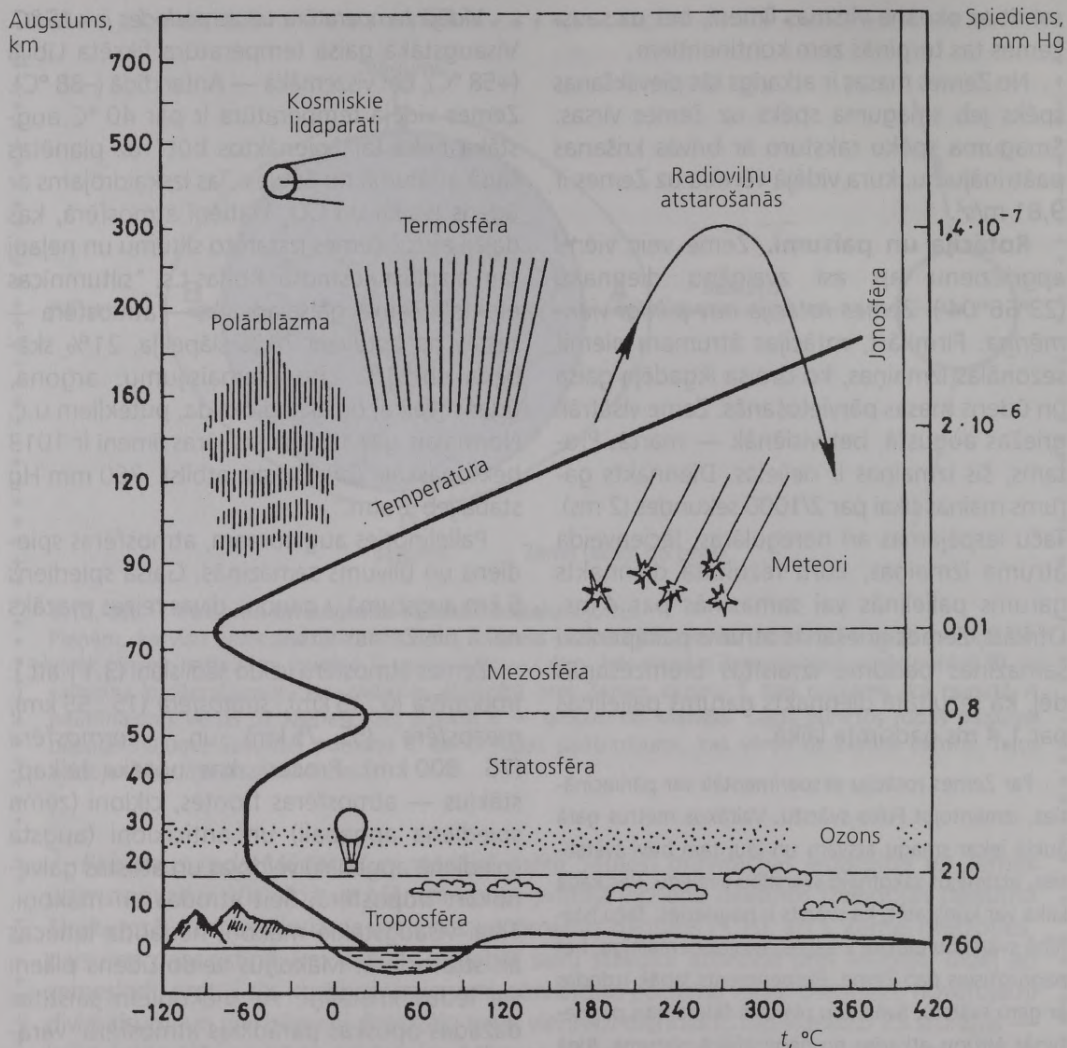
Klimats un atmosfēra. Dažādos zemeslodes rajonos klimatu nosaka Saules staru krišanas leņķis, kas savukārt atkarīgs no Zemes rotācijas ass slīpuma. Izšķir šādas klimatiskās joslas: ekvatoriālo, subekvatoriālo, tropu, subtropu, mēreno, subpolāro un polāro. Atšķirības starp joslām daļēji izlīdzina gadalaiku maiņa. Ja tās nebūtu, t.i., Zemes ass būtu perpendikulāra orbītas plaknei, tad klimatiskās atšķirības būtu vēl izteiktākas. Konkrētā vietā klimatu būtiski ietekmē okeānu straumes un valdošie vēji. Piemēram, Golfa straume nes silto ūdeni no tropiskās joslas uz padara Eiropas klimatu siltāku.

Vidējā temperatūra uz zemeslodes ir $+15^{\circ}\text{C}$. Visaugstākā gaisa temperatūra fiksēta Libijā ($+58^{\circ}\text{C}$), bet viszemākā — Antarktīdā (-88°C). Zemes vidējā temperatūra ir par 40°C augstāka nekā tai "pienāktos būt" uz planētas šādā attālumā no Saules. Tas izskaidrojams ar ūdens tvaika un CO_2 klātieni atmosfērā, kas daļēji aiztur Zemes izstaroto siltumu un neļauj tam aizplūst kosmosā. Rodas t.s. "siltumnīcas efekts". Zemes gaisa apvalks — atmosfēra — sastāv no aptuveni 78% slāpekļa, 21% skābekļa un 1% citu piemaisījumu: argona, ūdens tvaika, oglekļa dioksīda, pūtēkļiem u.c. Normālais gaisa spiediens jūras līmenī ir 1013 hektopaskāli (hPa), kas atbilst 760 mm Hg staba jeb 1 atm.

Palielinoties augstumam, atmosfēras spiediens un blīvums samazinās. Gaisa spiediens 5 km augstumā ir gandrīz divas reizes mazāks nekā pie Zemes virsas.

Zemes atmosfēru veido šādi slāņi (3.11.att.): *troposfēra* (0...15 km), *stratosfēra* (15...55 km), *mezofēra* (55...75 km) un *termosfēra* (75...800 km). Procesī, kas nosaka laikapstākļus — atmosfēras frontes, cikloni (zema spiediena apgabali) un anticikloni (augsta spiediena apgabali) veidojas un attīstās galvenokārt troposfērā. Šeit atrodas arī mākoņi. Tikai visaugstākie mākoņi nedaudz ietiecas arī stratosfērā. Mākoņus veido ūdens pilieni vai ledus kristāliņi. Ar mākoņiem saistītas dažādas optiskas parādības atmosfērā: varavīksnes, halo (krāsaini loki ap Sauli) u.c. Mākoņi klāj zemeslodes lielāko daļu un kopā ar sniega un ledus segu nosaka mūsu planētas atstarošanas spēju — **albedo**, kas ir 39%. Troposfēra satur 80% visas atmosfēras masas un tieši šeit visintensīvāk Saules gaismas izkliedējas gaisa molekulu sablīvējumos. *Gaisma ar isāku viļņu garumu izkliedējas spēcīgāk, tādēļ debess iegūst zilu krāsu, bet Saule izskatās nedaudz dzeltenāka.*

Mezosfērā un termosfērā daļa atomu ir jonizēta, tādēļ šo atmosfēras slāņi sauc arī par *jonosfēru*. Jonosfēra nav viendabīga — tajā ir vairāki slāņi, kuros ir paaugstināta lādēto daļiņu koncentrācija. Jonosfēra ietekmē radioviļņu izplatīšanos.



3.11. att. Zemes atmosfēras uzbūve.

Radioviļņi ar mazu viļņa garumu — ultraisviļņi — brīvi iziet cauri jonosfērai, tādēļ tos izmanto kosmisko sakaru un satelittelevīzijas sistēmās. Īsie, vidējie un garie radioviļņi atstarojas no jonosfēras un nokļūst atpakaļ uz Zemes. Tādējādi iespējams nodrošināt tālos radiosakarus šajos diapazonos. Tiesa, šo viļņu izplatīšanos ietekmē jonosfēras īpašības, kas ir atkarīgas gan no diennakts stundas, gan no gadalaika, gan arī no Saules aktivitātes.

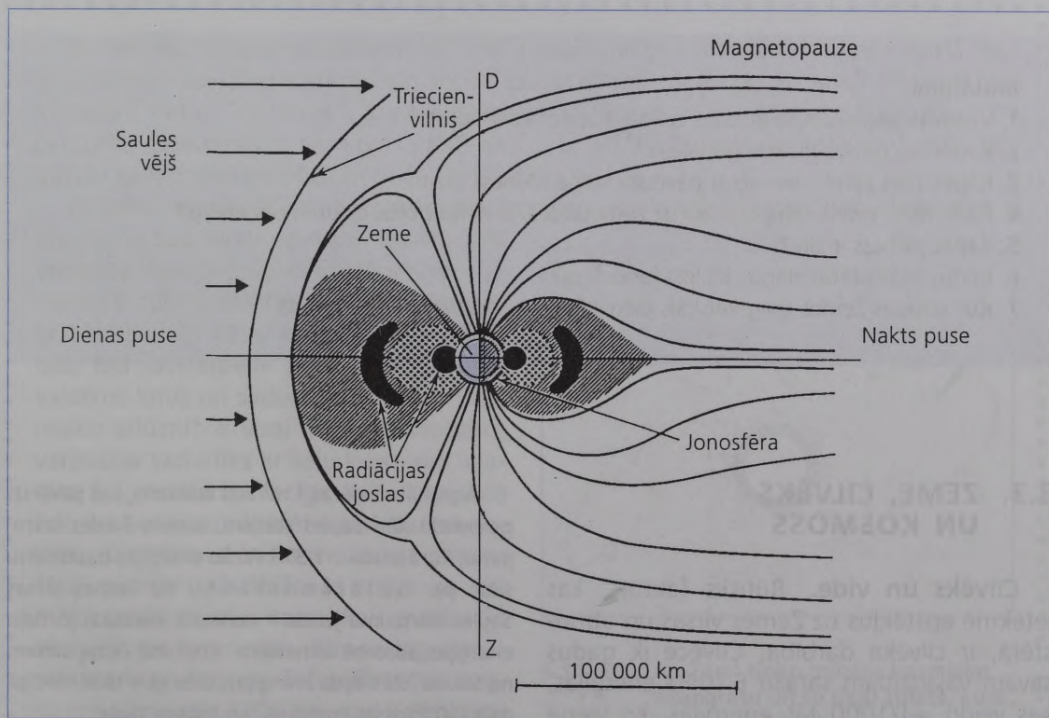
Atmosfērai nav noteiktas augšējās robežas, tā pakāpeniski izretinās, līdz pāriet kosmiskajā telpā, kurā brīvi lido kosmosa kuģi.

Magnētiskais lauks. Zemei ir samērā spēcīgs magnētiskais lauks, turklāt spēcīgākais salīdzinājumā ar citu Zemes grupas planētu magnētiskajiem laukiem. Tā intensitāte uz ekvatora ir 0,31 gauss (Gs), bet pie poliem — divas reizes lielāka. Ģeogrāfisko un magnētisko polu orientācija ir pretēja. Magnētiskais dienvidpols atrodas ziemeļu puslodē, Kanādas arktisko salu arhipelāgā, bet magnētiskais ziemeļpols — Antarktīdas piekrastē. Tā kā magnētisko polu izvietojums nesakrīt ar ģeogrāfiskajiem poliem, tad kompasam pastāv magnētiskā deklinācija — novirze no patiesā

ziemeļu virziena. Ekvatoriālajos rajonos tā ir neliela, bet polārajos rajonos var sasniegt ievērojamu lielumu. Ja novērotājs atrodas starp magnētisko un ģeogrāfisko polu, tad kompass rāda gluži aplami. Magnētiskie poli lēni pārvietojas pa Zemes virsu. Uzskata, ka Zemes magnētiskā lauka cēlonis ir elektriskās strāvas, kas plūst Zemes iekšējā kodolā. Magnētiskā lauka stiprums nedaudz mainās. Pastāv diennakts, mēneša, gada un vēl garāka perioda svārstības. Aptuveni reizi 2 milj. gadu Zemes magnētiskais lauks maina polaritāti (magnētiskais ziemeļpolis kļūst par dienvidpolu, un pretēji). Magnētiskais lauks izveido ap Zemi apvalku — **magnetosfēru** (3.12. att.). No Saules nākošā lādēto daļiņu plūsma — **Saules vējš** saplacina Zemes magnetosfēru, tāpēc Saules pusē tās rādiuss ir aptuveni 70 tūkst. km, bet pretējā pusē magnetosfēra veido garu "asti", kas stiepjas simtiem tūkst. km attālumā. Magnetosfēra

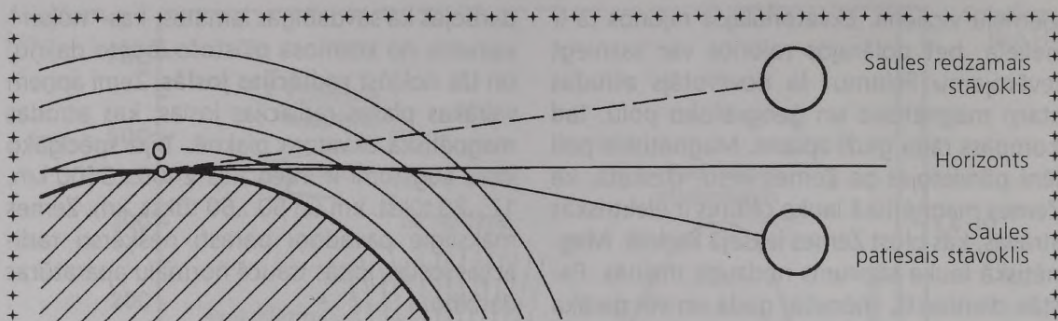
darbojas kā savdabīgas lamatas, kas "noķer" vairumu no kosmosa plūstošo lādēto daļiņu, un tās nokļūst **radiācijas joslās**. Zemi apņem vairākas plašas radiācijas joslas, kas atrodas magnētiskā ekvatora plaknē. Triju spēcīgāko joslu augstumi ir intervālos 2400...5600 km, 12...20 tūkst. km un 50...60 tūkst. km. Zemes mākslīgie pavadoņi parasti nešķērso radiācijas joslas, jo tās traucē normālu aparatūras darbību.

Ja no Saules nākošo lādēto daļiņu daudzums pēkšņi palielinās, tad Zemes magnētiskā lauka struktūra daļēji tiek izjaukta. Rodas straujas magnētiskā lauka virziena un stipruma izmaiņas, ko sauc par **magnētiskajām vētrām**. Tādā gadījumā magnētisko polu apkaimē lādētās daļiņas nokļūst samērā tuvu Zemes virsai un dažu simtu km augstumā ierosina jonosfēras gāzu spīdēšanu, ko sauc par **polārblāzmu**.



3.12. att. Zemes magnetosfēras uzbūves shēma.

Magnētiskā lauka polu novietojums ir pretējs ģeogrāfisko polu novietojumam. Magnetopauze ir magnetosfēras robeža. Tur, kur Saules vējš sastopas ar magnetosfēru, rodas triecienvilnis.



3.13. att. Refrakcijas izpratnei.

Ejot cauri atmosfērai, Saules stari nedaudz izliecas, tādēļ Saule redzama augstāk, nekā tā būtu redzama tad, ja atmosfēras nebūtu. (O — novērotājs.)

Zemes atmosfēra lauž gaismas starus, nedaudz mainot spīdekļu stāvokli pie debess. Šo efektu sauc par refrakciju. Refrakcijas dēļ mēs redzam spīdekļus nedaudz augstāk, nekā tie atrodas patiesībā. Zenītā refrakcija ir vienāda ar nulli, bet pie horizonta tā ir vislielākā (34'). Šis skaitlis gandrīz sakrīt ar Saules un Mēness leņķisko diametru. Saule rietot izskatās saplacināta, jo tuvāk horizontam refrakcija ir spēcīgāka. Refrakcija pagarina dienas ilgumu. Kad Saule sasniedz horizontu, tā faktiski jau ir norietējusi, taču refrakcijas dēļ vēl joprojām ir redzama (3.13. att.). Līdzīgi notiek Saulei lecot, tādēļ diena pagarinās par vairākām minūtēm.

Jautājumi.

1. Vistuvāk Saulei Zeme atrodas ziemā. Kāpēc tad ir auksts?
2. Kāpēc uz Zemes mainās gadalaiki?
3. Kāpēc pret Zemi vienmēr ir pavērsta viena Mēness puse?
4. Kāda būtu vidējā temperatūra uz zemeslodes, ja nedarbotos siltumnīcas efekts?
5. Kāpēc debess ir zila?
6. Kādos atmosfēras slāņos ietilpst jonosfēra?
7. Kur atrodas Zemes magnētiskais dienvidpols — Arktikā vai Antarktīdā?

3.3. ZEME, CILVĒKS UN KOSMOSS

Cilvēks un vide. Būtisks faktors, kas ietekmē apstākļus uz Zemes virsas un atmosfērā, ir cilvēka darbība. Cilvēce ik gadus savām vajadzībām saražo $6 \cdot 10^{20}$ J enerģijas, kas veido $\approx 1/1000$ tās enerģijas, ko vienā gadā Zeme saņem no Saules. Pagaidām tā ir neliela daļa no visas izmantošanai pieejamās enerģijas, taču enerģijas patēriņš strauji aug.

Ārpus atmosfēras 1 m^2 liels laukums, kas pavērsts perpendikulāri Saules stariem, saņem Saules starojumu, kura jauda ir $1,37 \text{ kW}$. Šo enerģijas daudzumu sauc par solārkonstanti. Uz Zemes virsas Saules starojuma jauda ir nedaudz mazāka, jo daļu enerģijas absorbē atmosfēra. Kopumā Zeme saņem no Saules ļoti daudz enerģijas, taču tā ir tikai niecīga daļa (10^{-10}) visas enerģijas, ko izstaro Saule.

Vienlaikus ar valstu, zinātnes un kultūras attīstību norisinās arī ekoloģiskā ziņā negatīvi

procesi. Jau ir izlietota aptuveni puse naftas un dabasgāzes krājumu. Ogļu krājumu pie-tiks aptuveni līdz 2200. gadam, bet pēc to izbeigšanās būs jāizmanto citi enerģijas avoti. Daļa saražotās enerģijas pārvēršas siltumā un sasilda Zemes atmosfēru, tiesa, šī procesa izraisītā temperatūras paaugstināšanās ir nie-cīga. Daudz lielāku efektu rada oglekļa dioksīds, kas rodas, sadedzinot dažādas degvielas.

Salīdzinājumā ar pirmsindustriālo laikmetu, mūsdienās oglekļa dioksīda daudzums gaisā ir palielinājies par 30 %. Tas pastiprina siltum-nīcas efektu uz Zemes, kura rezultātā atmo-sfēras vidējā temperatūra ir paaugstinājusies par 0,7 °C. Paredzams, ka oglekļa dioksīda sa-turs atmosfērā turpinās palielināties, un tas var izraisīt klimata izmaiņas, kuru rezultātā sāksies ledāju kušana, okeānu līmeņa celšanās u.c.

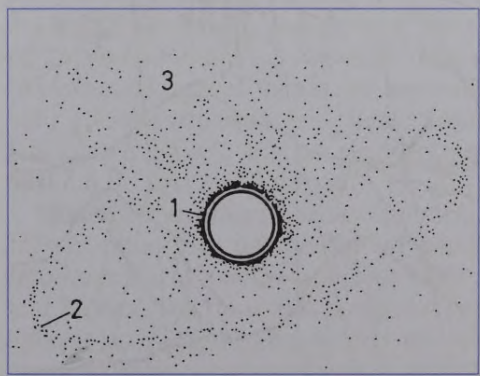
Pēdējos 50 gados ir iznīcināta apmēram puse tropisko mūžamežu. Mežu platības sa-mazinās arī citur. Līdz ar to skābekļa saturs

gaisā samazinās. Rūpnieciski attīstītajās zonās paaugstinās dažādu indīgo un radioaktīvo vielu koncentrācija, tādējādi izjaucot dabiskos biosfēras attīrīšanās procesus.

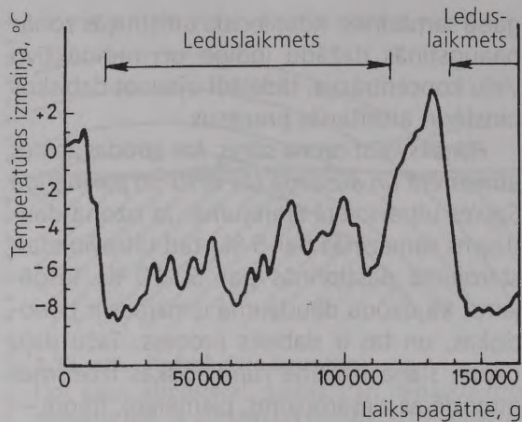
Plānāks kļūst ozona slānis, kas atrodas Zemes atmosfērā un aizsargā tās virsu no pārmērīga Saules ultravioletā starojuma. Ja ozona dau-dzums samazinās par 5 %, tad ultravioletais starojums pastiprinās par 5...10 %. Iespē-jams, ka ozona daudzuma izmaiņas ir perio-diskas, un tas ir dabisks process. Taču daļu ozona slāņa iznīcina rūpnieciskas izcelsmes atmosfēras piesārņojums, piemēram, freoni — hlora savienojumi, kurus izmanto saldējamās iekārtās, aerosolu balonos u.c.

Ozona molekula sastāv no trim skābekļa ato-miem. Ozons atrodas Zemes atmosfērā 10...100 km augstumā. Ja normālā spiedienā to savāktu vien-kopus, tad ozona slāņa biezums būtu tikai 2...3 mm. Šis plānais slānis arī ir tās "bruņas", kas pasargā

+++++
 + Salīdzinājumā ar minētajiem efektiem mazāk kaitīgi ir kosmisko raķešu starti. Ra- +
 + ķetei lidojot cauri jonosfērai, tās izplūdes gāzes mijiedarbojas ar apkārtējo vidi un +
 + jonosfērā rodas "caurums", kurā ir pazemināta lādēto daļiņu koncentrācija. Kaut arī +
 + cauruma laukums var sasniegt 1 milj. km² (t.i., ≈1/10 Eiropas teritorijas), tomēr tas +
 + pastāv tikai dažas stundas, bet pēc tam izzūd. +
 + Ar laiku par būtisku tuvā kosmosa piesārņojuma avotu var kļūt vairs nefunkcionējošie +
 + kosmiskie aparāti un to daļas, kas atrodas +
 + orbītā ap Zemi. Ap mūsu planētu riņķo ap- +
 + tuveni 6 tūkst. dažādu kosmisko aparātu +
 + (3.14. att.). Tā kā to trajektorijas ir dažā- +
 + das, tad savstarpējie ātrumi var sasniegt +
 + vairākus km/s un sadursme ar šādu "kos- +
 + misko atlūzni" ir visai bīstama. Protams, +
 + varbūtība sadurties ar lielu kosmiskā apa- +
 + rāta fragmentu ir niecīga, taču kosmosā +
 + lido arī kosmisko aparātu pārklājuma da- +
 + ļiņas, šķembas u.c. Tomēr Zemes atmo- +
 + sfērai piemīt pašattīrīšanās spēja: jo ze- +
 + mākā orbītā atrodas kosmiskais aparāts, jo +
 + straujāk tas bremzējas, līdz sadeg atmo- +
 + sfēras blīvajos slāņos. Taču, ja orbītas aug- +
 + stums pārsniedz 1000 km, tad kosmiskais +
 + aparāts vai tā daļas var riņķot ap Zemi +
 + tūkstošiem gadu. +
 + + + + +

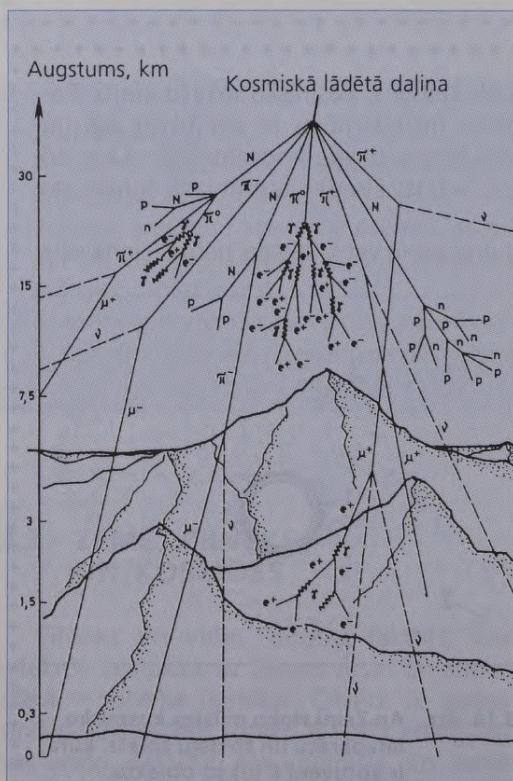


3.14. att. Ap Zemi riņķo milzīgs kosmisko lidaparātu un to daļu spīets, kurā ir aptuveni 6 tūkst. objektu.
 1 — Zemei tuvās orbītas, 2 — ģeostacionārā orbīta, 3 — eliptiskas orbītas ar augstu apogeju.



3.15. att. Zemeslodes vidējās temperatūras izmaiņas grafiks.

Uz vertikālās ass — temperatūras izmaiņa salīdzinājumā ar vidējo temperatūru mūsdienās; uz horizontālās ass — laiks atpakaļ pagātnē.



3.16. att. Kosmiskā starojuma plūsma.

biosfēru no lieka ultravioletā starojuma. Ozona daudzums mainās atkarībā no vietas ģeogrāfiskā platumā, diennakts stundas un gadalaika.

Potenciāli bīstami ir kodolieroči, kuru lietošana var izjaukt klimata līdzsvaru uz zemeslodes. Globāla kodolkonflikta gadījumā bez radioaktīvā piesārņojuma kodolsprādzieniem izraisītajos ugunsgrēkos atmosfērā tiks izsviests arī milzīgs daudzums kvēpu, kas vājinās Saules starojumu un uz daudziem mēnešiem iestāsies kodolziema. Šajā laikā temperatūra virs kontinentiem var pazemināties pat par 40 °C. Temperatūras pazemināšanos pavadīs postošas viesuļvētras piekrastes rajonos un ilgstošs sausums kontinentu centrālajā daļā. Savukārt kalnu rajonos temperatūra paaugstināsies, izraisot ledāju kušanu un plūdus. Slāpekļa savienojumi, kas rodas kodolsprādzienos, iznīcina ozona slāni. Tādēļ pēc dūmu izklišanas ilgu laiku pastāvēs pastiprināts Saules ultravioletais starojums. Arī lokāla kodolkonflikta gadījumā sprādzienkopējā jauda var būt pietiekami liela, lai atmosfēras cirkulācijas dēļ kodolziema iestātos uz visas planētas.

Zemes saistība ar citiem debess ķermeņiem. Kaut gan attālumi starp debess ķermeņiem ir lieli, *Zeme kosmosā nav izolēts objekts*. Saules un Mēness gravitācija rada paisumus un bēgumus, Zemes rotācijas ass novirzes. Saules aktivitātes izpausmes izraisa polārblāzmas, magnētiskās vētras, radio-sakaru traucējumus un laikapstākļu maiņu, kā arī ietekmē cilvēku veselību. No Mēness stāvokļa orbitā ap Zemi atkarīga augu veģetācija.

Planētu gravitācijas ietekmē nedaudz mainās Zemes orbītas raksturlielumi. Līdz ar to mainās Saules enerģijas daudzums, kas sasniedz Zemi (par 5%), un tas ir viens no klimata izmaiņu cēloņiem. Aptuveni ik pēc 50 tūkst. gadu siltāka klimata periodi mijas ar leduslaikmetiem, kuru laikā vidējā temperatūra pazeminās par 10 °C. Maksimālā apledojuma laikā lielu daļu Zemes klāj ledus un sniegs. Iepriekšējais leduslaikmets beidzās aptuveni pirms 20 tūkst. gadu (3.15. att.). Tagad Zeme atrodas siltā klimata fāzē, bet pēc 10 tūkst. gadu Saules enerģijas pieplūde atkal samazināsies.

Milzīga nozīme dzīvās dabas aizsargāšanā no nevēlamas iedarbības ir Zemes atmosfērai un magnētiskajam laukam. No starpzvaigžņu telpas uz Zemi krīt augstas enerģijas lādētas daļiņas — kosmiskais starojums. Daļiņām saduroties ar atmosfēras atomiem, rodas sekundāro daļiņu šaltis ar mazāku enerģiju (3.16. att.). Tādējādi kosmiskā starojuma daļiņu enerģija izkliedējas, nesasniedzot Zemes virsu. Rodas neliels radiācijas fons, kura intensitāte vidējos platuma grādos, arī Latvijā, ir aptuveni $10 \mu\text{R/h}$.

Atmosfēra aizsargā Zemes virsu no kosmiskajiem putekļiem (meteoriem), kas, ietriecoties tajā, uzliesmo un sadeg, bet tā nespēj pasargāt Zemi no lielu debess ķermeņu triecieniem, kuru diametrs mērāms simtos metru.

Šāda meteorīta krišana var izraisīt milzīgu katastrofu, jo trieciena rezultātā rodas ne tikai krāteris, bet atmosfērā tiek izsviests daudz putekļu, kas samazina atmosfēras caurspīdīgumu. Tas var izraisīt klimata izmaiņas un krasu temperatūras pazemināšanos. Šādi meteorīti krīt gan Joti reti.

Zemes civilizācija ir Joti trausla. Cilvēks var eksistēt tikai noteiktos apstākļos: noteiktā temperatūrā, spiedienā, apgaismojumā, atmosfēras sastāvā u.c. Patlaban atbilstoši apstākļi uz Zemes pastāv, taču šo līdzsvaru var izjaukt gan Saules starjaušanas izmaiņas, gan tuvas supernovas sprādziens, gan komētu krišana uz Zemes un citas parādības, kas pēc kosmiskajiem mērogiem ir neliels notikums, bet cilvēcei — kosmiska katastrofa.

Jautājumi.2

1. Kādi faktori paaugstina un kādi — pazemina vidējo temperatūru uz zemeslodes?
2. Kāpēc pārmērīgs ultravioletais starojums ir kaitīgs?
3. Kā pasargāt ozona slāni no iznīcināšanas?
4. Vai kosmisko raķešu starti ir ekoloģiski bīstami?
5. Kāpēc pat neliela kosmosā lidojoša šķemba ir bīstama kosmosa kuģim?
6. Kad gaidāms nākamais leduslaikmets?
7. Kādus efektus izraisa Joti liela meteorīta krišana?

3.4. MĒNESS KUSTĪBA. APTUMSUMI

Mēness kustība. Mēness ir Zemes dabiskais pavadoņš. Vidējais attālums līdz tam ir 384 400 km. Tas kustas ap Zemi pa nedaudz eliptisku orbītu, tādēļ Mēness attālums no Zemes centra mainās no 363 tūkst. km perigejā līdz 406 tūkst. km apogejā. Šī iemesla dēļ Mēness redzamie izmēri mainās no 29',4 līdz 33',5. Mēness ir otrs spožākais debess spīdekļis pēc Saules.

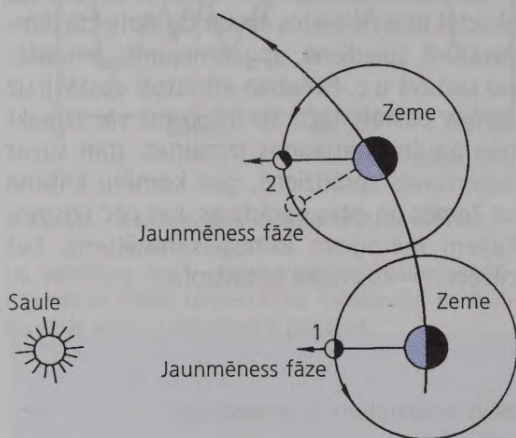
Vienu apriņķojumu ap Zemi Mēness veic 27,32 dienās. Tas ir **sideriskais mēnessis**. Šajā laikā Mēness veic arī vienu apgriezīenu ap asi, tādēļ pret Zemi vienmēr pavērsta viena un tā pati Mēness puse. Laiks, ar kuru atkārtojas Mēness fāzes, ir nedaudz garāks,

jo šajās četrās nedēļās Zeme paspēj veikt pa orbītu zināmu attālumu. Mēnesim nepieciešamas papildus divas dienas, lai ieņemtu to pašu stāvokli attiecībā pret Sauli. *Mēness fāžu maiņas periodu sauc par sinodisko mēnesi*, un tas ilgst 29,53 dienas (3.17. att.).

Fāzes. *Mēness fāzes ir šādas: jaunmēness, pirmais ceturksnis, pilnmēness un pēdējais ceturksnis. Fāzes mainās tāpēc, ka Saule apspīd Mēnesi tikai no vienas puses. Mēnesim riņķojot ap Zemi, tā apgaismotā un neapgaismotā puse redzama dažādās attiecībās* (3.18. att.). Līniju, kas atdala Mēness apgaismoto daļu no neapgaismotās, sauc par **terminatoru**.

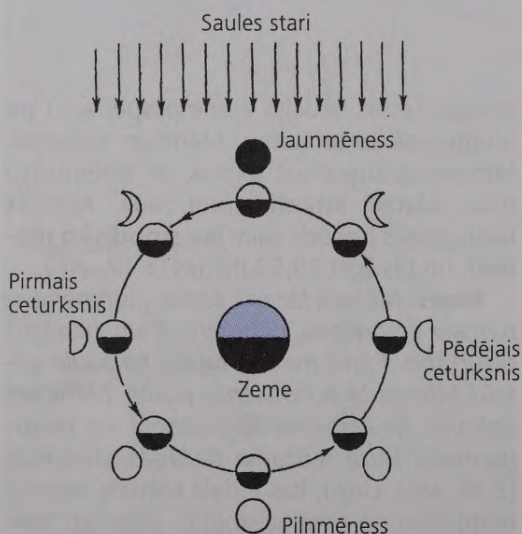
Jaunmēness iestājas tad, kad Mēness atrodas starp Zemi un Sauli. Tad tas ir pagriezies pret Zemi neapgaismoto pusi un nav redzams.

Pāris dienas vēlāk Mēness parādās vakaros rietumu pusē kā šaurs sirpis ar izliekumu uz Saules pusī. Pirmajās dienās tas drīz noriet, bet nākamajās redzams arvien ilgāk. Ja ir pietiekami tumšs, tad sirpjveida Mēnesim var redzēt arī neapgaismoto pusī, t.s. **pelnu**



3.17. att. Sinodiskais mēness ir garāks nekā sideriskais mēness.

Stāvoklī 2 Mēness vēl nav sasniedzis jaunmēness fāzi 1, kaut arī ir veicis pilnu apgriezīenu attiecībā pret zvaigznēm (un Zemi).



3.18. att. Mēness fāžu maiņa.

leķšējā aplī — Mēness apgaismojuma apstākļi dažādās fāzēs. Ārējā aplī — Mēness redzamais izskats.

gaismu, ko rada no Zemes atstarotā Saules gaismā.

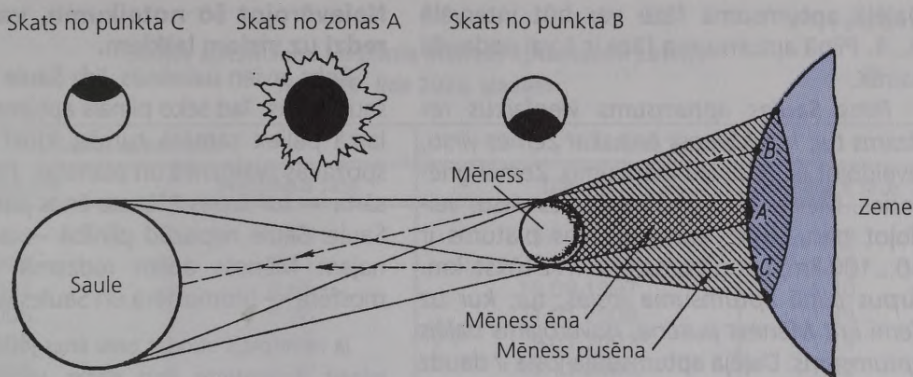
Aptuveni 7 dienas pēc jaunmēness iestājas pirmais ceturksnis. Tad Mēness redzams vakarā un nakts pirmajā pusē kā pusaplis un atrodas aptuveni 90° pa kreisi no Saules. Nākamajās dienās Mēness fāze turpina palielināties, līdz aptuveni 15. dienā iestājas pilnmēness. Tad Mēness atrodas Saulei pretējā pusē. Tas lec, Saulei rietot, un labi redzams visu nakti. Pilns Mēness ir īpaši spožs.

Pie horizonta Mēness izskatās lielāks nekā tad, kad paceļas augstāk. Tā ir ilūzija. Patiesībā ir gluži otrādi — pie horizonta Mēness leņķiskais diametrs ir nedaudz mazāks, jo tad Mēness atrodas par Zemes rādiusa tiesu tālāk no novērotāja. Savukārt zenītā Mēness leņķiskais diametrs ir vislielākais, jo tad tas atrodas novērotājam vistuvāk.

Līdz pilnmēness fāzei Mēnesi sauc par augošu, bet pēc tās — par dilstošu. *Augošam Mēnesim izliekums vērst pa labi, bet dilstošam — pa kreisi.* Aptuveni 22 dienas pēc jaunmēness iestājas pēdējais ceturksnis un Mēness ir redzams kā pusaplis aptuveni 90° pa labi no Saules. Šajā laikā tas redzams nakts otrajā pusē un no rīta. Vēl pēc dažām dienām dilstoša Mēness sirpis redzams tikai īsu brīdi austrumu pusē pirms saullēkta. Kad pagājušas 29,53 dienas, atkal iestājas jaunmēness fāze. Mēness redzamības apstākļi nedaudz mainās atkarībā no gadalaika. Piemēram, vasarā pilns Mēness atrodas zemu, bet ziemā augstu.

Kaut arī Mēness ir pavērsis pret Zemi vienu un to pašu pusī, tomēr ilgākā laikā iespējams novērot vairāk kā pusī (līdz 59 %) Mēness virsas. Tā cēlonis ir parādība, ko sauc par **l i b r ā c i j u**.

Librācija rodas divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, Mēness ekvators atrodas 7° leņķī pret Mēness orbītu. Tāpēc katra Mēness apriņķojuma laikā var ieskatīties $\approx 7^\circ$ pāri tā ziemeļpolam un tikpat — pāri dienvidpolam. Otrkārt, Mēness, riņķojot pa orbītu, nedaudz maina kustības ātrumu, bet tā griešanās ātrums ap asi ir pastāvīgs. Rezultātā Mēness pagrieziens ap asi brīžiem aizsteidzas priekšā stāvoklim orbītā, bet brīžiem atpaliek.



3.19. att. Pilna Saules aptumsuma shēma.

Zonā A, kur Zemes virsu skar Mēness ēna, novērojams pilns aptumsums. Zonā, kur Zemes virsu skar Mēness pusēna, novērojams daļējs aptumsums.

Aptumsumu iestāšanās nosacījumi.

Aptumsums ir samērā reta un neparasta dabas parādība.

Saules aptumsums notiek tad, kad Mēness atrodas starp Zemi un Sauli un aizsedz Saules disku (3.19. att.).

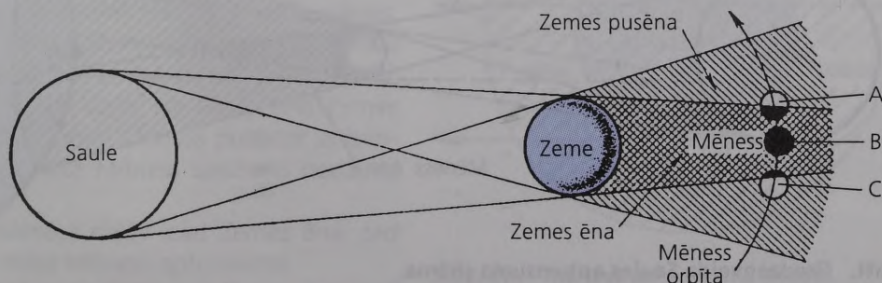
Mēness aptumsums notiek tad, kad Zeme atrodas starp Sauli un Mēnesi un Mēness ieiet Zemes ēnā (3.20. att.).

Tas nozīmē, ka Saules aptumsums iespējams tikai jaunmēness fāzē, bet Mēness aptumsums — pilnmēness fāzē. Taču aptumsumi nenotiek katrā jaunā vai pilnā Mēnesī, bet gan krietni retāk, jo Mēness orbītai ir 5° leņķis pret Zemes orbītas plakni. Tādēļ parasti jaunmēness fāzē Mēness paiet virs vai zem Saules, bet pilnmēness fāzē — virs vai zem Zemes ēnas. Aptumsums notiek tikai tad, ja visi trīs debess ķermeņi: Mēness, Zeme un Saule atrodas aptuveni uz vienas līnijas. Gadā

uz zemeslodes var būt redzami 2...7 aptumsumi, bet parasti notiek 2 vai 3 Saules aptumsumi un 1 vai 2 Mēness aptumsumi.

Jau senatnē astronomi ievēroja, ka ik pēc 18 gadiem aptumsumi atkārtojas (precīzāk ik pēc 18 gadiem un 11,3 dienām). Šo periodu sauc par *sarosu*. Sarosa laikā notiek 70 vai 71 aptumsums, no tiem 42 vai 43 Saules aptumsumi un 28 Mēness aptumsumi. Katrā nākamajā sarosā aptumsumu secība ir tāda pati, bet, tā kā sarosa dienu skaits nav vesels skaitlis, tad Zeme papildus pagriežas aptuveni $1/3$ apgrieziena un šie paši aptumsumi redzami citās vietās. Pēc trim sarosiem aptumsumi atkārtojas aptuveni sākotnējās vietās.

Saules aptumsumi. Saules aptumsums var būt pilns, gredzenveida vai daļējs. To raksturo fāze, kas ir vienāda ar Saules diametra aptumšotās daļas attiecību pret visu diametru.



3.20. att. Mēness aptumsuma shēma.

A, C — daļējs aptumsums, B — pilns aptumsums.

Daļējā aptumsuma fāze var būt intervālā 0...1. Pilnā aptumsuma fāze ir 1 vai nedaudz vairāk.

Pilns Saules aptumsums vienlaikus redzams tur, kur Mēness ēna skar Zemes virsu, izveidojot lielu, ovālu plankumu. Zemei griežoties, Mēness ēna slid pa Zemes virsu, veidojot garu joslu, kuras vidējais platums ir 40...100 km, bet garums — 6...12 tūkst. km. Ārpus pilnā aptumsuma joslas, tur, kur uz Zemi krit Mēness pusēna, novērojams daļējs aptumsums. Daļējā aptumsuma josla ir daudz platāka nekā pilnā aptumsuma josla, no kuras attālinoties, daļējā aptumsuma fāze samazinās, līdz uz pusēnas robežas kļūst viēnāda ar nulli. Aptumsuma kopējais ilgums uz zemeslodes var sasniegt 6 stundas un redzamības apgabals aptvert 1/6 Zemes virsas.

Noteiktā vietā pilna Saules aptumsuma secība ir šāda. Mēness, kas nav redzams, lēni virzās virsū Saulei no labās uz kreiso pusi, līdz pieskaras Saules diskam. Sākas daļējais aptumsums. Uz spoža Saules diska parādās tumšs robs. **Daļēja aptumsuma laikā uz Sauli drīkst skatīties tikai caur tumšu filtru. Tas attiecas uz novērojumiem ar neapbruņotu aci un īpaši ar jebkādu optisku ierīci — binokli, tālskati u.c.**

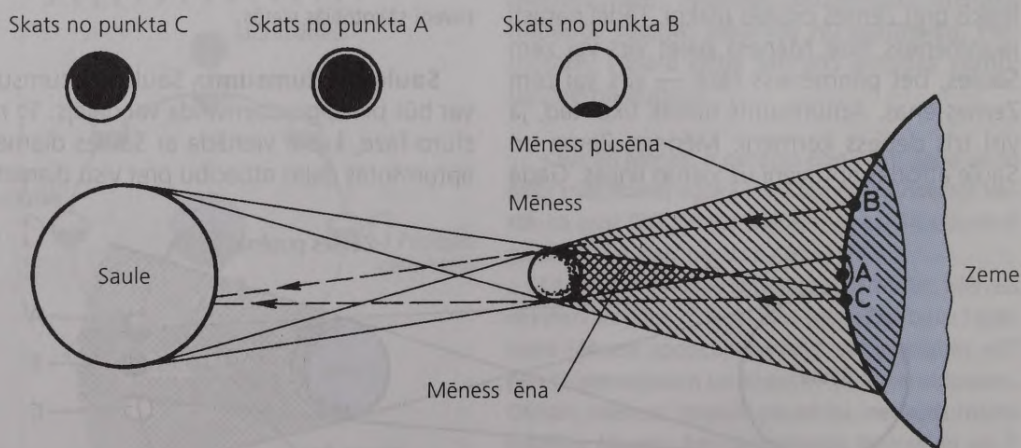
Neievērojot šo noteikumu, var sabojāt redzi uz visiem laikiem.

Robs arvien palielinās, līdz Saule izskatās kā šaurs sirpis. Tad seko pilnais aptumsums, kura laikā paliek samērā tumšs, kļūst redzamas spožākās zvaigznes un planētas. Pamale kļūst sārta — tur ārpus Mēness ēnas joprojām spīd Saule. Saule nepazūd pilnībā — apkārt melnajam Mēness aplim redzama Saules atmosfēra — hromosfēra un Saules vainags.

Ja novērotājs atrodas tuvu ēnas joslas malai, tad pilnais aptumsums ilgst dažas sekundes. Joslas centrā pilnā aptumsuma ilgums ir 2...3 min. Tas ir atkarīgs no Mēness diska leņķiskā diametra. Ja Mēness atrodas Zemei tuvāk, tad pilnais aptumsums ir ilgāks. Vislielākais pilnā aptumsuma ilgums ir 7^m31^s. Tas ir iespējams tad, kad Mēness atrodas perigejā, bet Saule — vistālāk no Zemes. Šāds aptumsums mēdz būt ļoti reti.

Pilnajam aptumsumam beidzoties, iemirdzas pirmie Saules stari, strauji kļūst gaišs. Mēness pakāpeniski aizslīd no Saules diska, līdz pazūd arī pēdējais robs. Aptumsums ir beidzies. Noteiktā vietā aptumsums ilgst aptuveni 2,5 stundas.

Ja Mēness atrodas apogeja tuvumā, tad tā leņķiskais diametrs ir nepietiekams, lai pilnībā aizsegtu Saules disku (Mēness ēnas konuss



3.21. att. Gredzenveida Saules aptumsuma shēma.

Zonā ap punktu A redzams gredzenveida aptumsums. Ārpus tās, piemēram, punktos B un C, kur Zemes virsu skar Mēness pusēna, novērojams daļējs aptumsums.

**Saules aptumsumi un pilnie Mēness aptumsumi Latvijā
no 1996. līdz 2025. gadam**

| Saules aptumsumi | | Mēness aptumsumi | |
|---|----------------|------------------|----------------|
| Datums | Maksimālā fāze | Datums | Maksimālā fāze |
| 12.10.1996. | 0,69 | 5.04.1996. | 1,38 |
| 11.08.1999. | 0,71 | 27.09.1996. | 1,24 |
| 31.05.2003. | 0,85 | 16.09.1997. | 1,20 |
| 3.10.2005. | 0,30 | 21.01.2000. | 1,33 |
| 29.03.2006. | 0,49 | 9.01.2001. | 1,19 |
| 1.08.2008. | 0,50 | 10.11.2003. | 1,02 |
| 4.01.2011. | 0,83 | 4.05.2004. | 1,31 |
| 10.06.2021. | 0,31 | 28.10.2004. | 1,32 |
| 25.10.2022. | 0,59 | 4.03.2007. | 1,24 |
| 29.03.2025. | 0,21 | 21.12.1010. | 1,26* |
| Pilns Saules aptumsums
Latvijā būs redzams
2142. gada 25. maijā | | 15.06.2011. | 1,71* |
| | | 28.09.2015. | 1,29 |
| | | 31.01.2018. | 1,32* |
| | | 27.07.2018. | 1,61* |
| | | 07.09.2025. | 1,36* |

* — Nav redzams pilnībā.

nesasniedz Zemes virsu), un novērojams gredzenveida aptumsums (3.21. att.). Tā secība ir tāda pati kā pilnam Saules aptumsumam, vienīgi maksimālās fāzes laikā Saule redzama kā spožs gredzens. Gredzenveida aptumsuma laikā nepaliek tumšs, hromosfēra un Saules vainags nav redzami.

Reizēm mēdz būt arī tā, ka Mēness ēna atrodas Zemes tuvumā, bet neskar tā virsu, tad uz zemeslodes novērojams tikai daļējs Saules aptumsums.

Mēness aptumsumi. Mēness aptumsums vienlaikus redzams visā Zemes naktis puslodē, turpretī Saules aptumsums — tikai atsevišķā Zemes apgabalā, tādēļ noteiktā vietā Mēness aptumsums redzams biežāk. Izšķir pusēnas, daļēju un pilnu Mēness aptumsumu atkarībā no tā, kurai Zemes ēnas daļai Mēness iziet cauri.

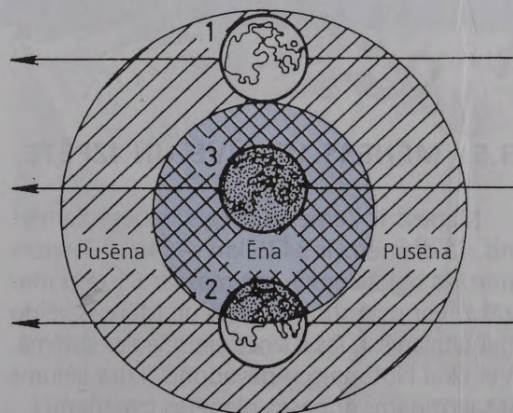
1. Ja Mēness daļēji vai pilnīgi ieiet Zemes pusēnā, tad notiek Mēness pusēnas aptumsums, kura laikā Mēness spožums nedaudz samazinās.

2. Ja Mēness daļēji ieiet Zemes ēnā, tad redzams daļējs Mēness aptumsums.

3. Ja Mēness pilnīgi ieiet Zemes ēnā, tad redzams pilns Mēness aptumsums. Ja Mēness

iet caur Zemes ēnas centru, tad to sauc par centrālu aptumsumu (3.22. att.).

Aptumsumu skaitliski raksturo ar fāzi. Daļējā aptumsuma fāzi nosaka kā attiecību starp aizklāto Mēness diametra daļu un visu diametru. Tā ir intervālā 0...1. Pilnā aptumsuma fāze ir 1 vai lielāka. Tā raksturo, cik dziļi



3.22. att. Mēness aptumsuma shēma.

1 — pusēnas aptumsums, 2 — daļējs aptumsums, 3 — pilns aptumsums.

Mēness ieiet Zemes ēnā. Ja Mēness šķērso Zemes ēnas centru, tad aptumsuma fāze ir maksimāla.

Mēness aptumsums izskatās citādi nekā Saules aptumsums. Pirmkārt, Zemes ēnas leņķiskais diametrs Mēness attālumā ($1^\circ,4$) ir gandrīz 3 reizi lielāks nekā Mēness leņķiskais diametrs, tāpēc ēnas līnija uz Mēness diska ir tikai nedaudz izliekta. Otrkārt, Zemei ir atmosfēra, tāpēc ēnas robeža ir neasa, izplūdusi.

Aplūkosim pilnā Mēness aptumsuma secību. Mēness ieiet Zemes pusēnā un tuvojas Zemes ēnai no labās puses. Kad tas sāk ieiet Zemes ēnā, diska kreisajā malā parādās robs. Sācies Mēness daļējais aptumsums (3.28. att.). Pakāpeniski ēna aizsedz arvien vairāk Mēness jūru un kontinentu, līdz redzama tikai maza Mēness maliņa. Tagad, kad Mēness spožums samazinājies, var pamanīt, ka redzama arī tā aptumsumsī daļa. Kad Mēness pilnīgi ieiet Zemes ēnā, sākas pilnais aptumsums.

Pilnā aptumsuma laikā Mēness nepazūd pavisam, jo to nedaudz apgaismo Zemes atmosfērā izkliedētā Saules gaisma. Tā kā Mēnesi apgaismo tā atmosfēras daļa, kas atrodas krēslas (saullēkta vai saulrieta) zonā, tad Mēness iegūst sarkanīgu nokrāsu. Mēness krāsa un spožums pilnā aptumsuma laikā var būt no gaiši ķieģelsarkanā vai dzeltensarkanā līdz tumši sarkanai, pat pelēksarkanai.

Ja Mēness atrodas tuvu Zemes ēnas malai, tad pilnais aptumsums ir īss un tā Mēness daļa, kas atrodas "ārpusē", ir gaišāka. Ja Mēness iet cauri ēnas centram, tad aptumsums ir vistumšākais. Kad pilnais aptumsums beidzas, Mēness diska kreisajā pusē parādās gaiša maliņa. Tad pretējā secībā atkārtojas daļējais aptumsums, līdz Mēness pilnīgi iziet no Zemes ēnas. Pēc tam Mēness atstāj arī Zemes pusēnu. Daļējā un pilnā aptumsuma ilgums var sasniegt 3^h48^m (centrāla aptumsuma gadījumā), taču parasti Mēness aptumsums ir īsāks.

Jautājumi.

1. Vai tieša, ka Mēness fāzes mainās tāpēc, ka Zeme met ēnu uz to?
2. Mēness griežas ap asi. Kāpēc mēs neredzam tā otru pusi?
3. Aptumsumi notiek jaunmēness un pilnmēness fāzē. Kāpēc tie nav novērojami ik mēnesi?
4. Saules aptumsumu skaits ir lielāks par Mēness aptumsumu skaitu.
Kāpēc tad noteiktā vietā biežāk redzami Mēness aptumsumi?
5. Kādu principu senie astronomi izmantoja aptumsumu paredzēšanai?
6. Kāpēc Saules vainags redzams tikai aptumsuma laikā?
7. Pilnā Mēness aptumsuma laikā Mēness atrodas Zemes ēnā. Kāpēc tas tomēr ir nedaudz redzams?

3.5. MĒNESS UZBŪVE UN IZPĒTE

Mēness ir Zemei tuvākais debess ķermenis. Tā diametrs ir 3475 km — tikai 3,7 reizes mazāks nekā Zemei, bet masa ir 81 reizi mazāka. Var uzskatīt, ka Zeme un Mēness veido dubultplanētu. Tas ir izņēmums Saules sistēmā. Vēl tikai Plūtonam ir pavadoņi, kura lielums ir salīdzināms ar pašas planētas izmēriem.

Mēness virsa. Uz Mēness ir redzami gaiši un tumši plankumi. Tumšos plankumus sauc par jūrām. To diametrs ir vairāki simti

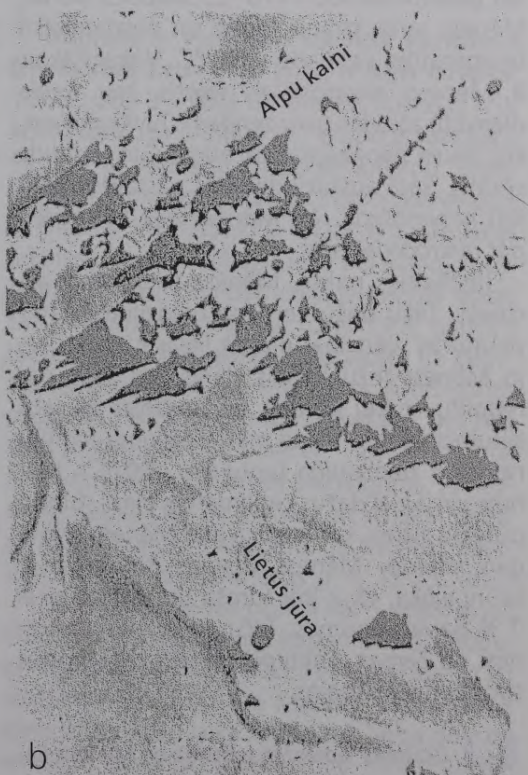
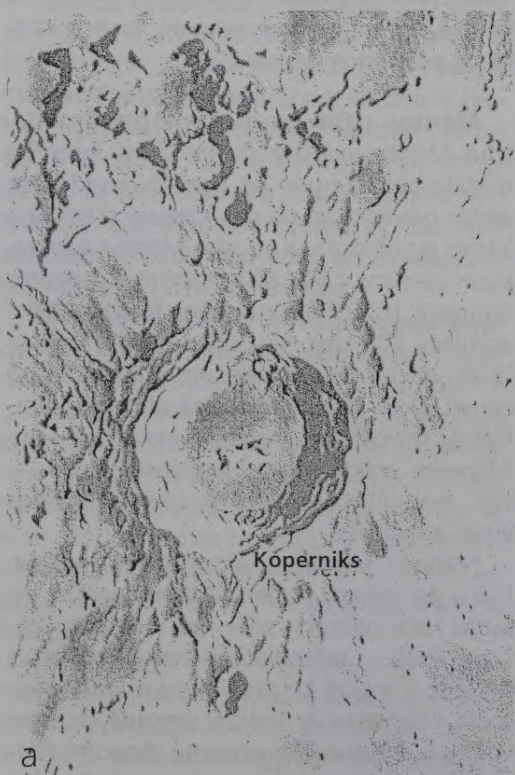
kilometru. Lielākais tumšais plankums ir Vētru okeāns. Mazākos tumšos plankumus sauc par līčiem un ezeriem. Tie ir nosacīti nosaukumi, jo ūdens uz Mēness nav. Jūras ir zemāki un gludāki Mēness virsas apgabali. Gaišos plankumus sauc par kontinentiem. Kontinenti ir nelīdzenāki un atrodas 1...2 km augstāk par jūrām. Tiem nav nosaukumu. Mēness redzamā un neredzamā puslodē ievērojami atšķiras. Redzamajā puslodē jūras klāj 30 % virsas, bet neredzamajā pusē ir tikai divas nelielas jūras, kas aizņem 3 % virsas.

Vēl uz Mēness ir simtiem kilometru garas kalnu grēdas, kas sasniedz 5...8 km augstumu, kā arī plakankalnes, ielejas un gravas. Vislielākā augstumu starpība starp kalnu virsotnēm un jūru dziļākajām vietām sasniedz 11 km, kas ir mazāk nekā uz Zemes. Kalnu grēdas izvietojušās galvenokārt jūru malās. *Visraksturīgākā Mēness reljefa forma ir krāteri* (3.23. att.). Tie klāj gan jūras, gan kontinentus. Mēness redzamajā pusē lielākais krāteris ir Klāvijs (diametrs 235 km). Ar neapbruņotu aci krāteri nav redzami, bet binokli vai tālskati lielākos no tiem vār saskatīt. Krāteri ir nosaukti slaveni astronomu un citu zinātnieku vārdos. *Mēness krāteri ir radušies meteorītu triecienu rezultātā.*

Ap jaunākajiem krāteriem redzamas trieciēnā izmestas gaišas vielas joslas. Dažiem krāteriem, piemēram, Tiho, tās stiepjas staru veidā tūkstošiem kilometriem tālu un labi

redzamas pilnmēness laikā. Ap daudziem krāteriem atrodas mazaki krāteri, kurus izveidojušas no galvenā krātera izsviestās klinšu atlūzas. Uz jūru virsām dažviet redzami ar lavu daļēji applūdināti krāteri. Īpaši liels krāteru blīvums ir kontinentos, kur daudzi krāteri pārklāj cits citu. Uz Mēness atrodas visdažādāko izmēru krāteri — to diametrs ir gan desmitiem kilometru, gan tikai daži metri.

Interesanta ir Mēness virsas veidojumu nosaukumu vēsture. Mēness izpēte sākās tūlīt pēc teleskopa izgudrošanas. Sākumā objektus uz Mēness nosauca svēto un aristokrātu vārdos, taču šie nosaukumi tika aizmirsti. Poļu astronoms J. Hevēlijs tumšos plankumus nosauca par jūrām un "pārnesa" Zemes nosaukumus uz Mēnesi. Tā, piemēram, uz Mēness parādījās Alpu un Apenīnu kalnu grēdas. Taču vairākumam Mēness objektu nosaukumus piešķīra itāļu astronomi Dž. Ričoli un F. Grimaldi. Viņi deva



3.23. att. Mēness reljefa formas:

a — Kopernika krāteris un tā apkaime, b — Alpu kalni (augšdaļā), Lietus jūra (apakšdaļā).

nosaukumus jūrām, krāterus nosauca astronomu vārdos, neaizmirstot arī sevi. Sākot ar 18. gs., tika sastādītas precīzas Mēness kartes. Nosaukumus saņēma arī nelieli krāteri un citi veidojumi. Mēness neredzamajā puslodē atrodas krāteris, kas nosaukts F. Candra vārdā.

Krāteri un citi Mēness reljefa veidojumi vislabāk apskatāmi terminatora tuvumā, kur Saules stari krīt slīpi un visi virsas nelidzenumi met garas un asas ēnas, radot ļoti izteikta reljefa iespaidu. Taču faktiski Mēness virsa ir visai līdzena.

Fizikālie apstākļi. Mēness diennakts garums ir vienāds ar sinodisko mēnesi. Tas nozīmē, ka diena uz Mēness ilgst divas nedēļas, bet nakts — otras divas nedēļas. *Mēnesim nav atmosfēras*, jo tā pievilksanas spēks ir par mazu, lai noturētu gāzes molekulas. Uz Mēness ir ievērojamas diennakts temperatūras svārstības. Naktī temperatūra pie Mēness virsas pazeminās līdz $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sākoties dienai, Mēness virsa strauji sasilst un pusdienlaikā temperatūra sasniedz $+130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Viskarstākais ir Mēness ekvatoriālais rajons, kur Saule dienvidū atrodas tuvu zenītam. Tuvāk poliem, kur Saule nepakāpjas tik augstu, ir nedaudz vēsāks. Šādi apstākļi dzīvības pastāvēšanai ir ļoti nepiemēroti. *Uz Mēness nav konstatēti pat mikroorganismi.*

Iestājoties naktij, Mēness virsa atkal atdziest. Taču dažu centimetru dziļumā temperatūras svārstības nav tik lielas kā virspusē, jo Mēness iežu ārējais slānis, ko sauc par *regolītu*, ir ļoti porains un darbojas kā labs siltumizolators. Viena metra dziļumā temperatūra ir nemainīga (aptuveni $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$). Mēness virsu klāj dažus centimetrus biezs, tumšu putekļu slānis, kas nosaka gan Mēness krāsu, gan albedo. Mēness virsmas istā krāsa ir brūnpeleka, tā ir ļoti tumša un atstaro tikai 7 % Saules gaismas. Taču, raugoties uz Mēnesi no Zemes, naktī pie debess tas izskatās spožs un sudrabains.



Dosimies iedomātā pastaigā pa Mēnesi! Sajūta ir neparasta. Soļi izvēršas lēcienos, jo smaguma spēks uz Mēness ir 6 reizes mazāks nekā uz Zemes. Ja uz Zemes cilvēks ar skafandru sver 120 kg, tad uz

Mēness viņa svārs' ir tikai 20 kg. Pie Mēness debess spoži spīd Zeme. Tā ir ievērojami spožāka un lielāka nekā Mēness, ko redzam no Zemes. Zeme pie Mēness debessjuma vienmēr atrodas vienā un tajā pašā vietā, tā tikai nedaudz pārvietojas librācijas dēļ. Zemei, tāpat kā Mēnesim, mainās fāzes.

Vēl spožāka ir žilbinošā Saule, kuras gaismu nevājina atmosfēra. Tā redzama uz piķa melna debess fona un, ja netraucētu tās spīdums, tad dienā būtu redzamas arī zvaigznes. Visi priekšmeti met asas, melnas ēnas. Skafandra apgaismoto pusi karsē Saule, bet ēnas pusi dzesē kosmiskais aukstums. Apavu pazoles atstāj Mēness putekļos dziļas pēdas, kas saglabāsies miljoniem gadu ilgi, līdz tās izdzēsīs mikrometeorītu triecieni. Horizonts atrodas pārsteidzoši tuvu — attālums līdz tam ir tikai 2,5 km. Apkārt plešas lēzeni, pelēki pauguri.

Kad garā Mēness diena ir galā, iestājas nakts un kļūst redzamas zvaigznes. Ja novērotājs atrodas pret Zemi vērstajā Mēness puslodē, tad redzamas tikai spožākās zvaigznes, jo traucē Zemes gaisma, bet Mēness otrā pusē novērošanas apstākļi ir ideāli. Te var ieraudzīt arī ļoti vājas zvaigznes, kuras izskatās kā tāli, nemirgojoši gaismas punkti.

Mēness uzbūve un ģeoloģiskā attīstība. Mēness vidējais blīvums (3340 kg/m^3) ir mazāks nekā Zemei. Tas nozīmē, ka Mēness sastāv galvenokārt no silikātiem. Zem virskārtas regolīta slāņa atrodas Mēness garoza, kuras biezums ir 50...60 km, mantija (biezums aptuveni 1000 km) un astenosfēra (biezums aptuveni 700 km), kas ietver nelielu kodolu (3.24. att.). Mēness dzīles nav tik karstas kā Zemei. Dāļa iežu astenosfērā atrodas pusizkusušā stāvoklī, bet mantija ir cieta. Līdz ar to *Mēnesim praktiski nav magnētiskā lauka* — vājš magnētiskais lauks ir tikai atsevišķos virsas apgabalos.

Mēness seismiskā aktivitāte ir neliela. Laiku pa laikam notiek vājas mēnesstrīces, kuras rada paisuma spēki un meteorītu krišana, retāk — tektoniskie procesi. Dažviet uz Mēness ir atklāti kupolveida kalni dažu kilometru diametrā ar krāteri virsotnē, kuriem varētu būt vulkāniska izcelsme. Kopumā *Mēness ir sastingusi un nemainīga pasaule*. Tikai atsevišķi novērojumi liecina par krāteru krāsas izmaiņām, gāzu izvirdumiem un īslaicīgiem

uzliesmojumiem. Tās ir t.s. mainīgās Mēness parādības, kuru izcelsme vēl jāizpēta.

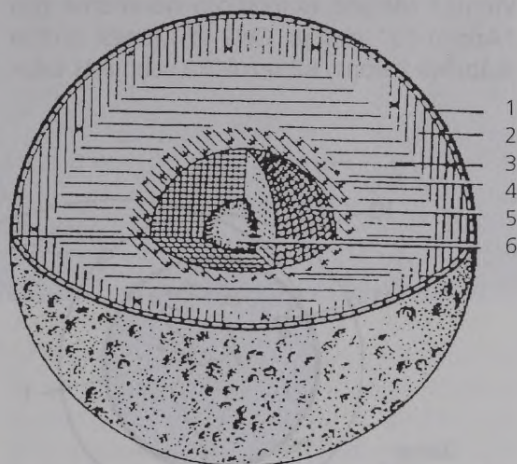
Mēness ir radies vienlaikus ar Zemi aptuveni pirms 4,5 mljrd. gadu. Tā virsu bombardēja apkārtņē lidojošie meteorīti, izveidojot krāterus. Lielākie meteorīti radīja milzīgus padziļinājumus. Meteorītu bombardēšanas rezultātā un izdaloties radioaktīvo izotopu sabrukšanas siltumam, Mēness dzīles sasīla. No tām izplūda lava, kas aizpildīja padziļinājumus, izveidojot Mēness jūras. Jūras ir jaunāki veidojumi, tāpēc uz tām ir mazāk krāteru nekā uz kontinentiem.

Sacietējusi lava Mēness iekšienē dažviet izveidojusi sablīvējumus, ko sauc par *maskoniem* (no vārdiem "masas koncentrācija"). Šie paaugstinātā blīvuma apgabali rada gravitācijas anomālijas — lielu smaguma spēka palielināšanos jūru apvidos, ko var konstatēt pēc Mēness mākslīgo pavadoņu trajektorijas izmaiņām.

Mēness ģeoloģiskā attīstība beidzās aptuveni pirms 3 mljrd. gadu. Protams, meteorīti krita arī vēlāk, taču to nebija daudz un tie bija mazāki. Samērā jauns Mēness krāteris ir, piemēram, Tiho, kas izveidojies aptuveni pirms 100 milj. gadu. Tā kā Mēnesim nav atmosfēras, tā virsu sasniedz jebkura izmēra meteorīti. Mēness bombardēšana ar mikrometeorītiem turpinās visu laiku, un pakāpeniski Mēness reljefs tiek nogludināts.

Mēness izpēte ar kosmiskajiem aparātiem. Mēness izpēte ar kosmiskajiem aparātiem sākās 1959. gadā. PSRS un ASV 17 gadu laikā palaida vairāk nekā 50 dažādu tipu starpplanētu stacijas. Dažas pārlidoja Mēnesi vai ietriecās tajā, citas kļuva par Mēness mākslīgajiem pavadoņiem un fotografēja tā virsu, arī no Zemes neredzamo puslodi. Vēl citas nolaidās uz Mēness un veica mērījumus uz tā virsas. Uz Zemi tika nogādāti Mēness iežu paraugi.

1966. gadā PSRS starpplanētu stacija "Luna-9" pirmā veica lēnu nolaišanos uz Mēness un pārraidīja tā virsas panorāmu. 1970. un 1973. gadā uz Mēness vairākus mēnešus strādāja divi PSRS automātiskie lunomobili "Lunohod". Pēc 1976. gada Mēness izpēte ar kosmiskajiem aparātiem apsīka.



3.24. att. Mēness uzbūves shēma:

1 — garoza, 2, 3, 4 — dažādi mantijas slāņi, 5, 6 — astenosfēra un kodols.

(Ar krustīņiem apzīmētas vietas, kurās novērojamas mēnessīces.)

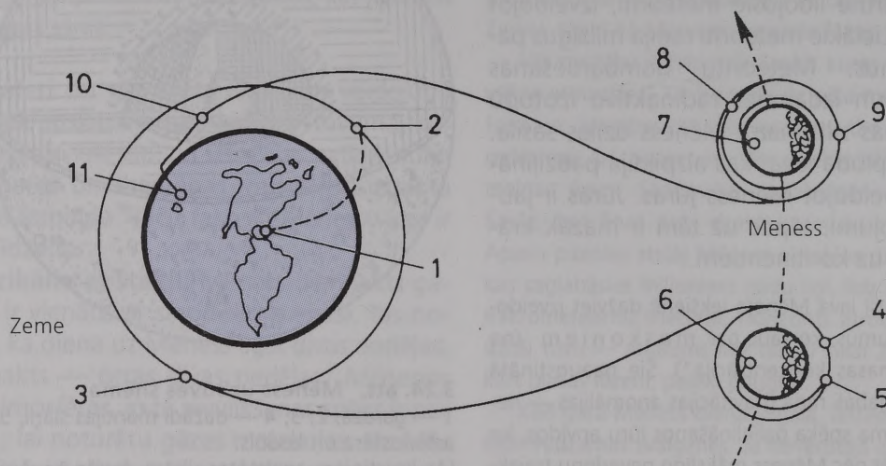
Mēness ir vienīgais debess ķermenis (neskaitot Zemi), uz kura ir bijis cilvēks.

1969. gada 21. jūlijā uz Mēness nolaidās ASV kosmiskā kuģa "Apollo-11" ekspedīcijas bloks. Pirmais uz Mēness izkāpa amerikāņu astronauts N. Ārmstrongs. Vēlāk viņam pievienojās E. Oldrins. Viņi uzstādīja dažādas zinātniskās iekārtas, savāca Mēness iežu paraugus, fotografēja apkārtni un pārraidīja televīzijas reportāžu. Astronauti pavadīja uz Mēness gandrīz diennakti un tad devās atpakaļceļā uz Zemi. Par savu pirmo soli uz Mēness N. Ārmstrongs sacīja tā: "Tas ir neliels solis cilvēkam, bet liels solis uz priekšu visai cilvēcei." Tas tiešām bija liels tehnikas un zinātnes sasniegums, jo kosmosa kuģim ceļā uz Mēnesi un atpakaļ jāveic sarežģīti manevri, darbam uz Mēness vajadzēja izturīgus skafandrus u. c. (3.25. att.).

Nākamajos gados notika vēl 5 veiksmīgas Mēness ekspedīcijas, un kopumā uz šī debess ķermeņa pabija 12 cilvēki. Pēdējo ekspedīciju uzturēšanās ilgums uz Mēness sasniedza 3 diennaktis, kuru laikā astronauti veica daudzveidīgus zinātniskos pētījumus. Izlūkbraucieniem viņi izmantoja speciālu elektrisku lunomobili. Kopumā tika savākti un atgādāti uz Zemi aptuveni 400 kg Mēness iežu paraugu.

Vienīgā Mēness ekspedīciju neveiksme bija "Apollo-13" avārija. Ceļā uz Mēnesi sprāga skābekļa balons, kā rezultātā sabojājās orbi-

tālā bloka elektroapgāde. Astronautiem nācās pāriet uz ekspedīcijas bloku, un viņiem tikai ar pūlēm izdevās atgriezties uz Zemes.



3.25. att. Mēness ekspedīcijas lidojuma shēma:

1 — starts no Zemes, 2 — kosmosa kuģa ievadīšana orbitā ap Zemi, 3 — starts Mēness virzienā, 4 — kosmosa kuģa ievadīšana orbitā ap Mēnesi, 5 — ekspedīcijas bloka atdalīšanās no orbitālā bloka, 6 — nolaišanās uz Mēness, 7 — starts no Mēness, 8 — sakabināšanās ar orbitālo bloku, 9 — starts atpakaļ uz Zemi, 10 — nolaišanās atmosfērā, 11 — piezemēšanās okeānā.

3.2. tabula

Pilotējamie lidojumi uz Mēnesi

| Ekspedīcija | Starts | Atgriešanās | Apkalpe | Uz Mēness pavadītais laiks, h |
|-------------|-------------|-------------|---|-------------------------------|
| "Apollo-11" | 16.07.1969. | 24.07.1969. | N.Ārmstrongs
E.Oldrins, M.Kolinzs* | 22 |
| "Apollo-12" | 14.11.1969. | 24.11.1969. | Č.Konrads, A.Bīns
R.Gordons* | 32 |
| "Apollo-13" | 11.04.1970. | 17.04.1970. | Dž.Lovels**
Dž. Svidžerts**
F.Heiss** | — |
| "Apollo-14" | 1.02.1971. | 10.02.1971. | A.Šepards
E.Mičels, S.Rusa* | 34 |
| "Apollo-15" | 26.07.1971. | 7.08.1971. | D.Skots, Dž.Irvins
A.Vordens* | 67 |
| "Apollo-16" | 16.04.1972. | 27.04.1972. | Dž.Jangs, Č.Djūks
T.Matinglijs* | 71 |
| "Apollo-17" | 7.12.1972. | 19.12.1972. | J.Sērnans, H.Šmits
R.Evanss* | 75 |

* — Trešais astronauts paliek orbitā ap Mēnesi.

** — Avārijas dēļ nolaišanās uz Mēness nenotika.

Jautājumi.

1. Ar ko atšķiras Mēness redzamā un neredzamā puse?
2. Vai ūdens Mēness jūrās ir sāļš?
3. Kā radušies krāteri uz Mēness?
4. Kāpēc Mēnesim nav atmosfēras un magnētiskā lauka?
5. Kāpēc Zeme pie Mēness debessjuma ir nekustīga?
6. Kāpēc Mēness kontinentos ir vairāk krāteru nekā jūrās?
7. Kad uz Mēness izkāpa pirmais cilvēks?

3.6. MERKURS

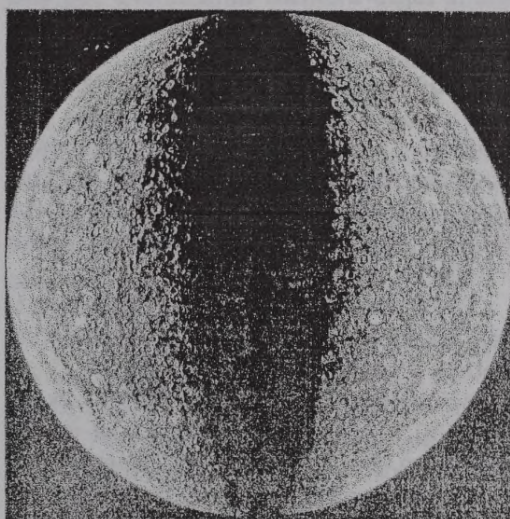
Merkurs — Saulei tuvākā planēta

(3.26. att.). Tas strauji riņķo milzīgās, svelmainās Saules tuvumā vidēji 58 milj. km attālumā no tās. Tā kā Merkura orbīta ir samērā eliptiska, tā attālums no Saules ievērojami mainās — 46...70 milj. km. Vienu apriņķojumu ap Sauli planēta veic 88 dienās, bet vienu apgriezīgu ap asi 59 dienās. Šie periodi ir savstarpēji saistīti — divu apgriezīgu laikā ap Sauli Merkurs trīsreiz apgriežas ap asi. Šāda attiecība izveidojusies Saules pievilkšanas spēka iedarbībā, kas sinhronizējusi planētas rotāciju ar tās orbitālo kustību. Merkurs ir viena no piecām planētām, kuras pazina jau senatnē. Planēta nosaukta romiešu dieva Merkura vārdā.

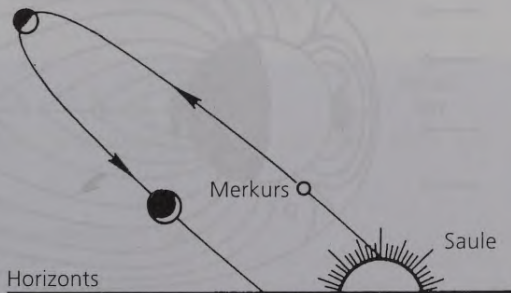


Ātrais un viltīgais Merkurs (sengrieķu variantā Hermejs) bija tirgotāju un ceļotāju aizbildnis. Merkuram dievi uzticēja arī vēstneša pienākumus. Spārnotās sandales apāvis, ar zizli rokā viņš lidoja pāri laukiem un mežiem nodot dievu sūtīto ziņu, samierināt ķildniekus u.tml. Šīs teikas varoņa Merkura lidojums sasaucas ar planētas ātro orbitālo kustību.

Redzamība. Merkurs ir iekšējā planēta. Raugoties no Zemes, tas vienmēr atrodas Saules tuvumā (3.27. att.). Planētas maksimālā elongācija no Saules nepārsniedz 28° . Merkurs mēdz būt redzams zemu pie horizonta austrumu pusē pirms saullēkta vai rietumu pusē pēc saulrieta kā samērā spoža zvaigzne. Taču uz gaišā debess fona tas ir grūti pamanāms. Merkuram, tāpat kā Mēnesim, mainās fāzes. Fāžu maiņas periods ir nepilni



3.26. att. Merkurs.



3.27. att. Merkura novietojuma, leņķiskā diametra un fāžu maiņa vakara redzamības periodā.

4 mēneši. Šajā laikā Merkuram ir viens rīta, viens vakara redzamības periods un divi neredzamības periodi, kad tas atrodas tiešā Saules tuvumā (apakšējā konjunktija un augšējā konjunktija). Planētas leņķiskais diametrs ir neliels. Tas mainās intervālā 5" ... 13". Merkura disku var ieraudzīt vidēji spēcīgā teleskopā, bet atsevišķas detaļas uz tā nav saskatāmas.

Reizi vairākos gados Merkurs šķērso Saules disku. Tas notiek tad, kad planēta apakšējā konjunktijā atrodas tieši starp Zemi un Sauli. Tad uz spoža Saules diska Merkurs redzams kā melns punkts. Tuvākajā laikā Merkurs pāries pāri Saules diskam 1999. gada 15. novembrī.

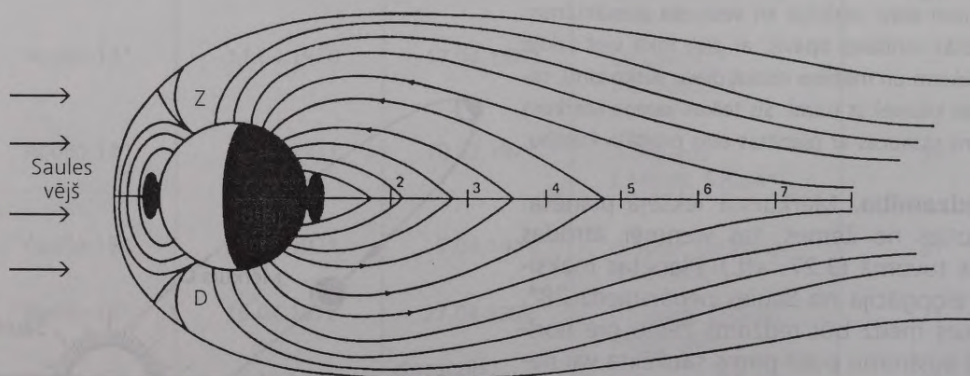
Uzbūve un fizikālie apstākļi. Merkurs ir otra mazākā Saules sistēmas planēta (pēc Plūtona). Tā diametrs ir 4879 km. Merkuram nav pavadoņu. Smaguma spēks uz Merkura virsas ir 2,7 reizes mazāks nekā uz Zemes. Planēta ir pilnīgi apaļa — tās saplakums praktiski ir nulle. Uz tās nav gada laiku.

Tā kā Merkurs atrodas tuvu Saulei, uz tā valda liels karstums. Saules disks pie Merkura debess ir gandrīz trīs reizes lielāks nekā pie Zemes debess. Dienā Merkura virsa sakarst līdz 430 °C. Šādā temperatūrā kūst metāli, piemēram, alva, svins un cinks. Planētas ekvators atrodas orbitas plaknē, tāpēc visvairāk

sakarst planētas ekvatoriālie rajoni. Polu apvidū temperatūra arī dienā ir ievērojami zemāka. Rotācijas īpatnību dēļ *diennakts uz Merkura ilgst 176 Zemes diennaktis jeb divus Merkura gadus.*

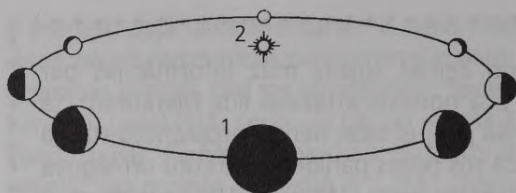
Ja Saule atrodas zenītā, tad 1 m² Merkura virsas saņem 14 kW Saules starojuma. Tā kā Merkura virsa ir ļoti tumša (planētas atstarošanas spēja ir tikai 6%), tad šī enerģija galvenokārt tiek izlietota tās sasildīšanai un rezultātā tā spēcīgi sakarst. Taču Merkuru, tāpat kā Mēnesi, klāj mikrometeorītu bombardēšanas rezultātā izveidojies irdens slānis. Tam ir labas siltumizolācijas īpašības, un jau 1 m dziļumā temperatūras svārstību tikpat kā nav. Šeit temperatūra ir pastāvīga (aptuveni 80 °C).

Garajās naktīs temperatūra uz Merkura pazeminās līdz -180 °C. Salīdzinājumā ar citām planētām uz Merkura ir vislielākā temperatūru atšķirība starp apgaismoto un neapgaismoto pusi — 600 °C. Šo lielo izmaiņu cēlonis ir atmosfēras trūkums. *Merkuram praktiski nav atmosfēras.* Tikai tā virsas tuvumā nelielā daudzumā konstatēti hēlija atomi. Taču tie neveido pastāvīgu gāzes apvalku, bet gan aizplūst starpplanētu telpā. Saules vējš "piegādā" atkal jaunus atomus. Merkuram ir vājš magnētiskais lauks. Tas ir 100 reižu vājāks nekā Zemei. Nelielo magnetosfēru Saules vējš piespiež gandrīz pie planētas pašas virsas (3.28. att.).

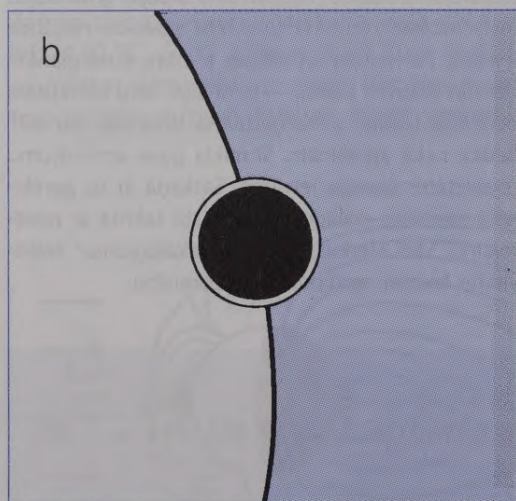
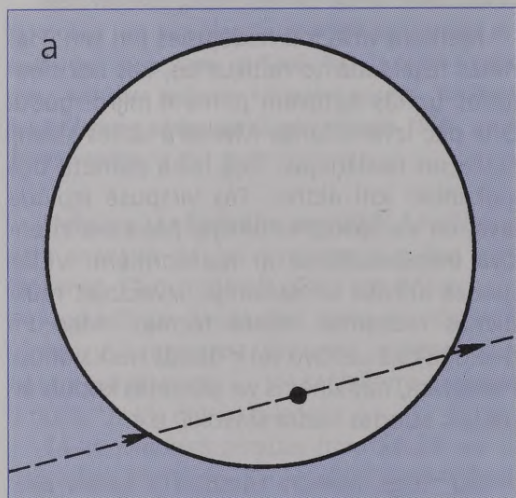


3.28. att. Merkura magnetosfēra.

Dienas pusē Saules vējš piespiež magnetosfēru tuvu planētas virsai. Uz horizontālās ass atlikto lielumu viena vienība atbilst Merkura rādiusam.



3.29. att. Veneras fāžu maiņa:
1 — apakšējā konjunktija, 2 — augšējā konjunktija.



3.30. att. Veneras pāriešana pāri Saules diskam:

a — pāriešanas laikā Venera redzama uz Saules diska kā mazs, melns aplītis, b — kad planēta atrodas uz Saules diska malas, tās atmosfēra kļūst redzama kā spoža josla.

3.7. VENERA

Venera ir otrā Saulei tuvākā planēta.

Tai nav pavadoņu. Tā veic vienu apriņķojumu ap Sauli 225 dienās vidēji 108 milj. km attālumā. Venera ir Zemei tuvākā planēta, tā var pietuvoties Zemei līdz 39 milj. km attālumam. Venera ir otrā no piecām planētām, kuru pazina jau senatnē. Arī senlatvieši bija ievērojuši to, tiesa, uzskatot par diviem dažādiem spīdekļiem — Rīta zvaigzni (Ausekli) un Vakara zvaigzni.



Senatnē grieķi planētu nosauca mīlestības dievietes Afrodītes vārdā, bet romieši šo nosaukumu pārtulkoja, jo viņu mitoloģijā atbilstošās dievietes vārds bija Venera. Teikā stāstīts, ka skaistā Venera piedzīmusi no jūras putām. Viņas uzdevums bija radīt mīlestību dievu un cilvēku sirdīs. Visur viņas ceļā uzplauka puķes.

Redzamība. Venera, tāpat kā Merkurs, ir iekšējā planēta. Veneras fāžu maiņas jeb sinodiskais periods ir 1 gads un 7 mēneši (3.29. att.). Šajā laikā Venerai ir vakara un rīta redzamības periods, kad planēta atrodas tuvu maksimālajai elongācijai. Tai ir īss neredzamības periods, kad planēta atrodas apakšējā konjunktijā, un garāks neredzamības periods, kad planēta atrodas augšējā konjunktijā. Apakšējā konjunktijā Venera atrodas vistuvāk Zemei un tās leņķiskie izmēri sasniedz 63". Taču šajā laikā novērot Veneru nav izdevīgi, jo pret Zemi ir pavērsta planētas neapgaismotā puse.

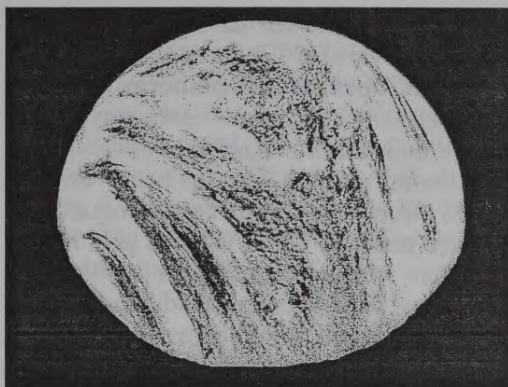
Šajā laikā teleskopā redzams tikai t.s. "krēslas aplis" — Saules gaisma, kas atstarojas un izkliedējas Veneras atmosfērā. Ja planēta apakšējā konjunktijā atrodas tieši starp Zemi un Sauli, nevis nedaudz zemāk vai augstāk, tad notiek Veneras pāriešana pāri Saules diskam (3.30. a, b att.). Tā ir reta parādība. Iepriekšējā reizē tas notika 1874. un 1882. gadā, bet tuvākajā nākotnē to novēros 2004. gada 8. jūnijā un 2012. gada 6. jūnijā. Uz spoža Saules diska Venera izskatās kā mazs, melns aplītis. Kad 1761. gadā Venera šķērsoja Saules disku, tika atklāta planētas atmosfēra.

Labāki novērošanas apstākļi iestājas tad, kad Veneras leņķiskais attālums no Saules palielinās. Tad tā redzama kā liela diametra šaurs sirpis, ko piemērotos apstākļos cilvēks ar asu redzi var izšķirt pat ar neapbruņotu aci. Maksimālā elongācijā planētas leņķiskais attālums no Saules var sasniegt 48°. Šajā laikā tā redzama ceturkšņa fāzē vairākas stundas vakaros pēc saulrieta vai rītos pirms saullēkta kā Joti spoža, balta zvaigzne. *Venera ir trešais spožākais debess spīdekļis pēc Saules un Mēness.* Tās maksimālais spožums sasniedz $-4^m,8$. To var saskatīt pat dienā, ja precīzi zina, kurp skatīties. Augšējā konjunktijā Venera atrodas tālu no Zemes. Tās leņķiskais diametrs ir mazs (10") un novērošanas apstākļi ir neizdevīgi, kaut gan šajā laikā iestājas "pilnveneras" fāze.

Fizikālie apstākļi. Mūsu acīm Veneras virsu aizsedz blīva, balta mākoņu sega. Tā atstaro 72 % Saules gaismas. Vairāku gadsimtu laikā astronomiem neizdevās saskatīt nevienu spraugu tajā, tādēļ nebija zināms Veneras griešanās ātrums. Tikai ar radiolokāciju izdevās noskaidrot, ka *Venera griežas ļoti lēni.* Tā veic vienu apgriezieni ap asi 243 dienās, turklāt pretējā virzienā salīdzinājumā ar citām Saules sistēmas planētām. Tātad planēta veic apriņķojumu ap Sauli ātrāk nekā vienu apgriezieni ap asi. Pretējā rotācijas virziena dēļ planētas diennakts ir īsāka par apgriezieni ap asi — tā ilgst 117 Zemes diennaktis.

Veneras diametrs (bez mākoņu segas) ir 12 104 km. Tas ir tikai neliels mazāks nekā Zemei, tādēļ senāk, kad nebija zināmas abu planētu fizikālās atšķirības, tās sauca par divņumāsām. *Venerai ir bieza un blīva atmosfēra.* Tā sastāv galvenokārt no oglekļa dioksīda (≈97 %) un slāpekļa (≈3 %), kā arī no neliela ūdens tvaika, sēra dioksīda, tvana gāzes un skābekļa. Veneras mākoņi, kas plešas aptuveni 50...70 km augstumā, sastāv no koncentrētas sērskābes pilieniņiem. Tie ir puscaurspīdīgi un līdzīgi miglai vai dūmakai.

Mākoņu segas augšdaļa ir neviendabīga, ko var labi redzēt ultravioletajā diapazonā izdarītajos uzņēmumos (3.31. att.). Tajos Venera izskatās svitraina. Atmosfēras augšējās



3.31. att. Venera.

Labi saskatāma planētas mākoņu augšējo slāņu struktūra.

slāņos pūš spēcīgi vēji un norisinās strauja cirkulācija. Vēl augstāk atrodas jonosfēra. Tās rādiuss ievērojami mainās Saules vēja iedarbībā, jo lēnās rotācijas dēļ *Venerai praktiski nav magnētiskā lauka* — tas ir 100 tūkst. reižu vājāks nekā Zemei, un līdz ar to Venerai praktiski nav magnetosfēras, kas novirzītu Saules vēja daļiņas.

Tuvojoties Veneras virsai, temperatūra un spiediens strauji paaugstinās un uz virsas sasniedz fantastisku vērtību — 470 °C temperatūru un 92 atm. spiedienu. Uz Zemes šāds spiediens pastāv okeānos 900 m dziļumā, kur var nolaisties tikai ar speciālu batiskafu. *Venera ir viskarstākā Saules sistēmas planēta.* Tā ir karstāka pat par Merkuru, kurš atrodas tuvāk Saulei. Oglekļa dioksīds, kas ietilpst Veneras atmosfēras sastāvā, labi laiž cauri Saules gaismu, bet aiztur no planētas plūstošo siltumu. Tā rodas siltumnīcas efekts, kas ievērojami paaugstina planētas temperatūru.

Veneras mākoņi spēcīgi izkļiedē Saules gaismu, tādēļ Saules disks uz tās nekad nav redzams. Apgaismojums ir tāds, kā uz Zemes mākoņainā dienā, bet debess ir oranžā krāsā. Veneras ekvatora slīpums pret orbītas plakni ir tikai 3°, tādēļ uz tās nav gada laiku. Mākoņu segas ietekmes dēļ temperatūra ekvatoriālajos un polārajos rajonos ir ļoti līdzīga. Siltumnīcas efekts izlīdzina arī dienas un nakts temperatūru — uz Veneras visur un

vienmēr ir ļoti karsts, uz tās pūš lēns vējš, kura ātrums ir tikai 1 m/s.

Virsas apskats un planētas uzbūve. Venera ir samērā līdzena — 3/4 virsas aizņem pauguraini līdzenumi un zemienes, 1/4 — augstienes, plakankalnes un kalni. *Veneras reljefa galvenie veidojumi koncentrējušies tās ziemeļu puslodē.* Tā kā Veneras virsa no Zemes nav redzama, tad planētas kartes ir sastādītas, pamatojoties uz radiolokācijas datiem, kas iegūti no Veneras mākslīgajiem pavadoņiem. Reljefa veidojumiem piešķirti dažādi sieviešu vārdi (3.32. att.).

Šajā attēlā redzamajā kartē var atrast galvenās augstienes: Afrodītes zemi (*Aphrodite Terra*), Ištaras zemi (*Ishtar Terra*) un Beta apgabalu (*Beta regio*). Ištaras zemē atrodas Veneras vienīgā plakankalne — Lakšmi plakankalne (*Lakshmi Planum*) un trīs augsti kalnu masīvi (piemēram, Maksvela kalnu (*Maxwell Montes*) augstums ir 11 km). Beta apgabalā atrodas divi milzīgi kalni — Reja (*Rhea Mons*) un Teija (*Theia Mons*), kuru konusa diametrs 1000 km. Uzskata, ka tie ir vairogveida vulkāni. Pēc vairākām pazīmēm var spriest, ka šie un arī citi *Veneras vulkāni ir aktīvi arī*



3.32. att. Vienas Veneras puslodes karte.

Zemienes — tumšas, augstienes — gaišas. Baltie plankumi pie abiem poliem ir neizpētītie apgabali. Krāteri apzīmēti ar melniem aplīšiem, ieļņas — ar svītrlinijām.

mūsdienās. Plašākā Veneras zemiene ir Džinevras zemiene (*Guinevere Planitia*). Līdz ar to maksimālā augstumu starpība uz Veneras sasniedz 14 km, kas ir mazāk nekā uz Zemes. Meteorītu izcelsmes krāteru uz planētas ir samērā maz. Lielākajam diametrs ir 280 km.

Veneras vidējais blīvums ir nedaudz mazāks nekā Zemei. Tādējādi var secināt, ka

Venerai, tāpat kā Zemei, kodols galvenokārt sastāv no dzelzs un citiem metāliem, bet mantija un garoza — no silikātiem. Planēta ir lodveida. Tās virsu veido dažāda lieluma tumši, gandrīz melni, sadrupuši un saplaisājuši iežu gabali, kurus dažviet klāj smalka grunts. Citviet virsu veido lielas, daudzslāņainas iežu plātnes. Veneras ieži ir līdzīgi Zemes bazaltiem.

+++++

Izpēte no kosmosa. *Tikai kosmisko pētījumu rezultātā kļuva iespējams noskaidrot fizikālos apstākļus uz Veneras.* Planēta ir pētīta gan no pārlidojuma trajektorijas, gan no Veneras mākslīgā pavadoņa orbītas, gan arī no nolaižamajiem aparātiem. Veneras virsas tiešu izpēti apgrūtinā tur pastāvošā augstā temperatūra un spiediens. Nolaižamie aparāti spēja darboties uz Veneras tikai vienu stundu.

Veneru ilgstoši ir pētījušas PSRS automātiskās starpplanētu stacijas "Venera". No 1961. līdz 1983. gadam palaistas 16 šādas stacijas. Pirmos tiešos atmosfēras sastāva un meteoapstākļu mērījumus 1967. gadā veica stacijas "Venera-4" nolaižamais aparāts. Pēc trim gadiem "Veneras-7" nolaižamajam aparātam izdevās sasniegt planētas virsu un veikt mērījumus. Vēlāk nolaižamie aparāti tika apgādāti ar modernāku aparatūru atmosfēras un mākoņu segas, arī Veneras virsas izpētei.

"Veneras-9" un "Veneras-10" nolaižamie aparāti 1975. gadā pārraidīja pirmos Veneras virsas attēlus. "Veneras-9" un "Veneras-10" orbitālie aparāti kļuva par pirmajiem planētas mākslīgajiem pavadoņiem. Tie pētīja mākoņu segas augšējos slāņus un kosmisko telpu tās apkaimē. Septiņus gadus vēlāk tika iegūti krāsaini virsas attēli un noteikts grunts sastāvs.

1978. gadā ASV palaida divas automātiskās starpplanētu stacijas "Pioneer-Venus". Pirmā no tām palika orbītā ap Veneru un turpmāko gadu gaitā ar radiolokatoru uzmērīja visu Veneras virsu, kā rezultātā tika sastādīta pirmā planētas karte. No otras stacijas atdalījās četri nolaižamie aparāti, kas nolaidās Veneras atmosfērā un veica detalizētu tās sastāva analīzi. 1990. gadā Veneru sasniedza ASV starpplanētu stacija "Magellan", kas kļuva par planētas mākslīgo pavadoņi. Tās galvenais uzdevums bija Veneras virsas kartēšana un reljefa augstumu uzmērīšana ar radiolokācijas aparatūru. Divu gadu laikā tika sastādītas precīzas Veneras kartes.

+++++

Jautājumi.

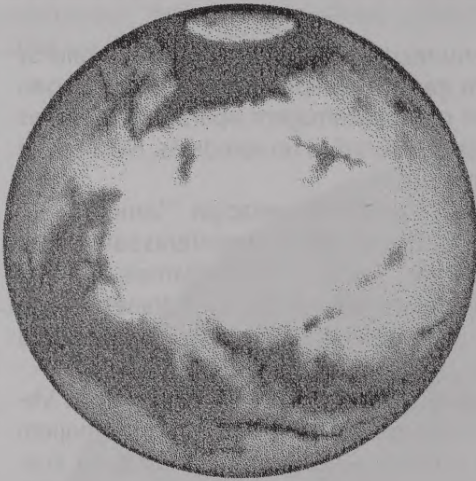
1. Kas atklāja Veneru?
2. Vai Veneru var redzēt pusnaktī?
3. Kādā virzienā rotē Venera, ja skatās uz to no planētas ziemeļpola?
4. Vai uz Veneras mēdz būt saulains laiks?
5. Kāpēc uz planētas virsas ir tik liels atmosfēras spiediens?
6. Veneru sedz bieža mākoņu sega. Kā gan iespējams sastādīt Veneras kartes?
7. Veneras mākoņi ievērojami atstaro Saules gaismu. Kāpēc tomēr uz Veneras virsas ir karsts?

3.8. MARSS

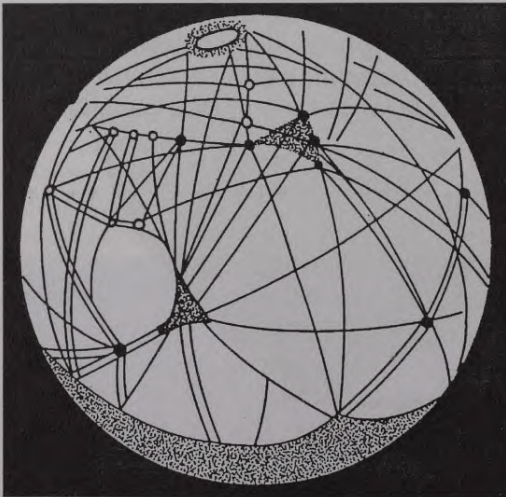
Mars ir ceturrtā Saulei tuvākā planēta.

Mars ir neliela planēta, divas reizes mazāka par Zemi. Tam ir divi mazi pavadoņi. Marsam nepieciešami nepilni 2 gadi, lai veiktu vienu apriņķojumu apkārt Saulei vidēji 1,5 ua attālumā.

Redzamība. Aptuveni ik pēc 2 gadiem un 2 mēnešiem Marss nokļūst opozīcijā. Tad tas



3.33. att. Marsa veidols spēcīgā teleskopā skatījumā no Zemes.



3.34. att. Kanāli uz Marsa, kādus tos novēroja daži pētnieki 19. gs. beigās.

atrodas vistuvāk Zemei un labi redzams visu nakti kā spožs, sarkanīgs spīdekļis. Nelielā teleskopā var saskatīt tikai Marsa disku, bet vidēji spēcīgā teleskopā — arī virsas detaļas — polārās cepures un tumšus plankumus (3.33. att.).



Mars ir viena no piecām planētām, kuras pazina jau tālā senatnē. Acīmredzot savas sarkanās krāsas dēļ tas ieguvis kara dieva vārdu. Grieķi to dēvēja par Aresu, bet romieši par Marsu. Sengrieķu teikās stāstīts, ka Marss, tērpies mirdzošās bruņās un ar milzīgu vairogu rokās, traucies pār kaujas lauku, sēdams nāvi un postu. Pavadoņiem, kas atklāti 1877. gadā, doti atbilstoši nosaukumi — Foboss — nozīmē bailes, bet Deimoss — šausmas.

Mars atrodas vistuvāk Zemei tad, kad tas ir savas orbītas perihēlijā, bet Zeme — afēlijā. Šāda situācija atkārtojas ik pēc 15 vai 17 gadiem un to sauc par **lielo opozīciju**. Tad attālums no Zemes līdz Marsam ir tikai 56 milj. km un planētas redzamais diametrs sasniedz 25". Lielo opozīciju laikā vislabāk saskatāmas detaļas uz Marsa virsas. Tuvākajā laikā lielā opozīcija notiks 2003. gada augustā.

1877. gada lielās opozīcijas laikā, novērojot Marsu, itāļu astronoms Dž. Skjaparelli atklāja uz tā kanālus (3.34. att.). Šis atklājums izraisīja plašas diskusijas, jo kanāli it kā liecināja par Marsa apdzīvotību. Tomēr mūsdienās ir pierādīts, ka kanālu efektu rada nejauša Marsa virsas nelīdzenumu grupēšanās īsākās vai garākās ķēdītēs.

Kaut arī Marss ir ārējā planēta, tam novērojama neliela fāze — dažkārt planētas disks nav pilns, bet ar nelielu robu malā. Kad Marss nokļūst konjunktijā — aiz Saules, tas atrodas tālu no Zemes un tā leņķiskie izmēri ir nelieli. Iestājas planētas neredzamības periods, kas ilgst vairākus mēnešus.

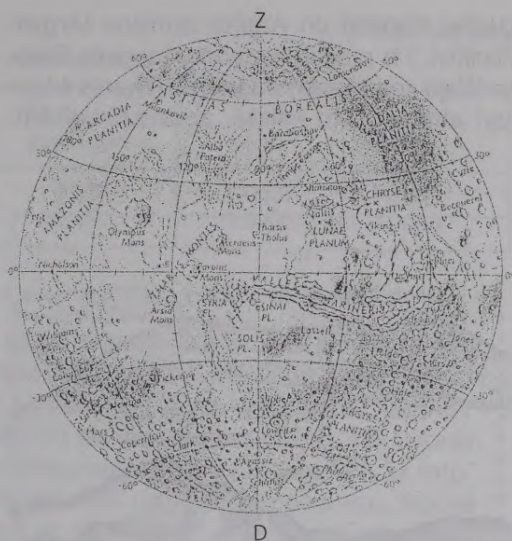
Fizikālie apstākļi. *Mars ir Zemei līdzīgākā planēta Saules sistēmā, kaut gan tā ekvatoriālais diametrs ir tikai 6794 km un masa 10 reizes mazāka nekā Zemei, bet smaguma spēks 2,6 reizes mazāks. Tomēr Marss veic vienu apgriezieni ap asi 24 stundās un 37 minūtēs, gluži tāpat kā Zeme. Uz Marsa pastāv gadalaiki, jo tā ekvators ar orbītas plakni veido 25° leņķi. Planētai ir atmosfēra.*

Par Marsa magnetosfēru un magnētisko lauku ir maz informācijas. Zināms vienīgi, ka magnētiskais lauks uz planētas virsas ir aptuveni 500 reizes vājāks nekā uz Zemes, turklāt ģeogrāfisko un magnētisko polu polaritāte sakrīt. *Marsam ir stipri retināta atmosfēra.* Tā sastāv galvenokārt no oglekļa dioksīda (95 %), kā arī neliels daudzums slāpekļa (2...3 %) un argona (1...2 %). Skābeklis un ūdens tvaiks ir niecīgā daudzumā. Vidējais atmosfēras spiediens uz planētas virsas ir 6 hPa. Tāds spiediens uz Zemes ir 40 km augstumā. Tas ir par zemu, lai cilvēks varētu uzturēties uz Marsa bez skafandra. Marsa atmosfēra ir ļoti caurredzama. Tikai reizēm tajā parādās retināti balti vai violeti mākoņi.

Vēja ātrums uz planētas virsas ir aptuveni 10 m/s. Dažkārt vējš kļūst spēcīgāks, tad tas paceļ putekļus no Marsa virsas un sākas putekļu vētra, kas ilgst 2...3 mēnešus. Miljoniem tonnu putekļu paceļas vairāku kilometru augstumā un aizsedz skatienam gandrīz visu planētu. Putekļu vētras biežāk atgādās lielās opozīcijas laikā, kad Marss atrodas perihēlijā un saņēms no Saules lielāku siltuma daudzumu, kā rezultātā mainās atmosfēras cirkulācija.

Uz Marsa valda bargs polārais klimats. Planētas vidējā temperatūra ir -60°C . Tikai ekvatoriālajā joslā vasaras vidū pusdienlaikā grunts temperatūra neliels daudzums paaugstinās virs 0°C . Citur tā ir zemāka. Piemēram, vidējos platumos dienā gaisa temperatūra ir no -45°C līdz -75°C , bet nakts otrajā pusē pazeminās līdz -90°C . Dienakts temperatūras svārstības ir tik krāsas tādēļ, ka Marsa retinātā atmosfēra nespēj saglabāt dienā uzkrāto siltumu. Īpaši bargs klimats ir uz Marsa poliem, kur atrodas polārās cepures. Šeit temperatūra ir zemāka nekā -125°C . Tādā aukstumā sasalst pat oglekļa dioksīds, tādēļ polārās cepures veido biezs ledus slānis, ko pārklāj plāna sasalušā oglekļa dioksīda (sausā ledus) kārtā.

Marsa orbītai ir samērā liela ekscentricitāte, tādēļ planētas attālums no Saules mainās no 207 milj. km perihēlijā līdz 249 milj. km afēlijā. Līdz ar to ievērojami mainās no Saules saņemtais siltuma daudzums. *Marsam raksturīgas krāsas sezonālas izmaiņas.* Vislielākās pārmaiņas skar polu cepures. Pavasarī sausais



3.35. att. Vienas Marsa puslodes karte.

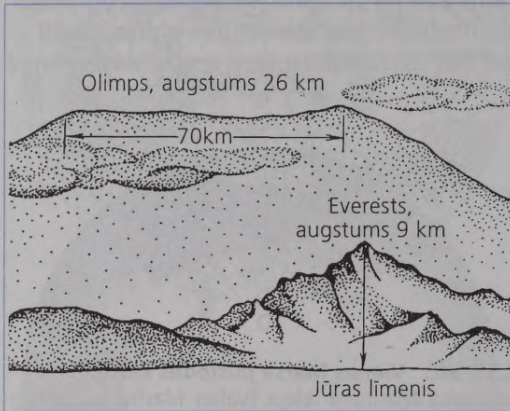
Redzama Marinera ieleja (Valles Marineris), apdzīsušie vulkāni (Olympus Mons u. c.), kā arī citi reljefa veidojumi.

ledus iztvaiko un polārās cepures samazinās, dienvidu polārā cepure vasarā izzūd pavisam. Ziemeļu polārajā cepurē paliek tikai parastais ledus. Rudenī temperatūra pazeminās, oglekļa dioksīds atkal izsalst, un polārās cepures atjaunojas. Arī atmosfēras cirkulācija ir pakļauta sezonu maiņām. Iztvaikojot vai izsalstot lieliem oglekļa dioksīda daudzumiem, rodas spēcīgi vēji.

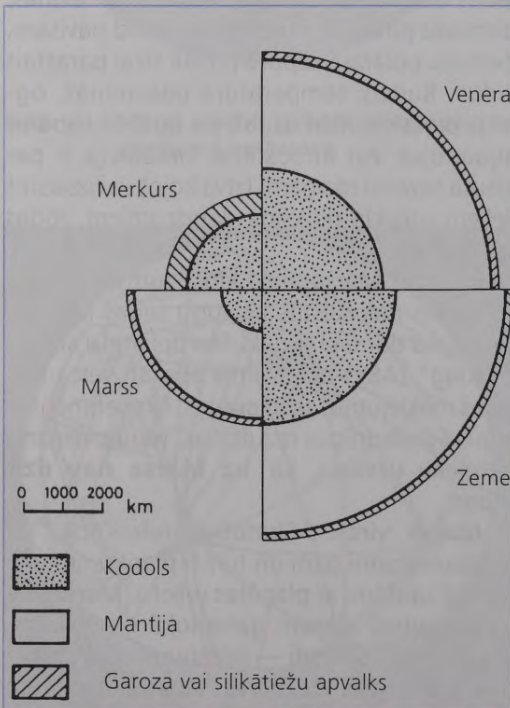
Pavasārī Marsa virsa kļūst tumšāka. Taču šis efekts nav saistīts ar augu segas izveidošanos, kā domāja senāk. Starpplanētu staciju "Viking" (ASV) nolaižamie aparāti veica dzīvības meklējumus uz planētas. Eksperimentos ieguva pretrunīgus rezultātus, tomēr vairums pētnieku uzskata, ka **uz Marsa nav dzīvības.**

Marsa virsa. Skatoties teleskopā, uz Marsa redzami gaiši un tumši plankumi, taču tie nav saistīti ar planētas reljefu. Marsa ziemeļu puslodi aizņem galvenokārt zemiene, bet dienvidu puslodi — līdzenumi un augstienes (3.35. att.). Uz Marsa, tāpat kā uz citām Zemes grupas planētām, ir meteorītu veidoti krāteri. To diametri ir intervālā 100 m...200 km. Dienvidu puslodē atrodas Hellādas zemiene

(Hellas Planitia) un Argires zemiene (Argyre Planitia). Tās radijuši meteorītu triecienu. Ekvatoriālajā zonā Tarsas augstienē (Tharsis Montes) atrodas četri milzīgi, apdzisuši vulkāni.



3.36. att. Olimps salīdzinājumā ar Everestu.



3.37. att. Zemes grupas planētu uzbūves modeļu salīdzinājums.

Starp tiem ir arī **augstākais kalns Saules sistēmā — Olimps (Olympus Mons)**, kura augstums virs vidējā Marsa virsas līmeņa ir 26 km, bet pakājes laukuma diametrs 600 km (3.36. att.). Tā virsotni vainago liels krāteris. Dzijākās zemiene atrodas 4 km zemāk par vidējo līmeni, līdz ar to maksimālā augstumu starpība uz Marsa sasniedz 30 km.

Marsa reljefs ir daudzveidīgs. Uz tā ir plaisas, kanjoni, vaļņi un ielejas. Lielākā kanjonu sistēma ir Marinera ieleja (Valles Marineris) planētas ekvatoriālajā zonā. Tās kopgarums ir 4000 km, platums vairāki simti kilometru, bet dziļums līdz 5 km. *Kādreiz uz Marsa ir tecējušas upes*, par ko liecina izžuvušas, likumotas gultnes. Mūsdienās šķidra ūdens uz Marsa nav, taču daudzas pazīmes liecina, ka ūdens varētu būt mūžīgā sasaluma slāni zem virsas. Marss ir tuksnešaina planēta, kuru klāj smiltis un akmeņi. Tai ir sarkanīga krāsa, ko rada iezu sastāvā ietilpstošie dzelzs oksīdi. Virsu noguldina spēcīgā vēju erozija. Vēja nestās smiltis aizpilda iepaklas, veido kāpas. Marsam ir raksturīgas garas un lēzenas nogāzes. Stāvu krauru ir maz.

Agrāk Marss bija ģeoloģiski aktīva planēta, par ko liecina ģeoloģiskās pārmaiņas ziemeļu puslodē un vulkānu nogāzēs izveidojušās sastingušas lavas straumes. Marsa vulkāni ir darbojušies aptuveni pirms 100 milj. gadu. Mūsdienās vulkānu darbība uz Marsa nav konstatēta. Planētai ir samērā mazs vidējais blīvums — vismazākais no visām Zemes grupas planētām (3.37. att.). No tā var secināt, ka Marss sastāv galvenokārt no silikātiem.

Pavadoņi. Marsa pavadoņiem **Fobosam** un **Deimosam** ir neregulāra forma. Abus pavadoņus klāj krāteru tīkls. Fobosa virsa ir gravu izvagota. Iespējams, ka tās radušās, krītot meteorītam, kas izveidojis arī pavadoņa lielāko krāteri, kura diametrs 8 km. Tāpat kā Mēness, arī Marsa pavadoņi vienmēr ir pavērsuši planētai vienu pusi. Abi pavadoņi ir ļoti tumši — tie atstaro tikai 5 % Saules gaismas. Foboss atrodas tik tuvu Marsam, ka veic vienu apriņķojumu ap planētu trīs reizes ātrāk nekā Marss apgriežas ap asi. Tādēļ Foboss uzlec pie Marsa debess pretējā pusē — rietumos un strauji kustas austrumu virzienā.

Marsa pavadoņu raksturlielumi

| Nosaukums | Izmēri,
km | Aprīņošanas
periods, d | Orbītas lielā
pusass, km | Masa,
kg·10 ²⁰ | Spožums,
zv. l. |
|-----------|---------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|--------------------|
| Foboss | 27×22×19 | 0,3189 | 9 378 | 0,0001 | 11,3 |
| Deimoss | 15×12×11 | 1,2624 | 23 459 | 0,00002 | 12,4 |

+++++

Izpēte no kosmosa. Marss ir vispusīgi un rūpīgi pētīts no Zemes, taču tikai kosmisko pētījumu rezultātā tika precīzi noskaidrots atmosfēras sastāvs, virsas un pavadoņu izskats, kā arī citi raksturlielumi. Marsa izpēte no kosmosa sākās 1965. gadā, kad ASV starpplanētu stacija "Mariner-4" pārlidoja planētu un pārraidīja pirmos attēlus. 1971. gadā par pirmo Marsa mākslīgo pavadoni kļuva ASV starpplanētu stacija "Mariner-9". Tā fotografēja Marsa virsu, noteica atmosfēras raksturlielumus un virsas temperatūru, ieguva Fobosa un Deimosa attēlus. Gandrīz vienlaikus ar "Mariner-9" Marsu sasniedza PSRS starpplanētu stacijas "Marss-2" un "Marss-3", taču to zinātniskais devums bija pieticīgāks.

Veiksmes Marsa izpētē mījās ar neveiksmēm. No četriem sērijas "Marss" kosmiskajiem aparātiem (PSRS), kuriem bija plānota lēna nolaišanās, savu uzdevumu līdz galam neizpildīja neviens. "Marsa-2" nolaižamais aparāts ietriecās planētā, bet "Marsa-7" nolaižamais aparāts aizlidoja tai garām. "Marss-3" 1971. gadā veica lēnu nolaišanos, pa ceļam izdarot mērījumus atmosfērā, taču datu pārraide no planētas virsas ilga īsu brīdi, tad aprāvās.

1976. gadā uz Marsa sekmīgi nolaidās ASV starpplanētu staciju "Viking-1" un "Viking-2" nolaižamie aparāti. Šiem aparātiem bija jāveic daudzveidīga programma. Tie mērīja temperatūru un spiedienu dažādā augstumā virs planētas, veica pilnīgu Marsa atmosfēras ķīmiskā sastāva analīzi, pārraidīja daudzas Marsa ainavas, analizēja grunts sastāvu un izdarīja ilgstošus meteorovērojumus. "Viking-2" darbojās uz Marsa 3,5 gadus, bet "Viking-1" — pat divas reizes ilgāk. Šo staciju orbitālie bloki palika riņķojam ap Marsu un vairākus gadus pārraidīja Marsa virsas un pavadoņu uzņēmumus. Rezultātā praktiski visa Marsa virsa ir kartēta ar augstu izšķirtspēju.

Tad atkal sekoja neveiksmju posms. 1988. gadā PSRS palaida divas starpplanētu stacijas "Fobos" Marsa un Fobosa izpētei. Sakari ar "Fobos-1" pārtrūka jau ceļā uz Marsu. "Fobos-2" gan sasniedza Marsu un uzsāka pētījumus, taču arī ar to tika zaudēti sakari.

1992. gadā ASV palaistā starpplanētu stacija "Mars Observer" pārstāja darboties trīs dienas pirms ieiešanas orbitā ap Marsu.

+++++

Jautājumi.

1. Kāpēc Marsa virsai ir sarkanīga krāsa?
2. Cik gara aptuveni ir Marsa vasara?
3. Kā Marsa polārās cepures ietekmē atmosfēras cirkulāciju?
4. Kāpēc Marsa ziemeļu puslodē ir maz krāteru?
5. Kāds ekipējums vajadzīgs cilvēkam, lai uzturētos uz Marsa?
6. Vai uz Marsa pastāv augu valsts?
7. Kurš Marsa pavadonis ir lielāks — Foboss vai Deimoss?

3.9. MAZĀS PLANĒTAS

Starp Marsa un Jupitera orbītām atrodas kosmiskās telpas apgabals, kurā riņķo aptuveni 100 tūkst. dažāda izmēra objektu. Tās ir **mazās planētas** jeb **asteroīdi** (kas tulkojumā no grieķu valodas nozīmē "zvaigžņveidīgie"). Vairāk nekā 6 tūkst. mazo planētu ir noteiktas precīzas orbītas, piešķirti savi numuri un nosaukumi. Taču ir vēl daudz mazo planētu, kas pagaidām nav novērojamas no Zemesniecīgo izmēru dēļ. Astoņu mazo planētu nosaukumi ir saistīti ar Latviju.



Nosaukumus mazajām planētām piešķirusi to atklājēji. Sākumā mazās planētas dēvēja sieviešu vārdos, kas aizgūti no grieķu un romiešu mitoloģijas. Kad mitoloģiskie nosaukumi praktiski bija izsmelti, mazajām planētām sāka piešķirt pilsētu, valstu, ģeogrāfisku vietu nosaukumus un parastus sieviešu vārdus. 20. gs. attiecās no tradīcijas izmantot tikai sieviešu dzimtes vārdus. Daudzi asteroīdi nosaukti ievērojamu cilvēku vārdos, īpaši astronomu vārdos. Daži atklājēji ir iemūžinājuši sev tuvu cilvēku un dzīvnieku vārdus.

Mazo planētu redzamība. No Zemes mazās planētas patiešām izskatās kā vājas zvaigznes, tikai tās lēni pārvietojas attiecībā pret pēdējām. Mazo planētu novērošanai vajadzīgs binoklis vai neliels teleskops. Tajā var ieraudzīt vairākas mazās planētas, kuru spožums sasniedz 7^m...8^m. Tomēr *vairums mazo planētu redzamas tikai spēcīgā teleskopā*. Tā kā mazo planētu orbītām mēdz būt dažāds slīpums attiecībā pret ekliptiku, tad mazās planētas var novērot ne tikai zodiaka joslā, bet arī ārpus tās.

Asteroīdu joslas uzbūve. Asteroīdu josla plešas 2,2...3,7 ua attālumā no Saules (3.38. att.). Tajā ir 97 % visu mazo planētu. Mazo planētu orbītas atšķiras no lielo planētu orbītām. Tām var būt liela ekscentricitāte, tādēļ daudzu mazo planētu attālums no Saules mainās plašā intervālā. Asteroīdu josla nav viendabīga. Mazo planētu orbītu izvietojumā ir vairākas spraugas, kurās ir ļoti maz objektu. Šīs spraugas rada Jupitera gravitācijas iedarbība, neļaujot mazajām planētām tajās

uzturēties. Uzskata arī, ka asteroīdu joslas rašanās cēlonis ir Jupitera gravitācijas spēks, kas kavējis starpplanētu vielas fragmentu apvienošanās vienā planētā.

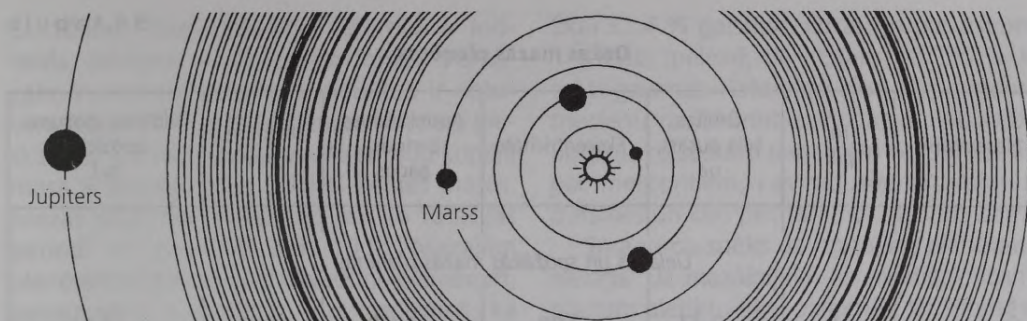
Noskaidrosim, kāpēc mazo planētu orbītu izvietojumā rodas spraugas. Ja mazās planētas apriņķošanas periods ir saistīts ar Jupitera periodu kā veselu skaitļu attiecība (piemēram, viena Jupitera apriņķojuma laikā mazā planēta veic divus apriņķojumus ap Sauli), tad mazā planēta regulāri tuvojas Jupiteram un tā pievilksanas spēks pakāpeniski maina mazās planētas orbītu, līdz šī sakarība jeb rezonanse tiek izjaukta. Mazā planēta pārvietojas uz blakusorbītu, bet asteroīdu joslā tās vietā paliek sprauga.

Asteroīdu josla ilgstošā laikposmā ir visai mainīgs veidojums. Mazo planētu orbītas mainās lielo planētu gravitācijas ietekmē. Ja kāda mazā planēta pietuvojas Jupiteram, tad tās orbīta var kļūt gluži citāda. Ir iespējamas mazo planētu sadursmes, kuru rezultātā rodas dažādu izmēru šķembas un atlūzas.

Mazās planētas ārpus asteroīdu joslas. Ne visas mazās planētas riņķo asteroīdu joslā. Ir vairākas mazo planētu grupas, kuru orbītas atrodas ārpus tās. Divas tādas grupas ir "grieķi" un "trojieši", kas riņķo pa Jupitera orbītu atbilstoši 60° leņķi pirms un 60° leņķi aiz tā. Katrā grupā ietilpst apmēram 20 vidēji lieli asteroīdi un arī daudz sīkāki asteroīdi. Tie atrodas savdabīgās "amatās", kurās tos notur Jupitera pievilksanas spēks.

Triju debess ķermeņu gravitācijas mijiedarbība ir ļoti sarežģīta. Atrisinājums iespējams tikai speciālā gadījumā, piemēram, kad ķermeņu masas ievērojami atšķiras, kā tas ir Saules, Jupitera un mazās planētas gadījumā. Šādā trīs ķermeņu sistēmā pastāv pieci punkti, kuros spēki, kas darbojas uz mazāko ķermeni (mazo planētu), ir relatīvā līdzsvarā. Tie ir t.s. librācijas punkti. "Grieķi" un "trojieši" atrodas librācijas punktos, kuri izvietojušies uz Jupitera orbītas abpus planētai (3.39. att.). Šo grupu asteroīdi nosaukti Trojas kara varoņu vārdos.

Samērā daudz mazo planētu riņķo tuvu Saulei. Piemēram, mazā planēta Ikars perihēlijā pienāk divas reizes tuvāk Saulei nekā Merkurs. *Apmēram 80 mazo planētu orbītas šķērso Zemes orbītu. Šīs planētas var tuvoties*

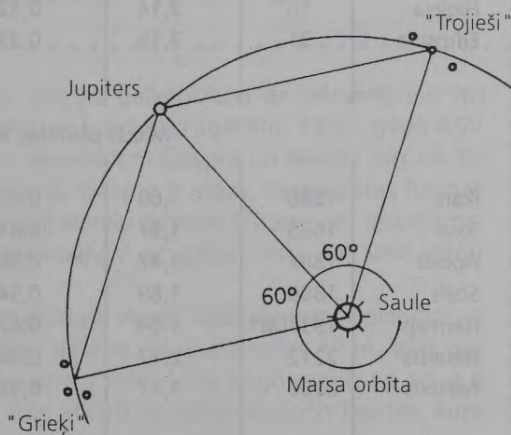


3.38. att. Asteroīdu josla atrodas starp Marsa un Jupitera orbītām. Mazās planētas tajā izvietojušās nevienmērīgi. Pastāv apgabali, kuros ir daudz mazo planētu (tumšās joslas), un apgabali, kuros mazo planētu ir maz (tukšās spraugas).

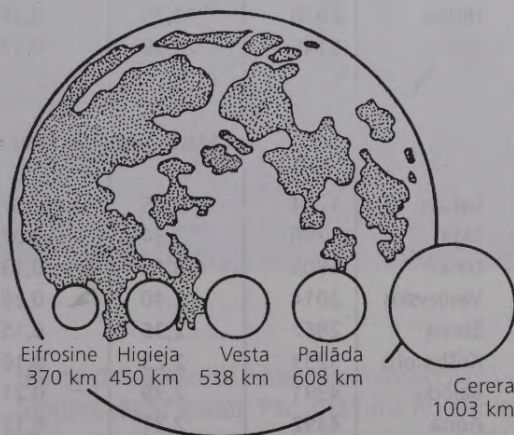
Zemei līdz nelielam attālumam. Mazā planēta Hermejs, kuras diametrs ir 1 km, aizlidoja garām Zemei attālumā, kas ir tikai divas reizes lielāks par attālumu līdz Mēnesim. Tuvu Zemei pienāk mazās planētas Apollo, Toro un citas. Šo asteroīdu kosmiskie ceļi ir zināmi un izskaitļoti ilgam laikam uz priekšu, taču iespējams, ka pastāv vēl tūkstošiem neatklātu ķermeņu, kuru diametrs ir vairāki simti metru un kuri var pietuvoties Zemei vai pat sadurties ar to. Pēdējā laikā bieži tiek novēroti klinšu bluķi (diametrs ≈ 10 m), kas palido garām Zemei tuvāk nekā Mēness. Piemēram, 1994. gadā viens šāds objekts "pašāvās" garām Zemei pēc astronomiskiem mērogiem niecīgā — 100 tūkst. km attālumā. Šis t.s. bīstamās mazās planētas tiek intensīvi pētītas. Šo mazo planētu un Zemes sadursmes iespēja pastāv, taču tā ir niecīga.

Aiz Jupitera orbītas atklāti tikai daži asteroīdu tipa objekti. Lielā attāluma dēļ tie ir vāji un grūti novērojami. To vidū ar ≈ 200 km diametru izejas Hiron. Iespējams, ka tā nemaz nav mazā planēta, bet gan komēta, jo Hironam konstatēts gāzu apvalks — koma. Līdzīgas aktivitātes pazīmes ir arī citiem šīs grupas objektiem. Vairākas mazās planētas nesēn atklātas Plūtona orbītas rajonā.

Fizikālais raksturojums. Asteroīdu diametri ir ļoti dažādi (3.40. att.). *Lielākā mazā planēta*, kas arī tika atklāta pirmā, ir **Cerera**. Tās diametrs ir 1003 km. Nākošās lielākās mazās planētas ir Pallāda, Vesta un Higieja. Taču vairumam mazo planētu diametrs ir



3.39. att. Asteroīdu grupu izvietojums, kuras riņķo pa Jupitera orbītu.



3.40. att. Lielāko mazo planētu un Mēness izmēru salīdzinājums.

Dažas mazās planētas

| Nosaukums | Nr.
p.k. | Orbitas
lielā pusas,
ua | Ekscentricitāte | Aprīņošanas
periods,
gados | Diametrs,
km | Vidējais spožums
opozīcijā,
zv.l. |
|---|-------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------|---|
| <i>Lielākās un spožākās mazās planētas</i> | | | | | | |
| Cerera | 1 | 2,77 | 0,08 | 4,60 | 1003 | 6,8 |
| Pallāda | 2 | 2,77 | 0,23 | 4,61 | 608 | 7,6 |
| Jūnona | 3 | 2,67 | 0,26 | 4,36 | 267 | 8,6 |
| Vesta | 4 | 2,36 | 0,09 | 3,63 | 538 | 5,7 |
| Irida | 7 | 2,39 | 0,23 | 3,69 | 209 | 8,2 |
| Higieja | 10 | 3,14 | 0,12 | 5,56 | 450 | 9,5 |
| Eifrosine | 31 | 3,15 | 0,23 | 5,58 | 370 | 10,7 |
| <i>Mazās planētas, kas šķērso Zemes orbitu</i> | | | | | | |
| Ikars | 1566 | 1,08 | 0,83 | 1,12 | 1,4 | 11,0 |
| Toro | 1685 | 1,37 | 0,44 | 1,60 | 4,8 | 12,7 |
| Apollo | 1862 | 1,47 | 0,56 | 1,78 | 1,4 | 15,5 |
| Sizifs | 1866 | 1,89 | 0,54 | 2,61 | 10 | 14,1 |
| Hermejs | 1937UB* | 1,64 | 0,62 | 2,10 | 1 | 20,0 |
| Hēfaists | 2212 | 2,17 | 0,84 | 3,18 | 8,8 | 15,9 |
| Faetons | 3200 | 1,27 | 0,89 | 1,43 | 6 | 12,3 |
| <i>Mazās planētas, kas atrodas tālu no Saules</i> | | | | | | |
| Hidalgo | 944 | 5,80 | 0,66 | 13,96 | ≈30 | 18,0 |
| Hirons | 2060 | 13,75 | 0,38 | 50,98 | ≈200 | 17,2 |
| Fols | 5145 | 20,39 | 0,57 | 92,05 | ≈140 | 20,3 |
| <i>Mazās planētas, kuru nosaukums saistīts ar Latviju</i> | | | | | | |
| Latvija | 1284 | 2,65 | 0,17 | 4,30 | ≈35 | 13,4 |
| Rīga | 1796 | 3,34 | 0,07 | 6,11 | ≈45 | 14,3 |
| Diriķis | 1805 | 3,13 | 0,13 | 5,53 | ≈25 | 15,1 |
| Vasiļevskis | 2014 | 2,40 | 0,28 | 3,72 | — | 14,0 |
| Šteins | 2867 | 2,36 | 0,15 | 3,63 | ≈10 | 15,4 |
| Krišbarons | 3233 | 2,23 | 0,10 | 3,32 | ≈10 | 15,1 |
| Balodis | 4391 | 2,39 | 0,21 | 3,69 | ≈8 | 16,1 |
| Agita | 4392 | 2,31 | 0,12 | 3,50 | ≈7 | 16,4 |

* — pagaidu apzīmējums.

5...10 km. Tikai vislielākie asteroīdi ir lodveida, pārējiem ir neregulāra forma. Vismazāko numurēto asteroīdu diametrs ir aptuveni 0,5 km. Vēl mazāki debess ķermeņi pieskaitāmi pie meteoroīdiem. Asteroīdu kopējā masa ir niecīga: tikai 1/1000 Zemes masas. Mazās planētas griežas ap asi. To rotācijas periodi ir intervālā 2,3...19 h. Mazajām planētām iespējami savi pavadoņi, piemēram, pavadonis ir asteroīdam Ida. Iespējams, ka dubultas vai vairākkārtīgas sistēmas mazo planētu pasaulē ir visai izplatītas.

Pēc virsmas atstarošanas spējas asteroīdus iedala divās grupās. Vienas grupas asteroīdiem virsa ir tumša, gandrīz melna, tā atstaro

tikai 3...4 % gaismas. Otrās grupas asteroīdi ir gaišāki (pelēki), tie atstaro 10...30 % krītošās gaismas. *Asteroīdu virsu klāj meteorītu triecienu radīti krāteri.* Par asteroīdu uzbūvi un ķīmisko sastāvu pagaidām var spriest tikai pēc meteorītiem, kas radušies asteroīdu sadursmēs un kuri pēc tam nokrituši uz Zemes.

Smaguma spēks uz mazajām planētām ir niecīgs. Uz mazākajiem asteroīdiem kosmonautam pietiktu tikai palēkties, lai "startētu" no tā. Uz asteroīdiem nav atmosfēras, jo to pievilšanas spēks ir pārāk mazs, lai noturētu gāzu atomus. *Asteroīdi ir auksti, ķermeņi.* To temperatūra pat Saules apspīdētajā pusē nepārsniedz $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

+++++

+ **Izpēte no kosmosa.** Mazās planētas ir pētītas galvenokārt ar teleskopiem no +
 + Zemes. Tikai divi asteroīdi Gaspra un Ida ir pētīti ar kosmisko aparātu. 1992. gadā ASV +
 + starpplanētu stacija "Galileo" palidoja garām asteroīdam Gaspra un ieguva pirmos šīs +
 + mazās planētas uzņēmumus no neliela atstatuma. Gaspra ir mazs, neregulāras formas +
 + asteroīds. Tā izmēri ir $20 \times 12 \times 11$ km, virsu klāj vairāki desmiti krāteru un, iespējams, +
 + arī putekļu slānis. Gaspra pieskaitāms pie asteroīdiem ar gaišu virsu. Tas veic vienu +
 + apgriezieni ap asi 7 stundās. +
 + 1993. gadā starpplanētu stacija "Galileo" tuvojās vēl vienai, lielākai mazajai planētai — +
 + Idai. Labākajos attēlos uz tās virsmas saskatāmas detaļas, kuru diametrs 40 m. Idas ga- +
 + rums ir 55 km, to klāj daudz krāteru. Mazā planēta veic vienu apgriezieni ap asi 4,6 +
 + stundās un arī pieder gaišo asteroīdu tipam. Idai atklāts neliels pavadonis Daktils, kura +
 + diametrs 1,5 km. +
 +++++

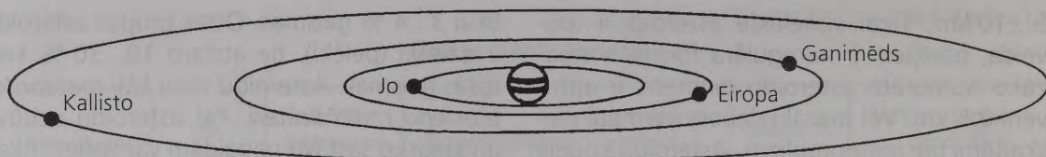
Jautājumi.

1. Vai mazā planēta un asteroīds ir viens un tas pats?
2. Kuru mazo planētu nosaukumi ir saistīti ar Latviju?
3. Vai mazās planētas ir redzamas ar neapbruņotu aci?
4. Kāda ir Jupitera ietekme uz mazajām planētām?
5. Cik daudz mazo planētu atrodas ārpus asteroīdu joslas?
6. Kāda ir Hironam līdzīgo objektu daba?
7. Vai visas mazās planētas jau ir atklātas?

3.10. JUPITERS

Jupiters ir Saules sistēmas lielākā planēta. Dažkārt to sauc arī par neizdevušos zvaigzni, jo, ja tā masa būtu 100 reizu lielāka,

tad tā dzilēs varētu notikt kodolreakcijas un Jupiters sāktu spīdēt. Pēc attāluma no Saules tā ir piektā planēta, kas apriņķo centrālo spīdekli aptuveni 12 gados vidēji 5,2 ua attālumā.



3.41. att. Jupiters ar Galileja pavadoņiem veido "Saules sistēmu miniatūrā".

Planētai ir piešķirts romiešu dievu valdnieka Jupitera (grieķu variantā — Zeva) vārds. Sengrieķu teikās zibeņmetis Zevs raksturots kā bargs valdnieks. Viņš pārvaldījis gan dievus Olimpā, gan mirstīgos uz Zemes. Cilvēku likteņi — laime un nelaime, Jaunais un labais, arī dzīvība un nāve — viss bija viņa rokās.

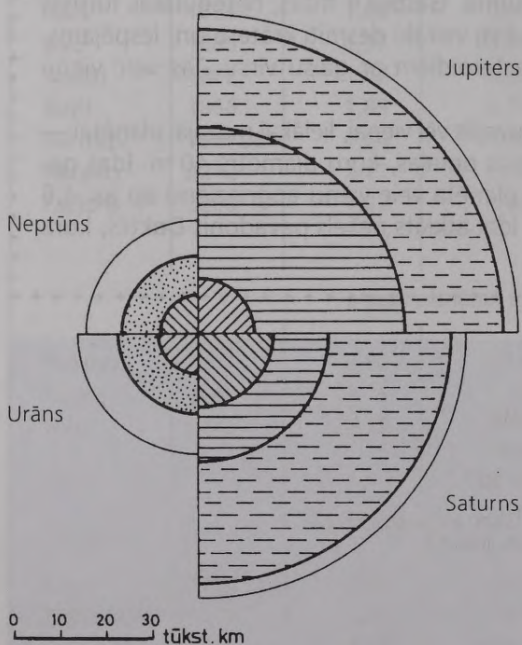
Redzamība. Jupiters vienmēr atrodas samērā tālu no Zemes. Attālums starp Zemi un Jupiteru mainās intervālā 590...970 milj. km.

Neraugoties uz šo lielo attālumu, savu milzīgo izmēru un labās atstarošanas spējas (67 %) dēļ Jupiters pie debess redzams kā spožs, balti dzeltens spīdekļis. Opozīcijā tā spožums var sasniegt $-2^m,6$. Jupitera opozīcijas atkārtojas ik pēc gada un viena mēneša.

Binoklī vai teleskopā jau samērā nelielā palielinājumā redzams Jupitera disks un četri lielākie planētas pavadoņi, kuri maina stāvokli no nakts uz nakti (3.41. att.). Šos Jupitera pavadoņus — Jo, Eiropu, Ganimēdu un Kallisto atklāja G. Galilejs, tādēļ tos sauc arī par Galileja pavadoņiem. Uz saplacinātā Jupitera diska var redzēt paralēlas mākoņu svītras. Spēcīgākā teleskopā var redzēt arī mākoņu joslu detaļas, to skaitā Sarkanā plankumu — atmosfēras virpuli, kas laiku pa laikam maina spožumu, bet pastāv jau gadsimtiem ilgi. Vērojot planētu ilgāk, pamanāma tās ātrā rotācija. Planētas leņķiskie izmēri mainās no 50" opozīcijā līdz 31" augšējā konjunktijā.

Fizikālie apstākļi un uzbūve. Jupiters ir Saulei tuvākā milzu planēta. Milzu planētu galvenā īpatnība ir tā, ka tām ir bieza un blīva atmosfēra, kas dziļākos slāņos pakāpeniski pāriet šķidrā stāvoklī (3.42. att.). Līdz ar to *Jupiteram un citām milzu planētām nav cietas virsas*, uz kuras varētu nosēsties, piemēram, kosmiskais aparāts. No Zemes redzamā virsa ir vienīgi mākoņu segas augšējā robeža.

Jupiters tiešām ir liela planēta — tā ekvatoriālais diametrs ir gandrīz 143 tūkst. km. Jupitera tilpumā varētu ievietot 1000 zemeslodes! Ātrās rotācijas dēļ Jupiters ir ievērojami saplacināts — planētas polārais diametrs ir par 6 % mazāks nekā ekvatoriālais diametrs. Dažādas mākoņu joslas rotē ar atšķirīgu ātrumu. Planētas dziles un mākoņu sega polu rajonā veic vienu apgriezīenu 9^h55^m . Ekvatoriālā zona griežas straujāk — tās rotācijas



- | | |
|-----------------------------|--|
| Kodols | Ledus vai ūdens mantija |
| Metāliskais ūdeņradis | Ūdeņraža un hēlija gāzveida apvalks un atmosfēra |
| Šķidrās ūdeņradis un hēlijs | |

3.42. att. Milzu planētu uzbūves modeļi.

periods ir par 5 min īsāks. Planētas rotācijas ass ir gandrīz perpendikulāra orbītas plaknei.

Jupiteram ir spēcīgs gravitācijas lauks. Smaguma spēks mākoņu segas līmenī 2,35 reizes pārsniedz smaguma spēku uz Zemes. Tās nozīmē, ka 60 kg smags cilvēks uz Jupitera svērtu 140 kg. Jupitera gravitācija ietekmē norises tā kosmiskajā apkārtnē vairāku astronomisko vienību attālumā, piemēram, mainot mazo planētu un komētu orbītas.

Jupitera izraisītie paisuma efekti "saraustīja gabalos" planētai pārāk tuvu pienākušo Šumeikeru-Levi 9 komētu. Viena ķermeņa vietā izveidojās gara vairāk nekā 20 atsevišķu fragmentu virtene, turklāt komētas orbīta izmainījās tā, ka 1994. gadā komēta ietriecās Jupiterā.

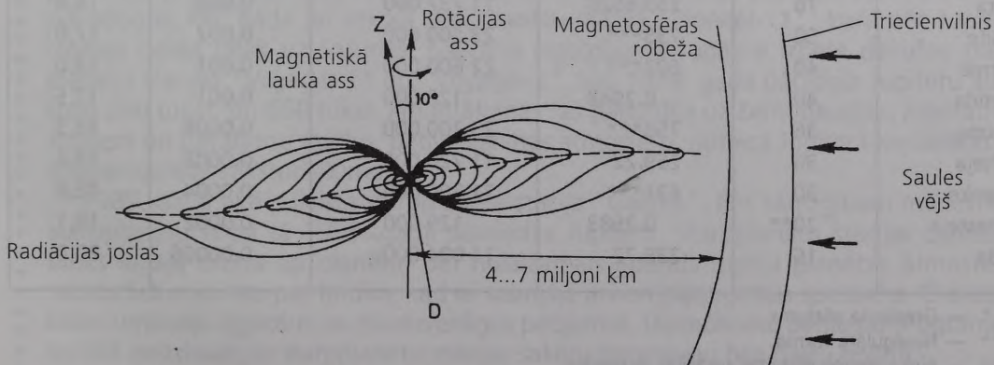
Temperatūra uz Jupitera mākoņu segas līmeni ir zema: $-130\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tā būtu vēl zemāka, ja no planētas dziļēm neplūstu spēcīgs siltums. *Jupiters izstaro kosmosā divas reizes vairāk enerģijas, nekā saņem no Saules.* Šis parādības cēlonis ir planētas lēnā saspiešanās, kuras rezultātā atbrīvojas iekšējā enerģija. Jupiters sastāv no $\approx 80\%$ ūdeņraža, $\approx 20\%$ hēlija un nedaudz piemaisījumiem. Atmosfērā šos piemaisījumus veido amonjaks, metāns un ūdens. Jupitera atmosfērai ir izteikta zonālā cirkulācija. Dažādas mākoņu joslas kustas ar atšķirīgu ātrumu, tādēļ uz to robežas rodas virpuļi. Joslu izskats un nokrāsa visu laiku mainās.

Jupitera mākoņi sastāv no vairākiem slāņiem. Tos veido amonjaka, amonija hidro-sulfīda un ledus kristāli. Kopējais mākoņu

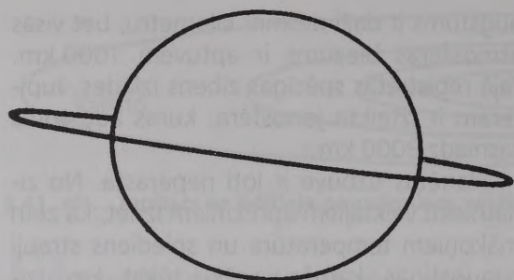
augstums ir daži desmiti kilometru, bet visas atmosfēras biezums ir aptuveni 1000 km. Tajā reģistrētas spēcīgas zibens izlādes. Jupiteram ir izteikta jonosfēra, kuras augstums sasniedz 3000 km.

Planētas uzbūve ir ļoti neparasta. No zinātnieku veiktajiem aprēķiniem izriet, ka zem mākoņiem temperatūra un spiediens strauji paaugstinās, kamēr vairāku tūkst. km dziļumā ūdeņradis un hēlijs pakāpeniski pāriet šķidrā stāvoklī. Šajā slānī temperatūra jau ir $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet spiediens 200 000 atm. Vēl dziļāk *Jupitera dziļēs spiediens sasniedz tādu vērtību, ka ūdeņradis pāriet metāliskā stāvoklī, t.i., pēc īpašībām tas kļūst līdzīgs strāvu vadošam šķidram metālam.* Metāliskā ūdeņraža slānis sniedzas pat līdz kodolam. Protams, šī slāņa sastāvā ietilpst ne tikai ūdeņradis, bet arī hēlijs. Par planētas kodolu nav istas skaidrības — iespējams, ka tas sastāv no metāliem un silikātiem. Jupitera centrā temperatūra sasniedz $25\text{ }000\text{ }^{\circ}\text{C}$, bet spiediens — fantastisku vērtību — 60 milj. atm. Tātad Jupitera uzbūve ir šāda: centrā atrodas kodols, ko apņem metāliskā ūdeņraža slānis, kas pakāpeniski pāriet šķidrā ūdeņraža un hēlija okeānā.

Jupitera straujā rotācija un elektriskās strāvas, kas plūst metāliskā ūdeņraža slānī, rada spēcīgu magnētisko lauku, kas ir aptuveni 10 reizes stiprāks nekā uz Zemes. *No visām planētām Jupiteram ir visspēcīgākais magnētiskais lauks* (3.43. att.). Tā polaritāte sakrīt ar ģeogrāfisko polu izvietojumu, vienīgi magnētiskā lauka ass atrodas 10° leņķī pret rotācijas



3.43. att. Jupitera magnetosfēras uzbūve.



3.44. att. Jupitera gredzens.

asi. Jupitera magnetosfēra ir līdzīga Zemes magnetosfērai, tikai tā ir 100 reizes lielāka. Planētas dienas pusē tās augstums ir 4...7 milj. km, atkarībā no Saules vēja stipruma, bet nakts pusē magnetosfēras "aste" stiepjas līdz Saturna orbītai, t.i., 650 milj. km attālumā. Jupiteram ir intensīvas radiācijas

joslas, kas ir galvenais planētas radiostarojuma avots. Jupiteris izstaro radioviļņus gan decimetru, gan dekametru viļņu diapazonā.

Pavadoņi un gredzens. Jupiteram ir 16 pavadoņi un gredzens. Gredzens ir visām milzu planētām raksturīga parādība. Jupitera gredzens ir plāns (1 km biezs) un caurspīdīgs (3.44. att.). Tas atrodas planētas ekvatora plaknē, un to veido milzīgs daudzums atsevišķu daļiņu.

Četrus lielākos Jupitera pavadoņus attālumā no planētas ir šādi: Jo, Eiropa, Ganimēds un Kallisto. Tie ir lieli debess ķermeņi, kas varētu pretendēt uz planētas statusu, ja vien nerīņķotu ap Jupiteru. Šo četrus pavadoņu orbītas praktiski ir riņķveida un atrodas gandrīz precīzi Jupitera ekvatora plaknē. To rotācija notiek saskaņoti ar orbitālo kustību, kā rezultātā viena pavadoņa puse vienmēr ir pavērsta pret planētu. Pārējie Jupitera

3.5. tabula

Jupitera pavadoņi un gredzens

| Nosaukums | Diametrs, km | Apriņķošanas periods, d | Orbītas lielā pusass, km | Masa, kg·10 ²⁰ | Spožums, zv.l. |
|-----------|--------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|
| Gredzens | 6000* | — | 123 500**** | — | — |
| Ganimēds | 5262 | 7.1546 | 1 070 000 | 1481 | 4,6 |
| Kallisto | 4800 | 16.6890 | 1 883 000 | 1075 | 5,7 |
| Jo | 3630 | 1.7691 | 422 000 | 888.6 | 5,0 |
| Eiropa | 3138 | 3.5512 | 671 000 | 478.5 | 5,3 |
| Amalteja | 190** | 0.4982 | 181 000 | 0.072 | 14,1 |
| Himalija | 186 | 250.5662 | 11 480 000 | 0.095 | 14,8 |
| Tēbe | 100** | 0.6745 | 222 000 | 0.08 | 15,7 |
| Elara | 76 | 259.6528 | 11 737 000 | 0.008 | 16,8 |
| Pasife | 50 | 735*** | 23 500 000 | 0.002 | 17,0 |
| Karme | 40 | 692*** | 22 600 000 | 0.001 | 18,0 |
| Metīda | 40 | 0.2948 | 128 000 | 0.001 | 17,5 |
| Sinope | 36 | 758*** | 23 700 000 | 0.0008 | 18,3 |
| Liziteja | 36 | 259.22 | 11 720 000 | 0.0008 | 18,4 |
| Ananke | 30 | 631*** | 21 200 000 | 0.0004 | 18,9 |
| Adrasteja | 20** | 0.2983 | 129 000 | 0.0002 | 19,1 |
| Lēda | 16 | 238.72 | 11 094 000 | 0.00006 | 20,2 |

* — Gredzena platums.

** — Neregulāra forma.

*** — Riņķo pretēji planētas rotācijas virzienam.

**** — Gredzena viduslīnijas attālumus no planētas centra.

pavadoņi ir ievērojami mazāki. Planētas ciešā tuvumā riņķo četri mazi pavadoņi. Aiz Galileja pavadoņiem atrodas vēl četri nelieli pavadoņi, kas riņķo planētas rotācijas virzienā. Vēl tālāk četri mazi pavadoņi kustas pa izstieptām orbitām pretējā virzienā.

Visneparastākais Jupitera pavadoņi ir Jo. Jupitera klātie izraisa uz tā spēcīgus paisyumus, kuru enerģija sasilda pavadoņa dziles līdz augstai temperatūrai. Jo ir šķidr silikātiežu kodols, ko apņem šķidra sēra okeāns, bet pavadoņa ārpusi klāj vairākus kilometrus bieza sēra garoza. *Jo ir vulkāniski pats aktīvākais debess ķermenis Saules sistēmā.* Uz tā nepārtraukti darbojas vairāki vulkāni, kas izver sēru un sēra dioksīdu. Jo virsa ir ļoti koša — sarkanā, dzeltenā un dažviet arī melnā un baltā krāsā. Tā nepārtraukti pārveidojas. No vulkāniem izsviestā gāze izveido lielus gāzes kupolus, kas pēc tam izkliedējas pa visu Jo orbītu un iedarbojas uz Jupitera magneto sfēru, izraisot polārblāzmas un citas parādības uz Jupitera.

Pavadoņi Eiropa raksturīgs ar to, ka ir gludākais debess ķermenis Saules sistēmā. Augstuma izmaiņas uz tā ir tikai daži desmiti metri. Pavadoņa gaiši oranžo, gludo ledus virsu klāj tumšu aizpildītu plaisu tīkls, kas veido veselu labirintu. Tā garums ir tūkstošiem kilometru, bet platums — vairāki desmiti

kilometru. Plaisas varētu būt radušās, ledus garozai plaisājot iekšējo spriegumu rezultātā. No pavadoņa uzbūves modeļa izriet, ka zem biezas ledus garozas vairāku simtu kilometru dziļumā stiepjas ūdens un ledus "putra", bet pavadoņa centrā ir silikātiežu kodols.

Ganimēds ir vislielākais pavadoņi Saules sistēmā. Izmēru ziņā tas pārspēj Merkuru un Plūtonu. Ganimēda virsa sastāv no ledus, ko klāj dažādu izmēru tumši plankumi un paralēlu rievu sistēmas. Rievu platums ir vairāki simti, bet garums — tūkstoši kilometru. Ganimēdam ir silikātiežu kodols, ūdens-ledus mantija un ledus garoza.

Arī Kallisto ir kaut kas savdabīgs, kas to atšķir no citām planētām un pavadoņiem. *Kallisto ir ar krāteriem visvairāk noklātais debess ķermenis Saules sistēmā.* Pavadoņa tumšo virsu, kas sastāv no ledus ar silikātiežu piejaukumu, no vienas vietas klāj dažāda lieluma krāteri. Dažviet redzamas arī milzīgas koncentrisku gredzenu sistēmas. Daudzie krāteri liecina par to, ka Kallisto virsa ir veidojusies ļoti sen. Tā ir saglabājusies bez būtiskām izmaiņām kopš sākotnējās meteorītu bombardēšanas Saules sistēmas veidošanās laikā pirms 4 mljrd. gadu. Kallisto sastāv aptuveni no 50 % ledus. Pēc pieņemtā uzbūves modeļa tam ir ledus garoza, no diviem slāņiem sastāvoša mantija un silikātiežu kodols.


+++++
+
+ **Izpēte no kosmosa.** Jupitera mākoņu segas izmaiņas, starojumu infrasarkanajā un radiodiapazonā var sekmīgi novērot no Zemes, tomēr vispusīgai planētas izpētei nepieciešami kosmiskie aparāti. Jupiteru ir pētījušas trīs tipu starpplanētu stacijas: "Pioneer", "Voyager" un "Galileo" (visas ASV). "Pioneer-10" sasniedza Jupiteru 1973. gadā un pārraidīja pirmos planētas attēlus no neliela attāluma, pētīja planētas apkārtni un tās pavadoņus. Pēc gada tai sekoja starpplanētu stacija "Pioneer-11", kura pēc Jupitera izpētes devās tālāk uz Saturnu. Galveno ieguldījumu Jupitera izpētē devušas starpplanētu stacijas "Voyager-1" un "Voyager-2", kas 1979. gadā pārlidoja Jupiteru atbilstoši 280 tūkst. un 650 tūkst. km attālumā. Tās pārraidīja uz Zemi daudzus kvalitatīvus Jupitera un pavadoņu attēlus, pētīja planētas atmosfēru, noteica Jupitera jonosfēras un magnetosfēras raksturlielumus.
+ 1989. gadā tika palaista starpplanētu stacija "Galileo". Pēc sarežģītiem manevriem starpplanētu telpā tā 1995. gadā sasniedza Jupiteru. Starpplanētu stacijas orbitālais bloks iegāja orbītā ap planētu, bet nolaižamais aparāts mērīja planētas atmosfēras raksturlielumus līdz pat brīdim, kad to sabojāja arvien pieaugošais spiediens. Orbitālais bloks turpināja ilgstošus un daudzveidīgus pētījumus. Diemžēl visu pētījumu programmu izpildīt neizdevās, jo starpplanētu stacijas sakaru antena jau bija daļēji bojāta.
+++++

Jautājumi.

1. Nosauciet lielākos Jupitera pavadoņus!
2. Cik gara ir diena uz Jupitera?
3. Kāpēc Jupitera atmosfērā notiek aktīva cirkulācija?
4. Vai komētas trieciena rezultātā uz Jupitera var izveidoties krāteris?
5. Vai Jupiteris izstaro radioviļņus?
6. Kāpēc Jo dzīles ir tik karstas?
7. Salīdziniet Jupitera lielo pavadoņu, Plūtona un Merkura izmērus!

3.11. SATURNS

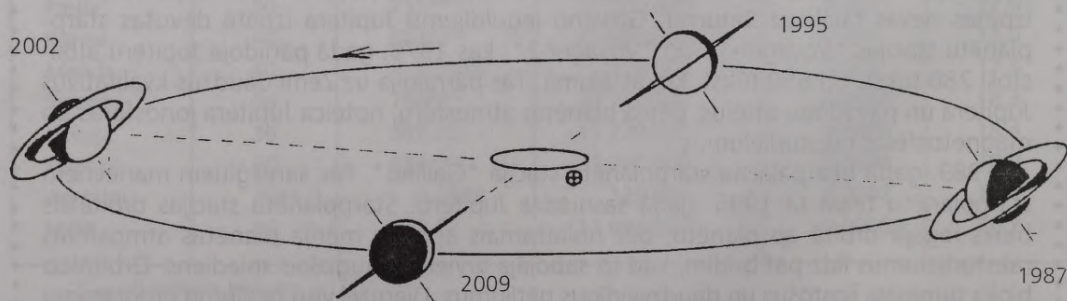
Saturns ir sestā Saulei tuvākā planēta, otra lielākā pēc Jupitera. *Saturnu īpaši izceļ raksturīgais gredzens ap to.* Planēta samērā lēni riņķo ap Sauli vidēji 9,6 ua attālumā, vienu apriņķojumu veicot 29,5 gados. Tās attālums no Zemes mainās intervālā 1,2...1,7 mljrd. km.

 Saturns ir pēc kārtas pēdējā planēta no tām piecām planētām, kuras iepazīna jau antikajā pasaulē. Sengrieķi to dēvēja Zeva tēva Krona vārdā. Krons (grieķu val. *chronos*) — tas ir laiks, kas visu apriņķo. Krons baidījās, ka viņa bērni atņems tam varu, tāpēc viņš tos bez žēlastības apriņķoja. Tikai Zevam izdevās izglābties, jo māte iedeva apriņķot Kronam viņa vietā akmeni. Romiešu mitoloģijā Kronam atbilst Saturns, kura vārds arī piešķirts planētai.

Redzamība. Saturna opozīcijas atkārtojas vienreiz 378 dienās. Tād planēta ir labi redzama

naktī kā samērā spoža, dzeltena zvaigzne. Saturna maksimālais leņķiskais diametrs opozīcijā ir 20", bet gredzena maksimālie izmēri $\approx 47" \times 22"$. Teleskopā Saturna gredzens ir redzams jau samērā nelielā palielinājumā.

Skatoties teleskopā, gredzenam ir elipses forma. Planētai riņķojot ap Sauli, gredzena atvērums mainās atkarībā no tā, kādā leņķī tas ir pavērsts pret Zemi. Vienreiz 15 gados gredzens pagriežas pret Zemi ar šķautni (3.45. att.). Šajā laikā tas nav saskatāms pat spēcīgā teleskopā, jo gredzena biezums salīdzinājumā ar tā platumu ir ļoti mazs. Pēdējo reizi Zeme atradās Saturna gredzena plaknē 1995. gadā. Nākamā reizi gredzens izzudīs 2009. gada 4. septembrī. Starplaikos gredzens iegūst vislielāko atvērumu. Visinteresantākais novērošanai ir tieši gredzens, jo uz pašas planētas var saskatīt gaužām maz detaļu. Tikai retumis uz tās parādās izteiktāki gaiši plankumi. Nelielā teleskopā var aplūkot arī Saturna lielāko pavadoni Titānu.



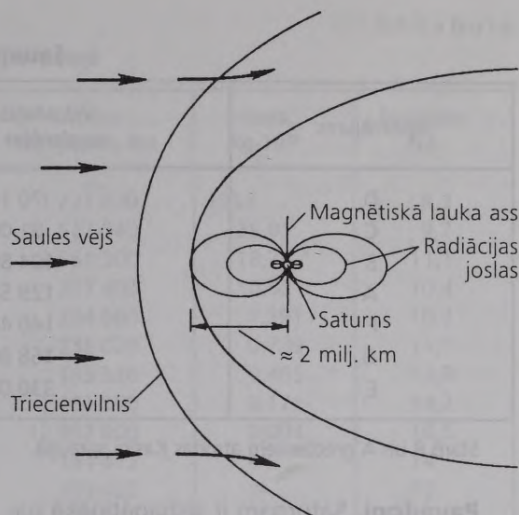
3.45. att. Saturna kustība pa orbītu.

Fizikālie apstākļi un uzbūve. Saturna ekvatoriālais diametrs ir 121 tūkst. km, bet polārais diametrs ir par 14 tūkst. km mazāks, jo Saturnam ir vislielākais saplakums no visām Saules sistēmas planētām. Viens no lielā saplakuma iemesliem ir planētas straujā rotācija — tā veic vienu apgriezianu ap asi 10 h 40 min. Šis periods attiecināms uz planētas dzilēm un mākoņiem mērenā platuma zonā. Ekvatoriālajā joslā Saturns griežas par 26 min straujāk. Saturnam ir vismazākais vidējais blīvums no visām planētām. Taš ir pat mazāks par ūdens blīvumu. Neraugoties uz to, Saturna masa ir $95m_{\oplus}$. Smaguma spēks mākoņu segas līmenī ir apmēram tāds pats kā uz Zemes.

Saturns ir visai līdzīgs Jupiteram. Gan planētas atmosfēra, gan dziles tāpat sastāv galvenokārt no ūdeņraža un hēlija. Atmosfērā nelielā daudzumā ir metāns. Saturna atmosfēras augstums ir ≈ 1000 km. Arī tajā norisinās intensīva cirkulācija, taču Saturna mākoņu joslas daļēji apslēpj ledus kristālu dūmaka, kas atrodas virs tiem. Temperatūra mākoņu segas augšējā līmenī ir -175 °C. Saturns, tāpat kā Jupiteris, izstaro divas reizes vairāk enerģijas, nekā saņem no Saules. Pēc pieņemtā uzbūves modeļa zem atmosfēras slāņa atrodas šķidrā ūdeņraža un hēlija slānis, bet dziļāk sākas metāliskā ūdeņraža slānis. Planētas kodols sastāv no šķidriem metāliem un silikātiem. Saturna centrā temperatūra sasniedz 20 000 °C.

Saturna magnētiskais lauks ir ievērojami vājāks nekā Jupiteram un nedaudz vājāks nekā Zemei (70 % Zemes magnētiskā lauka intensitātes). Tā ass sakrīt ar planētas rotācijas asi, kā arī sakrīt polu novietojums. Saturna magnetosfēra pēc uzbūves ir līdzīga Jupitera magnetosfērai, tikai atbilstoši mazāka — planētas dienas pusē tā plešas līdz 2 milj. km attālumam (3.46. att.). Saturnam ir radiācijas joslas, kas dod vāju radiostarojumu. Tām ir interesanta uzbūve — iekšpusē joslas beidzas pie Saturna gredzena robežas.

Gredzens. Gredzens atrodas planētas ekvatora plaknē. Tā spožākās daļas platums ir ≈ 45 tūkst. km, un pa to varētu ripināt četras blakus noliktas zemeslodes. Gredzena



3.46. att. Saturna magnetosfēras uzbūve.

biezums ir niecīgs — tikai 1...2 km. Gredzens nav vienlaidus veidojums. Teleskopā no Zemes tajā saskatāmas vairākas spraugas, bet attēlos no kosmosa redzams, ka *Saturna gredzens sastāv no tūkstošiem atsevišķu gredzenu*. Tie riņķo ap planētu kā atsevišķi debess ķermeņi. Spraugas starp gredzeniem rada rezonanse ar planētas lielāko pavadoņu kustību, līdzīgi kā Jupiteris rada tukšumus asteroīdu joslā. Gredzenus veido dažāda lieluma ledusgabali. To vidējais izmērs ir daži centimetri, taču ir arī ledus bluķi 10 m diametrā un pavisam sīki ledus putekļi. Gredzeni nav pilnīgi necaurspīdīgi, tie daļēji laiž cauri Saules gaismu.

Saturna gredzens sastāv no septiņām galvenajām joslām, kuru secība, attālinoties no planētas, ir šāda: D, C, B, A, F, G, E. Spožie A un B gredzeni ir labi redzami no Zemes. To iekšpusē atrodas puscaurspīdīgais C jeb krepa gredzens. Planētai tuvākais ir D gredzens, kas stiepjas gandrīz līdz mākoņu virsmai. A gredzena ārpusē atrodas šaurie F un G gredzeni, bet vēl tālāk stiepjas ļoti retinātais E gredzens, kura platums pārsniedz visu pārējo gredzenu platumu kopā. Gar F gredzena iekšmalu un ārmalu virzās divi nelieli pavadoņi, kurus sauc par "ganiem". Tie "uzmana" gredzenu, neļaujot tam kļūt plātākam.

Saturna gredzeni

| Apzīmējums | Vidusdaļas attālums
no planētas centra, km | Platums,
km |
|------------|---|----------------|
| D | 70 100 | 6300 |
| C | 81 000 | 13 000 |
| B | 104 800 | 25 500 |
| A | 129 500 | 14 600 |
| F | 140 400 | 50 |
| G | 168 900 | ~300 |
| E | 330 000 | ~300 000 |

Starp B un A gredzeniem atrodas Kasīni sprauga.

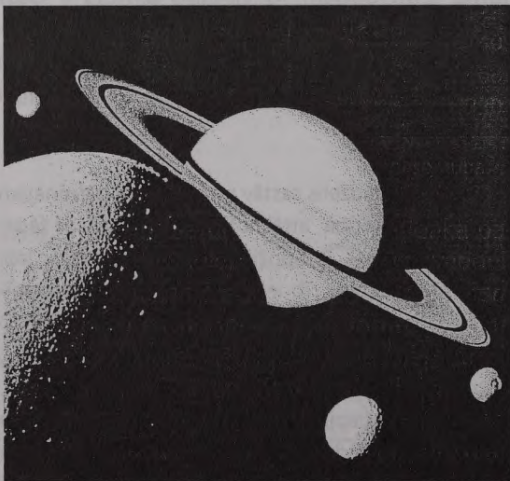
Pavadoņi. Saturnam ir visbagātīgākā pavadoņu saime Saules sistēmā — 20 pavadoņi. Lielākais Saturna pavadonis ir **Titāns**, vēl četri samērā lieli pavadoņi ir **Reja, Japets, Diona** un **Tētija**, pārējo 13 pavadoņu diametrs ir mazāks nekā 500 km (3.47. att.). Tie visi, atskaitot tālāko pavadoni Fēbu, kurš, iespējams, ir Saturna "noķerts" asteroīds, riņķo ap planētu tās griešanās virzienā. Lielāko pavadoņu rotācijas periods ap asi sakrīt ar apriņķošanas periodu ap planētu. Tas nozīmē, ka pavadoņi vienmēr ir pavērsti pret planētu ar vienu pusi. Izveidojas interesanta situācija, ka viena pavadoņa puse ir vērsta kustības

virzienā, bet otra "skatās atpakaļ". Vairākiem pavadoņiem atšķiras priekšējās un aizmugurējās puslodes krāsa.

Lielākie Saturna pavadoņi sastāv galvenokārt no ledus un ūdens. Arī to virsu, atskaitot Titāna virsu, klāj ledus. No putekļu piejaukuma daudzuma ledū ir atkarīga pavadoņu atstarošanas spēja. Uz vairākiem Saturna pavadoņiem atklāti lieli krāteri.

Titāns ir vienīgais pavadonis Saules sistēmā, kam ir blīva atmosfēra. Tā sastāv no 90 % slāpekļa, 10 % argona un metāna. Atmosfēras spiediens uz pavadoņa ir vairākas reizes lielāks nekā uz Zemes. Titānu klāj biezi metāna mākoņi un dūmaka, kas neļauj aplūkot tā virsu un piešķir pavadonim sarkanīgi oranžu krāsu. Uz Titāna ir auksts — mākoņu segas līmenī temperatūra ir -180°C . Titāns ir otrs lielākais pavadonis Saules sistēmā pēc Ganimēda.

Arī Rejas virsa ir krāteru izrobota. Dažu krāteru diametrs ir pat 300 km. Japeta puslodēm ir izteikti atšķirīga nokrāsa. Pavadoņa priekšējā puse ir vairākkārt tumšāka nekā aizmugurējā puse. Šī iemesla dēļ, pavadonim kustoties pa orbītu, mainās tā spožums. Krāteri ir koncentrējušies tajā Dionas puslodē, kas vērsta kustības virzienā. Pa Dionas orbītu kustas vēl viens neliels pavadonis, līdzīgi kā Jupiteram pa priekšu riņķo "grieķu" asteroīdu grupa. Tētijas vienā pusē ir liels krāteris ar 200 km diametru, bet otrā pusē 800 km gara plaīsa. Iespējams, ka pavadonis "ieplīsis" meteorīta trieciena rezultātā. Pa Tētijas orbītu arī riņķo divi pavadoņi.



3.47. att. Saturns un tā pavadoņi. Priekšplānā — Diona.

Saturna pavadoņi

| Nosaukums | Diametrs,
km | Apriņķošanas
periods, d | Orbitas
lielā pusass, km | Masa,
kg·10 ²⁰ | Spožums,
zv.l. |
|-----------|-----------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------|
| Titāns | 5150 | 15,9454 | 1 221 830 | 1353 | 8,3 |
| Reja | 1530 | 4,5175 | 527 040 | 25,01 | 9,7 |
| Japets | 1460 | 79,3301 | 3 561 300 | 18,76 | 11,1 |
| Diona | 1120 | 2,7369 | 377 400 | 10,52 | 10,4 |
| Tētija | 1060 | 1,8878 | 294 660 | 7,391 | 10,2 |
| Encelads | 500 | 1,3702 | 238 020 | 0,739 | 11,7 |
| Mimass | 392 | 0,9424 | 185 520 | 0,455 | 12,9 |
| Hiperions | 286* | 21,2766 | 1 481 100 | 0,171 | 14,2 |
| Fēbs | 220 | 550,48** | 12 952 000 | 0,004 | 16,5 |
| Jānuss | 192* | 0,6945 | 151 472 | — | 14 |
| Epimetejs | 120* | 0,6942 | 151 422 | — | 15 |
| Prometejs | 105* | 0,6130 | 139 353 | — | 16 |
| Pandora | 90* | 0,6285 | 141 700 | — | 16 |
| Helena | 30* | 2,7369 | 377 400 | — | 18 |
| Telesto | 30* | 1,8878 | 294 660 | — | 18,5 |
| Kalipso | 25* | 1,8878 | 294 660 | — | 18,7 |
| Pāns | 20 | 0,5750 | 133 583 | — | — |
| Atlants | 15* | 0,6019 | 137 670 | — | 18 |

1995. gadā atklāti vēl divi pavadoņi.

* — Neregulāra forma.

** — Riņķo pretēji planētas rotācijas virzienam.

+++++
 +
 + **Izpēte no kosmosa.** Saturnu tuvplānā ir pētījušas trīs starpplanētu stacijas: "Pioneer-11", "Voyager-1" un "Voyager-2" (visas ASV). "Pioneer-11" pārlidoja Saturnu 1979. gadā 20 tūkst. km attālumā, pārraidot tā pirmos detalizētos attēlus. Šī stacija atklāja planētas magnetosfēru un divus jaunus gredzenus. Pēc gada Saturna apkaimē nokļuva starpplanētu stacija "Voyager-1", kas veica vispusīgus planētas pētījumus, atklājot arī gredzenu sikstruktūru. Tā cieši tuvojās Titānam un pārlidoja to 4500 km attālumā, apstiprinot pavadoņa atmosfēras pastāvēšanu un veicot atmosfēras pētījumus. Vēl pēc gada Saturna izpēti turpināja "Voyager-2". Šīs stacijas trajektorija bija izraudzīta tā, lai tā veiktu gravitācijas manevru Saturna gravitācijas laukā un dotos tālāk Urāna virzienā.
 +++++


Jautājumi.

1. Kas atklāja Saturna gredzenu?
2. Kāpēc Saturna gredzens nav redzams tad, kad gredzens pagriežas pret Zemi ar šķautni?
3. Kas ir kopīgs un kas — atšķirīgs Saturna un Jupitera uzbūvē?
4. Vai tad, ja pastāvētu pietiekami liela vanna, kurā ielikt Saturnu, tas peldētu?
5. No kā veidoti Saturna gredzeni?
6. Kas ir kopīgs visiem Saturna pavadoņiem, atskaitot pašu tālāko?
7. Ar ko Titāns atšķiras no citiem Saturna pavadoņiem?

3.12. URĀNS

Urāns ir septītā Saulei tuvākā planēta.

Atšķirībā no citām planētām *Urānam ir nepārasta rotācija*. Pirmkārt, Urāns griežas pretējā virzienā salīdzinājumā ar citām planētām. Otrkārt, Urāna rotācijas ass ir gandrīz horizontāla, tādēļ planēta it kā "veļas" pa savu orbītu (3.48. att.). Urāns riņķo tālu no Saules. Vienam apriņķojumam — vidēji 19,2 ua attālumā tam nepieciešami 84 gadi. Pašlaik Urāns attālinās no Saules. Tas sasniegs afēliju 2009. gadā. Pēc tam tas atkal tuvosies Saulei un nokļūs perihēlijā 2050. gadā.

 Urāns tika atklāts gluži nejauši 1781. gadā. Tam dots grieķu dievu ciltstēva, debess valdnieka Urāna vārds. Urāns ir minēts grieķu mītos par pasaules radīšanu. No Urāna (Debess) un Gejas (Zemes) savienības radušies daudzi objekti un parādības: upes un okeāni, Saule un Mēness, zvaigznes pie debess, vēji u.c.

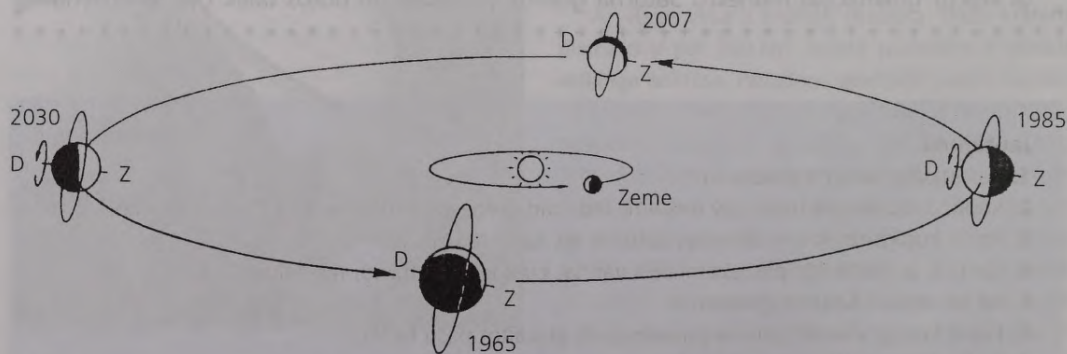
Redzamība. Urāns vienmēr atrodas tālu no Zemes, tādēļ pie debess tas redzams kā vāja, ar neapbruņotu aci tikko saskatāma zvaigzne. To var ieraudzīt ar binokli, ja ir zināmas planētas koordinātas un pieejama zvaigžņu karte. Urāns lēni pārvietojas gar ekliptiku, ik gadus metot nelielas cilpas. Urāna un citu tālāko ārējo planētu sinodiskais periods ir samērojams ar Zemes gada garumu. Piemēram, Urāna opozīcijas atkārtojas ik pēc 370 dienām. Planētas leņķiskie izmēri visu

laiku ir mazi ($\approx 4''$), tādēļ Urāna disku var saskatīt tikai vidēji spēcīgā teleskopā. Urāna pavadoņi nelielā teleskopā nav redzami.

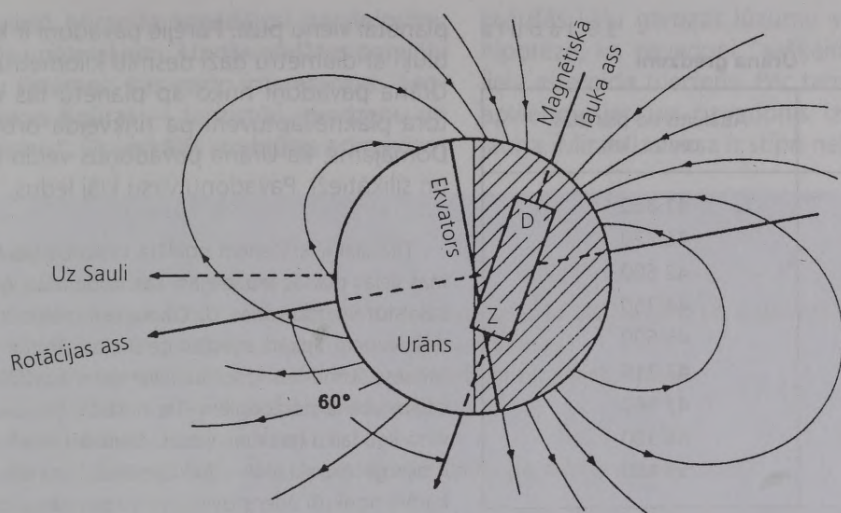
Fizikālie apstākļi un uzbūve. Urāna ekvatoriālais diametrs ir 51 100 km. Planētas saplakums ir neliels. Interesanti, ka smaguma spēks redzamās virsas līmenī ir tāds pats kā uz Zemes, kaut arī planētas masa ir 15 reizes lielāka. Skatoties no Urāna, Saules disku tikko var izšķirt ar neapbruņotu aci. Šādā attālumā Urāns saņem no Saules maz siltuma, turklāt šai planētai ir laba atstarošanas spēja (70 %) un tai nav iekšējā siltuma avota, kāds ir citām milzu planētām. Tādēļ mākoņu segas līmenī temperatūra ir zema: $-210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Planētu sedz blīva, viendabīga dūmaka, kurā nav saskatāmas gandrīz nekādas detaļas. Dūmaku veido metāna ledus kristāli, kas piešķir Urānam raksturīgu bāli zilganzaļu krāsu. Planētas dziles veic vienu apgriezīgu ap asi $17^{\text{h}}14^{\text{m}}$, mākoņi griežas nedaudz straujāk, veicot vienu apgriezīgu 16...17 stundās. Galvenās Urāna atmosfēras sastāvdaļas ir ūdeņradis, metāns, hēlijs un amonjaks. Planētas atmosfēra plešas gan uz augšu, gan uz leju no dūmakas slāņa, kurā spiediens ir 1,6 atm. Planētas centra virzienā temperatūra un spiediens paaugstinās.

Par Urāna iekšējo uzbūvi nav īstas skaidrības. Pēc pieņemtā modeļa Urāna centrā atrodas no silikātiem un varbūt arī no metāliem sastāvošs kodols. Temperatūra planētas centrā ir $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kodolu apņem ledus mantija ar klinšu piemaisījumiem. Daži zinātnieki



3.48. att. Urāna kustība pa orbītu.

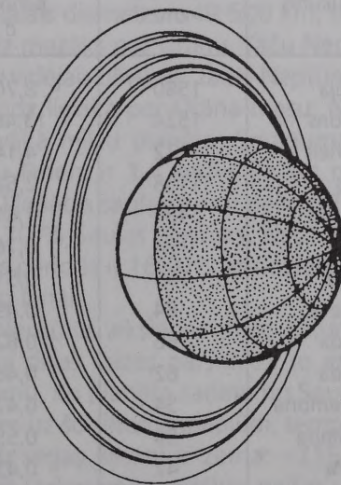


3.49. att. Urāna magnetosfēras uzbūve.

uzskata, ka mantija varētu būt šķidrā stāvoklī. Mantiju apņem gāzu apvalks, kas sastāv no ūdeņraža un hēlija.

Urānam ir ļoti īpatnējs magnētiskais lauks (3.49. att.). Magnētiskā lauka ass ir vērsta 60° leņķī pret planētas rotācijas asi, turklāt tā neiet caur planētas centru, bet ir nobīdīta par $1/3$ rādiusa uz ārpusi. Urāna magnētiskais lauks nav sevišķi spēcīgs ($\approx 77\%$ Zemes magnētiskā lauka intensitātes). Planētas dienas pusē magnetosfēras rādiuss ir aptuveni 470 tūkst. km. Visi Urāna pavadoņi un gredzeni atrodas magnetosfēras iekšienē. Nakts pusē magnetosfēras "aste" ir garāka. Magnetosfērā ietilpst vidēji spēcīgas radiācijas joslas.

Pavadoņi un gredzeni. Deviņi Urāna gredzeni tika atklāti no Zemes 1977. gadā, novērojot kādas zvaigznes aizklāšanu (3.50. att.). To apzīmējumi attālumu secībā no planētas ir šādi: 6, 5, 4, α , β , η , γ , δ , ϵ . *Urāna gredzeni ir ļoti šauri un tumši.* Tos veidojošās daļiņas ir melnas kā kvēpi. Daļiņu vidējais diametrs ir samērā liels — aptuveni 1 m. Daži gredzeni nav pilnīgi apaļi, bet eliptiski. Tie visi atrodas planētas ekvatora plaknē. Gar ϵ gredzena abām malām virzās divi nelieli pavadoņi — "gani". Telpu starp gredzeniem aizpilda putekļi. Starplanētu stacija "Voyager-2" atklāja arī ļoti vāju desmito gredzena.



3.50. att. Urāna gredzeni.

Gredzenu platums ir daži kilometri, atskaitot ϵ gredzenu, kura platums ir vairāki desmiti kilometru.

Urānam ir 15 pavadoņi. Vairāki ir nosaukti angļu rakstnieka V. Šekspīra lugu varoņu vārdos. **Pieci lielākie Urāna pavadoņi ir Titānija, Oberons, Umbriels, Ariels un Miranda.** Šo pavadoņu rotācija ir sinhrona ar to kustību ap planētu, t.i., pavadoņi vienmēr ir paversuši

3.8. t a b u l a

Urāna gredzeni

| Apzīmējums | Attālums no planētas centra, km |
|------------|---------------------------------|
| 6 | 41 860 |
| 5 | 42 270 |
| 4 | 42 600 |
| α | 44 750 |
| β | 45 690 |
| η | 47 210 |
| γ | 47 660 |
| δ | 48 330 |
| ϵ | 51 180 |

planētai vienu pusi. Pārējie pavadoņi ir klinšu bluķi ar diametru dažī desmiti kilometru. Visi Urāna pavadoņi riņķo ap planētu tās ekvatora plaknē aptuveni pa riņķveida orbitām. Domājams, ka Urāna pavadoņus veido ledus un silikātiēži. Pavadoņu virsu klāj ledus.

Titānijai ir krāteriem noklāta virsa. Uz tās redzamas lielas plaisas jeb ielejas, kas veidojušās, garozai sasilstot un izplešoties. Uz Oberona ir meteorītu krāteri, kuriem apkārt stiepjas gaiši stari, līdzīgi kā uz Mēness. Umbriels izskatās ievērojami tumšāks par citiem Urāna pavadoņiem. Tas norāda, ka pavadoņa virsa ilgu laiku nav mainījies. Savukārt Ariels agrāk ir bijis ģeoloģiski aktīvs. To klāj plašs plaisu tīkls, caur kurām notikuši ūdens izvirdumi no pavadoņa dziļēm.

3.9. t a b u l a

Urāna pavadoņi

| Nosaukums | Diametrs, km | Aprīņošanas periods, d | Orbitas lielā pusass, km | Masa, $\text{kg} \cdot 10^{20}$ | Spožums, zv.l. |
|-----------|--------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------|
| Titānija | 1580 | 8,7059 | 435 910 | 35,17 | 13,7 |
| Oberons | 1524 | 13,4632 | 583 520 | 30,06 | 13,9 |
| Umbriels | 1172 | 4,1442 | 266 300 | 11,69 | 14,8 |
| Ariels | 1158 | 2,5204 | 191 020 | 13,51 | 14,2 |
| Miranda | 480 | 1,4135 | 129 390 | 0,693 | 16,3 |
| Paks | 154 | 0,7618 | 86 010 | — | 20,2 |
| Porcija | 106 | 0,5132 | 66 090 | — | 21,0 |
| Džuljeta | 84 | 0,4931 | 64 350 | — | 21,5 |
| Belinda | 66 | 0,6235 | 75 260 | — | 22,1 |
| Kresīda | 62 | 0,4636 | 61 780 | — | 22,2 |
| Dezdemonā | 54 | 0,4737 | 62 680 | — | 22,5 |
| Rozalinda | 54 | 0,5585 | 69 940 | — | 22,5 |
| Bianka | 42 | 0,4346 | 59 170 | — | 23,0 |
| Ofēlija | 30 | 0,3764 | 53 790 | — | 23,8 |
| Kordēlija | 26 | 0,3350 | 49 770 | — | 24,1 |

+++++
 + **Izpēte no kosmosa.** Urānu un tā pavadoņus tuvumā pētījusi tikai viena starpplanētu stacija "Voyager-2" (ASV). 1986. gadā tā pārlidoja planētu 81 500 km attālumā no mākoņu segas un sniedza daudz jaunu datu par planētas izskatu, atmosfēru un magnētisko lauku, atklāja 10 jaunus pavadoņus. No pavadoņiem visdetalizētāk tika izpētīta nelielā Miranda. Līdz tam ziņas par Urānu bija ļoti skopas. Pēc Urāna pārlidojuma "Voyager-2" devās tālāk uz Neptūnu. Tuvākajā laikā Urāna kosmiskie pētījumi nav plānoti. Taču turpinās planētas novērojumi no Zemes. Piemēram, infrasarkanajā diapazonā uz Urāna atklāti vairāki plankumi.
 + + + + +

Nelielā Miranda sagādājusī pārsteigumu planētu pētniekiem. Uz tās atklātas paralēlu gravu sistēmas, kas veido interesantas ģeometriskas figūras — taisnstūri, gredzenu un "stadionu". Šis unikālās struktūras acīmredzot

radušās lielu garozas lūzumu vietās. Pastāv hipotēze, ka pavadoņi "sašķaidījis gabalos" liela asteroīda trieciens. Pēc tam gabali atkal apvienojušies un pavadoņi izveidojies no jauna. Mirandas virsa ir stipri nelidzena.

Jautājumi.

1. Kāpēc uz Urāna ir tik auksts?
2. Ja Urāns ir saskatāms ar neapbruņotu aci, tad kāpēc to atklāja tikai 18. gadsimtā?
3. Kāpēc uz Urāna mākoņu segas nav saskatāmas detaļas?
4. Kādi ķīmiski savienojumi piešķir Urāna atmosfērai zilganzaļu krāsu?
5. Kādas ir Urāna magnētiskā lauka īpatnības?
6. Kā tika atklāti Urāna gredzeni?
7. Kurus V. Šekspīra lugu varoņus var atpazīt Urāna pavadoņu nosaukumos?

3.13. NEPTŪNS

Neptūns ir astotā Saulei tuvākā planēta. Neptūns atrodas Saules sistēmas perifērijā — tā vidējais attālums no Saules ir 30 ua, bet vienam apriņķojumam tas patērē 165 gadus. Pašreiz Neptūns tuvojas Saulei un nokļūs perihēlijā 2042. gadā. *Pēc izmēriem un fizikālajām īpašībām Neptūns ir līdzīgs Urānam, tomēr pastāv zināmas atšķirības.*

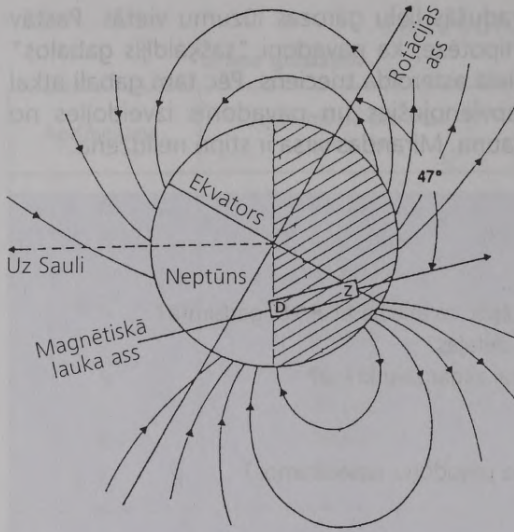


Neptūnu atklāja 1846. gadā. To nosauca romiešu jūras dieva Neptūna vārdā. Romiešu mitoloģijā Neptūns ir ūdens pavēlnieks. Viņam tikai jāpaceļ trijžuburis, lai jūrā sāktos vētra. Taču, līdzko viņš pamāj ar roku, viļņi atkal norimst un kuģi var mierīgi turpināt ceļu.

Redzamība. Neraugoties uz to, ka Neptūns atrodas 11 ua tālāk par Urānu, tā spožums nav daudz mazāks. Planēta redzama binokli vai nelielā teleskopā kā vāja zvaigzne, kas lēni pārvietojas uz citu zvaigžņu fona. Lai to atrastu, ir jāzina tās koordinātas un jāizmanto precīza zvaigžņu karte. Neptūna leņķiskais diametrs ir ļoti mazs — tikai 2". Tāpēc pat ar visspēcīgāko teleskopu uz tā var saskatīt tikai nedaudz detaļu.

Fizikālie apstākļi un uzbūve. Neptūna ekvatoriālais diametrs ir 49 500 km, un tas ir nedaudz mazāks par Urānu. Taču Neptūnam ir lielāks vidējais blīvums, tādēļ Neptūna masa ir nedaudz lielāka par Urāna masu. Neptūns ir visblīvākā milzu planēta. Smaguma spēks mākoņu līmenī ir 1,4 reizes lielāks nekā uz Zemes. Planētas saplakums ir neliels. Tās virsa atstaro 70 % Saules gaismas. Neptūna dzīļu rotācijas periods ir 16^h07^m, atmosfēra griežas nedaudz lēnāk.

No Neptūna iekšienes plūst siltums, kas aptuveni divas reizes pārsniedz to enerģijas daudzumu, ko planēta saņem no Saules. Neraugoties uz šo siltuma pieplūdi, temperatūra mākoņu segas līmenī ir zema: -215 °C. Uz Neptūna saskatāmas vairākas gaišas un tumšas mākoņu svītras. *Atmosfēras veidojumu vidū izceļas Lielais Tumšais plankums* — atmosfēras virpulis, kas līdzīgs Jupitera Sarkanajam plankumam. Zem tā atrodas otrs, mazāks tumšs plankums. Plankumi nedaudz maina formu un novietojumu attiecībā pret planētas ekvatoru. *Dažviet uz Neptūna redzamas baltas mākoņu svītras, kas atgādina spalvu mākoņus.* Novērojumos no Zemes, kuros izmantoja arī Habla kosmisko teleskopu, konstatēts, ka dažu gadu laikā pēc "Voyager-2" pārlidojuma Neptūna mākoņos notikušas pārmaiņas.



3.51. att. Neptūna magnetosfēras uzbūve.

3.10. tabula

Neptūna gredzeni

| Apzīmējums | Vidusdaļas attālums no planētas centra, km | Platums, km |
|------------|--|-------------|
| N3R | 41 900 | 1700 |
| N2R | 53 200 | < 15 |
| N4R | 56 100 | 5800 |
| N1R | 62 900 | < 50 |

3.11. tabula

Neptūna pavadoņi

| Nosaukums | Diametrs, km | Aprīņošanas periods, d | Orbītas lielā pusass, km | Masa, $kg \cdot 10^{20}$ | Spožums, zv.l. |
|-----------|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------|
| Tritons | 2706 | 5,8769** | 354 760 | 214,8 | 13,5 |
| Protejs | 418* | 1,1223 | 117 650 | — | 20,3 |
| Nereida | 340 | 360,1362 | 5 513 400 | 0,206 | 18,7 |
| Lārisa | 192* | 0,5547 | 73 550 | — | 22,0 |
| Galateja | 158 | 0,4287 | 61 950 | — | 22,3 |
| Despina | 148 | 0,3347 | 52 530 | — | 22,6 |
| Talasa | 80 | 0,3115 | 50 070 | — | 23,8 |
| Najāda | 58 | 0,2944 | 48 230 | — | 24,7 |

* — Neregulāra forma.

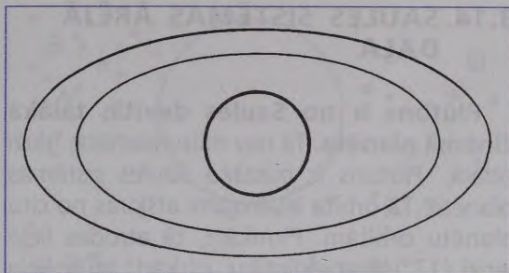
** — Riņķo pretēji planētas rotācijas virzienam.

Neptūna atmosfēra sastāv no ūdeņraža, hēlija, metāna un amonjaka. Tajā ir divi galvenie mākoņu slāņi. Augšējo slāni veido metāna ledus kristāli, un tas daļēji pārklāj ≈ 40 km zemāk esošo amonjaka (vai varbūt ūdeņraža sulfīda) necaurspīdīgo mākoņu slāni. Augšējā slānī atmosfēras spiediens ir nedaudz lielāks nekā uz Zemes, bet apakšējā slānī — 3 reizes lielāks. Virs augšējiem mākoņiem stiepjas retināta dūmaka. *Zilo krāsu planētai piešķir atmosfēras sastāvā ietilpstošais metāns.*

Neptūna uzbūve ir līdzīga Urāna uzbūvei. Pēc pieņemtā modeļa tam ir ciets silikātiestu kodols, šķidra mantija un gāzveida apvalks, kas sastāv no ūdeņraža un hēlija. Pēc aprēķiniem temperatūra planētas centrā sasniedz $13\ 000\ ^\circ\text{C}$. Arī Neptūna magnētiskais lauks ir līdzīgs Urāna magnētiskajam laukam (3.51. att.). Tā magnētiskā lauka ass ir noliekusies par 47° attiecībā pret planētas rotācijas asi. Neptūna magnētiskā lauka vidējais stiprums ir $\approx 40\%$ Zemes magnētiskā lauka stipruma.

Magnētiskā lauka ass attālums no planētas centra ir vēl lielāks nekā Urānam. Ši iemesla dēļ *Neptūna magnētiskajam laukam ir sarežģīta struktūra* — dažādās vietās tā stiprums ir atšķirīgs. Planētu apņem magnetosfēra, kuras rādiuss dienas pusē ir ≈ 500 tūkst. km. Nakts pusē tā plešas tālāk. Neptūnam ir radiācijas joslas, taču dājiņu koncentrācija tajās ir neliela.

Gredzeni un pavadoņi. *Neptūnam ir atklāti četri gredzeni* — divi spožāki, divi vājāki (3.52. att.). Neptūna gredzeni ir platāki un retinātāki nekā Urāna gredzeni. Tos veido nelielas putekļu daļiņas, kas dažviet sablīvējušās ciešāk, veidojot spožākus lokus. Tādēļ novērojumos no Zemes šķiet, ka gredzeni nav vienlaidus, bet sastāv no atsevišķiem fragmentiem. Telpu starp gredzeniem aizpilda putekļi.



3.52. att. Divi spožākie Neptūna gredzeni.

Neptūnam ir 8 pavadoņi. *Lielākais Neptūna pavadonis ir Tritons*, kurš riņķo ap planētu pretēji tās rotācijas virzienam. Pavadoņi **Protejs** un **Nereīda** ir vidēja lieluma, pārējie ir mazāki. Uz tiem atrodas dažāda lieluma krāteri. Piemēram, Proteja viena krātera diametrs ir puse paša pavadoņa diametra.

Interesantākais Neptūna pavadonis ir Tritons. Tā virsas krāsa un veidojums dažādās vietās atšķiras. Pavadoņa dienvidpolu sedz balta polārā cepure, kas, visticamāk, sastāv no sasaluša slāpekļa. Citviet pavadoņa virsa ir sarkanīga. Tritonu klāj garu, aizpildītu plaisu tīkls. Pavadoņa virsa ir ģeoloģiski jauna, par ko liecina fakts, ka uz tā ir maz meteorītu

krāteru. Ģeoloģiskā aktivitāte ir izpaudusies arī kā gāzu un ūdens izvirdumi no pavadoņa iekšienes. Zināma aktivitāte pastāv arī pašlaik. *Uz Tritona ir atklāti divi geizeri*, no kuriem izverd gāzveida slāpekļi un citas gāzes. No geizeriem izsviestā gāze izveido ap pavadoni retinātu dūmaku.

Saskaņā ar uzbūves modeli Tritona garoza sastāv no ledus. Dziļāk atrodas šķidra mantija, ko veido amonjaks, metāns un ūdens, bet pavadoņa iekšienē atrodas ciets klinšu kodols, kura masa ir 2/3 Tritona masas.

+++++
 + **Izpēte no kosmosa.** *Neptūns bija pēdējā planēta, ko apmeklēja starpplanētu stacija* +
 + "Voyager-2" (tālākais stacijas ceļš turpinājās ārpus Saules sistēmas). Tā sasniedza +
 + Neptūnu 1989. gadā un pārlidoja to 4900 km attālumā no mākoņu segas. "Voyager-2" +
 + pārraidīja uz Zemi pirmos detalizētos planētas attēlus, ieguva ziņas par planētas +
 + atmosfēru un magnētisko lauku. Stacija apstiprināja Neptūna gredzenu pastāvēšanu, +
 + atklāja sešus jaunus pavadoņus, kā arī detalizēti izpētīja Tritonu. Šī lidojuma rezultātā +
 + būtiski papildinājās izziņas materiāls, jo novērojumi no Zemes sniedz maz informācijas +
 + par šo tālo planētu. +
 + +++++

Jautājumi.

1. Vai Neptūnu var ieraudzīt ar neapbruņotu aci?
2. Kas atklāja Neptūnu?
3. Neptūns ir mazāks par Urānu. Kāpēc tā masa ir lielāka?
4. Kas ir līdzīgs un kas — atšķirīgs Neptūna un Urāna atmosfēras uzbūvē?
5. Kas ir Neptūna Lielais Tumšais plankums?
6. Neptūns atrodas ievērojami tālāk no Saules nekā Urāns. Kāpēc tā temperatūra mākoņu līmenī ir tikai par 5 °C zemāka?
7. Kādi vulkānu izvirdumi iespējami uz Tritona?

3.14. SAULES SISTĒMAS ĀRĒJĀ DAĻA

Plūtons ir no Saules devītā, tālākā zināmā planēta. Tā nav milzu planēta, gluži otrādi, *Plūtons ir mazākā Saules sistēmas planēta.* Tā orbīta ievērojami atšķiras no citu planētu orbītām. Pirmkārt, tā atrodas lielā leņķī (17°) pret ekliptiku; otrkārt, tai ir liela ekscentricitāte (0,25) (3.53. att.). Plūtona vidējais attālums no Saules ir 39,4 ua, bet perihēlijā tas atrodas 29,6 ua attālumā, respektīvi, tuvāk Saulei nekā Neptūns. Tomēr abas planētas sadurties nevar, jo to kustība ir saskaņota — trīs Neptūna apriņņojumu laikā Plūtons veic divus apriņņojumus ap Sauli, turklāt perihēlijā tās nekad netuvojas viena otrai. *Plūtons riņķo ap Sauli ļoti lēni.* Tā viens gads ilgst 248 Zemes gadus.

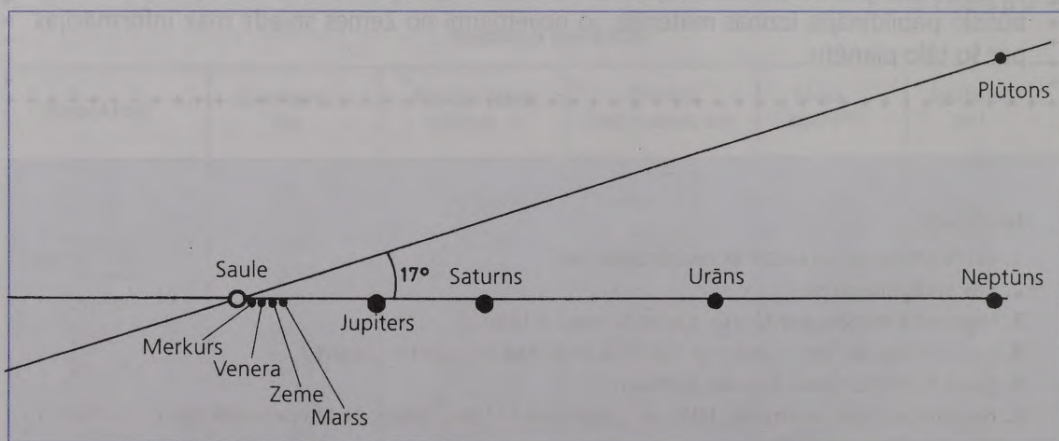


Plūtonu atklāja 1930. gadā. Tam dots grieķu pazemes valstības dieva Plūtona vārds, kas labi atbilst šai tālajai, aukstajai un tumšajai planētai. Pēc grieķu teikām drūmajā Plūtona valstībā, kur nekad neiespīd saule un neiekļūst virszemes dzīves prieki un bēdas, mīt mirušo dvēseles, kurām nekad nav lemts atgriezties uz Zemes. Kopš atklāšanas Plūtons nav veicis pa orbītu vēl ne 1/3 ceļa. 1989. gadā planēta atradās perihēlijā, bet no 1979. līdz 1999. gadam tā pārvietojas Neptūna orbītas iekšienē.

Pie debess Plūtons redzams kā ļoti vāja zvaigzne, ko iespējams ieraudzīt tikai spēcīgā teleskopā. Tas lēni kustas starp zvaigznēm un var atrasties samērā tālu no ekliptikas. Līdz 2005. gadam Plūtons atradās Čūskneša zvaigznājā, bet pēc tam pāries uz Skorpiona zvaigznāju. Gan opozīcijā, gan konjunktijā Plūtona spožums ir gandrīz nemainīgs. Pat spēcīgā teleskopā detaļas uz tās virsas nav saskatāmas.

Plūtonam ir viens liels pavadoņš Harons, kas kopā ar planētu veido ciešu dubultsistēmu. Tā masa ir 12 reizes mazāka par Plūtona masu. Haronu atklāja 1978. gadā. Tas apriņķo Plūtonu aptuveni 6,39 diennaktīs vidēji 19,6 tūkst. km attālumā. Planētas un pavadoņa savstarpējie pievilkšanās spēki ir sinhronizējuši to rotāciju, tādēļ Plūtons un Harons veic vienu apgriezīenu ap asi vienādā laikā ($6^d9^h18^m$) un tie ir vienmēr pavērsti viens pret otru ar vienu un to pašu pusi. Plūtona rotācijas virziens salīdzinājumā ar citām Saules sistēmas planētām ir pretējs. Plūtona diametrs ir ≈ 2300 km, bet Harona — ≈ 1200 km.

Laikposmā no 1985. g. līdz 1990. gadam Harona orbīta attiecībā pret Zemi atradās tā, ka Harons un Plūtons regulāri aizklāja viens otru. Tas sekmēja planētas un pavadoņa izmēru, kā arī Harona orbītas datu precizēšanu. Pēc tā, kā mainījās Plūtona spožums,



3.53. att. Plūtona orbīta ir slipi vērsta attiecībā pret ekliptikas plakni. Pārējās planētas vienmēr atrodas ekliptikas plaknes tuvumā.

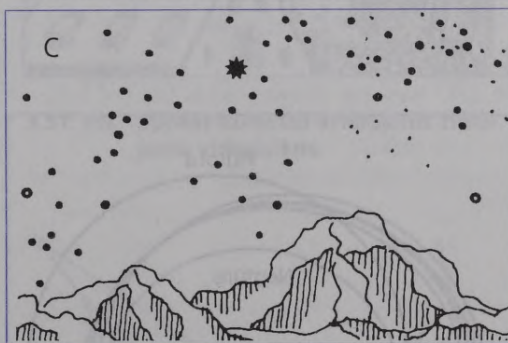
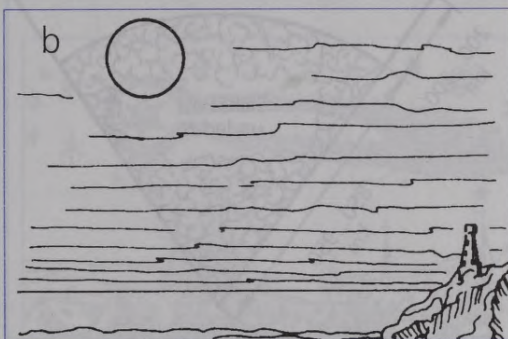
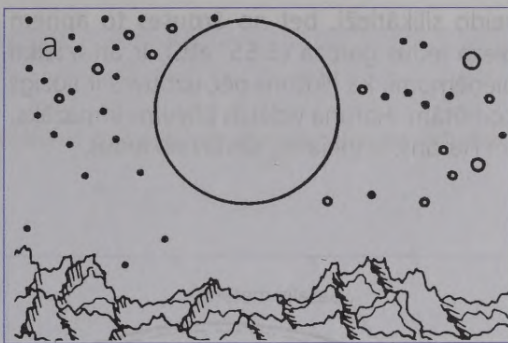
Haronam aizklājot dažādus tā apgabalus, izdevās noskaidrot, ka uz planētas virsas pastāv gaiši un tumši plankumi. Iespējams, ka Plūtonam ir gaišas polu ce-pures, tumšāks ekvatoriālais apvidus un ka planētas virsu klāj dūmaka.

Plūtons ir vienīgā planēta, kuru nav pētījušas starpplanētu stacijas. Lielā attāluma dēļ apgrūtināti ir arī tās novērojumi no Zemes. Tuvākajā laikā nevienas starpplanētu stacijas lidojums uz Plūtonu nav paredzēts.

Reizi vairākos gados Plūtons aizklāj kādu zvaigzni. Pēc zvaigznes "pazušanas" ilguma var noteikt planētas izmērus, bet pēc zvaigznes gaismas vājināšanās pirms un pēc aizklāšanas var spriest par planētas atmosfēru. Šādi novērojumi, kas tika veikti 1988. gadā, apstiprināja, ka uz Plūtona pastāv atmosfēra. Ar jutīgiem spektrometriem metāns uz Plūtona bija atklāts jau 1976. gadā, taču tad vēl nevarēja noteikt, vai tas atrodas cietā, šķidrā vai gāzveida stāvoklī.

Saule pie Plūtona debess izskatās kā spoža zvaigzne (3.54. att.). Tās starojums tikpat kā nesasilda planētas virsu, tādēļ temperatūra uz Plūtona ir aptuveni $-215\text{ }^{\circ}\text{C}$. Plūtonam ir gaiša, sarkanīgi pelēcīga virsa, ko sedz sasa-luša metāna kristāli. Tās atstarošanas spēja ir $\approx 60\%$. Planētu apņem Joti retināta metāna atmosfēra. Pašreiz uz Plūtona ir "vasara", jo planēta atrodas perihēlija tuvumā, kur tā saņem no Saules gandrīz trīs reizes vairāk siltuma nekā afēlijā. Rezultātā daļa metāna ledus iztvaiko, papildinot atmosfēru. Planētai attālinoties no Saules, notiks pretējs process. Iespējams, ka atmosfēra uz Plūtona pastāv tikai tad, kad planēta atrodas tuvu perihēlijam. Uz Harona atmosfēras nav, tā tumši pelēko virsu sedz ledus.

Plūtona temperatūra ir tieši tāda, kāda vajadzīga, lai planētai pastāvētu atmosfēra. Ja temperatūra būtu zemāka, tad atmosfēra izsaltu. Savukārt, ja tā būtu augstāka, tad gāzes pārvarētu planētas nelielo pievilksanas spēku un aizlidotu kosmosā. Taču arī pastāvošajā temperatūrā daļa gāzes aizplūst. Tas padara Plūtonu līdzīgu komētai. Daži pētījumi liecina, ka ledu uz Plūtona veido nevis metāns, bet galveno-



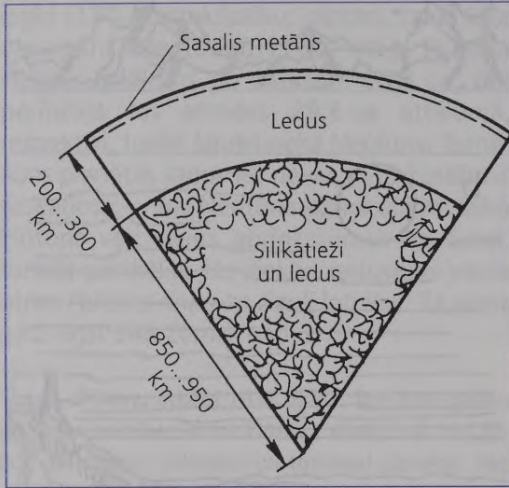
3.54. att. Saule:

a — pie Merkura debess, b — pie Zemes debess, c — pie Plūtona debess.

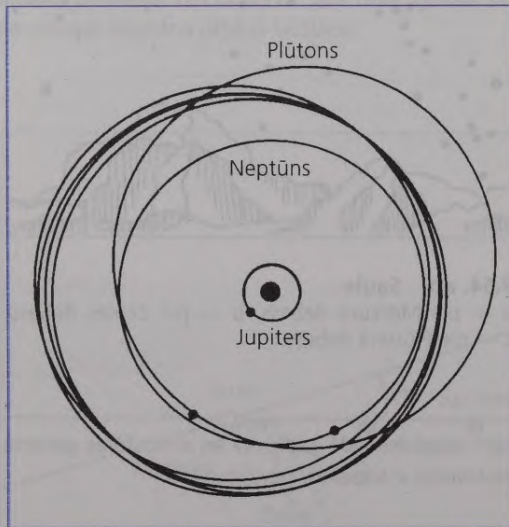
kārt slāpeklis. Tādā gadījumā arī atmosfēras galvenā sastāvdaļa ir slāpeklis, nevis metāns.

Salīdzinājumā ar milzu planētu pavadoņiem Plūtons ir samērā blīvs debess ķermenis. Tā vidējais blīvums ir $\approx 1900\text{ kg/m}^3$. Tātad varētu būt, ka aptuveni pusi planētas masas

veido silikātieži, bet no ārpuses to apņem bieza ledus garoza (3.55. att.). Ir arī izteikti pieņēmumi, ka Plūtons pēc uzbūves ir līdzīgs komētām. Harona vidējais blīvums ir mazāks, un Harons, iespējams, sastāv no ledus.



3.55. att. Plūtona iespējamās uzbūves shēma.



3.56. att. Četru ārējās asteroīdu joslas objektu orbītu salīdzinājums ar Jupitera, Neptūna un Plūtona orbītām.

Citi objekti Saules sistēmas ārējā daļā.

Pēc novirzēm Urāna kustībā tika atklāts Neptūns. Taču arī pēc tam Urāna kustībā turpināja pastāvēt atšķirība starp teoriju un novērojumiem. Tika izteikta doma, ka Urāna kustību ietekmē kāda līdz šim neatklāta masīva planēta, kurai tika dots pat nosaukums — Planēta X. Daži astronomi centās aprēķināt iespējamās planētas orbītu, masu un stāvokli pie debess. Taču viņu iegūtie rezultāti ievērojami atšķirās. Tika veikta arī rūpīga debess izpēte, tomēr meklējamais objekts netika atrasts. Atrisinājumu deva starplanētu staciju "Voyager" trajektorijas mērījumi, kas ļāva precizēt milzu planētu masu. Ievietojot tās planētu kustības teorijas aprēķinu formulās, atšķirība starp aprēķināto un novēroto Urāna pozīciju praktiski izzuda. Tas nozīmē, ka *nevienas masīvas planētas Saules sistēmas ārējā daļā nav*. Taču tas nenozīmē, ka tur nevarētu pastāvēt kādi sīkāki objekti.

1992. gadā amerikāņu astronomi atklāja objektu, kas riņķo ap Sauli apmēram tādā pašā attālumā kā Plūtons. Pēc uzbūves tas līdzinās sasalušas komētas kodolam ar Joti tumšu virsu, tā aptuvenais diametrs ir 200 km. Vēlāk tika atklāti vairāki desmiti objektu ar līdzīgiem izmēriem un orbītām. Pie debess tie redzami kā Joti vājas 23^m zvaigznes. Četru objektu orbītas ir līdzīgas Plūtona orbītai, ieskaitot pat saskaņoto kustību attiecībā pret Neptūnu, tikai šīs orbītas ir citādi izvietotas (3.56. att.). *Iespējams, ka līdz šim atklātie objekti ir tikai lielākie no vairākiem tūkstošiem debess ķermeņu, kas riņķo ārējā asteroīdu joslā*, kuras pastāvēšana bija teorētiski paredzēta iepriekš. Pēc pastāvošajiem priekšstatiem, ārējā asteroīdu joslā sākas aptuveni pie Neptūna orbītas un stiepjas līdz 150 ua attālumam no Saules. Par atklāto objektu dabu nav īstas skaidrības, — vai tie ir asteroīdi vai komētas. Tomēr vairums pētnieku uzskata, ka tās ir komētas. Sakarā ar šo atklājumu tiek apšaubīts arī Plūtona planētas statuss. Varbūt, ka Plūtons jāuzskata nevis par patstāvīgu planētu, bet tikai par lielāko objektu ārējā asteroīdu joslā.

Jautājumi.

1. Vai Plūtons ir planēta?
2. Dažbrīd Plūtons un Neptūns atrodas vienādā attālumā no Saules. Vai abas planētas var sadurties?
3. Kura pašlaik ir tālākā planēta no Saules?
4. Kādi apstākļi sarežģī Plūtona novērojumus?
5. Kāpēc uz Plūtona mainās gadalaiki?
6. Kādi kosmiskie aparāti ir pētījuši Plūtonu?
7. Vai aiz Plūtona atrodas vēl kādas planētas?

3.15. KOMĒTAS

Laiku pa laikam pie debess novērojami miglaini plankumi, kas dienu no dienas pārvietojas starp zvaigznēm. Spožākajiem plankumiem izveidojas gara aste. Tās ir "astes zvaigznes" — komētas.

Redzamība. Katru gadu atklāj vairākus desmitus komētu. Vairums no tām spīd vāji un ir saskatāmas tikai spēcīgā teleskopā. Dažas ir pietiekami spožas, lai būtu redzamas teleskopā vai binoklī, taču jāzina, kur tās meklēt — jāzina komētas koordinātas. Reizi vairākos gados parādās kāda komēta, kas redzama ar neapbruņotu aci, un *tikai dažas reizes gadsimtā parādās lielas un spožas komētas, kas piesaista vispārēju uzmanību* (3.57. att.). Jaunas komētas parādīšanās ir grūti prognozējama, tāpēc parasti tās atklāj astronomijas amatieri. *Komētas nosauc atklājēju vārdos.* Latvijā atklāta viena komēta.

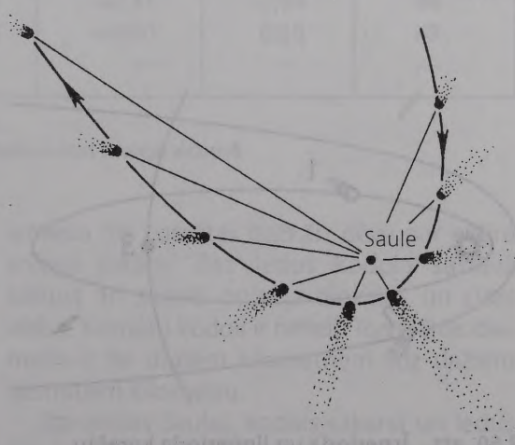
Komēta redzama vairākas nedēļas vai pat mēnešus. Tās spožums ir atkarīgs gan no attāluma līdz Zemei, gan no attāluma līdz Saulei (3.58. att.). Perihēlija tuvumā komēta ir spožāka, taču šajā laikā tā parasti atrodas pie debess blakus Saulei un nav redzama. Tādēļ komētai ir divi redzamības periodi: viens no rīta un otrs vakarā (vai otrādi), attiecīgi pirms un pēc komētas izešanas cauri perihēlijam.



No komētām neapšaubāmi visievērojamākā ir Haleja komēta, kas atgriežas pie Saules vienreiz 76 gados un tiek novērota jau vairāk nekā 2000 gadus. Tā attēlota gleznojumos un gobelēnos. Visai spoža

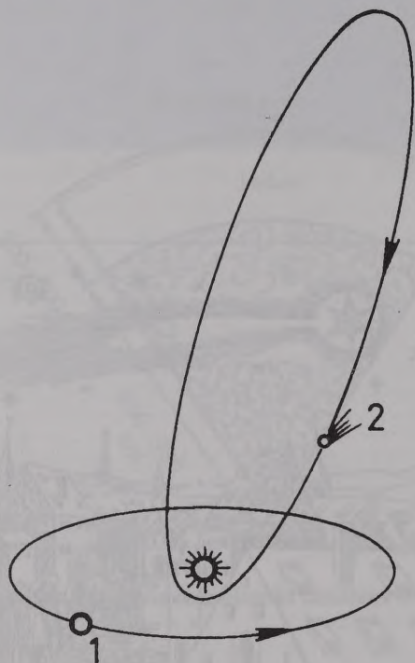


3.57. att. Spožas komētas attēlojums zīmējumā viduslaikos.



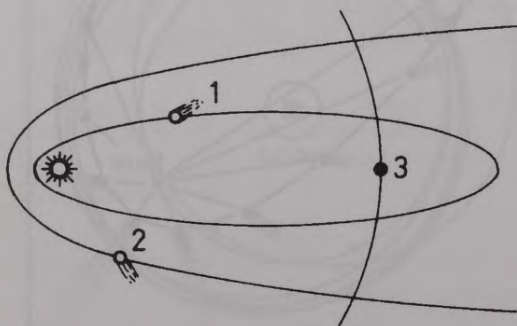
3.58. att. Komētas kustības trajektorija. Komētas aste vienmēr vērsta projām no Saules.

komēta bija 1910. gadā, kad tās aste skāra Zemi. Avīzēs parādījās baumas un izplatījās panika, ka komēta saindēs Zemes atmosfēru, taču gāzes komētas astē bija tik retinātas, ka to ietekme neizpauzās.



3.59. att. Komētu orbītām mēdz būt ļoti liels slīpums attiecībā pret ekliptikas plakni:

1 — Zemes orbītas (ekliptikas) plakne, 2 — komētas orbīta.



3.60. att. Īsperioda un ilgperioda komētu orbītas:

1 — īsperioda komētas riņķo pa eliptiskām orbītām, 2 — ilgperioda komētas riņķo pa ļoti izstieptām, gandrīz paraboliskām orbītām, 3 — Jupitera orbīta.

Orbītas. Pavisam ir zināmas aptuveni 800 komētas. Komētas riņķo ap Sauli pa ļoti izstieptām orbītām (3. 59. att.). Komētām mēdz būt gan tiešā kustība (pretēji pulksteņa rādītāju kustības virzienam), gan pretējā kustība. Atšķirībā no planētām komētas neriņķo vienā plaknē. To orbītu slīpumi pret ekliptikas plakni ir ļoti dažādi. *Izšķir īsperioda un ilgperioda komētas.*

Pie īsperioda komētām pieskaitāmas komētas, kuru apriņķošanas periods ir mazāks nekā 200 gadi. *Īsperioda komētas riņķo pa elipsēm.* Zināmas aptuveni 130 īsperioda komētas, kuras galvenokārt pieder t.s. Jupitera saimei. Šīs saimes komētu apriņķošanas periodi ir 5...10 gadi, un afēlijā tās atrodas Jupitera orbītas tuvumā. Lielās planētas Jupiteris un Saturns ietekmē komētu kustību. Ja komēta cieši tuvojas kādai no šīm planētām, tad tās orbīta planētas pievilksanas spēka iedarbībā var ļoti mainīties.

Ilgperioda komētu apriņķošanas laiku mēra tūkstošos un pat miljonus gadu. To orbīta ir eliptiska, taču ļoti tuva paraboliskai, t.i., orbītas ekscentricitāte ir tikai nedaudz mazāka par 1, tādēļ tām grūti noteikt precīzu apriņķošanas periodu un orbītas lielo pusasi. *Pārskatāmā laikposmā ilgperioda komēta tikai vienu reizi nokļūst Saules tuvumā, apliec loku ap to un atgriežas atpakaļ kosmosā.* Ir novērotas aptuveni 670 ilgperioda komētas. *Gan īsperioda, gan ilgperioda komētas pieder Saules sistēmai* (3.60. att.). Pēc mūsdienu priekšstatiem, Saules sistēmas ārējā daļā atrodas liels komētu mākonis, kurā ietilpst daudzi miljardi komētu. Šis mākonis stiepjas aptuveni 100 tūkst. ua attālumā no Saules (1/3 attāluma līdz tuvākajai zvaigznei). To sauc par Orta mākonī.

Saules sistēmai tuvu garāmejošu zvaigžņu un starpzvaigžņu gāzes mākoņu gravitācijas ietekmē daļa komētu pamet Orta mākonī un aizlido starpzvaigžņu telpā, bet daļa komētu tuvojas Saulei (kļūst par ilgperioda komētām). Šeit uz tām sāk iedarboties planētu gravitācija. Dažos gadījumos komētas orbītas lielā pusass un apriņķošanas periods pakāpeniski samazinās, līdz ilgperioda komēta kļūst par īsperioda komētu. Citos gadījumos komēta iegūst hiperbolisku,

Spožākās īsperioda komētas, kas novērotas vairāk nekā vienu reizi

| Komēta | Pēdējās parādīšanās gads | Periods, gadi | Orbitas lielā pusass, ua | Perihēlija attālums, ua | Ekscentricitāte | Orbitas slīpums, grādi |
|------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|
| Enkes | 1994 | 3,31 | 2,22 | 0,32 | 0,85 | 12 |
| D'Arrē | 1989 | 6,38 | 3,44 | 1,29 | 0,63 | 19 |
| Faja | 1991 | 7,34 | 3,77 | 1,59 | 0,58 | 9 |
| Tatla | 1994 | 13,7 | 5,73 | 1,02 | 0,82 | 55 |
| Tempela—Tatla | 1965 | 32,9 | 10,27 | 0,98 | 0,90 | 163* |
| Olbersa | 1956 | 69,6 | 16,92 | 1,18 | 0,93 | 45 |
| Brorzēna—Metkofa | 1989 | 70,6 | 17,08 | 0,48 | 0,97 | 19 |
| Ponsa—Bruksa | 1954 | 70,9 | 17,13 | 0,77 | 0,96 | 74 |
| Haleja | 1986 | 76 | 17,94 | 0,59 | 0,97 | 162* |
| Svifta—Tatla | 1992 | 135 | 26,32 | 0,96 | 0,96 | 113* |

* — Orbitas slīpums lielāks nekā 90° nozīmē, ka komēta kustas pretējā virzienā.

Spožākās ilgperioda komētas 20. gadsimtā

| Komēta | Parādīšanās gads | Periods, gadi | Orbitas lielā pusass, ua | Perihēlija attālums, ua | Orbitas slīpums, grādi |
|----------------|------------------|---------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Lielā Janvāra | 1910 | ≈4 000 000 | ≈25 100 | 0,13 | 139** |
| Dienvidu | 1947 | ≈8800 | ≈240 | 0,11 | 139** |
| Ārenda—Rolanda | 1957 | —* | —* | 0,32 | 120** |
| Mrkosa | 1957 | ≈13 200 | ≈560 | 0,36 | 94** |
| Ikeijas—Seki | 1965 | 880 | 92 | 0,01 | 142** |
| Beneta | 1970 | ≈1680 | ≈141 | 0,54 | 90 |
| Vesta | 1976 | ≈560 000 | ≈6830 | 0,20 | 43 |
| Hijakutakes | 1996 | — | — | — | — |

* — Hiperboliska orbīta (vajēja).

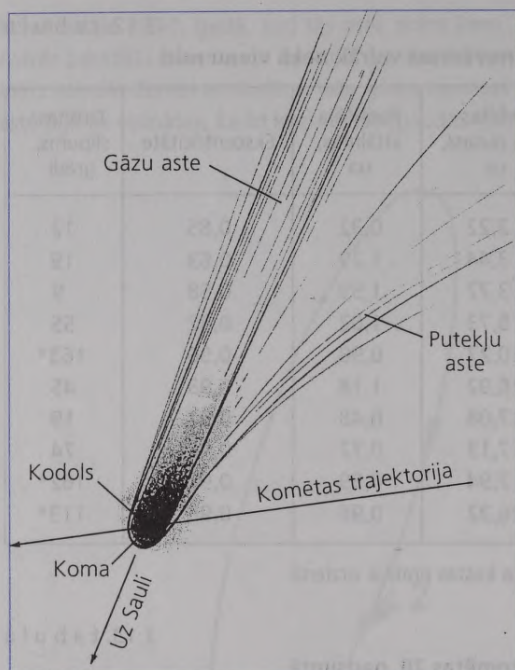
** — Orbitas slīpums lielāks nekā 90° nozīmē, ka komēta kustas pretējā virzienā.

t.i., vajēju orbītu, kuras ekscentricitāte ir nedaudz lielāka par 1, un komēta tiek izsviesta no planētu sistēmas. Komētu orbītu evolūcijas procesu detalizēti pētījis latviešu astronoms K. Šteins, kurš formulējis komētu difūzijas likumus, pēc kuriem norisinās komētu orbītu izmaiņas.

Fizikālais raksturojums. Kamēr komēta atrodas tālu no Saules, kur valda kosmiskais aukstums, tā sastāv tikai no kodola. Kodolu veido irdens ledus, kurā ir daudz putekļu. Šī

īemesla dēļ komētas dažkārt dēvē par netīra sniega pikām. Bez ledus kodola sastāvā ietilpst arī sasalis oglekļa dioksīds un citas vielas. Komētu kodoli ir nelieli. To vidējais diametrs ir no dažiem kilometriem līdz dažiem desmitiem kilometru.

Tuvojoties Saulei, kodols sakarst un ledus sāk iztvaikot. Ar komētu notiek fantastiskas pārvērtības. No kodola izplūdušī gāze un līdzī aizrautie putekļi izveido gāzu-putekļu apvalku, ko sauc par **komu** (3.61. att.). Komu

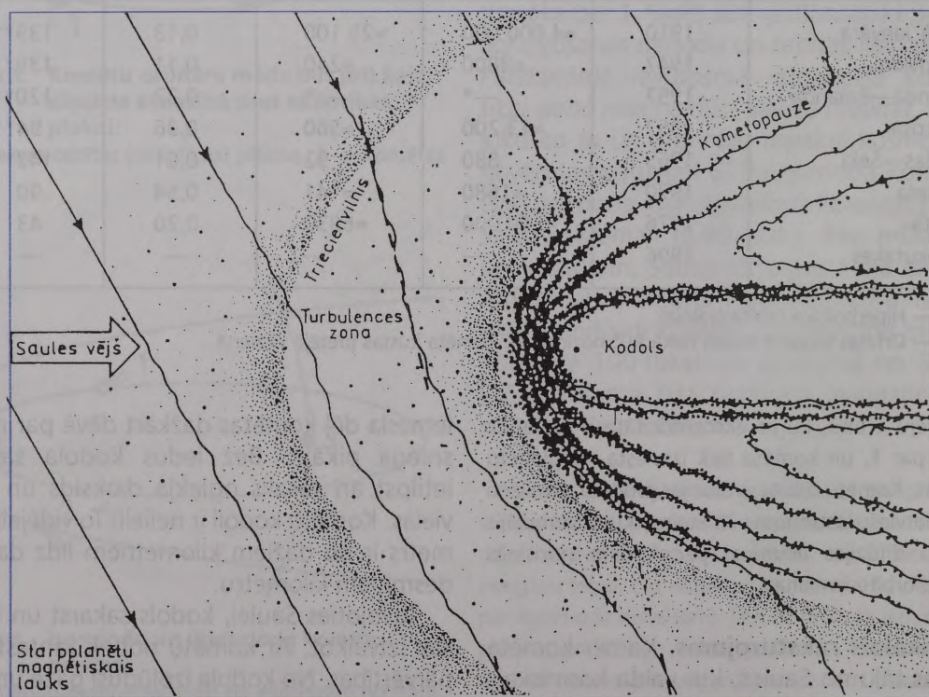


3.61. att. Komētas uzbūve.

kopā ar kodolu dēvē par komētas **galvu**. Kad komēta pienāk vēl tuvāk Saulei (tuvāk nekā 1,5 ua), gāzu un putekļu izdalīšanās pastiprinās un komētai sāk veidoties **aste**, kas izstiepas vairāku miljonu kilometru garumā.

Komētas aste vienmēr ir vērsta projām no Saules. Lielākajām komētām astes garums sasniedz 1 ua. Ja šādas komētas galva atrastos pie Saules, tad tās aste stieptos līdz Zemei. Kaut arī komētas aste ir milzīga, tā ir ļoti retināta, daļiņu koncentrācija tajā nav daudz augstāka kā starpplanētu telpā, tādēļ komētas sauc arī par "redzamo neko".

Komētu astes mēdz būt divējādas — gāzu un putekļu. Gāzu aste sastāv no jonizētām gāzēm. Tā ir taisna, šaura un vērsta projām no Saules. Šādu izskatu gāzu aste iegūst Saules vēja un starpplanētu magnētiskā lauka iedarbībā. Komētas astē jonizētās gāzes spīd. Putekļu aste ir plata, vēdekļveida, nedaudz noliekta pretēji komētas kustības virzienam. Tā veidojas Saules gaismas spiediena iedarbībā, kas dzen putekļus projām no kodola.



3.62. att. Komētas mijiedarbība ar starpplanētu vidi.

Putekļi paši nespīd, tie tikai izkļiedē un atstaro Saules gaismu. Šis ir vienkāršots komētu astu iedalījums, būtībā komētu astes ir daudzveidīgākas.

Komēta mijiedarbojas ar Saules vēju (3.62. att.). Saules vējam saduroties ar komētas jonizētajām gāzēm, rodas triecienvilnis, bet tuvāk komētai — kometopauze — robežslānis starp komētu un starplanētu vidi. Triecienvilnis un kometopauze izveido it kā apvalkus ap komētu. Kometopauzes iekšienē būtiski mainās plazmas sastāvs un starplanētu magnētiskā lauka struktūra.

Komas un astes veidošanos ierosina neliels kodols komētas vidū. Aplūkosim šo procesu

sīkāk. No kodola izvaikojošās gāzes aizrauj sev līdzī galvenokārt sīkos putekļus. Lielākie vielas gabali paliek uz kodola virsas un pakāpeniski izveido "garozu". Tā ir ļoti tumša, praktiski melna, tādēļ labi sasilst Saules staros. Piemēram, Haleja komētas kodola temperatūra 0,8 ua attālumā no Saules bija $\approx 75^\circ\text{C}$. Vislielāko aktivitāti kodols sasniedz, kad komēta atrodas vistuvāk Saulei. Tad no kodola izverd spēcīgas gāzu un putekļu strūkļas. Var gadīties, ka kodols sadalās vairākos gabalos, kā tas notika, piemēram, ar Bielas komētu 1846. gadā.

Pēc iziešanas cauri perihēlijam komēta attālinās no Saules "ar asti pa priekšu". Kodola temperatūra kritas, tas sasilst, bet koma un

+++++
+
+
+ **Pētījumi no kosmosa.** Komētas ir pētītas gan no Zemes, gan no kosmiskajām
+ observatorijām. Tomēr komētu izpētei "no iekšienes" ir vajadzīgi speciāli kosmiskie
+ aparāti. 1985. gadā starplanētu stacija ICE, kas gan sākotnēji nebija domāta komētu
+ pētījumiem, sasniedza Džakobīni—Cinnera komētu un izlidoja cauri tās astei nepilnus
+ 8000 km aiz kodola. Tā ieguva pirmos tiešos datus par komētas plazmas apvalku,
+ diemžēl stacija nebija apgādāta ar telekameru.
+ 1986. gadā uz tikšanos ar Haleja komētu devās veselas četras starplanētu stacijas:
+ "Vega-1", "Vega-2" (PSRS), "Giotto" (Eiropas kosmonautikas pārvalde) un "Suisei" (Ja-
+ pāna). Pirmās trīs stacijas bija apgādātas ar ļoti daudzveidīgu aparatūru: telekamerām,
+ gāzu un putekļu ķīmiskā sastāva analizatoriem, lādēto daļiņu detektoriem, magneto-
+ metriem u.c. Rezultātā izdevās vispusīgi izpētīt fizikālos apstākļus komētas komā un
+ kodola tuvumā, noskaidrot komētas mijiedarbību ar starplanētu vidi. Tika iegūti pirmie
+ komētas kodola attēli. "Vega-1" un "Vega-2" palidoja garām Haleja komētas kodolam
+ atbilstoši 8900 un 8000 km attālumā. Diemžēl iegūtajos attēlos kodols nav skaidri
+ saskatāms, jo to sedz blīvs gāzu un putekļu apvalks. Izmantojot šo kosmisko aparātu
+ veiktos mērījumus, "Giotto" trajektorija tika precizēta tā, lai starplanētu stacija pa-
+ lidotu garām kodolam tikai 600 km attālumā. "Giotto" ieguva visai veiksmīgus kodola
+ attēlus.
+ "Giotto" pārlidojums tik nelielā attālumā no kodola bija riskants, jo starplanētu stacijas ātrums
+ attiecībā pret komētu bija 68 km/s un putekļu triecienu varēja viegli sabojāt aparatūru. Divas sekundes
+ pirms ciešākās tuvošanās ar kodolu putekļu triecienu izmainīja "Giotto" orientāciju tik stipri, ka sakari
+ ar to uz pusstundu pārtrūka. Pēc sakaru atjaunošanas konstatēja, ka bojāta stacijas telekamera.
+ Apstrādājot visu starplanētu staciju iegūtās fotogrāfijas, tika noteikti Haleja komētas
+ kodola izmēri. Tie bija $16 \times 8 \times 8$ km.
+ Pēc Haleja komētas apmeklēšanas "Giotto" tika virzīts tālāk uz tikšanos ar Griga—
+ Skjellerupa komētu, kuru tas sasniedza 1992. gadā un veica plazmas un magnētiskā
+ lauka mērījumus komētas apkārtnē.
+++++

aste izkļiedējas kosmiskajā telpā. Komēta liekas "ziemas guļā", kas aizņem gandrīz visu tās apriņķojuma laiku. Turpmākais komētas liktenis ir atkarīgs no tā, vai komēta ir ilgperioda vai īsperioda. Īsperioda komētas atgriežas pie Saules samērā bieži un katrā atgriešanās reizē zaudē daļu masas. Tās noveco un kļūst arvien

vājākas. Komētu "mūža ilgums" ir 100...1000 apgriezieni ap Sauli. Ja kodols sadalās gabalos, tad komēta sairst ļoti strauji. Rezultātā komēta pārvēršas par putekļu un lielāku daļiņu mākonī, kas kustas pa bijušās komētas orbītu, pakāpeniski izkļiedējoties gar to. Rodas meteoroidu spiets.

Jautājumi.

1. Kurš latviešu astronoms pētījis komētu orbītas?
2. Vai Orta mākonis ietilpst Saules sistēmā?
3. Vai esi redzējis kādu komētu?
4. Kāpēc ilgperioda komētas parasti ir spožākas par īsperioda komētām?
5. Ar ko atšķiras komētas gāzu aste no putekļu astes?
6. Kāpēc komētas noveco?
7. Vai komēta var sadurties ar Zemi?

3.16. METEORI UN METEORĪTI

Starplanētu telpā atrodas zināms daudzums putekļu, akmeņu, ledusgabalu un citu kosmiskās vielas fragmentu, kas pārvietojas pa dažādām orbītām. Tos sauc par **meteoroidiem**. To izvietojuma blīvums ir neliels, piemēram, Zemes apkārtnē sastopamas tikai dažas meteoroidu daļiņas 1 km^3 . Tās sver niecīgas grama daļas, reti — dažus gramus. Retāk atrodami lielāki ķermeņi, kuru diametrs ir no dažiem centimetriem līdz vairākiem metriem un masa — vairāki kilogrami vai pat tūkstošiem tonnu. Meteoroidi var riņķot kosmosā miljoniem gadus ilgi, kamēr to ceļā "gadās" Zeme vai cits debess ķermenis.

Meteori. Ja Zemes un meteoroida trajektorijas krustojas, tad notiek sadursme. Meteoroids ietriecas Zemes atmosfērā ar ātrumu vairāki desmiti km/s, lielās berzes dēļ sakarst, izkūst un iztvaiko. Iztvaikojušās gāzes molekulas sabrūk atomos, jonizējas un spīd. *Pie debess redzams īslaicīgs svītrveida gaismas uzliesmojums, ko sauc par meteoru.* Parādība ilgst aptuveni 1 sekundi. Meteoru sadegšana sākas $\approx 130 \text{ km}$ un beidzas $\approx 80 \text{ km}$

augstumā. Reizēm meteorus dēvē par krītošajām zvaigznēm. Ar vārdu "zvaigzne" šeit jāsaprot gaismas punkts pie debess, nevis reāls fizikāls objekts. Saprotams, ka zvaigznes ir daudzkārt lielākas par planētām un "nokrist" uz Zemes nevar.

Meteora spožumu izsaka zvaigžņlielumos. Vairums meteoru, t.s. teleskopiskie meteori, redzami tikai ar optisku ierīču palīdzību. Ar neapbruņotu aci var labi pamanīt $1^m \dots 3^m$ un, protams, spožākus meteorus. Meteoru spožumu un skaitu saista šāda sakarība: par vienu zvaigžņlielumu spožāku meteoru skaits ir $\approx 2,5$ reizes mazāks. Meteora spožums ir atkarīgs no meteoroida masas un ātruma.

Pat neliels meteoroids smilšu grauda lielumā ar masu $0,01 \text{ g}$ spēj radīt spožu meteoru. Meteorus veidojošie "kosmiskie smilšu graudi" ietriecas atmosfērā ar ātrumu $11 \dots 72 \text{ km/s}$. Ātrākie meteori ir spožāki un baltāki. Lēnākie meteori ir vājāki un dzeltenāki. Paretam gadās redzēt meteorus, kas spožumā pārspēj Veneru vai pat pilnu Mēnesi. Tos rada meteoroidi, kuru masa ir daži gramīti. Šādus meteorus sauc par **bolīdiem**

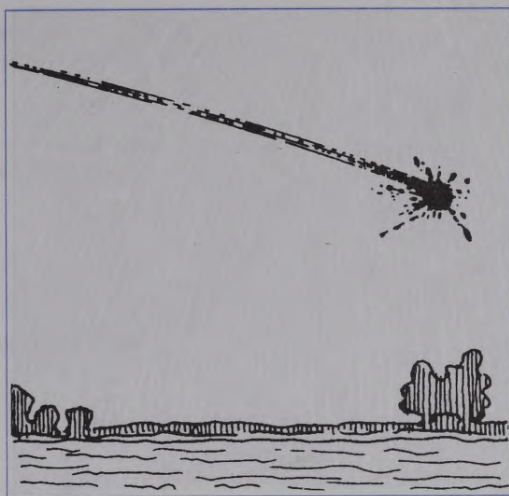
(3.63. att.). Bolida lidojums ilgst vairākas sekundes, un tas iekļūst atmosfērā dziļāk nekā parastais meteors. Tam var būt skaidri saredzami izmēri un pilienvēda forma. Atkarībā no lidojuma ātruma bolīda krāsa ir no sarkanīgas līdz baltai. Jonizētās gāzes, kas palikušas bolīda trajektorijā, vēl kādu brīdi turpina spīdēt. Šo parādību sauc par *bolīda pēdu*. Pēda ir redzama arī spožākajiem meteoriem.

Vissīkākie kosmiskie putekļi (mikrometeoroīdi), kuru izmēri ir tikai daži mikrometri, paspēj nobremzēties atmosfērā nesadegot un pakāpeniski nosēžas uz Zemes virsas. Aprēķini rāda, ka uz kosmisko putekļu rēķina Zemes masa ik dienas palielinās aptuveni par 100 t.

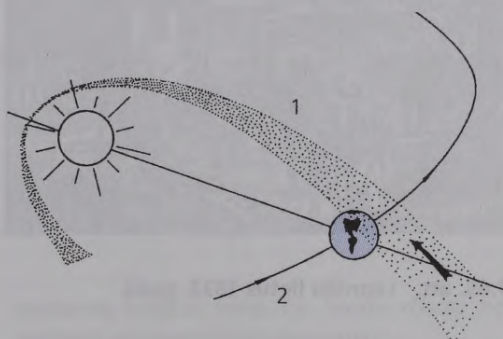
Meteoru plūsmas. Ja nakts ir pietiekami tumša, tad stundas laikā var ieraudzīt dažus t.s. *sporādiskos* meteorus, kas parādās nejauši dažādās vietās pie debess. Vairākas reizes gadā novērojamo meteoru skaits strauji palielinās. Tas notiek tad, kad Zeme sastopas ar veselu meteoroidu spietu, kas rada **meteoru plūsmu**. Tad vienā stundā var ieraudzīt pat vairākus desmitus spožu meteoru. Ja meteoru redzamos ceļus turpina atpakaļvirzienā, tad tie krustojas aptuveni vienā debess sfēras punktā, ko sauc par *plūsmas radiantu*. *Meteoru faktiskās trajektorijas ir paralēlas, taču perspektīvas efekta dēļ izskatās, ka tie izlido no viena punkta.*

Plūsmas darbības ilgums ir vairākas dienas, pat nedēļas. Tās nosauc pēc zvaigznāja (kurā atrodas plūsmas radiants) nosaukuma latīņu valodā. Trīs aktīvākās meteoru plūsmas, kas novērojamas Latvijā, ir Kvadrantīdas, Perseīdas un Geminīdas. To maksimālās aktivitātes datumi, kad novērojams vislielākais meteoru skaits, attiecīgi ir 3. janvāris, 12. augusts un 13. decembris. Analizējot meteorus radījušo debess ķermeņu orbītas, tika noskaidrots, ka *meteoru plūsmas ir saistītas ar komētām*. Piemēram, Perseīdu meteorus rada putekļi, kas izvietojušies gar Svifta—Tatla komētas orbītu.

Ja meteoroidu spiets, kas skar Zemi, ir izveidojies samērā sen, tad tā joslas platums ir



3.63. att. Bolīda lidojums.



3.64. att. Kad Zeme sastopas ar meteoroidu spietu, uz Zemes novērojama meteoru plūsma.

1 — meteoroidu spiets, 2 — Zemes orbīta.

daudzi miljoni kilometru un Zeme sastopas ar to ik gadu (3.64. att.). Ja meteoroidu spiets ir jauns, tad tas ir visai kompakts un sastapšanās notiek tikai vienu reizi vairākos gados. Tādā gadījumā ir novērojama nevis meteoru plūsma, bet gan **meteoru lietus**, kura laikā meteoru skaits vienā stundā var sasniegt 100 tūkst., t.i., vienā sekundē redzami vairāki desmiti meteoru. Meteoru lietus ilgst tikai pāris stundas un novērojams atsevišķā

Meteorīti

| Nosaukums | Nokrišanas vieta | Masa, kg | Krišanas vai atklāšanas gads |
|--------------------------------|--------------------------|----------|------------------------------|
| <i>Dzelzs meteorīti</i> | | | |
| Hobas | Namībija | 60 000 | 1920 |
| Ahnigito | Grenlande | 31 000 | 1818 |
| Bakubirito | Meksika | 27 000 | 1863 |
| <i>Dzelzs-akmens meteorīti</i> | | | |
| Bitburgas | Vācija | 1500 | 1805 |
| Hikutas | Austrālija | 1400 | 1937 |
| Bondokas | Filipīnas | 884 | 1956 |
| <i>Akmens meteorīti</i> | | | |
| Dzilinas | Ķīna | 1770 | 1976 |
| Nortonkaunti | ASV | 1078 | 1948 |
| Longailendas | ASV | 564 | 1891 |
| <i>Meteorīti Latvijā</i> | | | |
| Liksnas | Preiļu raj. Upmalas pag. | 16 | 1820 |
| Neretas | Neretas tuvumā | 5+4 | 1864 |
| Baldones | Baldones tuvumā | 5.8 | 1890 |
| Biržu | Bullišu mežniecībā | 5 | 1863 |

kuras stiepjās gara dūmu aste. Bolīda aste, ja to apgaismo Saule, pēc tam var būt redzama vēl ilgi. Šāds bolīds ir tik spožs, ka redzams pat dienā. Tālu dzirdams pērkona grāvieniem līdzīgs troksnis. Spēcīgākās bremsēšanās fāzē bolīds var sadalīties gabalos. Tad uz zemes nokrīt daudz meteorīta gabalu. Apmēram 15 km augstumā meteorīts praktiski apstājas un tālāk krīt gandrīz kā parasts akmens. Krišanu pavada svilpienam līdzīgs troksnis.

Ja nejaušam aculieciniekam gadās redzēt ļoti spožu bolīdu, tad ir svarīgi iegaumēt tā lidojuma virzienu un leņķisko augstumu attiecībā pret horizontu vai apkārtējiem priekšmetiem, kā arī precīzi atzīmēt notikuma brīdi un novērotāja atrašanās vietu. Šīs ziņas var izrādīties noderīgas, ja kāda bolīda daļa nesadegusi sasniedz zemi. No vairākiem šādiem novērojumiem var aptuveni noteikt

meteorīta krišanas vietu. Par bolīdu vēlams ziņot tuvākajai astronomiskajai observatorijai.

Futbolbumbas lieluma meteorīts, ietriecoties zemē, izsit dažus desmitus centimetrus dziļu bedri, un, ja to atrod pēc nokrišanas, tad tas ir vēl gluži silts. Meteorīta virsmu klāj plāna, tumša un gluda apkusuma kārtā. Lūzumu vietās redzama gaišāka viela. Uz virsmas redzamas raksturīgas, it kā ar pirkstiem slapjā mālā ievilkta rievās, ko sauc par regmagliptiem.

Ik gadu uz zemeslodes nokrīt aptuveni tūkstoš dažāda izmēra meteorītu. Taču vairums paliek neatrasti, jo nokrīt okeānos vai mazapdzīvotās vietās. Daļu meteorītu neatrod uzreiz, bet pēc ilgāka laika. Vēl nesen pasaulē zināmo meteorītu kopskaits bija aptuveni 3000, taču tagad šis skaitlis ir



3.66. att. Hobas meteorīts — lielākais meteorīts pasaulē.

ievērojami palielinājies uz Antarktīdas ledājos savākto meteorītu rēķina.

Pasaules lielākais meteorīts ir Hobas meteorīts, kura masa 60 t (3.66. att.). Tas atrodas nokrišanas vietā Namībijā, Dienvidrietumāfrikā. Visi pasaulē lielākie meteorīti ir dzelzs meteorīti. Latvijā ir zināmi četri meteorītu nokrišanas gadījumi. Šie četri meteorīti ir akmens hondrīti, kas nokrituši 19. gadsimtā. To krišanu pavadījis spēcīgs troksnis. Viena (Baltones) meteorīta paraugs glabājas Latvijas universitātes meteorītu kolekcijā.



1908. gada 30. jūnijā pāri Austrumsibirijai lidoja milzīgs bolids, kas uzsprāga Podkamennajas Tunguskas upes rajonā. Grandiozs sprādziens izgāza mežu apli ar rādiusu aptuveni 30 km un daļēji izdedzināja to. Eksplozija bija dzirdama tūkstošiem kilometru tālu, taču meteorīts sprādziena vietā netika atrasts. Kūdras slāņos bija sastopami tikai sīki kosmiskie putekļi. Acimredzot Tunguskas meteorīts nebija tipisks meteorīts. Iespējams, ka tā bija neliela komēta, kas ietriecās Zemes atmosfērā un uzsprāga vairāku kilometru augstumā. Tās diametrs varēja būt pāris simti metru, bet masa vairāki miljoni tonnu. Sprādziena enerģija atbilda kodolsprādzienam ar 10 Mt jaudu.

Meteorītu krāteri. *Lielākie meteorīti nebremsējas atmosfērā, bet ar lielu ātrumu ietriecas Zemes virsā, izveidojot meteorīta krāteri. Ja meteorīta ātrums ir mazāks nekā 3...4 km/s, tad rodas dažus metrus vai dažus desmitus metru liels krāteris, kura iekšienē un*

apkārtne var atrast daudz meteorīta šķembu un putekļu. Ja meteorīta ātrums ir lielāks, tad tā krišana beidzas ar sprādzienu. Meteorīts ietriecas zemē un gandrīz acumirkli apstājas. Visa tā milzīgā kinētiskā enerģija pārvēršas siltumā. Meteorīts praktiski iztvaiko. Rodas spēcīgs triecienvilnis, kas izmet atlikušās meteorīta šķembas un tuvumā esošo grunti lielā attālumā. Sprādziena vietā paliek apaļš, sekls sprādziena radīts krāteris ar paaugstinātu valni. Augstā temperatūra un spiediens, kas pastāv sprādziena brīdī, ievērojami pārveido krāteri esošos iežus.

Uz Zemes ir atklāti aptuveni 130 meteorītu sprādziena radītie krāteri. Ievērojamākais meteorīta krāteris atrodas Arizonā (ASV). Tā diametrs ir 1200 m un dziļums 175 m. Krāteris izveidojies aptuveni pirms 30 tūkst. gadiem. *Meteorīti, kas rada lielus krāterus, nokrīt uz Zemes ļoti reti.* Ir aprēķināts, ka kosmiskais ķermenis, kas spēj izveidot krāteri vairāku desmitu kilometru diametrā, nokrīt aptuveni reizi 10 milj. gadu. Mazāki meteorīti krīt biežāk. Reizi vairākos tūkstošos gadu uz Zemes var nokrist meteorīts, kas rada krāteri ar 1 km lielu diametru.

Latvijai tuvākais meteorīta krāteris atrodas Sāmsalā, Igaunijā. Tas ir Kāli meteorīta krāteris jeb septiņu krāteru grupa. Lielākā krātera diametrs ir 110 m, dziļums 16 m. Tā dibenā izveidojies ezers. Kāli krāteru meteorītiskā izcelsme tika noskaidrota 1927. gadā.

Samērā jaunus meteorītu krāterus, kuru vecums ir daži tūkstoši gadu, var viegli konstatēt. Taču pakāpeniski meteorītu krāterus noārda ūdens un vēja erozija, tos aizpilda nogulumieži. Sen radušos meteorīta krāteri var sameklēt tikai pēc noteiktām ģeoloģiskām pazīmēm vai ieraudzīt kā gredzenveida struktūru fotogrāfijās no lidmašīnas vai kosmosa. Lielus un vecus meteorītu krāterus sauc par "zvaigžņu rētām" — *astroblēmām*. Lielākās astroblēmas ir Sadberi krāteris Kanādā un Popigajas krāteris Taimirā, Krievijā. To diametrs ir aptuveni 100 km. Meteorītu krāteri sastopami ne tikai uz Zemes, bet arī uz citām planētām, planētu pavadoņiem, kā arī uz asteroīdiem.

Jautājumi.

1. Vai zvaigzne var nokrist uz Zemes?
2. Ar ko atšķiras meteors, meteorīts un meteoroids?
3. Meteoru lietus laikā novērojami daudzi bolidi. Kāpēc tad nekrit meteorīti?
4. Kā atšķirt meteorītu no parasta akmens vai dzelzsgabala?
5. Kāpēc lielajos meteorītu krāteros nav pašu meteorītu?
6. Vai 20. gadsimtā Latvijā ir krituši meteorīti?
7. Kāpēc uz Zemes ir mazāk meteorītu krāteru nekā uz citām Zemes grupas planētām?

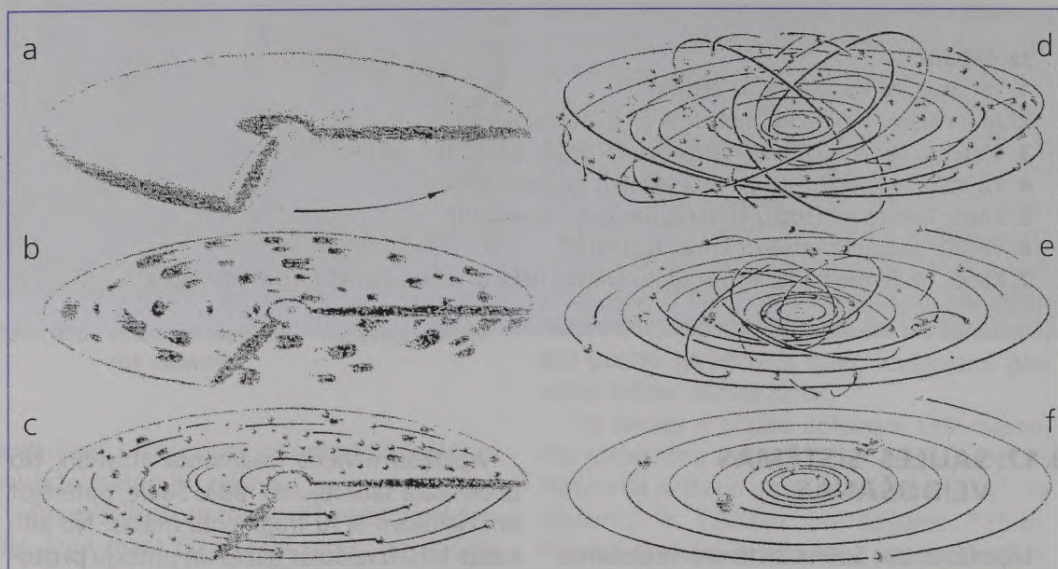
3.17. SAULES SISTĒMAS VEIDOŠANĀS

Hipotēzes par Saules sistēmas veidošanos ir izteiktas jau pirms vairākiem simtiem gadu. Šeit aplūkosim iespējamo notikumu secību mūsdienu skatījumā. Saules sistēmas veidošanās izpēti sarežģī tas, ka nav iespējas salīdzināt Saules sistēmu ar kādu citu planētu sistēmu. Atklāt planētas ap citām zvaigznēm ir ļoti grūti, jo iespējamo planētu spožums ir niecīgs un tās atrodas nelielā leņķiskā attālumā no zvaigznes. Līdz šim vienīgi pulsāram PSR 1256+12, kas atrodas Jaunavas zvaigznājā, ir atklātas divas planētas. To masa atbilstoši ir 3,2 un $3,9m_{\oplus}$. Planētas riņķo atbilstoši 0,36 un 0,47 ua attālumā no pulsāra. Pēdējā laikā vairāku Saulei līdzīgu zvaigžņu spektros, piemēram, Pegaza 51 un citu spektros ir atklātas pārmaiņas, kas iespējams liecina par planētu pastāvēšanu pie šīm zvaigznēm. Ap vairākām zvaigznēm: Vega, Fomalhautu, Gleznotāja β ir atklāti putekļu un ledus daļiņu diski, kas varētu būt planētu sistēmas to veidošanās stadijā.

Saules sistēmas attīstības pirmais posms. Saules sistēma izveidojās no starpzvaigžņu gāzes un putekļu mākoņa aptuveni pirms 4,6 miljardiem gadu (3.67. att.). Tas varēja norisināties šādi. Mākonis sāka saspīesties un sadalījās fragmentos. Ļoti iespējams, ka saspiešanās izraisīja tuvas supernovas sprādziens. Tādā gadījumā mākonī iekļuva arī daļa supernovas izmestās vielas, kas bagātināja to ar smagajiem ķīmiskajiem elementiem.

Aplūkosim viena fragmenta attīstību. No tā centrālā sablīvējuma radās Saule, patērējot šim nolūkam 9/10 fragmenta masas. No atlikušās 1/10 izveidojās gāzes un putekļu **protoplanetārais disks**. Disks rotējot pakāpeniski saplacinājās, putekļi nosēdās tā ekvatoriālajā plaknē, bet gāze (galvenokārt ūdeņradis un hēlijs) izveidoja apvalku. Kad putekļu slānis kļuva pietiekami biezs, tas sadalījās daudzos atsevišķos sablīvējumos. Sadursmju rezultātā notika sablīvējumu salīšana, līdz izveidojās putekļu kamoli vairāku desmitu un pat simtu kilometru diametrā. Smaguma spēka iedarbībā tie saspīdās un kļuva par cietiem ķermeņiem. Saduroties savā starpā un "izsmelot" palikušos putekļu krājumus, izveidojušies ķermeņi arvien vairāk palielinājās: lielākie — straujāk, un tie kļuva par nākamo planētu iedīgļiem. Sadursmēs to kustības virzieni summējās un topošās planētas ieguva gandrīz riņķveida un aptuveni vienā plaknē izvietotas orbītas. Šajā laikā nostabilizējās arī planētu griešanās virziens un to rotācijas asu stāvoklis. Piemēram, Urāna ass "šķībumu" var izskaidrot ar saņemto kāda liela ķermeņa triecienu planētas veidošanās beigās.

Zemes grupas planētu veidošanās. Sākumā protoplanetārais disks bija auksts. Tā temperatūra bija tikai 10...30 K. Tad, kad Saule sāka izstarot gaismu un siltumu, diska iekšējā daļa ievērojami sakarsa. Saules tuvumā temperatūra sasniedza vairākus tūkstošus K. Sakaršanas un spēcīgā Saules vēja iedarbībā gāze no protoplanetārā diska iekšējās daļas izkļiedējās starpzvaigžņu telpā. Šī



3.67. att. Saules sistēmas veidošanās galvenie posmi:

a — protoplanetārā diska saplacināšanās, b — putekļu kamolu izveidošanās, c — cietu ķermeņu izveidošanās, d — ķermeņu sadursmes un orbītu maiņa, planētu iedīgļu veidošanās, e — putekļu un gāzes "izsmelšana", f — stabilas planētu sistēmas izveidošanās.

iemesla dēļ Zemes grupas planētu sastāvā ir ļoti maz ūdeņraža un hēlija. Šīs planētas sastāv galvenokārt no cietas vielas, un tām ir liels vidējais blīvums. Planētu sastāvā nokļuva praktiski visi ķermeņi, kas atradās šajā Saules sistēmas zonā. Krītošo ķermeņu triecienu rezultātā planētas sakarsa un daļēji izkusa. Notika dažāda blīvuma iežu noslāņošanās. Smagākie ieži izveidoja planētas kodolu, vieglākie — palika ārējā daļā (3.68. att.).

Milzu planētu veidošanās. Milzu planētas palielinājās sākotnējo ķermeņu savstarpējo sadursmju rezultātā, līdz to masa sasniedza 2...3 m_z . Šo planētu gravitācijas lauks kļuva tik spēcīgs, ka tās sāka pievilkt apkārtņē esošo gāzi. Tādā veidā Jupiteris un Saturns ieguva milzīgus ūdeņraža un hēlija apvalkus. Urāns un Neptūns sasniedza kritisko masu vēlāk, kad gāzes krājumi bija daļēji izlietoti, tāpēc tie izveidojās mazāki. Arī milzu planētas veidošanās laikā sakarsa.

Saules sistēmas tālākā planēta — Plūtons nepieder ne pie Zemes grupas, ne pie milzu planētām. Pastāv hipotēze, ka senāk Plūtons ir bijis Neptūna pavadoņi. Taču ticamāk, kā

jau minēts, Plūtons veidojies kā viens no ķermeņiem ārējā asteroīdu joslā.

Mazo planētu, komētu un planētu pavadoņu rašanās. Mazās planētas un komētas ir sākotnējo ķermeņu pārpalikums. Lielākie asteroīdi, kuru diametrs sasniedz 100 km, veidojās vienlaikus ar planētām, bet mazākie un sīkie asteroīdi ir atlūzas, kas radušās lielo asteroīdu sadursmēs vēlākā laika posmā. No triecienu izmestajām šķembām radās meteorīti. Taču daļa meteorītu ir ķermeņi, kas saglabājušies no Saules sistēmas veidošanās sākuma. Pēc radioaktīvās analīzes datiem, to vecums sasniedz 4,6 mljrd. gadu. Šo skaitli arī pieņem par Saules sistēmas vecumu.

Milzu planētu zonā ķermeņos, no kuriem veidojās planētas, ietilpa samērā daudz ledus. Ne visi šie ķermeņi nokļuva planētu sastāvā. Daļa no tiem Jupitera un Saturna gravitācijas iedarbībā ieguva ļoti izstieptas orbītas un tika izsviesti tālu aiz planētu sistēmas robežām. Uz tiem ievērojami iedarbojās tuvo zvaigžņu gravitācija, kas kļuva par iemeslu tam, ka šie ķermeņi pārstāja atgriezties Saules tuvumā.

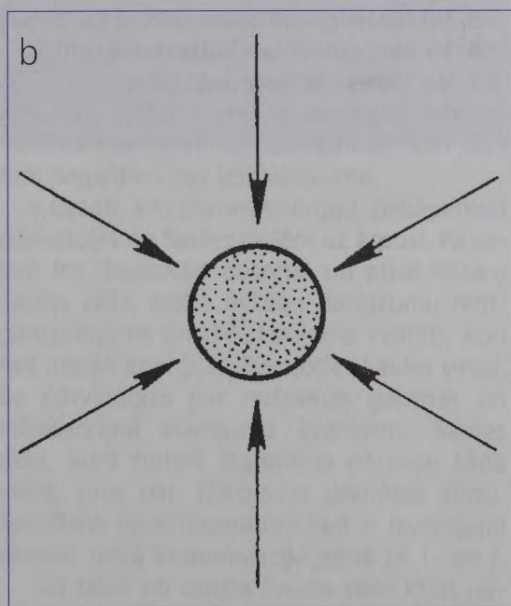
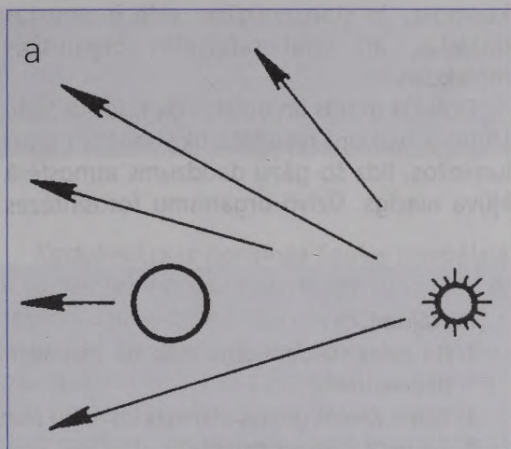
Ap planētu sistēmu izveidojās plašs komētu mākonis.

Pavadoņu rašanās atgādina Saules sistēmas veidošanos miniatūrā. Ap planētām izveidojās nelieli putekļu un ledus daļiņu diski, no kuriem radās pavadoņi. Šādi veidojās pavadoņi, kas riņķo ap planētu tās rotācijas virzienā. Pavadoņi, kas riņķo pretējā virzienā, acimredzot ir "noķerti", kad tie lidojuši tuvu garām planētai. Mēness rašanās varēja norisināties šādi. Sākumā Zemes tuvumā izveidojās daudzi pavadoņi, kuru diametrs sasniedza 100 km. Paisyumu berzes ietekmē to orbītas mainījās, līdz saduroties tie izveidoja vienotu ķermeni — Mēnesi. Sākumā Mēness atradās aptuveni 60 tūkst. km attālumā no Zemes, bet pēc tam pakāpeniski attālinājās, "izslaukot" orbītas ārpusē palikušos putekļus un putekļu ķermeņus.

Zemes attīstība. No brīža, kad sākās starpzvaigžņu gāzes un putekļu mākoņa saspiešanās, līdz brīdim, kad Zemes izmēri ir tādi kā mūsdienās, pagāja aptuveni 100 milj. gadu. Topošo Zemi bombardēja lieli un mazi ķermeņi. To triecienos atbrīvojās liela enerģija, kas sasildīja Zemi veidojošo vielu. Sasilšanu sekmēja arī radioaktīvo izotopu sabrukšanā izdalītais siltums, kas vēlāk kļuva par galveno Zemes dzīļu enerģijas avotu. Liels daudzums iežu atradās pusizkusušā vai šķidrā stāvoklī. Sākās iežu noslāņošanās, kas ilga vairāk nekā 1 mljrd. gadu. Ieži, kas saturēja smagākos ķīmiskos elementus, grima lejup, bet vieglākie "uzpeldēja". Zemes ārējais slānis atdzisa, un planētai izveidojās cieta garoza. Laiku pa laikam to ielauza lieli meteorīti, bet pakāpeniski tie krita arvien retāk un Zemes garoza nostabilizējās. Vissenāko garozas iežu vecums ir 3,8 mljrd. gadu.

No karstajiem iežiem izdalījās gāzes un ūdens tvaiks. Tas kondensējās, radot jūras un okeānus, bet gāzes izveidoja Zemes sākotnējo atmosfēru. Tās sastāvs atšķīrās no atmosfēras sastāva mūsdienās. Sākotnēji Zemes atmosfēra sastāvēja no oglekļa oksīda, oglekļa dioksīda, slāpekļa un ūdens tvaika.

Aptuveni pirms 3,4 mljrd. gadu uz Zemes radās dzīvība. Sākumā tās bija primitīvas



3.68. att. Zemes grupas planētu un milzu planētu veidošanās īpatnības:

a — Zemes grupas planētu sastāvā ir maz gāzes, jo tā izkļiedžas starpzvaigžņu telpā, b — milzu planētas pievilka apkārtņē esošo gāzi un ievērojami palielināja savu masu un izmērus.

baktērijas un vienzūņi, bet pakāpeniski dzīvības formas kļuva arvien sarežģītākas un daudzveidīgākas. Iespējams, ka dzīvība uz Zemes radās pilnīgi patstāvīgi, taču iespējams, ka daļa dzīvības veidošanai nepieciešamā "materiāla" ir nokļuvusi uz Zemes no

kosmosa, jo starpzvaigžņu vidē ir atrastas dažādas, arī visai sarežģītas organiskās molekulas.

Oglekļa oksīds un oglekļa dioksīds dažādu ķīmisko reakciju rezultātā tika saistīts nogulumiežos, līdz šo gāzu daudzums atmosfērā kļuva niecīgs. Dzīvo organismu fotosintēzes

procesos veidojās skābeklis, kura daudzums palielinājās. *Praktiski viss skābeklis, kas atrodas Zemes atmosfērā, ir radies zaļo augu fotosintēzes rezultātā.* Slāpekļa un ūdens tvaika daudzums atmosfērā nav būtiski mainījies.

Jautājumi.

1. No viena starpzvaigžņu mākoņa fragmenta izveidojās Saules sistēma. Kas notika ar citiem fragmentiem?
2. Kāpēc Zemes grupas planētas un milzu planētas ir tik atšķirīgas?
3. Cik veca ir Saules sistēma?
4. Kā Jupiteris ietekmēja mazo planētu un komētu veidošanos?
5. No kādām gāzēm galvenokārt sastāv milzu planētas?
6. Kā Zemes atmosfērā radās skābeklis?
7. Vai Saules sistēma ir unikāla?

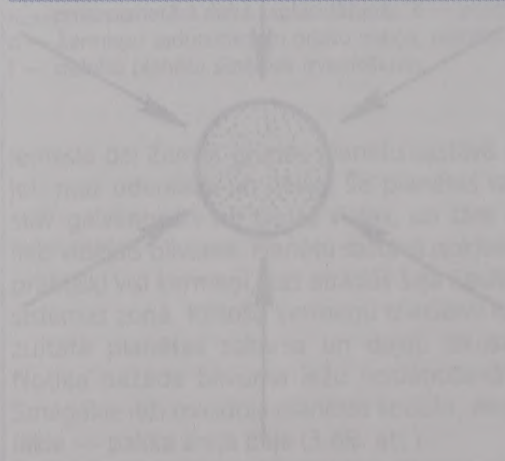


Diagrama parāda Saules sistēmas struktūru. Saule ir centrālā zvaigzne, no kuras izstaro enerģiju un siltumu. Planētas un citi ķermeņi apļņķo Saules apkārtnē. Diagrammā ir parādīti Saules sistēmas galvenie komponenti, kas veido šo unikālo kosmisko sistēmu.



4.1. SAULE

Saule ir Zemei tuvākā zvaigzne. Tā ir galvenais siltuma un gaismas avots. Līdzīgi citām zvaigznēm arī *Saule ir milzīga kvēlojoša gāzu lode*. Tās lineārais diametrs ir 1,392 milj. km, bet pie debess tā redzama kā disks, kura leņķiskais diametrs 32'.

Saules griešanās. Novērojot plankumus uz Saules virsas, ir noskaidrots, ka tā veic vienu apgriezīgu ap asi 25,38 dienās. No Zemes redzamais Saules rotācijas periods ir par 2 dienām garāks (27,28 dienas), jo Zeme kustas pa orbītu Saules griešanās virzienā. Saules ekvators atrodas 7° leņķī pret Zemes orbītas plakni, tādēļ gada laikā pret Zemi pārmaiņus pagriežas gan Saules dienvidu, gan ziemeļu puslode. Saule nerotē kā viens vesels. Ekvatora apgabalā tā griežas straujāk, bet polu apvidos — lēnāk.

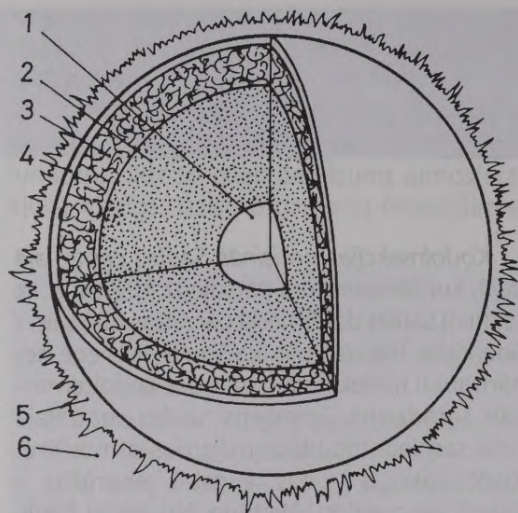
Saules uzbūve. Tiešiem pētījumiem Saules dzīles nav pieejamas, tādēļ par to uzbūvi un valdošajiem apstākļiem var spriest, analizējot Saules starojumu, daļiņu plūsmas, kā arī matemātiski modelējot Saules uzbūvi. Saules sastāvā ir aptuveni 70 % ūdeņraža, 28 % hēlija un 2 % citu ķīmisko elementu piemaisījumu. *Saules galvenais enerģijas avots ir kodoltermiskās reakcijas, kuru rezultātā ūdeņradis pārvēršas hēlijā.*

Šī pārvērtība nenotiek tieši, bet vairākās starpreakcijās. Vispirms no diviem protoniem veidojas deiterijs, bet izdalās pozitrons un neitrino: ${}^1\text{H} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu$. Pēc tam deiterijam pievienojas viens protons. Rodas ${}^3\text{He}$ kodols un izdalās γ kvants: ${}^2\text{D} + {}^1\text{H} \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$. Trešajā reakcijā divi ${}^3\text{He}$ kodoli izveido ${}^4\text{He}$ kodolu, atbrīvojot divus protonus: ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^1\text{H} + {}^1\text{H}$. Šo kodolreakciju ciklu sauc par protonu-protonu ciklu. Katra cikla norises rezultātā izdalās 26,21 MeV enerģija. Saulē norisinās arī citādas kodolreakcijas, taču tām ir daudz mazāka nozīme.

Kodolreakcijas norisinās Saules centrālajā daļā, kur temperatūra pārsniedz 10 milj. K. Ik sekundi Saules dzīlēs hēlijā pārvēršas 600 milj. t ūdeņraža. Var uzskatīt, ka Saules iekšienē nepārtraukti notiek it kā gigantisks kodoltermiskais sprādziens. Spiediens Saules centrālajā daļā sasniedz daudzus miljardus atmosfēru. Kodolreakcijās rodas augstas enerģijas γ kvanti un neitrino. Neitrino ātri atstāj Sauli, jo to mijiedarbība ar Saules vielu praktiski nenorisinās. Novērojumos uz Zemes ir konstatēts, ka neitrino plūsma no Saules ir trīs reizes mazāka par teorētiski aprēķināto. Šim faktam pagaidām nav izskaidrojuma.

γ kvanti, kas pārnes enerģiju, pakāpeniski pārvietojas no Saules dzīlēm uz ārpusi. Pa ceļam tos daudzkārt absorbē un atkal izstaro Saules viela, radot milzīgu daudzumu rentgenstarojuma un UV starojuma kvantu, kuri nes mazāk enerģijas. Tuvojoties Saules virsai, tie pārveidojas par redzamās gaismas un infrasarkanā starojuma kvantiem. Saules daļu, kurā notiek starojuma pārnese šādā veidā, sauc par *starojuma pārnese zonas*. Spiediens un temperatūra šeit ir ievērojami zemāki nekā kodolreakciju zonā (4.1. att.).

Vēl tālāk no centra Saules viela kļūst neaurspidīgāka. Starojums vairs nespēj pārvadīt uz ārpusi visu no iekšienes nākošo enerģijas plūsmu, tādēļ tās pārnese iesaistās pati Saules viela. Saules ārējā daļā plešas *konvektīvā zona*, kurā notiek intensīva Saules vielas sajaukšanās. Karstā gāze ceļas augšup, izstarojot atdod enerģiju, tad atdziest un virzās atkal lejup. Tātad Saules iekšienē darbojas grandiozi spēki. Kā gan Saule spēj saglabāt līdzsvaru? Gāzes spiediens, kas darbojas no iekšpuses uz ārpusi, cenšas Sauli izplest. Taču Saulei ir milzīga masa, kas rada spēcīgu gravitāciju. Gravitācijas spēku ietekmē Saule tiecas saspieties. Kad *zvaigznes izmēri sasniedz noteiktu lielumu, gāzes*



4.1. att. Saules uzbūves shēma:

1 — kodolreakciju zona ($0...0,2R_s$), 2 — starojuma pārnese zona ($0,2...0,8R_s$), 3 — konvektīvā zona ($0,8...1R_s$), 4 — fotosfēra (biezums 300 km), 5 — hromosfēra (augstums 10 000 km), 6 — Saules vainags (augšējā robeža $1,0...2,0R_s$).

spiediens un gravitācijas spēks līdzsvaro viens otru. Ja spiediens Saules iekšienē palielinātos, tad arī Saules izmēri nedaudz palielinātos, līdz atkal iestātos līdzsvars, un pretēji.

Saules ārējie slāņi. Saules redzamo virsu kā plānu miziņu veido tikai 300 km biezs slānis — fotosfēra, no kura nāk gaisma, ultravioletais un infrasarkanais starojums. Fotosfēras temperatūra ir 5800 K, un tā nav viendabīga. Fotosfēru veido **granulas** — veidojumi, kuru vidējais diametrs ir 700 km.

Fotosfēra it kā nepārtraukti mutuļo — katras atsevišķas granulas dzīves laiks ir ≈ 7 min. Granulu sakopojumi veido lielāka mēroga struktūru — supergranulas, kuru vidējais diametrs ir 25 tūkst. km un kuras pastāv aptuveni vienu diennakti. Granulācija atspoguļo uz Saules virsas tos konvekcijas procesus, kuri notiek tās dziļēs.

Dažviet uz Saules virsas redzami tumšāki laukumi. Tie ir **Saules plankumi**, kuros temperatūra ir "tikai" 4500 K. Plankumos ir spēcīgs magnētiskais lauks, kas kavē konvekciju, tādēļ no Saules iekšienes nākošā enerģijas plūsma samazinās un atbilstošais virsas apgabals atdziest. Lieliem plankumiem ir tumša ēna un gaišāka pusēna ar šķiedrainu struktūru. Mazākajiem plankumiem — porām pusēnas nav. Vidēja izmēra plankuma diametrs ir aptuveni 35 tūkst. km, bet lielāko plankumu — pat 100 tūkst. km.

Plankumi veido grupas, kurās parasti ir divi galvenie plankumi un starp tiem vairāki mazāki plankumi. Plankumi pastāv dažas dienas vai pat vairākus mēnešus. Plankumu grupas veidojas, attīstās un sabrūk. To veidols mainās dienu no dienas. Saulei rotējot, plankumi pārvietojas. Saules diska malās tie redzami no sāniem, tādēļ izskatās saplacināti. Plankumu tuvumā, reizēm arī atsevišķi, fotosfērā novērojami gaišāki veidojumi — *fotosfēras lāpas*. Fotosfēras lāpas labāk saskatāmas Saules diska malās. Fotosfēra ir Saules atmosfēras apakšējais slānis. Saules atmosfērā ir vēl divi slāņi: **hromosfēra** un **Saules vainags** jeb **korona**.

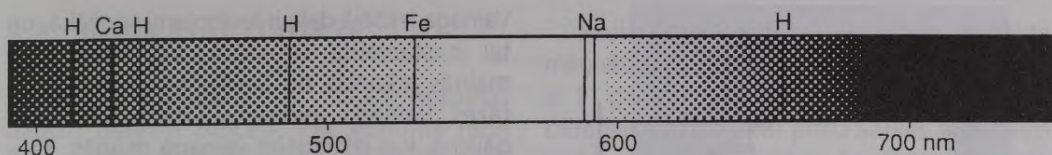
4.1. tabula

Saules uzbūves parametri

| Zona | Biezums, km | Temperatūra, K | Spiediens, atm |
|-----------------------------------|-------------|----------------|----------------------|
| Kodolreakciju | 140 000 | 14 000 000* | $4 \cdot 10^{11}$ * |
| Starojuma pārnese | 420 000 | 10 000 000** | $4 \cdot 10^{10}$ ** |
| Konvekcijas | 140 000 | 1 000 000** | 10^6 ** |
| Fotosfēra | 300 | 5800 | 0,1 |
| Hromosfēra | 10 000 | 10 000 | 10^{-6} |
| Vainags (iekšējā, blīvākajā daļā) | 700 000 | 1 500 000 | $6 \cdot 10^{-8}$ |

* — Saules centrā.

** — Uz zonas dziļākās robežas.

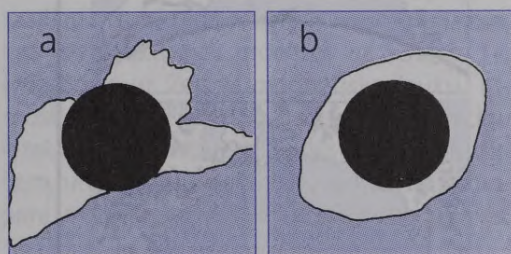


4.2. att. Galvenās spektrālinijas Saules spektrā.

Hromosfēru veido retinātas gāzes, un tā plešas aptuveni 10...15 tūkst. km augstumā. Tās apakšdaļā uz robežas ar fotosfēru ir viszemākā temperatūra, kāda pastāv uz Saules — aptuveni 4500 K. Šeit veidojas tās daudzās tumšās (absorbcijas) spektrālinijas, kas redzamas nepārtrauktajā Saules spektrā un kuras rada dažādu ķīmisko elementu atomi (4.2. att.). Saules spektrā konstatēta 72 ķīmisko elementu klātiene.

Hromosfēras augšdaļa ir samērā nevienbārīga. Tā sastāv no atsevišķiem karstas gāzes stabiem — **spikulām**, kuru diametrs ir aptuveni 1000 km, bet augstums — vairāki tūkst. km. Katra atsevišķa spikula pastāv neilgu laiku. Hromosfēras vidējā temperatūra ir 10 000 K. Saules aptumsuma laikā tā novērojama apkārt Saules diskam kā sārts, robains gredzens.

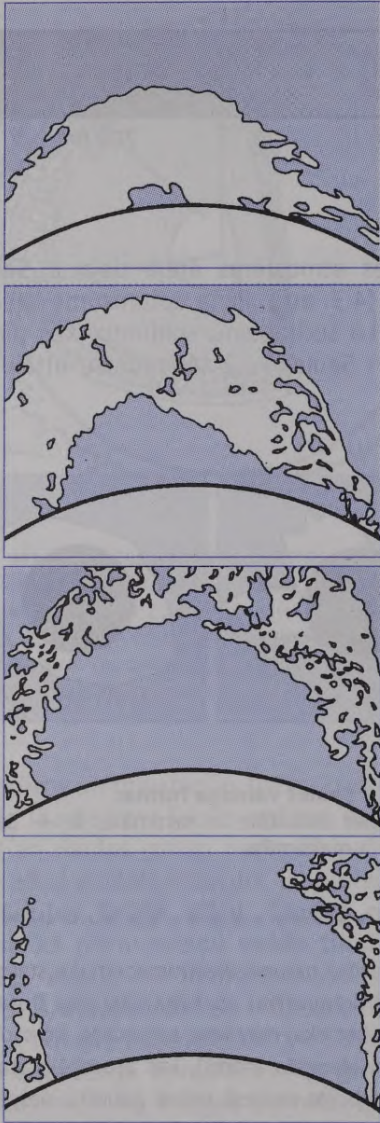
Saules atmosfēras ārējā daļa ir Saules vainags (4.3. att.). Pilna aptumsuma laikā to novēro kā sudrabainu spīdumu, kas plešas visapkārt Saulei 1...2 tās rādiusu attālumā.



4.3. att. Saules vainaga forma:

a — Saules aktivitāte ir minimāla, b — Saules aktivitāte ir maksimāla.

+++++
 +
 + Saule, tāpat kā jebkurš sakarsēts ķermenis, izstaro dažādu viļņa garumu elektromagnētisko starojumu, kas veido t.s. nepārtraukto spektru. Salīdzinoši vēsākajā hromosfēras apakšējā slānī daļa šī starojuma tiek absorbēta, taču absorbcija nenotiek visā spektrā, bet tikai noteiktos apgabalos, ko sauc par spektrālinijām. Hromosfēras atoms (piemēram, neitrāls ūdeņraža atoms), kas absorbējis starojumu, palielina savu enerģiju. Taču atoms, ja vien tas absorbcijas procesā netiek jonizēts, nespēj absorbēt brīvi izraudzītu enerģijas daudzumu, bet tikai diskrētas enerģijas porcijas, kas atbilst enerģijas starpībai starp noteiktiem elektrona enerģijas līmeņiem. Absorbcijas rezultātā elektrons pāriet uz augstāku enerģijas līmeni. Noteiktām enerģijas vērtībām atbilst konkrēts absorbētā starojuma viļņa garums. Tādēļ dažādu ķīmisko elementu atomi absorbē tikai noteikta viļņa garuma starojumu, kuram atbilst diskrētas spektrālinijas. Tā kā atomā iespējamās pārejas starp dažādiem enerģijas līmeņiem, tad viens ķīmiskais elements var veidot daudzas spektrālinijas.
 + Piemēram, Saules spektrā spēcīgākās absorbcijas līnijas (393 un 397 nm) liecina par jonizētā kalcija klāteni. Pēc intensitātes lieluma secīgi izvietojas nātrijs, magnijs, dzelzs un titāna neitrālo atomu spektrālinijas. Absorbcijas spektrs ir raksturīgs ne tikai Saulei, bet arī citām zvaigznēm.
 + Ja atoms nevis absorbē, bet izstaro elektromagnētisko starojumu, tad notiek pretējs process. Elektrons pāriet uz zemāku enerģijas līmeni, un atoms zaudē noteiktu enerģijas porciju, kas tiek izstarota kā noteikta viļņa garuma starojums. Debess ķermeņa spektrā parādās gaiša (emisijas) spektrālinija, un atbilstošo spektru sauc par emisijas spektru. Emisijas līnijas ir arī, piemēram, miglāju spektrā.
 +
 +++++



4.4. att. Saules protuberances attīstība.

Vainaga iekšējā daļa ir ievērojami spožāka, un tai ir starveida struktūra. Vainaga forma mainās atkarībā no Saules aktivitātes cikla fāzes. Vainaga spīdēšanu izraisa fotosfēras gaismas, kas izkliedējas vainaga daļiņās. Saules vainags ir ļoti retiņāts. Tas sastāv no lādētām daļiņām (joniem un elektroniem). Tā temperatūra sasniedz 1,5 milj. K. Tik augstu temperatūru vainagā uztur enerģija, kas nāk no Saules atmosfēras apakšējiem slāņiem dažādu viļņu veidā.

Taču tas nenozīmē, ka kosmosa kuģis, nokļuvis Saules vainagā, tūlīt sakarsīs un iztvaikos. Lielā retiņājuma dēļ siltumapmaiņa ar Saules vainaga daļiņām notiks ļoti lēni. Arī daudziem starpzvaigžņu miglājiem ir augsta temperatūra, taču kosmosa kuģis var droši lidot tiem cauri, jo tie ir ļoti retiņāti.

Vainagā novērojami arī blīvāki un aukstāki gāzu mākoņi — **protuberances**, kas izveido lielus lokus (4.4. att.). Protuberanču formu nosaka Saules magnētiskā lauka struktūra attiecīgajā virsas apgabalā. To vidējā temperatūra ir 7000 K. Protuberances ir vislielākie Saules atmosfēras veidojumi, kuru garums sasniedz pat 200 tūkst. km. To pamatne atrodas hromosfērā, bet virsotne paceļas līdz 30 tūkst. km augstumam. Izšķir mierīgas un aktīvas protuberances. Mierīgās protuberances var pastāvēt mēnešiem ilgi, bet aktīvās protuberances attīstās un izzūd dažu stundu laikā. Tajās notiek strauja gāzu kustība. Saules vainaga ārējā daļa izplešas un izkļīst apkārtējā kosmiskajā telpā, radot **Saules vēju**.

Jautājumi.

1. Kur uz Saules ir viszemākā temperatūra?
2. Kāpēc Saule izstaro galvenokārt redzamo gaismu, kaut arī kodolreakcijās rodas γ kvanti?
3. Kāpēc Saules virsa ir "granulēta"?
4. Saules spektrā visintensīvākās ir kalcija līnijas. Vai Saule sastāv galvenokārt tikai no kalcija?
5. Pie debess Saule redzama kā disks ar asi norobežotu malu. Vai Saules virsa ir cieta?
6. Saulē notiek intensīvas kodolreakcijas. Kāpēc tā neuzsprāgst?
7. Cik ilgi Saule jau spīd?

4.2. SAULES AKTIVITĀTE

Aktīvie apgabali. Uz Saules norisinās daudzi mainīgi procesi, kas kopumā rada *Saules aktivitāti*. Uz tās virsas izvietojušies aktīvie apgabali, ko veido liela plankumu grupa un fotosfēras lāpas. Aktīvā apgabala pamatne atrodas fotosfērā, bet tā augšdaļa iestiepjas tālu hromosfērā un vainagā. Hromosfērā aktīvā apgabala rajonā ir palielināts spīkulu daudzums, bet vainagā virs tā parasti veidojas protuberance. Ar aktīvajiem apgabaliem ir saistīti hromosfēras uzliesmojumi, kuru laikā atbrīvojas ļoti liela enerģija. Tā var sasniegt 1/10 enerģijas, ko Saule izstaro vienā sekundē. Uzliesmojums notiek apgabalā, kura diametrs ir aptuveni 10 tūkst. km. Uzliesmojums strauji attīstās dažās minūtēs un aptuveni pēc stundas nodzīst. Tajā rodas spēcīgs rentgenstarojums, ultravioletais starojums un radiostarojums. No uzliesmojuma rajona tiek izsviesta elementārdaļiņu plūsma — *Saules kosmiskais starojums*. Uzliesmojumus rada dažādi pagaidām mazizpētīti procesi. Uzliesmojumu un vispār Saules aktivitātes enerģijas galvenais avots ir tās spēcīgais magnētiskais lauks.

Aktivitātes cikls. *Saules aktivitāte ir periodisks process.* Viens Saules aktivitātes cikls vidēji ilgst 11 gadus (4.5. att.). Aktivitātes cikli var būt gan garāki, gan īsāki. Aktivajos gados uz Saules virsas novēro daudzus plankumus, protuberances, bieži notiek uzliesmojumi. Aktivitātes minimuma gados plankumu un ar tiem saistīto aktīvo apgabalu ir ļoti maz. Saules aktivitātei vislabāk var izsekot, saskaitot plankumu grupas un plankumu skaitu tajās.

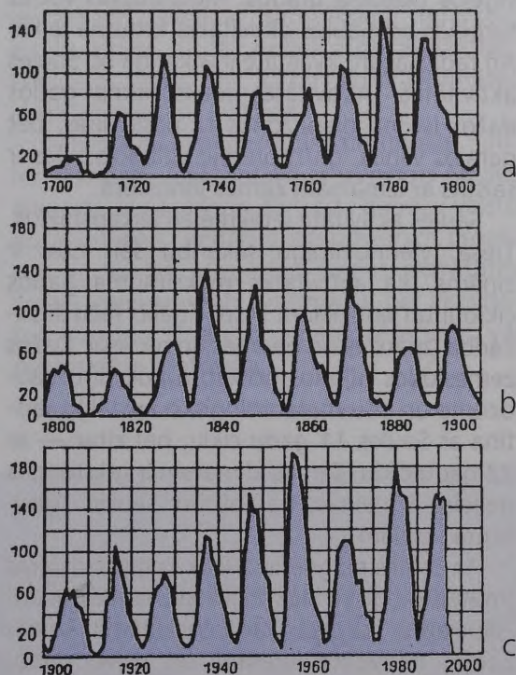
Sākoties kārtējam aktivitātes ciklam, plankumu skaits strauji palielinās un aptuveni 4 gadus pēc cikla sākuma sasniedz maksimumu. Tad seko lēnāks aktivitātes kritums, kas ilgst aptuveni 7 gadus. Maksimāla Saules aktivitāte sagaidāma 2001. gadā.

Viena aktivitātes cikla ietvaros mainās arī plankumu attālums no Saules ekvatora. Cikla sākumā plankumi parādās abpus ekvatoram. Tad tie pakāpeniski pārvietojas līdz ekvatoram.

Saules plankumiem raksturīga noteikta magnētiskā lauka polaritāte, kas mainās nevis ar 11 gadu, bet gan ar 22 gadu periodu (divu ciklu laikā). Tādēļ par pilnu Saules aktivitātes ciklu uzskata 22 gadus. Savukārt 11 gadu ciklam pāri klājas vēl viens garāks "gadsimta" cikls, kurš ilgst 80...90 gadus. Iespējams, ka pastāv vēl garāki cikli. Saules aktivitātes cikliskuma cēlonis nav zināms. Domājams, ka tas ir saistīts ar magnētiskām norisēm Saules konvektīvajā zonā un dažādu Saules slāņu atšķirīgo griešanās ātrumu.

Saules aktivitātes ietekme uz Zemi.

Notikumi uz Saules ietekmē arī Zemi, jo Zemi sasniedz gan starojums, gan daļiņu plūsma, kas rodas aktivajos procesos uz Saules. Tie iedarbojas uz Zemes magnētisko lauku, atmosfēru, kā arī uz dzīvo dabu. Izšķir ilglaicīgu ietekmi, kas saistīta ar Saules aktivitātes cikliem, un īslaicīgu ietekmi, ko izraisa uzliesmojumi un citi procesi Saules aktivajos apgabalos.



4.5. att. Saules aktivitātes grafiks:

a — 18. gadsimtā, b — 19. gadsimtā, c — 20. gadsimtā. Uz vertikālās ass atlikts Volfa skaitlis — lielums, kas raksturo Saules aktivitāti.

Saules aktivitātes ietekme uz Zemi

| Ietekmes sfēra | Ilglaicīga ietekme | Īslaicīga ietekme |
|---------------------------------|--|--|
| Magnētiskais lauks
Atmosfēra | Mainās magnētisko vētru skaits
Mainās polārblāzmu skaits
Radiosakaru izmaiņas
Laikapstākļu izmaiņas
Klimata izmaiņas | Magnētiskās vētras
Polārblāzmas
Radiosakaru traucējumi |
| Dzīvā daba | Koku augšanas ātruma izmaiņas
Dzīvnieku vairošanās
Epidēmijas | Radiācijas bīstamība kosmonautiem
Sirdslēkmes, infarkti, insulti
Autokatastrofas |

Daudzas parādības uz Zemes ir saistītas ar Saules aktivitātes līmeni un mainās ar vienpadsmit gadu periodu. Saules aktivitātes maksimuma gados uz Zemes biežāk novērojamas polārblāzmas un magnētiskās vētras. Augstas aktivitātes laikā polārblāzmas ir redzamas ne tikai polārajos apgabalos, bet arī vidējos platuma grādos. Magnētiskās vētras turpinās arī Saules aktivitātes krituma laikā. Arī radiosakaru kvalitāte ir atkarīga no Saules aktivitātes. Aktivitātes maksimuma gados dažos īsviļņu diapazonos tā pasliktinās, bet garajos viļņos, gluži pretēji, uzlabojas. Tas ir saistīts ar izmaiņām Zemes jonosfērā.

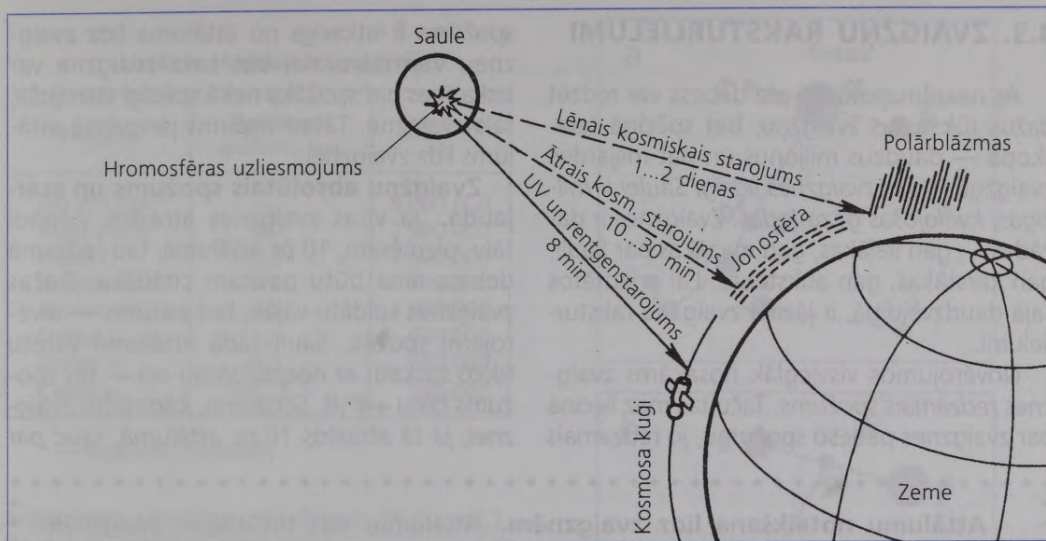
Saules aktivitāte ietekmē arī laikapstākļus. Tiesa, viennozīmīgu sakarību šeit nav. Ir zināms, ka aktivitātes maksimuma gados cikloni un anticikloni ir spēcīgāki. Taču šī sakarība izpaužas ne vienmēr un ne visur. Dažos zemeslodes rajonos novērota nokrišņu daudzuma un citu meteoroloģisko apstākļu saistība ar Saules 11 gadu ciklu, bet citur — ar 22 gadu ciklu. Zemes klimatam ir raksturīgas nelielas izmaiņas, kas atbilst Saules "gadsimta" ciklam.

Ar Zemes magnētiskā lauka un atmosfēras (meteoroloģisko apstākļu) starpniecību un, iespējams, ka vēl kādā nezināmā veidā, Saules aktivitāte ietekmē arī dzīvo dabu. Koku gadskārtu gredzenu biezums mainās ar 11 gadu periodu. Atkarībā no klimatiskajiem apstākļiem koka augšanas vietā platākie gredzeni ir aktivitātes maksimuma gados vai,

gluži pretēji — minimuma gados. Izpētot ļoti vecus kokus, var iegūt ziņas par Saules aktivitāti visai tālā pagātnē. Celmu gadskārtu gredzenos labi saskatāms arī 80...90 gadu periods.

Dažviet lielu postu lauksaimniecībai nodara siseņu bari, kuru uzlidojumi atkārtos ik pēc 11 vai 12 gadiem — laikā, kad Saules aktivitāte ir neliela. Līdzīgs vairošanās periodiskums novērots arī citiem kukaiņiem un grauzējiem (vāverēm, lemingiem u.c.). Novērots, ka ik pēc 11 gadiem — aptuveni aktivitātes maksimuma gados — atkārtos dažādu infekcijas slimību (ērču encefalīta, difterijas, skarlatīnas, tīfa, holeras, mēra) epidēmijas. Mūsdienās medicīnas sasniegumu rezultātā šīs slimības ir daļēji izskaustas un šī sakarība ar Saules aktivitāti nav īpaši raksturīga.

Īslaicīgā Saules aktivitātes ietekme uz Zemi ir saistīta īpaši ar Saules uzliesmojumiem (4.6. att.). Šī ietekme ir visspēcīgākā tad, kad aktīvais apgabals, Saulei griežoties, nokļūst diska centra tuvumā, respektīvi, aktīvais apgabals ir vērstis Zemes virzienā. Rentgenstarojums un ultravioletais starojums, kas rodas uzliesmojumu laikā, izplatās ar gaismas ātrumu un sasniedz Zemi jau pēc 8 minūtēm. Tas iedarbojas uz jonosfēru, izraisīdams spēcīgus īsviļņu radiosakaru traucējumus. Ātrākās daļiņas, kas tiek izsviestas uzliesmojumu laikā, ir protoni — tie sasniedz Zemi 10...30 min vēlāk. Rentgenstarojums un



4.6. att. Saules uzliesmojuma ietekme uz Zemi.

protonu plūsma ir bīstami kosmonautiem, kurus no paaugstinātās radiācijas aizsargā tikai kosmosa kuģa plānās sienas. Citu daļiņu plūsmas pārvietojas lēnāk, un tās sasniedz Zemi pēc 1...2 dienām. Tās izraisa Zemes magnētiskā lauka ievērojamas izmaiņas. Rodas magnētiskās vētras un polārblāzmas.

Magnētiskās vētras ir arī saistītas ar citiem procesiem aktīvajos apgabalos. Tā kā aktīvais apgabals pastāv vairāku Saules apgriezienu laikā, tad magnētiskās vētras ir iespējams prognozēt, jo tās atkārtojas ar Saules rotācijas periodu.

Uzliesmojumi uz Saules ietekmē cilvēku veselību. Novērots, ka uzliesmojumu laikā vairākkārt palielinās sirdslēkmju, infarktu, insultu skaits, biežāk notiek autokatastrofas. Pētījumos konstatēts, ka no Saules aktivitātes ir atkarīgas asiņu īpašības.

Tātad ir svarīgi iemācīties prognozēt Saules aktivitāti. Šajā nolūkā ir izveidots Saules dienests, kurā vienoti darbojas daudzu valstu observatorijas, nepārtraukti novērojot procesus uz Saules. Vispārējo Saules aktivitātes līmeni iespējams labi prognozēt, bet aktivitātes īslaicīgo izpausmju paredzēšana ir vēl neatrisināta problēma.

Jautājumi.

1. Cik garš ir Saules aktivitātes cikls?
2. Kāpēc uzliesmojumā izsviestās daļiņas nerasniedz Zemi vienlaikus ar starojumu?
3. Vai uz Saules ekvatora un uz poliem ir novērojami plankumi?
4. Vai 2007. gadā uz Saules būs daudz plankumu?
5. Kas ir magnētiskā vētra?
6. Kādas parādības dzīvajā dabā atkārtojas ar 11 gadu periodu?
7. Kādas Saules aktivitātes miklas vēl nav atminētas?

4.3. ZVAIGŽŅU RAKSTURLIELUMI

Ar neapbruņotu aci pie debess var redzēt dažus tūkstošus zvaigžņu, bet spēcīgā teleskopā — daudzus miljonus un pat miljardus zvaigžņu. *Visas zvaigznes līdzīgi Saulei ir milzīgas, kvēlojošas gāzu lodes.* Zvaigznes ir dažādas — gan lielākas, gan mazākas par Sauli, gan karstākas, gan aukstākas. Lai orientētos šajā daudzveidībā, ir jāzina zvaigžņu raksturlielumi.

Novērojumos visvieglāk nosakāms zvaigznes *redzamais spožums*. Taču tas maz liecina par zvaigznes patieso spožumu, jo redzamais

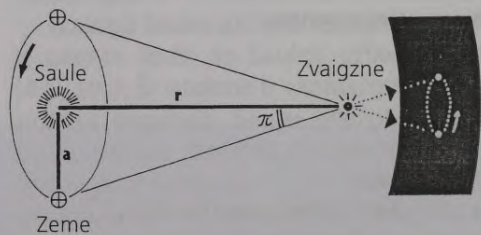
spožums ir atkarīgs no attāluma līdz zvaigznei. Vāji starojoša, bet tuva zvaigzne var izskatīties pat spožāka nekā spēcīgi starojoša, tāla zvaigzne. Tātad vispirms jānovērtē attālums līdz zvaigznei.

Zvaigžņu absolūtais spožums un starjauca. Ja visas zvaigznes atrastos vienādi tālu, piemēram, 10 pc attālumā, tad redzamā debess aina būtu pavisam citādāka. Dažas zvaigznes spidētu vājāk, bet vairums — ievērojami spožāk. Sauli šādā attālumā varētu tikko saskatīt ar neapbruņotu aci — tās spožums būtu $+4^m,8$. *Spožumu, kāds būtu zvaigznei, ja tā atrastos 10 pc attālumā, sauc par*

Attālumu noteikšana līdz zvaigznēm. Attālumus līdz tuvākajām zvaigznēm nosaka, izmantojot paralaksi. *Gada paralakse ir leņķis, par kādu šķietami pārvietojas zvaigzne pie debess sfēras, ja uz to skatās no Zemes orbītas lielās pusass galapunktiem* (tā, it kā viens novērotājs atrastos uz Zemes, bet otrs — uz Saules) (4.7. att.). Praksē zvaigznes stāvokļa mērījumus veic ar pusgada intervālu no pretējiem Zemes orbītas punktiem, tādējādi izmērītais leņķis ir divas reizes lielāks. Izdalot to ar 2, iegūst zvaigznes gada paralaksi, ko sauc vienkārši par paralaksi. Zvaigžņu paralakses ir mazākas nekā $1''$, un to noteikšanai vajadzīgi precīzi mērījumi. Ja paralakse π (loka sekundēs) zināma, tad attālums r līdz zvaigznei (parsekos) ir viegli nosakāms pēc formulas $r = 1/\pi$. Šādi ir aprēķināti attālumi aptuveni līdz 7500 tuvākajām zvaigznēm. Lai labāk izprastu paralakses principu, novietojiet acu priekšā pildspalvu un pārmaiņus skatieties uz to ar vienu un otru aci! Pildspalva "lēkā" — pārvietojas attiecībā pret fonu. Jo tālāk pildspalvu novieto, jo mazāka tās nobīde jeb paralakse.

Attālumus līdz tālākajām zvaigznēm nosaka citādi. Izmantojot likumsakarības, kas iegūtas, izpētot tuvākās zvaigznes, līdz kurām attālumi ir zināmi, kā arī izpētot tālo zvaigžņu spektrus, vispirms nosaka pārējos zvaigžņu raksturlielumus (starjauca, absolūto spožumu) un tikai pēc tam attālumu līdz tām. Šādi samērā precīzi var noteikt attālumus, piemēram, līdz zvaigžņu kopām, kurās ietilpstošās zvaigznes atrodas aptuveni vienādā attālumā no Zemes.

Zvaigžņu pozīciju un attālumu mērīšanai 1989. gadā Eiropas kosmonautikas aģentūra ievadīja orbītā speciālu ZMP "HIPPARCOS". Vairāku gadu laikā tas noteica koordinātas, paralaksi, spožumu un īpatnējo kustību aptuveni 120 tūkst. zvaigžņu. Mērījumu precizitāte sasniedza $0,002$, kas ievērojami pārsniedz to precizitāti, kāda iespējama novērojumos no Zemes. Vēl aptuveni 1 milj. zvaigžņu novēroja ar mazāku precizitāti.



4.7. att. Attāluma noteikšana līdz zvaigznei, izmantojot paralaksi.

a — Zemes orbītas lielā pusass, π — zvaigznes gada paralakse, r — attālums līdz zvaigznei. Leņķim Zeme-Saule-zvaigzne jābūt 90° .

Lielākās starjaudas zvaigznes

| Zvaigzne | Redzamais spožums, zv.l. | Starjauda, L_s |
|-------------------|--------------------------|------------------|
| HD 93129A* | — | 3 000 000 |
| Kuģa Ķīļa η | 6,0 | 2 500 000 |
| Pūpes ζ | 2,3 | 1 500 000 |
| Strēlnieka 9 | 6,0 | 1 500 000 |
| Skorpiona ζ | 4,3 | 1 400 000 |
| Oriona ζ | 1,9 | 630 000 |
| Žirafes α | 4,3 | 550 000 |
| Cefeja μ | 3,4...5,1 | 530 000 |

* — Kuģa Ķīļa zvaigznājā.

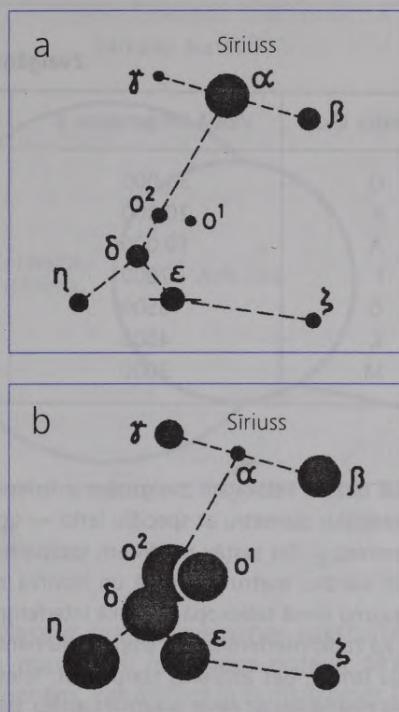
zvaigznes absolūto spožumu (4.8. att.). Būtībā absolūtais spožums raksturo zvaigznes starjaudu. Starjauda ir enerģijas daudzums, ko zvaigzne 1 sekundē izstaro visos virzienos apkārtējā telpā.

Starjauda ir svarīgs zvaigznes raksturlielums un dažādām zvaigznēm ļoti atšķirīgs. Saules starjauda ir $3,9 \cdot 10^{26}$ J. Citu zvaigžņu starjaudu pieņemts izteikt Saules starjaudas vienībās (L_s). Visvājākā spožuma zvaigznēm starjauda ir tikai $1/100\,000 L_s$, bet visspožākās zvaigznes izstaro pat miljoniem reižu vairāk enerģijas nekā Saule.

Zvaigžņu spektri un temperatūra.

Daudz informācijas par zvaigzni sniedz tās spektrs, ko iegūst ar spektrogrāfu vai citu ierīci, sadalot zvaigznes izstaroto gaismu spektrā — šaurā varavīksnes josliņā. Tikai spektrālo pētījumu rezultātā astronomiem izdevies noskaidrot zvaigžņu ķīmisko sastāvu un uzbūvi.

Tāpat kā Saulei, arī zvaigznēm ir nepārtraukts starojuma spektrs. Nepārtrauktajā spektrā redzamas tumšas spektrāllinijas, ko veido dažādi ķīmiskie elementi. Pēc zvaigznes spektra iespējams noteikt tās redzamās virsas temperatūru. Zvaigznes temperatūra ir saistīta ar tās krāsu. Piemēram, metālu var sakarsēt līdz sarkankvēlei, bet, paaugstinot temperatūru, — pat līdz baltkvēlei. Šeit ir līdzība ar zvaigznēm. Jo zvaigzne karstāka, jo tā ir baltāka. Atkarībā no temperatūras zvaigznes var būt sarkanās, oranžas, dzeltenās, baltas un pat zilganās. Visaukstākās ir sarkanās zvaigznes, kuru temperatūra ir 2500 K, bet



4.8. att. Lielā Suņa zvaigznāja zvaigžņu redzamais spožums (a) un absolūtais spožums (b).

Siriuss ir spožākā zvaigzne pie debess, jo tas atrodas samērā tuvu Zemei. Taču, ja visas zvaigznes atrastos vienādā attālumā, tad Siriuss starp tām īpaši neizceltos.

viskarstākās (40 000 K) — zilganās zvaigznes. Zvaigznes izstaro ne tikai redzamo gaismu. Sarkanās zvaigznes spēcīgi staro arī infrasarkanajā diapazonā, bet zilganās zvaigznes — ultravioletajā diapazonā.

Pamatojoties uz zvaigžņu spektru, ir izveidota zvaigžņu spektrālā klasifikācija. Virzienā no karstākajām uz aukstākajām zvaigznes iedala šādās spektra klasēs*): O, B, A, F, G, K, M. Pastāv vēl dažas citas spektra klases, kuras šeit neaplūkosim.

Zvaigžņu izmēri un masa. Pat visspēcīgākajā teleskopā lielā attāluma dēļ zvaigznes izskatās kā punkti. Tādēļ tieši izmērit zvaigžņu diametrus praktiski nav iespējams.

* Spektra klašu secību palīdz atcerēties izteiciens angļu valodā: "Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me."

Zvaigžņu spektrālā klasifikācija

| Spektra klase | Vidējā temperatūra, K | Krāsa | Piemēri |
|---------------|-----------------------|--------------|---------------------|
| O | 30 000 | zilgana | Oriona λ |
| B | 20 000 | zilganbalta | Spika |
| A | 10 000 | balta | Vega, Sīriuss |
| F | 7000 | dzeltenbalta | Prociens |
| G | 5500 | dzeltena | Saule, Kapella |
| K | 4500 | oranža | Arkturs, Aldebarans |
| M | 3000 | sarkana | Betelgeize, Antares |

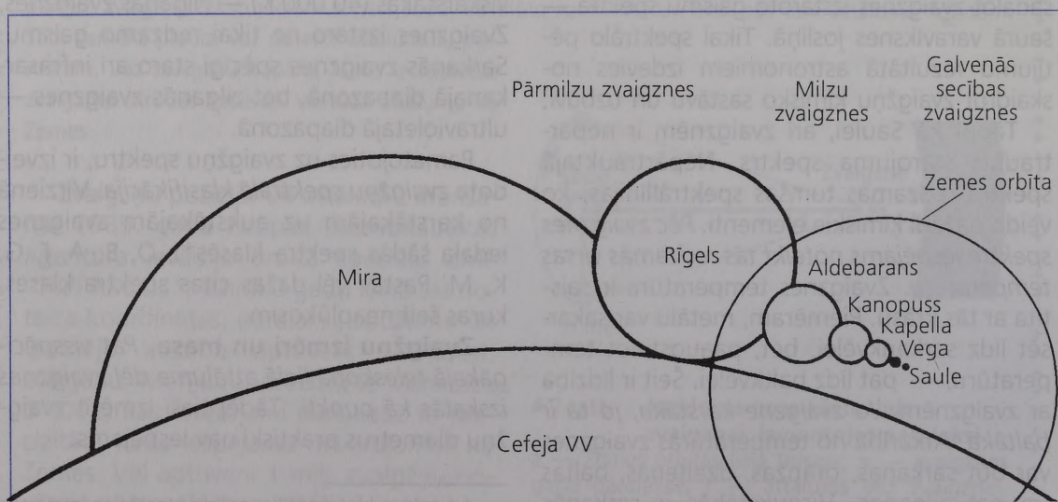
Tikai dažām lielākajām zvaigznēm ir izdevies izmērīt leņķisko diametru ar speciālu ierīci — optisko interferometru. Tas sastāv no diviem spoguļiem kas izvietoti vairāku metru attālumā un novirza zvaigznes gaismu vienā teleskopā. Optiskā interferometra (tāpat kā radiointerferometra) izšķirtspēju nenosaka spoguļu izmēri, bet attālums starp tiem. Teleskopa fokālajā plaknē iegūst nevis zvaigznes attēlu, bet gan interferences ainu, kuru analizējot var spriest par zvaigznes izmēriem. Pat vienai no lielākajām zvaigznēm Antaresam leņķiskais diametrs ir tikai $0''{,}04$.

Zvaigžņu rādus nosaka pēc aprēķiniem, ja zināma to temperatūra un starjaua.

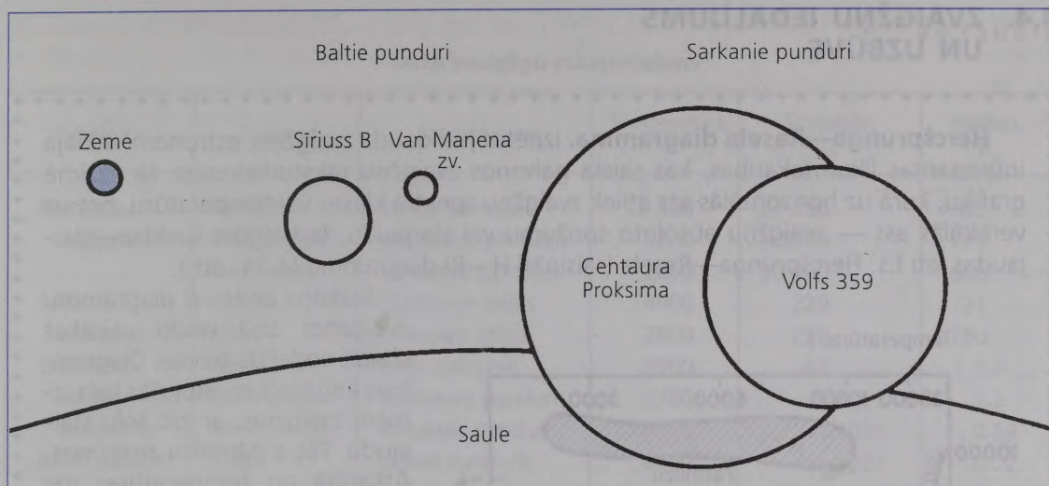
4.5. tabula

Lielākās zvaigznes

| Zvaigzne | Redzamais spožums, zv.l. | Rādus, R_s |
|--------------------|--------------------------|--------------|
| Lielā Suņa VY | 6,5...9,6 | 3000 |
| Cefeja μ | 3,4...5,1 | 2300 |
| Cefeja VV | 4,8...5,4 | 1600 |
| Antares | 1,0 | 700 |
| Herkulesa α | 2,7...4,0 | 700 |
| Mira | 2,0...10,1 | 700 |
| Betelgeize | 0,4...1,3 | 600 |



4.9. att. Par Sauli lielāku zvaigžņu salīdzinošie izmēri.



4.10. att. Par Sauli mazāku zvaigžņu salīdzinošie izmēri.

Jo lielāka zvaigznes starжда, jo lielāks tās rādiuss.

Rādiusa atkarība no temperatūras ir tieši pretēja: jo temperatūra augstāka, jo zvaigznes rādiuss mazāks. Tas nozīmē, ka no divām zvaigznēm ar vienādu starжда un atšķirīgu temperatūru lielākā ir aukstākā zvaigzne (4.9. att.).

Zvaigžņu rādiusi ir visai atšķirīgi, taču ne tik lielā mērā kā to starжда. Zvaigžņu rādiusus parasti izsaka Saules rādiusa ($R_S = 696\ 000\ \text{km}$) vienībās. Ļoti mazas zvaigznes ir baltie punduri. To rādiuss ir aptuveni 100 reizu mazāks nekā Saulei (4.10. att.). Vislielākās zvaigznes ir sarkanie pārmilži, kuru izmēri aptuveni 1000 reizes pārsniedz Saules izmērus.

Masa ir svarīgs zvaigznes raksturlielums, taču masu tieši iespējams noteikt tikai tām zvaigznēm, kas ietilpst dubultsistēmās un līdz kurām ir zināms attālums. Pārējām zvaigznēm masu nosaka pēc aptuvenām sakarībām, kas iegūtas, analizējot lielu daudzumu zvaigžņu. Tāpat kā citus zvaigžņu raksturlielumus, arī zvaigžņu masu izsaka Saules masas ($m_S = 1,989 \cdot 10^{30}\ \text{kg}$) vienībās. Zvaigžņu masa atrodas intervālā $0,03 \dots 60 m_S$. Taču vairumam zvaigžņu masa nav tik atšķirīga: tā ir intervālā $0,3 \dots 3 m_S$.

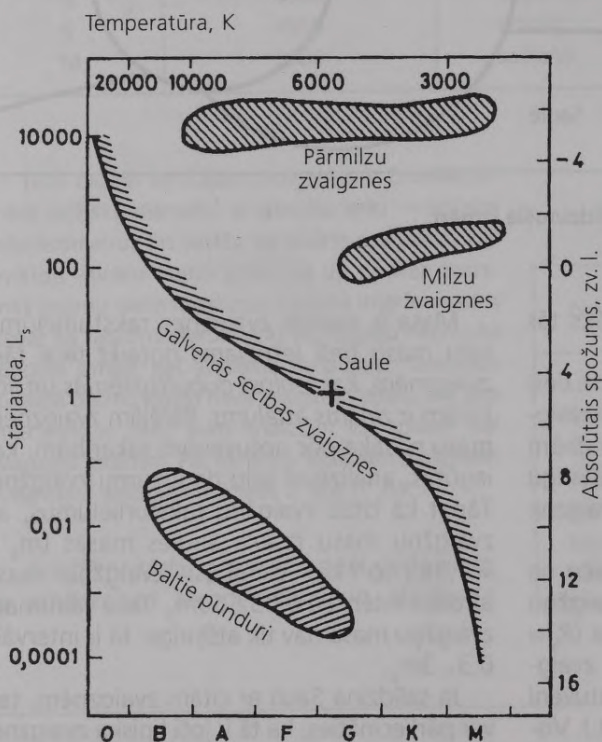
Ja salīdzina Sauli ar citām zvaigznēm, tad var pārlicināties, ka tā ir ļoti tipiska zvaigzne. Saule pieder G spektra klasei. Tā nav ne pārāk karsta, ne auksta, ar mērenu starжда un vidēja lieluma rādiusu.

Jautājumi.

1. Kas ir parseks?
2. Kādās vienībās mēra zvaigznes spožumu?
3. Saules temperatūra ir 5800 K. Kāda ir tās temperatūra pēc Celsija skalas?
4. Kādai spektra klasei pieder zaļās zvaigznes?
5. Ja Saule atrastos 10 pc attālumā, vai tad tā būtu redzama bez teleskopa?
6. Cik reizu A spektra klases zvaigzne ir karstāka par M spektra klases zvaigzni?
7. Kāds ir Antaresa redzamais spožums, krāsa, spektra klase, temperatūra un rādiuss?

4.4. ZVAIGŽŅU IEDALĪJUMS UN UZBŪVE

Hercšprunga—Rasela diagramma. Izpētot ļoti daudz zvaigžņu, astronomi atklāja interesantas likumsakarības, kas saista galvenos zvaigžņu raksturlielumus. Ja uzzīmē grafiku, kurā uz horizontālās ass atliek zvaigžņu spektra klases vai temperatūru, bet uz vertikālās ass — zvaigžņu absolūto spožumu vai starjaudu, tad iegūst spektra—starjaudas jeb t.s. Hercšprunga—Rasela (saīsināti H—R) diagrammu (4.11. att.).



4.11. att. Zvaigžņu izvietojums Hercšprunga—Rasela diagrammā.

Saskaņā ar H—R diagrammu zvaigznes tajā veido vairākas skaidri nodalītas grupas. Diagrammas augšdaļā izvietojusies liela izmēra zvaigznes ar ļoti lielu starjaudu. Tās ir pārmilzu zvaigznes. Atkarībā no temperatūras var būt baltie, dzeltenie un sarkanie pārmilži. Zem tiem pa labi izvietojusies liela zvaigžņu grupa ar mazāku starjaudu — milzu zvaigznes (galvenokārt dzeltenie un sarkanie milži). H—R diagrammu no kreisās uz labo pusi šķērso izliekta josla, kas ietver zvaigžņu vairākumu. Tās ir galvenās secības zvaigznes. Arī Saule pieder galvenajai secībai. Šīs zvaigznes ir ļoti dažādas. Kreisajā pusē augšā koncentrējas ļoti karstas, baltas un spožas zvaigznes, vidū — dzeltenie punduri, bet labajā pusē apakšā — nelielas starjaudas zvaigznes sarkanie punduri ar zemu virsas temperatūru. Diagrammas kreisajā apakšējā stūrī atsevišķu zvaigžņu grupu veido baltie punduri.

Tātad pēc starjaudas un izmēriem izšķir pārmilzu zvaigznes, milzu zvaigznes un pundurzvaigznes. Astronomijā H—R diagrammai ir tāda pati nozīme kā elementu periodiskajai sistēmai ķīmijā vai sugu klasifikācijai bioloģijā. Tā atspoguļo fundamentālas zvaigžņu uzbūves un attīstības likumsakarības. Zvaigznes atrašanās vieta diagrammā mainās zvaigznes evolūcijas procesā.

Līdzīgi, kā notiek tautas skaitīšana iedzīvotāju sastāva noteikšanai, arī astronomi ir

veikuši zvaigžņu skaitīšanu un konstatējuši, ka uz 10 milj. galvenās secības pundurzvaigžņu sastopams 1 milj. balto punduru, 1 tūkst. milzu zvaigžņu un tikai viena pārmilzu zvaigzne. Tas nozīmē, ka vairums zvaigžņu mūsu Galaktikā ir pundurzvaigznes.

Zvaigžņu ķīmiskais sastāvs un kodolreakcijas. Galvenais ķīmiskais elements zvaigžņu sastāvā ir ūdeņradis. Otrs svarīgākais elements ir hēlijs, bet citu ķīmisko elementu ir visai nedaudz. Elementu procentuālā attiecība var

Dažu zvaigžņu raksturlielumi

| Grupa | Zvaigzne | Raksturojums | Temperatūra,
K | Starjauca,
L_s | Rādiuss,
R_s |
|----------------------------------|-------------------|----------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| Pārmilzu
zvaigznes | Denebs | baltais pārmilzis | 10 300 | 67 000 | 82 |
| | Polārzvaigzne | dzeltenais pārmilzis | 5800 | 5600 | 75 |
| | Betelgeize | sarkanais pārmilzis | 2800 | 20 000 | 600 |
| Milzu
zvaigznes | Kapella | dzeltenais milzis | 4900 | 220 | 21 |
| | Mira | sarkanais milzis | 2600 | 210 | 700 |
| Galvenās
secības
zvaigznes | Sīriuss A | balta zvaigzne | 9300 | 27 | 2.0 |
| | Centaura α | dzeltenais punduris | 5700 | 1.3 | 1.2 |
| Baltie punduri | Bārnarda zv. | sarkanais punduris | 2800 | 0.0004 | 0.09 |
| | Sīriuss B | baltais punduris | 8200 | 0.0027 | 0.02 |

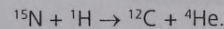
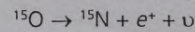
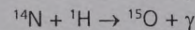
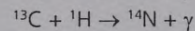
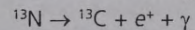
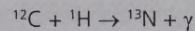
būt citāda nekā Saulei, jo, piemēram, zvaigznēs, kas atrodas vēlākā evolūcijas stadijā nekā Saule, udeņraža ir mazāk, bet hēlija — vairāk. Visām zvaigznēm, izņemot baltos pundurus, galvenais enerģijas avots ir kodolreakcijas, kas norisinās to dzīlēs. Kodolreakciju veids ir atkarīgs no temperatūras zvaigznes centrā, bet temperatūra savukārt ir atkarīga no zvaigznes masas. *Jo masīvāka zvaigzne, jo augstāka temperatūra ir tās centrā.* Galvenās secības zvaigznēm šī sakarība ir aptuveni šāda.

| | | | | | | | | |
|----------------------|-----|------|-----|----|----|----|----|----|
| Masa, m_s | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |
| Temperatūra, milj. K | 8 | 10 | 12 | 14 | 17 | 20 | 24 | 28 |

Saules tipa zvaigznēs un mazākās, līdz ar to arī aukstākās zvaigznēs galvenokārt norisinās protonu-protonu reakcija. Par Sauli lielākās un karstākās zvaigznēs galvenā nozīme ir oglekļa-slāpekļa kodolreakciju ciklam, kura rezultātā arī no udeņraža veidojas hēlijs. Evolūcijas beigu stadijās zvaigznēs norisinās arī citas kodolreakcijas. Kodolreakcijas notiek ar noteiktu ātrumu, tādēļ *udeņradis zvaigznes dzīlēs "deg" pakāpeniski, nevis uzliesmo milzīgā sprādzienā.*

Oglekļa-slāpekļa cikla reakcijas var norisināties zvaigznēs, kuru centrā ir pietiekams oglekļa daudzums. No oglekļa veidojas slāpekļi un skābekļi, taču šie elementi nesaglabājas, jo cikla pēdējā

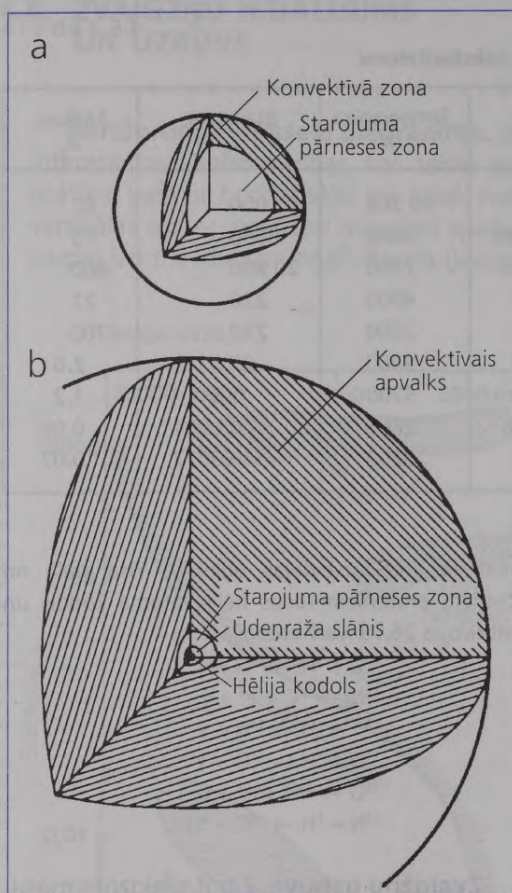
reakcijā atkal izveidojas ogleklis. Visā ciklā no četriem protoniem rodas hēlija atoma kodols un atbrivojas 26,73 MeV enerģija:



Zvaigžņu uzbūve. Zinot zvaigznes masu, starjauca, rādiusu, virsas temperatūru un ķīmisko sastāvu, iespējams izveidot zvaigznes modeli. Nepieciešamos apjomīgos aprēķinus veic ar datoru. Modelis parāda, kā mainās zvaigznes temperatūra, spiediens un blīvums atkarībā no attāluma līdz zvaigznes centram; kā arī to, kur izvietoti zvaigznes enerģijas avoti un kā notiek enerģijas pārnese uz ārpusi.

Kodolreakcijās radusies enerģija zvaigznes ārpusē var izklūt divējādi: starojuma pārneses vai konvekcijas rezultātā. Konvekcija "ieslēdzas" tad, kad starojums nespēj pārnest visu enerģijas plūsmu, piemēram, ja kāds zvaigznes slānis ir stipri necaurspīdīgs vai tajā norisinās straujas kodolreakcijas. *Galvenās secības zvaigznēm atkarībā no to masas ir dažāda biežuma starojuma pārneses un konvektīvā zona.*

Zvaigznes, kuru masa mazāka nekā $0,3m_s$, ir pilnīgi konvektīvas, jo to viela ir visai necaurspīdīga



4.12. att. Zvaigžņu uzbūves modeļi:

a — zvaigzne, kurai ir starojuma pārneses zona un konvektīvā zona (zvaigznes masa $0,3...1m_{\odot}$), b — sarkanais milzis.

zemās temperatūras dēļ. Zvaigznēm, kuru masa ir intervālā $0,3...1m_{\odot}$, tāpat kā Saulei, ir gan starojuma pārnese, gan konvektīvā zona (4. 12. a att.). Vēl masīvākām zvaigznēm ārējās konvektīvās zonas nav — starojuma pārneses zona sniedzas līdz pat zvaigznes virsai, bet zvaigznes centrā atrodas konvektīvs kodols, jo augstā temperatūrā zvaigznēs norisinās straujas oglekļa-slāpekļa cikla kodolreakcijas.

Citāda uzbūve ir sarkanajiem milžiem. To centrā viss ūdeņradis ir "izdedzis" — pārvērties hēlijā. Hēlija kodolu apņem plāns ūdeņraža slānis, kurā turpinās kodolreakcijas. Aiz tā atrodas neliela starojuma pārneses zona, bet sarkanā milža lielāko tilpuma daļu veido

milzīgs konvektīvs apvalks (4.12. b att.). Šis apvalks nosaka sarkanā milža lielos izmērus. Ja tas izzustu, tad milža vietā paliktu pundurzvaigzne. Apvalks ir ļoti retināts, un tam ir zema temperatūra.

Neparasta uzbūve ir baltajiem punduriem, kuru mazā starжда liecina, ka tajos nenotiek kodolreakcijas. Tie staro, "tērējot" siltumenerģiju, un pakāpeniski atdziest. *Baltie punduri ir ļoti mazas zvaigznes.* Baltajam pundurim, kura masa vienāda ar Saules masu, diametrs ir tikai 10 tūkst. km. Tādi izmēri ir planētām, piemēram, Zemes diametrs ir tikai nedaudz lielāks. Tas nozīmē, ka baltie punduri sastāv no ļoti blīvas vielas. *Viena sērskociņu kastīte baltā pundura vielas sver 140 t!* Baltais punduris sastāv no oglekļa un hēlija atomu kodoliem un ļoti blīvi sakārtotiem elektroniem. No ārpusē to apņem plāns ūdeņraža apvalks. Temperatūra baltā pundura iekšienē ir samērā augsta.

Zvaigžņu atmosfēra un rotācija. Zvaigznes atmosfēras ķīmisko sastāvu un fizikālos raksturlielumus nosaka, izpētot tās spektru, jē *spektrāllinijas, kas redzamas zvaigznes starojuma spektrā, veidojas tās atmosfērā.* Tāpat kā zvaigznes iekšienē, arī zvaigznes atmosfēras galvenās sastāvdaļas ir ūdeņradis un hēlijs, taču zvaigžņu spektros labi redzamas arī citu ķīmisko elementu — slāpekļa, skābekļa, silīcija, dažādu metālu spektrāllinijas. Karsto zvaigžņu atmosfērās atomi atrodas jonizētā stāvoklī, bet auksto zvaigžņu atmosfērās tie var veidot pat molekulārus savienojumus. Daļai auksto zvaigžņu ir neparasts ķīmiskais sastāvs. To atmosfērās var būt paaugstināts oglekļa un metālu saturs.

Latvijas astronomi pēta t. s. oglekļa zvaigznes. Oglekļa zvaigznes ir sarkanie milži, kuru spektrā oglekļa savienojumi veido spēcīgas absorbcijas joslas. Vairums oglekļa zvaigžņu ir neregulāras mainīgzvaigznes. Pavisam Galaktikā ir zināmas vairāk nekā 3000 oglekļa zvaigznes, no kurām aptuveni 1/20 atklātas Latvijā. Spožākās oglekļa zvaigznes pie debess ir Zivju TX, Medību Suņu Y un Vēža χ . To spožums ir 5^m .

Labi izpētīts ir tikai zvaigžņu atmosfēras zemākais slānis — fotosfēra, no kuras plūst

zvaigznes redzamais starojums. Taču zvaigznēm, tāpat kā Saulei, pastāv gan hromosfēra, gan vainags. Milzu un pārmilzu zvaigznēm atmosfēra (fotosfēra) ir plaša un retiņāta, bet punduriem — plāna un blīva. Saulei fotosfēras slāņa biezums ir tikai 300 km, bet pārmilžiem — pat miljoniem kilometru. Baltajiem punduriem praktiski nav atmosfēras.

No apstākļiem zvaigznes atmosfērā ir atkarīgs spektrālliniju platums un intensitāte. Milzu zvaigžņu spektros līnijas ir šauras un asi norobežotas, bet pundurzvaigžņu spektros — platas un izplūdušas. Dažas spektrāllīnijas ir spēcīgāk izteiktas milzu zvaigžņu spektros, bet citas — savukārt pundurzvaigžņu spektros.

Tāpat pēc spektrālliniju platuma un intensitātes iespējams aptuveni noteikt zvaigznes starjauđu. Savukārt, zinot starjauđu un redzamo spožumu, var aprēķināt attālumu līdz zvaigznei.

Zvaigznes, tāpat kā Saule, griežas ap asi, tikai dažādām galvenās secības zvaigznēm rotācijas ātrums ir atšķirīgs. O, B un A spektra klašu zvaigznes griežas strauji. To lineārais rotācijas ātrums sasniedz 200 km/s. F spektra klases ietvaros zvaigžņu griešanās ātrums strauji samazinās, un G, K un M spektra klašu zvaigznes (arī Saule) griežas lēni. To lineārais rotācijas ātrums ir mazāks nekā 10 km/s. Šīs parādības cēlonis vēl nav zināms.

Jautājumi.

1. Zvaigznes starjauđa ir $100 L_{\odot}$, bet temperatūra 15 000 K. Kāda zvaigžņu grupai tā pieder?
2. Kas ir Saule — milzu zvaigzne vai pundurzvaigzne?
3. Cik mūsu Galaktikā ir pārmilzu zvaigžņu, ja pavisam tajā ir 200 mljrd. zvaigžņu?
4. Kāpēc masīvām zvaigznēm ir konvektīvs kodols, bet nelielas masas zvaigznēm — konvektīvs apvalks?
5. Ar ko baltie punduri atšķiras no citām zvaigznēm?
6. Novērojumos iegūts M spektra klases zvaigznes spektrs. Kā noteikt, vai tā pieder pie sarkanajiem milžiem vai sarkanajiem punduriem?
7. Ar kādu ātrumu griežas E spektra klases zvaigznes?

4.5. ZVAIGŽŅU IZVIETOJUMS UN KUSTĪBA

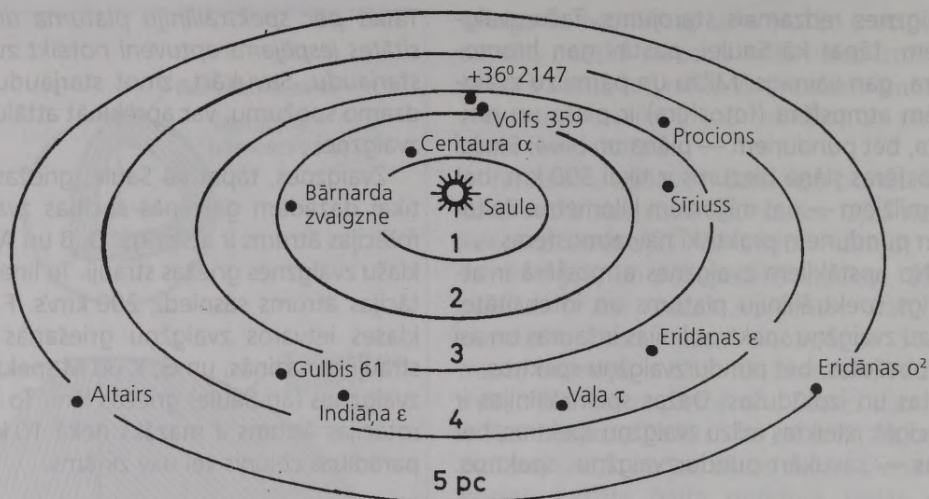
Saulei tuvākās zvaigznes. Vislabāk izpētītas ir tās zvaigznes, kas atrodas Saules apkaimē (4.13. att.). 6,5 pc attālumā apkārt Saulei ir zināmas 100 zvaigznes. Saulei vistuvākā zvaigzne ir Centaura α , kura atrodas 1,33 pc jeb 4,33 ly attālumā. Centaura α ir spoža zvaigzne pie dienvidu puslodes debess.

Būtībā Centaura α ir trīskārša zvaigžņu sistēma, kas sastāv no Centaura A, Centaura B un Centaura Proksimas. Centaura A un B ir Saulei līdzīgas zvaigznes, bet Centaura Proksima ir sarkanais punduris. Tā atrodas Saulei nedaudz tuvāk par pārējām divām zvaigznēm. Attālums līdz Centaura Proksimai ir 1,31 pc.

Starpzvaigžņu attālumus ir grūti iztēloties. Mūsdienu kosmiskie aparāti spēj sasniegt ātrumu 50 km/s. Ar šādu ātrumu iespējams šķērsot Saules sistēmu 8 gados, bet Centaura α sasniegšanai vajadzīgi 26 tūkst. gadu. Un tā ir Saulei vistuvākā zvaigzne! Pat gaisma veic šo attālumu ilgāk nekā četros gados.

Otra Saulei tuvākā zvaigzne ir Bārnarda zvaigzne — vāja spožuma zvaigzne Čuskneša zvaigznājā. Tā ir redzama Latvijas platuma grādos vidēji spēcīgā teleskopā. Attālums līdz tai ir 1,83 pc. Bārnarda zvaigzne ir neliels sarkanais punduris.

Starp 100 Saulei tuvākajām zvaigznēm vairums ir vāji starojoši sarkanie punduri. Ir arī Saulei līdzīgas zvaigznes, A spektra klases zvaigznes un daži baltie punduri. Saulei tuvākās milzu zvaigznes Arkturs un Polluks atrodas



4.13. att. Dažu Saulei tuvāko zvaigžņu izvietojums.

jau tālāk — 11 pc attālumā. Ja aplūkojamo kosmisko telpu paplašina desmitkārt, tad apkārt Saulei 65 pc rādiusā atrodas jau 100 tūkst. zvaigžņu, to skaitā spožās zvaigznes Aldebarans, Kapella, Spika, Vega u.c. (4.14. att.).

Zvaigžņu kustība. Zvaigžņu savstarpējais izvietojums pie debess lēni mainās. (Nejaukt šo parādību ar precesiju!) Zvaigznes pakāpeniski pārvietojas pie debess sfēras sauc par

zvaigžņu īpatnējo kustību. *Īpatnējās kustības cēlonis ir zvaigžņu reālā kustība kosmiskajā telpā.* Saulei tuvākajām un ātrākajām zvaigznēm īpatnējā kustība ir lielāka. To mēra loka sekundēs gadā. Vislielākā īpatnējā kustība ir Bārnarda zvaigznei, t.i., 10,31"/gadā. Bārnarda zvaigzne 180 gados veic pie debess attālumu, kas vienāds ar Mēness leņķisko diametru. Citām tuvākajām zvaigznēm īpatnējā

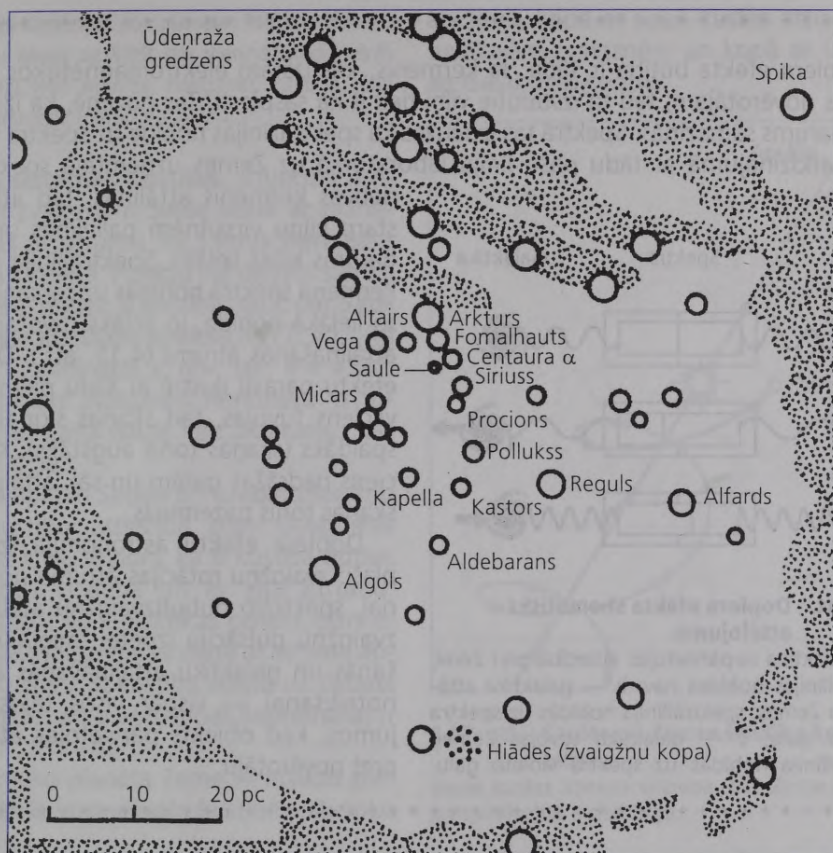
4.7. tabula

Saulei tuvākās zvaigznes*

| Zvaigzne | Spožums, zv.l. | Attālums, pc | Īpatnējā kustība, "/gadā | Radiālais ātrums, km/s | Spektra klase | Masa, m_{\odot} |
|------------------------|----------------|--------------|--------------------------|------------------------|---------------|-------------------|
| Centaura α^{**} | 0,0 | 1,33 | 3,68 | -22 | G | 1,1 |
| Bārnarda zv. | 9,5 | 1,83 | 10,31 | -108 | M | 0,15 |
| Volfs 359 | 13,6 | 2,42 | 4,71 | +13 | M | 0,16 |
| +36°2147 | 7,5 | 2,53 | 4,78 | -86 | M | 0,4 |
| Sīriuss** | -1,5 | 2,67 | 1,33 | -8 | A | 2,3 |
| Eridānas ϵ | 3,7 | 3,30 | 0,91 | +16 | K | 0,75 |
| Gulbis 61** | 5,2 | 3,42 | 5,21 | -64 | K | 0,58 |
| Procions** | 0,4 | 3,47 | 1,25 | -3 | F | 1,74 |
| Indiāņa ϵ | 4,7 | 3,51 | 4,69 | -40 | K | 0,65 |
| Vaļa τ | 3,5 | 3,68 | 1,91 | -16 | G | 0,86 |
| Eridānas o^{2**} | 4,5 | 5,00 | 4,08 | -43 | K | 0,89 |
| Altairs | 0,8 | 5,08 | 0,66 | -26 | A | 1,9 |

* — Dati sniegti izlases veidā (minētas piecas tuvākās zvaigznes, bet no pārējām — tikai spožākās).

** — Dubultzvaigzne vai vairākkārtīga zvaigžņu sistēma. Šīm zvaigznēm dati attiecas uz spožāko komponentu.



4.14. att. Zvaigznes Saules tālākajā apkaimē.
Šo Galaktikas apgabalu aptver retināts ūdeņraža gredzens

kustība ir dažas loka sekundes gadā, bet vairumam tālo zvaigžņu tā ir ļoti maza un pamanāma tikai ilgstošos novērojumos.

Kosmiskajā telpā zvaigznes kustas ar atšķirīgiem ātrumiem, kas ir vērsti dažādos virzienos. Ir zvaigznes, kas tuvojas Zemei, un ir arī zvaigznes, kas attālinās. Zvaigžņu ātrums skata virzienā (radiālais ātrums) Saules apkaimē sasniedz dažus desmitus km/s. Piemēram, Altairs tuvojas Zemei ar ātrumu 26 km/s, bet Eridānas ϵ ik sekundi attālinās par 16 km. Zvaigznēm, kas attālinās, radiālais ātrums ir pozitīvs, zvaigznēm, kas tuvojas, — negatīvs. Radiālo ātrumu nosaka, izmērot spektrālīniju nobīdi zvaigznes spektrā, ko izraisa Doplera efekts.

Zvaigžņu kustības dēļ mainās to izvietojums zvaigznājos, taču šīs izmaiņas kļūst manāmas tikai desmitiem tūkstošu gadu laikā. Pirms

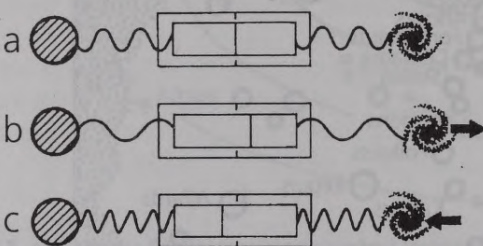
100 tūkst. gadu mūsu senčiem redzamais zvaigžņu zīmējums bija citāds nekā mūsdienās, kaut arī galvenie zvaigznāji bija tie paši (4.16. att.). Paies vēl 100 tūkst. gadu un zvaigznāju veidols atkal izmainīsies.

Zvaigžņu tuvošanās vai attālināšanās dēļ mainās arī to spožums. Sīriuss vēl ilgu laiku (vismaz 100 tūkst. gadu) būs spožākā zvaigzne pie debess. Tā spožums pat nedaudz palielināsies. Par otru spožāko zvaigzni pēc 15 tūkst. gadu kļūs Centaura α , kas tuvojas Saulei ar ātrumu 22 km/s. Spožākas kļūs arī Vega, Arkturs un Altairs, bet Kapellas un Aldebarana spožums samazināsies, jo šīs zvaigznes attālinās no Saules.

Zvaigžņu neredzamie pavadoņi. Dažas no Saulei tuvākajām zvaigznēm kustas pie debess nevis pa taisni, bet pa likloču trajektoriju.

Doplera efekta būtība ir šāda. Ja ķermenis, kas izstaro elektromagnētiskos viļņus, tuvojas novērotājam, tad tā izstarotie viļņi tiek it kā saspiesti. Tas nozīmē, ka izstarotā viļņa garums samazinās. Spektrā tas izpaužas kā spektrāllīnijas nobīde uz spektra violeto galu salīdzinājumā ar tādu pašu līniju laboratorijā uz Zemes uzņemtajā spektrā. Ja

Zeme Spektrs Galaktika

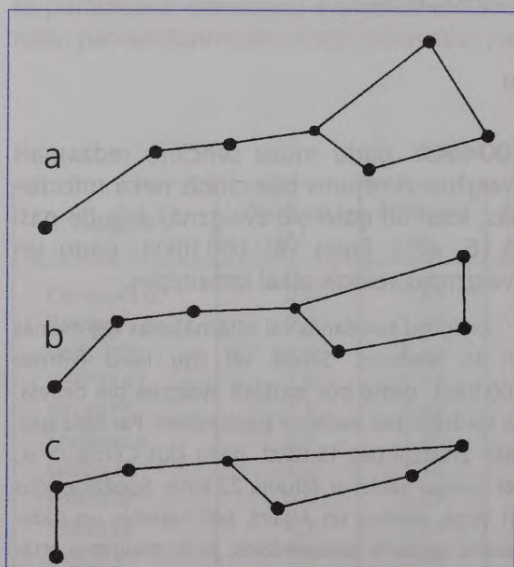


4.15. att. Doplera efekta shematisks attēlojums:

a — galaktika nepārvietojas attiecībā pret Zemi; spektrāllīnijas nobīdes nav; b — galaktika attālinās no Zemes; spektrāllīnija nobīdās uz spektra sarkano galu; c — galaktika tuvojas Zemei; spektrāllīnija nobīdās uz spektra violeto galu.

debess ķermenis attālinās, tad attālums starp viļņu virsotnēm palielinās un viļņa garums kļūst lielāks. Spektrāllīnija debess ķermeņa spektrā nobīdās uz sarkano galu. Jo lielāka nobīde, jo lielāks tuvošanās vai attālināšanās ātrums (4.15. att.). Doplera efektu parasti ilustrē ar šādu piemēru: ja vilciens tuvojas, tad skaņas signāls šķiet spalgāks (skaņas tonis augstāks). Kad vilciens padrāžas garām un sāk attālināties, skaņas tonis pazeminās.

Doplera efektu astronomijā izmanto plaši: zvaigžņu rotācijas ātruma noteikšanai, spektrālo dubultzvaigžņu atklāšanai, zvaigžņu pulsāciju izpētei, miglāju izplešanās un galaktiku attālināšanās ātruma noteikšanai — vispār visos tajos gadījumos, kad objekts pārvietojas attiecībā pret novērotāju.



4.16. att. Lielā Lāča zvaigznāja veidola maiņa zvaigžņu ipatnējās kustības dēļ:

a — zvaigznājs pirms 100 000 g., b — zvaigznājs mūsdienās, c — zvaigznājs pēc 100 000 g.

Tas nozīmē, ka šīm zvaigznēm ir viens vai vairāki nelieli pavadoņi, kas, riņķojot ap zvaigzni, nedaudz to novirza no taisnlīnijas trajektorijas. Ja zvaigznes pavadoņi nav iespējams konstatēt ar citiem paņēmieniem, kā tikai pēc novirzēm zvaigznes kustībā, tad to sauc par *neredzamo pavadoņi*. Izmērot zvaigznes novirzi, var spriest par pavadoņa masu. Saules apkaimē zināmas aptuveni 10 zvaigznes, kurām ir neredzami pavadoņi. To skaitā ietilpst Bārnarda zvaigzne, Gulbja 61 un Eridānas ϵ . *Ja pavadoņa masa ir mazāka nekā $1/100m_s$, tad pavadoņi vairs nav zvaigzne, bet planēta.* Tā, piemēram, Saules sistēmas lielākās planētas Jupitera masa ir $1/1000m_s$.

Iespējams, ka ap Bārnarda zvaigzni riņķo divas planētas, kuru masas ir 0,8 un 1,1 Jupitera masas (m_j). To apriņķošanas periodi atbilstoši ir 12 un 26 gadi. Gulbja 61 pavadoņa masa ir $8m_j$, tas apriņķo zvaigzni 4,8 gados. Eridānas ϵ pavadoņa masa nav precīzi zināma un atrodas intervālā 6...50 m_j .

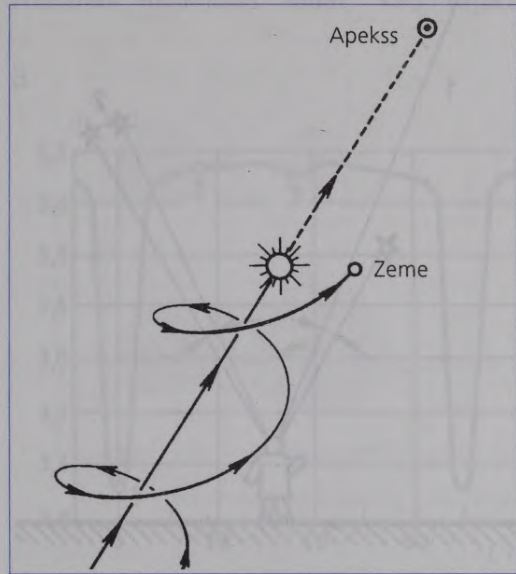
Iespējams, ka tā nemaz nav planēta. Minēto planētu pastāvēšanu nevar uzskatīt par viennozīmīgi pierādītu, jo bieži vien novirze zvaigznes kustībā tikai nedaudz pārsniedz mērījumu kļūdu.

Saules sistēmas kustība. Attiecībā pret tuvākajām zvaigznēm Saule kopā ar planētām kustas ar ātrumu 19,5 km/s Herkulesa zvaigznāja virzienā. Punktu pie debess sfēras, kura virzienā notiek šī kustība, sauc par **Saules sistēmas kustības apeksu** (4.17. att.). Tā aptuvenas koordinātas ir $\alpha = 18^h$, $\delta = +30^\circ$. Apeks atrodas zvaigznes Herkulesa υ tuvumā. Vienā gadā Saule veic attālumu, kas vienāds ar 4 ua.

Taču, ja aplūko Saules un tuvāko zvaigžņu kopējo kustību attiecībā pret Galaktikas centru, tad kļūst skaidrs, ka šī kustība notiek pavisam citā virzienā un ar citu ātrumu. Saule, riņķojot ap Galaktikas centru, pārvietojas Gulbja zvaigznāja virzienā ar ātrumu aptuveni 240 km/s. Šī kustība vērsta uz debess sfēras punktu, kura aptuvenas koordinātas ir $\alpha = 21^h 10^m$, $\delta = +48^\circ$.

Tātad mūsu planēta Zeme vienlaikus piedalās vairākās kosmiskajās kustībās: tā riņķo

ap Sauli, kopā ar Sauli kustas attiecībā pret tuvākajām zvaigznēm un kopā ar tām riņķo ap Galaktikas centru.



4.17. att. Saules un Zemes kustība kosmiskajā telpā.

Saule kustas apeksa virzienā, bet Zeme pārvietojas pa spirālveida trajektoriju.

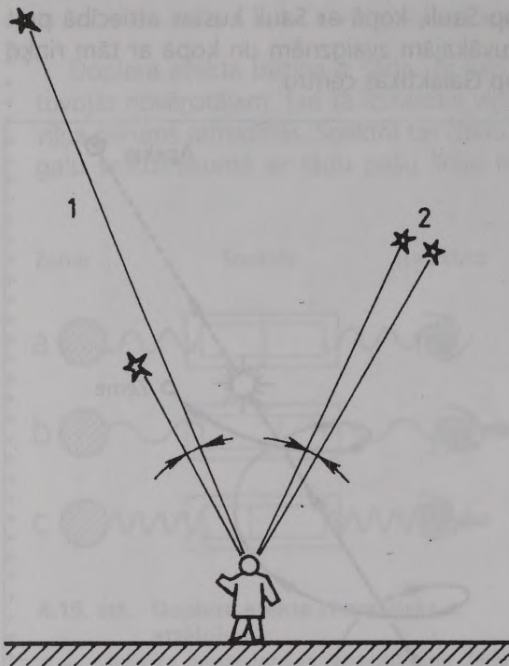
Jautājumi.

1. Cik ilgā laikā varētu nokļūt līdz Centaura α , lidojot ar gaismas ātrumu?
2. Ar ko izskaidrojams Siriusa lielais spožums?
3. Saules apkaimē vairums zvaigžņu ir sarkanie punduri. Vai tā ir arī citviet Galaktikā?
4. Zvaigznes radiālais ātrums ir -30 km/s. Vai tā tuvojas vai attālinās?
5. Ja pielidotu klāt zvaigznei Gulbja 61, vai tās neredzamais pavadoņš kļūtu redzams?
6. Izskaidrojiet Doplera efekta būtību!
7. Vai pēc miljona gadu būs redzami tie paši zvaigznāji, kas pašlaik?

4.6. DUBULTZVAIGZNES

Dubultzvaigžņu klasifikācija. Dažviet pie debess divas zvaigznes redzamas cieši līdzās. Šīs zvaigznes sauc par dubultzvaigznēm. Zvaigznes, kuras nejausi projicējas blakus uz debess sfēras, bet patiesībā atrodas ļoti dažādos attālumos no Zemes, sauc par

optiskajām dubultzvaigznēm. Taču vairums dubultzvaigžņu ir **fizikālās dubultzvaigznes** — zvaigžņu sistēmas, kas kosmiskajā telpā atrodas cieši blakus un riņķo viena ap otru (4.18. att.). Bez dubultzvaigznēm pie debess ir arī diezgan daudz trīskāršu, četrkāršu un skaitliski vēl lielāku zvaigžņu sistēmu. Saules apkaimē katra otrā zvaigzne ir



4.18. att. Optiskās 1 un fizikālās 2 dubultzvaigznes.

Abu zvaigžņu pāru leņķiskais attālums ir vienāds, taču pirmajā gadījumā pāra zvaigznes atrodas dažādos attālumos, bet otrajā gadījumā — veido fizikāli saistītu sistēmu.

dubultzvaigzne vai vairākkārtīga to sistēma. Arī citur mūsu Galaktikā situācija ir līdzīga. Mūsdienų katalogos ietverti dati par 70 tūkst. dubultzvaigžņu.

Dažas dubultzvaigznes, piemēram, Liras ϵ , iespējams izšķirt ar neapbruņotu aci, bet teleskopā katrā zvaigznājā redzami vairāki simti dubultzvaigžņu.

Fizikālās dubultzvaigznes iedala vizuālajās dubultzvaigznēs, kuru komponentus iespējams izšķirt teleskopā, un spektrālajās dubultzvaigznēs, kuru komponenti atrodas tik cieši kopā, ka par to pastāvēšanu var spriest tikai no zvaigznes spektra pētījumiem. Spektrālo dubultzvaigžņu spektros novērojamas regulāras spektrālliniju nobīdes, pēc kurām iespējams noteikt komponentu apriņķošanas periodus.

Tā kā spektrālās dubultzvaigznes riņķo ap kopīgu smaguma centru, pārmaiņus gan attālinādamās, gan tuvodamās novērotājam, Doplera efekta dēļ to spektrā novērojama spektrālliniju pārbīde uz vienu un otru pusi. Dubultzvaigznes spektrā parādās divkārtīga spektrālliniju sistēma. Nobīdes lielums ir atkarīgs no komponentu radiālajiem ātrumiem, bet nobīdes periods sakrīt ar apriņķošanas periodu.

4.8. tabula

Dati par dažām dubultzvaigznēm

| Tips | Zvaigzne | Komponentu spožums, zv.l. | Komponentu leņķiskais attālums, " | Apriņķošanas periods | Orbitas lielā pusass, ua | |
|------------------------|---------------------|---------------------------|-----------------------------------|----------------------|--------------------------|--------|
| Optiskā | Mežāža α | 3,6 | 4,2 | 380 | — | — |
| | Svaru α | 2,8 | 5,3 | 231 | — | — |
| Vizuālā | Liras ϵ_1 | 5,1 | 6,2 | 2,6* | 1166 g | 185,3 |
| | Ūdensvīra ζ | 4,4 | 4,6 | 2,1* | 856 g | 388,8 |
| | Lauvas γ | 2,6 | 3,8 | 4,4* | 619 g | 131,8 |
| | Dvīņu α | 2,0 | 3,0 | 3,8* | 420 g | 87,4 |
| | Jaunavas γ | 3,7 | 3,7 | 1,9* | 172 g | 36,8 |
| | Lielā Lāča ζ | 4,4 | 4,9 | 1,8* | 60 g | 19,9 |
| | Herkulesa ζ | 3,1 | 5,7 | 0,7* | 34 g | 13,0 |
| Spektrālā | Andromedas α | 2,1 | — | — | 96,7 d | 0,23** |
| | Pūķa α | 3,6 | — | — | 51,4 d | 0,20** |
| | Jaunavas α | 1,0 | — | — | 4,0 d | 0,05** |
| Aptumsuma maiņzvaigzne | Liras β | 3,3...4,4 | — | — | 12,9 d | 0,22** |
| | Perseja β | 2,1...3,4 | — | — | 2,9 d | 0,07** |

* — 2000. gadā.

** — Ne mazāka par tabulā doto vērtību.

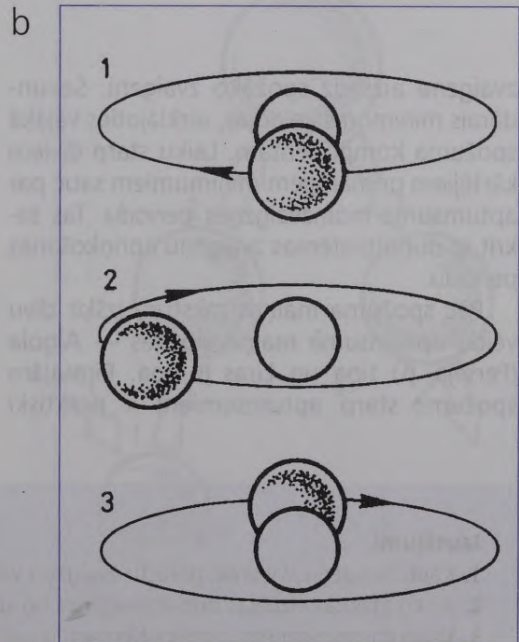
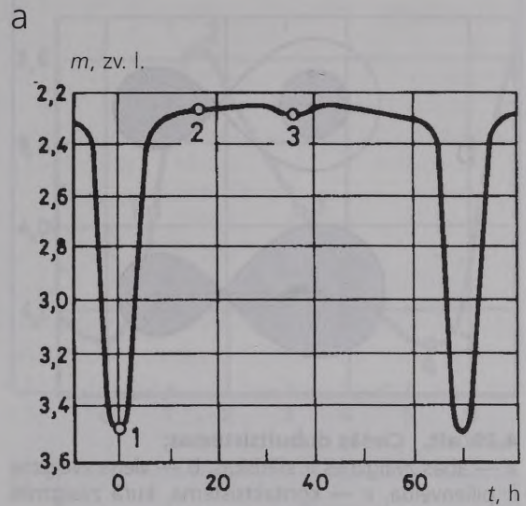
Dubultzvaigžņu orbītas un masa.

Dubultzvaigžņu apriņķošanas periodi ir ļoti atšķirīgi. Tām zvaigznēm, kuru komponentu leņķiskais attālums ir vairākas loka sekundes, apriņķojums vienai ap otru parasti ilgst tūkstošiem gadu. Daļai dubultzvaigžņu periods ir vēl lielāks — desmitiem tūkstošu gadu. Dubultzvaigžņu novērošanas vēsturē, kas nav ilgāka par 200 gadiem, šādu zvaigžņu orbītālā kustība nemaz nav novērota. Par to pierību fizikālajām dubultzvaigznēm var spriest tikai pēc pāra zvaigžņu līdzīgajām īpašībām, īpatnējām kustībām vai paralaksēm. Ciešākajām vizuālajām dubultzvaigznēm perioda garums ir dažī gadi vai gadu desmiti, un to orbitālo kustību var labi izpētīt samērā neilgā laikā. Atbilstoši dažādi ir arī zvaigžņu savstarpējie attālumi — no tūkstošiem astronomisko vienību līdz dažām astronomiskajām vienībām. Spektrālo dubultzvaigžņu komponenti atrodas vēl tuvāk, tāpēc to apriņķošanas periodi ir dažas dienas, nedēļas vai mēneši.

Dubultzvaigznēm iespējams noteikt masu. To veic šādi. Novērojumos nosaka vājākā spožuma komponenta apriņķošanas periodu attiecībā pret spožāko zvaigzni un redzamās orbītas lielo pusasi loka sekundēs. Ja zināms attālums līdz zvaigznei, tad var aprēķināt dubultzvaigznes orbītas lineāros izmērus. *Dubultsistēmas zvaigžņu masu summu nosaka pēc trešā precizētā Keplera likuma.* Izpētot zvaigžņu kustību attiecībā pret kopīgo masas centru, var noteikt arī katras zvaigznes masu atsevišķi. Tas ir vienīgais paņēmiens, kā tieši noteikt zvaigžņu masas. Masa precīzi aprēķināta tikai aptuveni 100 dubultzvaigznēm.

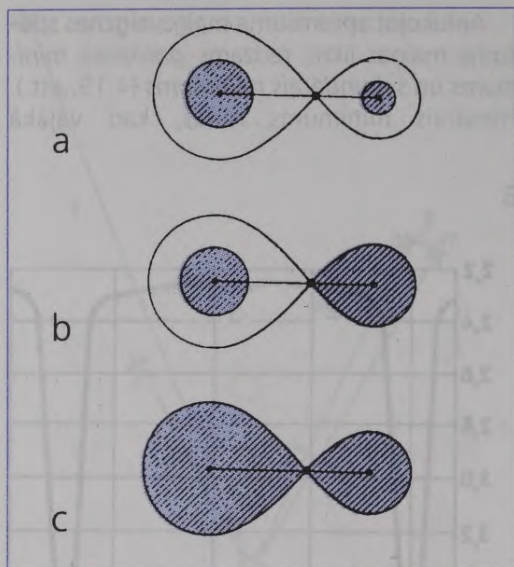
Aptumsuma maiņzvaigznes. Dubultzvaigznes orbītas izskats ir atkarīgs no tās orientācijas attiecībā pret novērotāju. Tā var būt redzama gan "no augšas", gan "slīpi", gan "no sāniem". Pēdējā gadījumā novērotājs atrodas dubultzvaigznes orbītas plaknē un riņķojošās zvaigznes laiku pa laikam aizsedz cita citu. *Notiek zvaigznes aptumsums, un dubultzvaigznes (dubultsistēmas) kopējais spožums samazinās.* Šādas zvaigznes sauc par aptumsuma maiņzvaigznēm, taču faktiski tās ir dubultzvaigznes. No visām dubultzvaigznēm tikai nedaudzas ir aptumsuma maiņzvaigznes.

Aplūkojot aptumsuma maiņzvaigznes spožuma maiņas likni, redzams *primārais minimums* un *sekundārais minimums* (4.19. att.). Primārais minimums rodas, kad vājākā



4.19. att. Aptumsuma maiņzvaigznes Perseja β spožuma maiņas likne (a) un atbilstošais savstarpējais zvaigžņu stāvoklis (b):

1 — primārais minimums, 2 — aptumsuma nav, 3 — sekundārais minimums



4.20. att. Ciešās dubultsistēmas:

a — abas zvaigznes ir sfēriskas, b — viena zvaigzne ir pilieneveida, c — kontaktsistēma, kurā zvaigznes saskaras ar pilienu smailajiem galiem.

zvaigzne aizsedz spožāko zvaigzni. Sekundārais minimums veidojas, aizklājoties vājākā spožuma komponentam. Laiku starp diviem kārtējiem primārajiem minimumiem sauc par aptumsuma maiņzvaigznes periodu. Tas sakrīt ar dubultsistēmas zvaigžņu apriņķošanas periodu.

Pēc spožuma maiņas rakstura izšķir divu veidu aptumsuma maiņzvaigznes — Algola (Perseja β) tipa un Liras β tipa. Pirmajām spožums starp aptumsumiem ir praktiski

nemainīgs, bet otrajām tas nepārtraukti mainās. Aptumsuma maiņzvaigznes ir Joti ciešas dubultsistēmas. Piemēram, Liras β tipa zvaigznes atrodas tik tuvu kopā, ka savstarpējais pievilkšanās spēks tās izstiepis elipsveidīgas. Tām riņķojot, pret Zemi pavērtais zvaigžņu virsas laukums visu laiku mainās, līdz ar to dubultsistēmas spožums mainās arī tad, kad zvaigznes neaizsedz cita citu. Algola tipa zvaigznes ir lodveida, tādēļ to spožums mainās tikai aptumsuma laikā.

Aptumsuma maiņzvaigžņu spožuma maiņas periodi ir Joti dažādi. Visīsākais periods ir zvaigznei Bultas WZ, kuras spožums mainās 82 minūtēs, bet, piemēram, Vedēja ϵ spožuma maiņas periods ir 27 gadi. Tā primārais aptumsums vien notiek divus gadus! Taču parasti periods ilgst dažas dienas.

Spožuma maiņas likne un zvaigznes spektrs sniedz daudz informācijas par dubultsistēmas uzbūvi. Pēc aptumsumu ilguma var noteikt zvaigžņu izmērus orbītas lielās pusass vienībās. Pēc spožuma liknes var noteikt zvaigžņu formu, bet pēc izmaiņām spektrā aptumsuma laikā — daļēji izpētīt komponentu atmosfēras.

Visciešākajās dubultsistēmās zvaigznes kļūst ne tikai elipsveida, bet arī viena vai abas var pieņemt piliena formu. Ja šāda forma ir vienai zvaigznei, tad no piliena smailā gala notiek zvaigznes vielas pārplūšana uz otru zvaigzni. Ja abas zvaigznes ir pilieneveida, tad tās saskaras ar pilienu smailajiem galiem un izveido kontaktsistēmu (4.20. att.). Šādās dubultsistēmās zvaigžņu attīstība norisinās pavisam citādi nekā pārējām zvaigznēm.

Jautājumi.

1. Kādu zvaigžņu ir vairāk: parastu zvaigžņu vai dubultzvaigžņu?
2. Ar ko atšķiras vizuālās dubultzvaigznes no spektrālajām dubultzvaigznēm?
3. Vai dubultzvaigznēm ir spēkā Keplera likumi?
4. Vai dubultzvaigznes iespējams izšķirt ar neapbruņotu aci?
5. Vai aptumsuma maiņzvaigzne vienlaikus var būt spektrāla dubultzvaigzne, un pretēji?
6. Kā nosaka to zvaigžņu masu, kas nav dubultzvaigznes?
7. Vai aptumsuma maiņzvaigznes vājākā spožuma komponents pēc izmēra var būt lielāks par spožāko zvaigzni?

4.7. MAIŅZVAIGZNES

Pavisam ir atklātas un izpētītas vairāk nekā 30 tūkst. zvaigžņu, kas maina spožumu. Tikai neliela daļa no tām ir aptumsuma maiņzvaigznes. Pārējās ir "īstās" maiņzvaigznes, kuru spožuma maiņas cēlonis meklējams pašā zvaigznē. Zvaigznes, kuru spožums mainās tajās notiekošo procesu rezultātā, sauc par fizikālajām maiņzvaigznēm. Fizikālās maiņzvaigznes iedala pulsējošās un eruptīvās maiņzvaigznēs. Tikai dažas maiņzvaigznes ir tik spožas, ka to spožuma maiņu iespējams novērot ar neapbruņotu aci.

Pulsējošās maiņzvaigznes. Pulsējošo maiņzvaigžņu spožuma maiņas cēlonis, kā rāda nosaukums, ir zvaigznes pulsācijas. Kad zvaigzne izplešas, tās spožums ir lielāks, kad zvaigzne saraujas, tās spožums ir mazāks. Zvaigžņu pulsāciju uzturēšanā liela nozīme ir jonizētā hēlija slānim zvaigznes ārējā daļā. Tas maina caurspīdīgumu, tādējādi aizturot vai laižot cauri no zvaigznes dziļēm plūstošo starojumu. Pulsāciju rezultātā zvaigznes izmēri var mainīties par vairākiem miljoniem kilometru, bet, tā kā visas pulsējošās maiņzvaigznes ir milzu zvaigznes vai pārmilzu zvaigznes, tad pulsāciju lielums, ja to izsaka zvaigznes rādiusa vienībās, ir visai neliels. Mainoties zvaigznes izmēriem, mainās arī tās redzamās virsas temperatūra un spektrs (spektra klase).

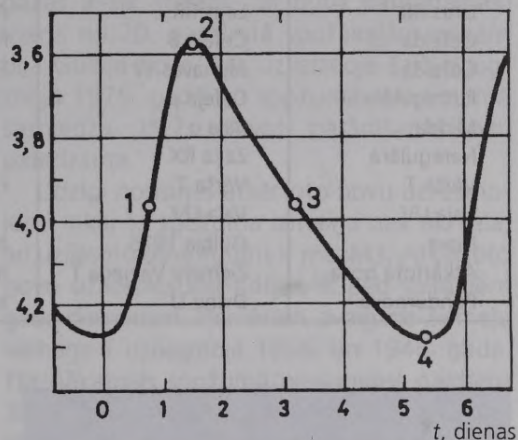
Pulsējošo maiņzvaigžņu spožuma maiņas liknes ir līdzīgas: spožuma kāpums notiek straujāk, bet spožuma kritums — lēnāk (4.21. att.). Ļoti atšķirīgi ir pulsāciju periodi. Virzienā no īsākiem uz garākiem periodiem pulsējošās maiņzvaigznes iedala šādi: Liras RR tipa zvaigznes, cefeīdas, pusregulārās maiņzvaigznes un mirīdas.

Liras RR tipa zvaigznes ir īsperioda maiņzvaigznes. Tās ir karstas milzu zvaigznes. Šo zvaigžņu raksturīgs pārstāvis ir Liras RR, pēc kuras tās ieguvušas nosaukumu.

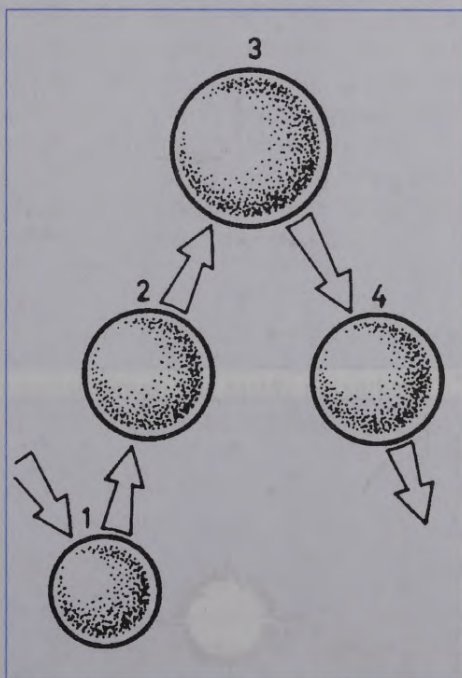
Cefeīdu spožuma maiņas periodi ir ievērojami garāki nekā Liras RR tipa zvaigznēm. Tipiska cefeīda ir Cefeja δ . Liras RR tipa zvaigžņu un cefeīdu pulsācijas ir stingri ritmiskas. Šīs zvaigznes "iet kā pulkstenis". Visas cefeīdas ir dzeltenas milzu un pārmilzu zvaigznes

ar lielu starjaudu, tādēļ tās iespējams saskatīt no liela attāluma. To periods un starjauda ir savstarpēji saistīti lielumi. *Jo garāks cefeīdas*

a *m*, zv. l.



b

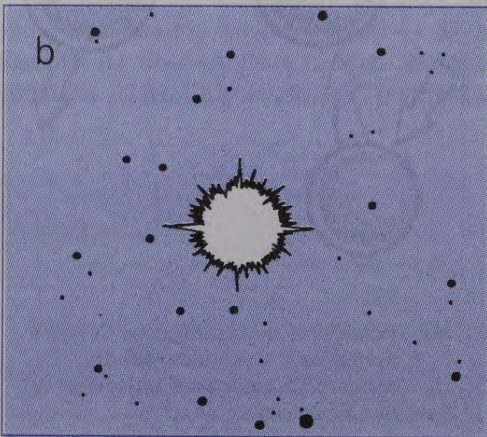
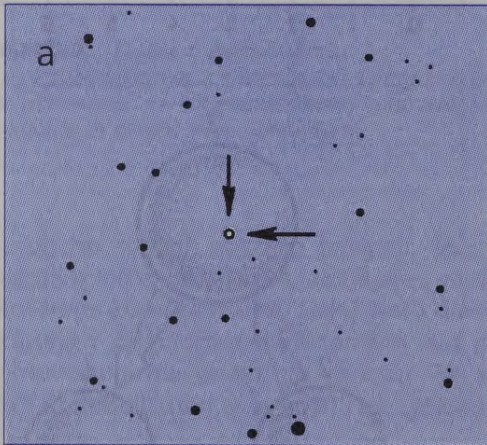


4.21. att. Pulsējošās maiņzvaigznes Cefeja δ spožuma maiņas likne (a) un atbilstošās zvaigznes pulsācijas (b):

1 — zvaigzne sāk izplesties, tās spožums palielinās, 2 — zvaigzne turpina izplesties, tās spožums sasniedz maksimumu, 3 — zvaigzne sasniedz maksimālo diametru, taču tās spožums sāk samazināties, 4 — zvaigzne saraujas, tās spožums ir minimāls.

Dati par dažām maiņzvaigznēm

| Tips | Zvaigzne | Spektra klase | Maksimālais spožums, zv.l. | Minimālais spožums, zv.l. | Periods, d |
|----------------|-------------------|---------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| Liras RR | Liras RR | A...F | 7,1 | 8,1 | 0,567 |
| Cefeīda | Cefeja δ | F...G | 3,5 | 4,4 | 5,37 |
| Cefeīda | Jaunavas W | F...G | 9,5 | 10,8 | 17,27 |
| Pusregulāra | Cefeja μ | M | 3,4 | 5,1 | 730 |
| Mirīda | Vaļa o | M | 2,0 | 10,1 | 332 |
| Neregulāra | Zaķa RX | M | 5,0 | 7,4 | — |
| Vērša T | Vērša T | F...K | 9,3 | 13,5 | — |
| Vaļa UV | Vaļa UV | M | 6,8 | 13,0 | — |
| Nova | Gulbja 1975 | mainās | 1,7 | 20,5 | ? |
| Atkārtotā nova | Ziemeļu Vainaga T | mainās | 2,0 | 10,8 | 80 gadi |
| Pundurnova | Dvīņu U | mainās | 8,2 | 14,9 | 105,2 |



4.22. att. Nova:

a — pirms uzliesmojuma, b — uzliesmojuma laikā.

pulsāciju periods, jo lielāka tās starжда. Šī sakarība astronomijā ir ļoti svarīga, jo, zinot starждаu, var noteikt attālumu līdz cefeīdai un zvaigžņu sistēmai, kurā tā ietilpst. Šī iemesla dēļ cefeīdas sauc par Visuma bākām. Pēc cefeīdām nosaka attālumus līdz zvaigžņu kopām un citiem objektiem mūsu Galaktikā, kā arī attālumus līdz tuvākajām galaktikām.

Pusregulāro maiņzvaigžņu spožuma izmaiņās nav novērots periodiskums. Šīs zvaigznes ir sarkanie milži un sarkanie pārmilži. Tipiska pusregulārā maiņzvaigzne ir Cefeja μ . Visgarākie spožuma maiņas periodi ir mirīdām. Arī to spožums mainās plašā intervālā. Spožuma izmaiņa var sasniegt pat 10^m ! Mirīdas ieguvušas nosaukumu no Miras (Vaļa o). Tās ir aukstas, sarkanas milzu un pārmilzu zvaigznes. Mirīdu spožuma maiņa nav tik regulāra kā cefeīdām. Gan amplitūda, gan periods šīm zvaigznēm mainās no cikla uz ciklu. Pulsējošām maiņzvaigznēm ir spēkā šāda sakarība: jo zemāka virsas temperatūra, jo garāks pulsāciju periods.

Pie pulsējošām maiņzvaigznēm pieskaitāmas arī neregulārās maiņzvaigznes, kuru spožums mainās lēni un neprognozējami. Tāpat kā mirīdas, tās ir sarkanas milzu un pārmilzu zvaigznes.

Eruptīvās maiņzvaigznes. Eruptīvo maiņzvaigžņu spožums īslaicīgi palielinās izvirdumu vai sprādzienu rezultātā. Visas

eruptīvās maiņzvaigznes ir pundurzvaigznes. Izšķir Vērša T, Vaļa UV tipa maiņzvaigznes un novas. Par eruptīvām maiņzvaigznēm var uzskatīt arī supernovas, taču, tā kā supernovas sprādziens notiek tikai vienreiz zvaigznes pastāvēšanas laikā, tās nav tipiskas maiņzvaigznes.

Vērša T tipa zvaigznes ir dzeltenie un sarkanie punduri. To spožums ir gandrīz nemainīgs, taču pēc neregulāriem laika periodiem tas pēkšņi nedaudz palielinās. Pēc tam zvaigzne atgriežas pamatstāvoklī. Uzskata, ka Vērša T tipa zvaigznes ir jaunas, nestabīlas zvaigznes, kas atrodas veidošanās stadijā.

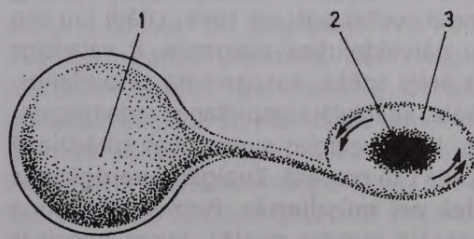
Vaļa UV tipa zvaigznes ir oranžie un sarkanie punduri. Tās bieži uzliesmo, uz īsu laiku manāmi palielinot spožumu. Šie uzliesmojumi ir līdzīgi uzliesmojumiem Saules hromosfērā. Vaļa UV tipa zvaigznēm ir maza starjauka, tādēļ tās ir atklātas tikai Saules tuvumā.

Novas. Novas ir zvaigznes, kas ļoti spēcīgi uzliesmo. Uzliesmojuma laikā zvaigznes starjauka var palielināties pat miljons reižu. Senāk šādus uzliesmojumus uzskatīja par jaunas zvaigznes parādīšanos, tāpēc šīs zvaigznes nosauca par **novām** (latīņu valodā *nova* — jauns) (4.22. att.). Pirms uzlies-

mojuma zvaigzne parasti ir vāja, saskatāma tikai spēcīgā teleskopā. Maksimālo spožumu nova sasniedz dažās dienās, bet spožums samazinās vairāku mēnešu un gadu laikā. Ik gadu novērojamas vairākas novas, taču tikai dažas ir tik spožas, lai būtu pamanāmas. Viena no 20. gadsimtā spožākajām novām bija Gulbja nova, kas uzliesmoja šajā zvaigznājā 1975. gadā un spožuma maksimumā sasniedza $1^m,7$. Novas parādīšanās nav paredzama.

Līdzīgi norisinās atkārtoto novu uzliesmojumi, tikai to spožuma izmaiņa nav tik liela, arī uzliesmojuma ilgums ir mazāks. Atkārtoto novu uzliesmojumi notiek ik pēc vairākiem gadu desmitiem. Piemēram, zvaigzne Ziemeļu Vainaga T uzliesmoja 1866. un 1946. gadā. Tās nākamais spožuma pieaugums gaidāms 2026. gadā. Atkārtotajām novām konstatēta šāda sakarība: *jo lielāka spožuma izmaiņa, jo retāk notiek uzliesmojumi*. Uzskata, ka šī sakarība ir spēkā arī novu uzliesmojumiem, tikai starp tiem jāpaiet daudziem tūkstošiem gadu, lai uzkrātos sprādzienam nepieciešamā "degviela". Vēl viens novu veids ir *pundurnovas* (Dvīņu U tipa zvaigznes). To uzliesmojumi atkārtojas ik pēc dažiem mēnešiem, bet spožums palielinās tikai nedaudz.

Pēc mūsdienu priekšstatiem, novas ir ciešas dubultsistēmas, kas sastāv no sarkanā un baltā pundura. Tajās notiek vielas (ūdeņraža) pārplūšana no sarkanā pundura uz balto punduri. Ūdeņradim uzkrājoties, temperatūra baltā pundura iekšienē paaugstinās, līdz *notiek grandiozs kodoltermisks sprādziens* — *novas uzliesmojums* (4.23. att.). Baltā pundura ārējie slāņi tiek nomesti, un izveidojas gāzu apvalks, kas izplešas ar ātrumu ≈ 1000 km/s. Pēc dažiem gadiem apvalks kļūst redzams kā neliels miglājs. Novas spektrs uzliesmojuma laikā ievērojami mainās, tādēļ to nevar raksturot ar kādu konkrētu spektra klasi. Novas sprādzienā izdalītā enerģija sasniedz 10^{38} J. Šādu enerģijas daudzumu Saule izstaro 8 tūkst. gadu.



4.23. att. Novas veidošanās modelis. Gāze no galvenās secības zvaigznes 1 pārplūst uz balto punduri 2 un uzkrājas gāzes apvalkā 3, līdz notiek uzliesmojums.

Jautājumi.

1. Kāda daļa mainzvaigžņu ir aptumsuma mainzvaigznes?
2. Kāpēc liridām un cefeidām mainās spektra klase?
3. Kādas ir atšķirības starp pulsējošām un uzliesmojošām eruptīvām mainzvaigznēm?
4. Kā cefeidas var izmantot attālumu noteikšanai līdz tām?
5. Vai novas ir jaunas zvaigznes?
6. Kā veidojušies nosaukumi "mirīdas", "cefeidas" u.c.?
7. Vai novas uzliesmojums ir reta parādība?

4.8. ZVAIGŽŅU EVOLŪCIJA

Zvaigzne pastāv daudzus miljonus un pat miljardus gadu. Saprotams, ka astronomiem nav iespējams izsekot atsevišķu zvaigžņu attīstībai, jo jāpaiet miljoniem gadu, lai ar zvaigzni notiktu kādas pārmaiņas. Tomēr zvaigžņu evolūcija ir noskaidrota. Arī mežā, lai izpētītu koku augšanu, nav jāgaida, kamēr izaug milzīgs koks. *Zvaigznes mūžu, līdzīgi kā cilvēka mūžu, iedala šādos posmos: bērnība (protozvaigzne), brieduma gadi (atrašanās uz galvenās secības) un vecums (aiziešana no galvenās secības).*

Zvaigžņu veidošanās apstākļi. *Zvaigznes veidojas no starpzvaigžņu vides mākoņiem, tiem pakāpeniski saspiežoties.* Mākoņi sastāv no $\approx 70\%$ ūdeņraža, $\approx 28\%$ hēlija un $\approx 2\%$ citu ķīmisko elementu. Mākoņu temperatūra ir ļoti zema — $10\text{--}30\text{ K}$, bet masa nav mazāka kā $1000m_{\odot}$. Daudzi miglāji Galaktikā atbilst šiem nosacījumiem, tomēr tie nespiežas paši no sevis, citādi jau sen būtu pārveidojušies zvaigznēs. Ir vajadzīgs kāds ārējs spēks, kas ierosina saspiešanos. Uzkata, ka miglāja saspiešanos rada triecienvilnis, kas izveidojas supernovas sprādzienā vai kādā citā procesā. **Zvaigžņu veidošanās notiek arī mūsdienās.** Piemēram, Oriona zvaigznājā atrodas miglāji, kuros norisinās intensīva zvaigžņu veidošanās. Zvaigznes veidojas arī tumšā miglājā Kasiopejas zvaigznājā un citur. Miglāju masas daudzums, kas ik gadu pārvēršas zvaigznēs, ir aptuveni $5m_{\odot}$.

Protozvaigzne. Kad saspiešanās ir sākusies, tā vairs neapstājas. Mākonim kļūstot blīvākam, pievilkšanās spēks starp daļiņām palielinās, mākonis sadalās fragmentos, kas tālāk saspiežas katrs atsevišķi. Šāda dalīšanās var notikt vairākkārt, līdz katra fragmenta masa kļūst mazāka par dažiem desmitiem m_{\odot} . No atsevišķiem fragmentiem sāk veidoties zvaigznes.

Ja mākoņa masa ir mazāka nekā $0,08m_{\odot}$, tad no tā "īsta" zvaigzne neizveidojas, jo nespēj sakarst, lai zvaigznē sāktos kodolreakcijas. Šādas zvaigznes sauc par *brūnajiem punduriem*, ar to norādot, ka šo zvaigžņu temperatūra ir zema ($400\text{--}2000\text{ K}$). Brūnie punduri izstaro galvenokārt infrasarkanā starojumu. Siltums tajos rodas saspiešanās rezultātā. Brūnie punduri vidēji ir 10 reizu mazāki par Sauli. Zemei tuvākajās zvaigžņu kopās ir atklātas dažas brūnajiem punduriem līdzīgas zvaigznes, taču to piederība brūnajiem punduriem vēl jāapstiprina.

Mākoņa centrālā daļa, kurā blīvums ir lielāks, saspiežas straujāk, izveidojot kodolu. Mākoņa ārējā daļa kļūst par apvalku, kas turpina krist uz kodolu. Tāda teorētiski ir topošās zvaigznes — *protozvaigznes* struktūra. Saspiežoties izdalītais siltums pakāpeniski paaugstina kodola temperatūru. Šajā stadijā protozvaigzne novērojama kā spēcīgs infrasarkanā starojuma avots. Pēc tam vai nu viss apvalks nosēžas uz kodola, vai zvaigznes starojums izkļiedē tā pārpalikumu apkārtējā telpā. Kad apvalka vairs nav, protozvaigzne kļūst redzama kā sarkana zvaigzne. Šajā brīdī no saspiešanās sākuma ir pagājuši aptuveni

100 tūkst. gadu. Smaguma spēka iedarbībā zvaigzne turpina saspieties, temperatūra tajā paaugstinās. Šajā laikā protozvaigzne novērojama kā Vērša T tipa mainzvaigzne.

Kad temperatūra zvaigznes centrā sasniedz 10 milj. K, sākas kodolreakcijas. Gāzes spiediens paaugstinās, protozvaigznes saspiešanās apstājas, un tā kļūst par zvaigzni. Ar šo mirkli zvaigznes bērnība ir beigusies.

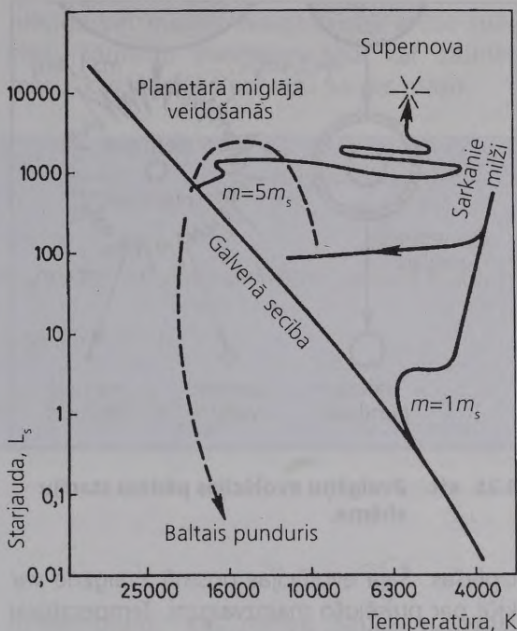
Atrašanās uz galvenās secības. Kad zvaigzne nokļūst uz galvenās secības, tās dzīvē sākas stabilākais un ilgstošākais posms. Zvaigzne pakāpeniski "tērē" udeņraža krājumus, bet hēlija daudzums palielinās. Zvaigznes evolūcijas ātrums ir atkarīgs no tās masas. *Masīvās zvaigznes evolūcionē ātrāk.* Šis princips ir spēkā arī citos evolūcijas posmos.

Tā kā uz galvenās secības zvaigznes pavada mūža ilgāko laikposmu, H—R diagrammā redzams, ka šajā apgabalā zvaigžņu ir visvairāk. Tajos diagrammas apgabalos, kuriem zvaigzne evolūcijas gaitā strauji "izskrien cauri", zvaigžņu ir maz. Zvaigzne ar Saules masu uz galvenās secības pavada 10 mljrd. gadu. Saulei puse no šī laika jau ir pagājusi.

Līdzšinējā izskatā Saule spīdēs vēl 5 miljardus gadu. Masīva zvaigzne ar masu $5m_{\odot}$ uz galvenās secības atrodas "tikai" 70 milj. gadu, bet, piemēram, zvaigzne, kuras masa ir mazāka nekā $0,5m_{\odot}$, atrodas uz galvenās secības vairāk nekā 80 mljrd. gadu, un tās evolūcija noris ļoti lēni.

Visu to laiku, ko zvaigzne pavada uz galvenās secības, tā atrodas līdzsvarā: gravitācijas spēku, kas tiecas zvaigzni saspiest, līdzsvaros gāzes spiediens. Kaut gan līdzsvars saglabājas ļoti ilgi, tomēr "uzvaru svin" gravitācija.

Aiziešana no galvenās secības. Kad udeņraža krājumi kodolā praktiski ir iztērēti, zvaigznē sākas pārmaiņas. Kodolreakcijas kodolā apstājas. Udeņraža degšana turpinās slāni ap to. No hēlija sastāvošais kodols saspiežas un kļūst karstāks. Tas paātrina udeņraža degšanu. Lai pieaugušo enerģijas daudzumu aizvadītu uz ārpusi, zvaigznes apvalks izplešas, palielinoties daudzkārt, bet zvaigznes virsas temperatūra pazeminās. *Zvaigzne kļūst par sarkano milzi.* Arī Saule nākotnē kļūs par sarkano milzi.

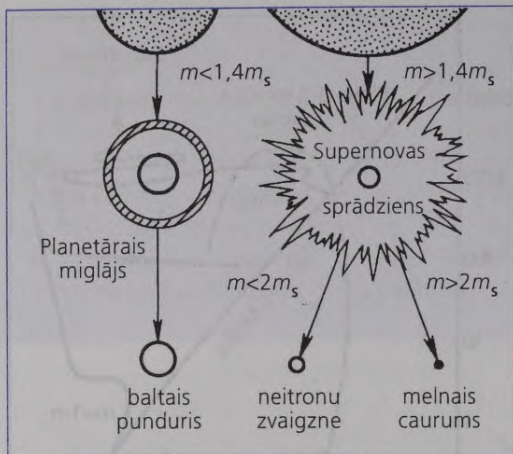


4.24. att. Zvaigznes evolūcija pēc aiziešanas no galvenās secības.

Kad temperatūra zvaigznes kodolā pārsniedz 150 milj. K, sākas kodolreakcijas, kurās hēlijs pārvēršas oglekli. Tālākā zvaigznes evolūcija norisinās ļoti strauji un ir būtiski atkarīga no kodola masas. Aplūkosim nedaudz vienkāršotu notikumu shēmu (4.24. att.).

Zvaigznēm, kuru kodola masa ir mazāka nekā $1,4m_{\odot}$, ar to arī evolūcija praktiski beidzas. Hēlijs sadeg, bet temperatūra sarkanā milža centrā nav pietiekami augsta, lai sāktos tālākas kodolreakcijas. Trūkstot enerģijas avotam kodolā, tas saspiežas. *No kodola izveidojas baltais punduris, bet zvaigznes rētinātais apvalks tiek nomests, izveidojot planetāro miglāju.* Šis pārmaiņas notiek dažu desmitu tūkstošu gadu laikā. Planetārais miglājs lēni izklist kosmiskajā telpā, bet baltais punduris turpina spīdēt vēl miljardiem gadu ilgi.

Gluži citādi beidz pastāvēt zvaigznes, kuru masa pārsniedz $1,4m_{\odot}$. Temperatūra tajās ir augstāka un reizē ar oglekli veidojas arī skābeklis. Kad viss hēlijs zvaigznes kodolā ir izdedzis, kodols atkal saspiežas, bet apvalks



4.25. att. Zvaigžņu evolūcijas pēdējo stadiju shēma.

izplešas. Šajā evolūcijas posmā zvaigzne var kļūt par pulsējošo maiņzvaigzni. Temperatūrai kodolā pārsniedzot miljardu K, zvaigznes centrā sākas kodolreakcijas, kurās veidojas ķīmiskie elementi, ieskaitot dzelzi. Zvaigzne iegūst slāņveida, sīpolam līdzīgu struktūru. Katrā slānī norisinās vairāku ķīmisko elementu veidošanās.

Par dzelzi smagāku ķīmisko elementu rašanās ir apgrūtināta, jo nepieciešams enerģijas patēriņš. Turklāt šajā laikā zvaigznē lielā daudzumā veidojas neitriņo, kas brīvi aizlido no zvaigznes, ievērojami samazinot spiedienu un temperatūru zvaigznes centrā. Gāzes

spiediens vairs nespēj līdzsvarot gravitācijas spēku, un kodols strauji saspiežas. Uz to krit zvaigznes ārējie slāņi. Notiek sadursme, kurā rodas tik spēcīgs triecienvilnis, ka zvaigznes ārējā daļa tiek nomesta katastrofiskā supernovas sprādzienā. Šajos īsajos mirkļos, kad zvaigznē iespējami visdažādākie fizikālie apstākļi, nelielā daudzumā sintezējas dažādi smagie elementi. Nomestais zvaigznes apvalks pakāpeniski izplešas, izveidojot supernovas miglāju.

Zvaigznes centrālā daļa strauji saspiežas. Šo procesu sauc par **gravitācijas kolapsu**. Tas ilgst tikai dažas sekundes! Tālākais zvaigznes liktenis ir atkarīgs no atlikušās masas. Ja zvaigznes masa nepārsniedz $2m_s$, tad saspiešanās apstājas. Izveidojas ļoti kompakts objekts — **neitronu zvaigzne**. Ja atlikusi zvaigznes masa pārsniedz $2m_s$, tad nekādi procesi zvaigznes iekšienē nespēj aizkavēt gravitācijas kolapsu un zvaigzne "sakrīt pati sevi". Tā kļūst par **melno caurumu**. Tātad **zvaigzne beidz savu dzīvi vienā no trim variantiem: 1) kā baltais punduris, 2) kā neitronu zvaigzne vai 3) kā melns caurums** (4.25. att.).

Evolūcijas galarezultāts ir atkarīgs no zvaigznes centrālās daļas masas, kas var būt ievērojami mazāka par zvaigznes sākotnējo masu. Masas zudumi rodas, gan sarkanajam milzim noņemot apvalku, gan supernovas sprādzienā. Tāpat savas dzīves laikā zvaigzne

+++++
 +
 + **Zvaigžņu evolūcija ciešās dubultsistēmās.** Zvaigžņu evolūcija ciešās dubultsistēmās
 + norisinās citādi nekā parastām zvaigznēm. Aplūkosim dubultsistēmu, kas sastāv no
 + vidējas masas zvaigznēm. Tās masīvākais komponents evolucionē straujāk un pirmais
 + kļūst par sarkano milzi, kura diametrs palielinās tā, ka daļa zvaigznes vielas sāk pārplūst
 + uz otru, mazāko zvaigzni. Šādā veidā zvaigzne var zaudēt daudz masas. Daļa izplūdušās
 + gāzes nenasniedz otru zvaigzni un izklīst apkārtējā telpā, veidojot kopīgu gāzu apvalku.
 + Šajā laikā zvaigznes atgādina divus kamolus, kas pārtinas viens otrā. Masu zaudējusi
 + zvaigzne kļūst par balto punduri, bet mazākā zvaigzne, ieguvusi papildu masu, sāk
 + evolucionēt straujāk. Kad tā sasniedz sarkanā milža stadiju, vielas pārplūšanas process
 + atkārtojas, tikai pretējā virzienā. Beidzot arī otra zvaigzne kļūst par balto punduri.
 + Iespējami arī sarežģītāki dubultsistēmu evolūcijas "scenāriji".
 + Gan parasto zvaigžņu, gan dubultsistēmu evolūcijas gaitā daļa zvaigznes vielas
 + nokļūst starpzvaigžņu vidē, papildinot tās krājumus un ķīmisko elementu daudzveidību.
 + Bagātinātā starpzvaigžņu vide noder kā izejmateriāls, no kura veidojas jaunas zvaigznes.
 + +++++

zaudē daļu masas ar **zvaigžņu vēju** — daļiņu plūsmu, kas aizplūst no zvaigznes ārējiem slāņiem. Saules tipa zvaigznēm šie zudumi ir

niecīgi, bet masīvo zvaigžņu vējš ir itin spēcīgs. Pārmilzu zvaigznes šādi var zaudēt masu, kas ir lielāka par visu Saules masu.

Jautājumi.

1. Kā izdevies izpētīt zvaigžņu evolūciju?
2. Cik veca ir Saule?
3. Uzzīmējiet H—R diagrammā Saules evolūcijas treku no protozvaigznes līdz baltā pundura stadijai!
4. Cik lieli ir baltie punduri?
5. Kā zvaigznēs rodas ķīmiskie elementi, kas ir smagāki par dzelzi?
6. Kas ir gravitācijas kolaps?
7. Zvaigznes sākotnējā masa $3m_{\odot}$. Kas no tās izveidosies evolūcijas beigās?

4.9. SUPERNOVAS, NEITRONU ZVAIGZNES, MELNIE CAURUMI

Supernovas. Supernovas sprādziens salīdzinājumā ar novas uzliesmojumu ir daudzkārt grandiozāka parādība. Uzliesmojuma laikā supernovas spožums palielinās vairāk nekā par 17^m . Uzliesmojuma maksimumā zvaigznes starjauca var sasniegt 10 mljrd. L_{\odot} . Tas nozīmē, ka *supernovas spožums kļūst salīdzināms ar veselas galaktikas spožumu*. Supernovas ir saskatāmas no ļoti liela attāluma, tāpēc tās iespējams ieraudzīt ne tikai mūsu Galaktikā, bet arī citās galaktikās. Zvaigznes uzliesmojuma laikā izdalās 10^{43} J enerģija. Saule tik daudz enerģijas izstarotu miljards gados.

Supernovas uzliesmojums ir reta parādība, daudz retāka nekā novu uzliesmojumi. Mūsu Galaktikā pēdējos 1000 gados novēroti četri supernovu uzliesmojumi: 1006. gadā Vilka zvaigznājā, 1054. gadā Vērša zvaigznājā, 1572. gadā Kasiopejas zvaigznājā un 1604. gadā Čūskneša zvaigznājā. Visas četras supernovas bija tik spožas, ka bija saskatāmas pat dienā. Supernovu uzliesmojumu biežums nav precīzi konstatēts. Uzska, ka mūsu Galaktikā viena supernova uzliesmo aptuveni reizi 50 gados. Taču novērojami ir tikai tie

uzliesmojumi, kas notiek Saulei tuvākajā Galaktikas daļā. 1987. gadā supernova uzliesmoja Zelta Zivs zvaigznājā, taču tā atradās nevis mūsu Galaktikā, bet tās pavadoņi Lielajā Magelāna mākonī. Ik gadu vairākas supernovas tiek atklātas citās galaktikās. Tur tās redzamas kā vājas zvaigznītes.

Supernovas uzliesmojuma secība ir šāda. Zvaigznes spožums sasniedz maksimumu 2...3 nedēļās. Tad sākas spožuma kritums, kas ilgst vairākus mēnešus. Pēc spožuma liknes formas un spektra īpatnībām izšķir I un II tipa supernovas. I tipa supernovām spožuma liknes ir ļoti līdzīgas, bet II tipa supernovām — stipri atšķirīgas. Vairums supernovu ir masīvas zvaigznes evolūcijas pēdējā stadijā, taču iespējams, ka daļa I tipa supernovu ir ciešas dubultsistēmas, kurās, tāpat kā novās, vielas pārplūšanas rezultātā notiek kodoltermisks sprādziens, tikai ievērojami spēcīgāks. Supernovu uzliesmojumu teorija pilnībā vēl nav izveidota.

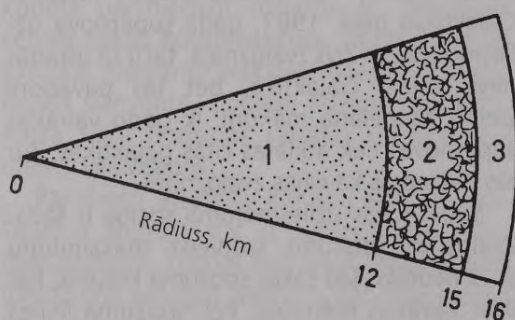
Supernova izstaro ne tikai redzamo gaismu. Gravitācijas kolapsa brīdī ievērojami pastiprinās neitrino plūsma, kuras enerģija var 100 reizi pārsniegt redzamajā uzliesmojumā izdalīto enerģiju. 1987. gadā uzliesmojošai supernovai tika reģistrēta šāda neitrino plūsmas palielināšanās.

Sprādzienā nomestais zvaigznes apvalks izplešas ar ātrumu vairāki tūkst. km/s. Apvalka

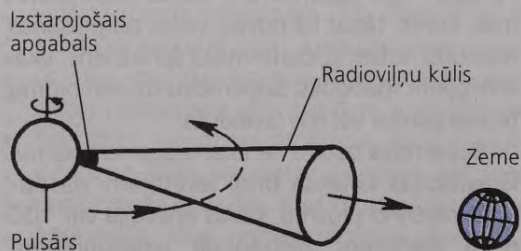
masa ir atkarīga no supernovas tipa. Ir novērtēts, ka I tipa supernovas apvalka masa ir aptuveni $0,3m_{\odot}$, bet II tipa supernovām — vairākas reizes lielāka. Apvalks novērojams kā supernovas miglājs.

Neitronu zvaigznes un pulsāri. Neitronu zvaigznes ir ļoti neparasti objekti. **Neitronu zvaigznes ir vismazākās zvaigznes.** To diametrs ir tikai 20...30 km, taču vidējais blīvums ir fantastiski liels: aptuveni 10^{17} kg/m^3 , un tas ir vienāds ar atomu kodolu blīvumu.

Neitronu zvaigžņu uzbūve ir neparasta (4.26. att.). Zvaigznes centrālā daļa sastāv no neitroniem ar nelielu protonu un elektronu piejaukumu, un tai piemīt šķidrums īpašības. Zvaigznes ārējo daļu veido dzelzs atomu kodoli, kuriem ir cietvielas īpašības. Var



4.26. att. Neitronu zvaigznes uzbūves shēma: 1 — šķidrums kodols, 2 — pārejas zona, 3 — cietā garoza.



4.27. att. Pulsāra uzbūves shēma. Pulsārs darbojas līdzīgi bākai — tā radiostarojums izplatās šaurā kūlī. Gadījumā, ja Zeme atrodas kūļa ceļā, tad uzterami periodiski radioimpulsi.

pieņemt, ka *neitronu zvaigznei ir šķidrums kodols un cietā garoza.* Neitronu zvaigznes ir viskarstākās zvaigznes — to virsas temperatūra pārsniedz 1 milj. K. Šādā temperatūrā zvaigzne izstaro nevis redzamo gaismu, bet gan rentgenstarojumu. Neitronu zvaigznes ļoti strauji griežas, un tām ir spēcīgs magnētiskais lauks. Tādi ir teorētiskie priekšstati par neitronu zvaigznēm.

Neitronu zvaigznēm ir ļoti maza starjauca, tādēļ atsevišķi tās praktiski nav saskatāmas. Tās ieraugāmas vienīgi tad, ja ar tām saistīts kāds fizikāls efekts, kurā rodas pietiekami spēcīgs starojums. Piemēram, neitronu zvaigzni var redzēt kā **pulsāru**.

Pulsārs ir rotējoša neitronu zvaigzne, kas izstaro regulārus elektromagnētiskā starojuma impulsus. Pulsāram griežoties, stars periodiski pagriežas pret Zemi un ir redzams uzliesmojums — impulss (4.27. att.). Līdz šim atklāti aptuveni 400 pulsāri. Impulsa atkārtošanās periods ir vienāds ar neitronu zvaigznes rotācijas periodu. Impulsi ir ļoti īsi un ātri. Pulsāra starojuma periods ir ļoti stabils — impulsi atkārtojas ļoti precīzi, to periods ir intervālā 1,5 ms...4,3 s. Kā tieši rodas šis radiostarojums, nav zināms. Īpaša nozīme šajā procesā var būt neitronu zvaigznes magnētiskajam laukam.

Pulsārus atklāja angļu astronomi 1967. gadā. Tas notika nejauši, gatavojot radioteleskopu citiem novērojumiem. Ritmiskie radiosignāli astronomos izraisīja lielu pārsteigumu. Sākumā tos uzskatīja par ārpuszemes civilizāciju raidītiem signāliem.

Ne visi pulsāri atrodas supernovu miglājos, un arī ne katrā supernovas miglājā ir pulsārs. Tam ir vairāki cēloņi. Pirmkārt, pulsāri pastāv ievērojami ilgāk nekā supernovu miglāji. Miglājs izklist, bet pulsārs turpina pastāvēt. Otrkārt, supernovas sprādziens var būt nesimetrisks. Tādā gadījumā pulsārs tiek izsviests no miglāja. Protams, nav iespējams redzēt tos pulsārus, kuru stars "netrāpa" Zemei.

Pulsāri, kas nesēn izveidojušies, izstaro ne tikai radioviļņus, bet arī γ starojumu, rentgenstarojumu, infrasarkano starojumu un redzamo gaismu. Tāds ir pulsārs Krabja miglājā un pulsārs Buru zvaigznāja supernovas

Dati par dažiem pulsāriem

| Pulsāra tips | Apzīmējums, zvaigznājs | Periods, s | Attālums, pc | Piezīmes |
|----------------|-------------------------|------------|--------------|---------------------|
| Radiopulsārs | PSR 0531+21, Vērsis | 0,033 | 2000 | Krabja miglājā* |
| | PSR 0833-45, Buras | 0,089 | 400 | Supernovas miglājā* |
| | PSR 1749-28, Strēlnieks | 0,563 | 1000 | — |
| | PSR 0329+54, Žirafe | 0,715 | 500 | spēcīgs starojums |
| Rentgenpulsārs | X-1, Herkules | 1,24 | 5000 | Herkulesa HZ** |
| | X-3, Centaurs | 4,84 | 8000 | O klases zvaigzne** |
| | X-1, Buras | 283 | 1000 | B klases zvaigzne** |

* — Staro arī optiskajā, infrasarkanajā, γ starojuma un rentgenstarojuma diapazonā.

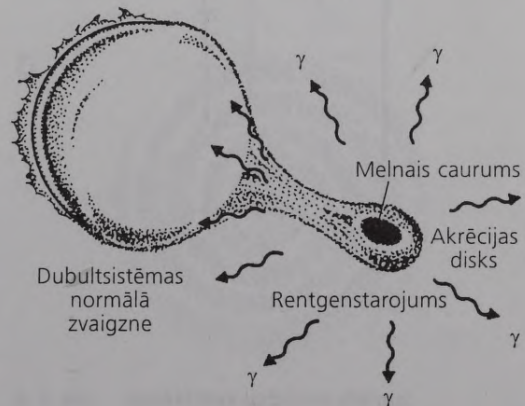
** — Dubultsistēmas normālā zvaigzne.

miglājā. Neitronu zvaigzne starojot zaudē rotācijas enerģiju, un tās griešanās ātrums samazinās. Tādēļ, pulsāram novecojot, impulsu atkārtotāšanās periods palielinās. Vecākajiem (un lēnākajiem) pulsāriem (vecums ≈ 10 milj. gadu) ir raksturīga īslaicīga impulsu izžušana. Impulsu izžušanas periodi pakāpeniski pagarinās, līdz pulsārs "izslēdzas" pavisam.

Atšķirīga fizikālā daba ir rentgenpulsāriem. *Rentgenpulsāri ietilpst ciešās dubultsistēmās, kurās notiek gāzes pārplūšana no normālās zvaigznes uz neitronu zvaigzni.* Ap neitronu zvaigzni izveidojas disks, no kura gāze krīt uz zvaigzni. Rodas spēcīgs rentgenstarojums, kas koncentrēts neitronu zvaigznes magnētisko polu rajonā. Tā kā parasti magnētiskā lauka ass nesakrīt ar zvaigznes rotācijas asi, tad, neitronu zvaigznei rotējot, starojošais apgabals pārvietojas. Kad tas pagriežas pret novērotāju, redzams rentgenstarojuma impulss. Rentgenpulsāru periods ir intervālā $0,7 \text{ s} \dots \approx 1^{\text{h}}$. Rentgenpulsāru ir daudz mazāk nekā radiopulsāru.

Melnie caurumi. *Melnais caurums ir telpas apgabals ap masīvu ķermeni, kurā gravitācijas lauks ir tik spēcīgs, ka to nespēj atstāt nedz materiāls ķermenis, nedz starojums.* Melnie caurumi ir ļoti mazi objekti. Piemēram, lai Saule kļūtu par melno caurumu, tai būtu jāsaspiežas līdz 6 km diametram; Zemei — līdz ķiršogas izmēriem. Melnā cauruma izmērus nosaka **gravitācijas rādiuss**.

Tas ir attālums no melnā cauruma centra, kurā otrais kosmiskais ātrums ir vienāds ar gaismas ātrumu. Ja kāds ķermenis atrodas ārpus gravitācijas rādiusa, tad tas, attīstot pietiekami lielu ātrumu, var aizlidot projām no melnā cauruma. Ja ķermenis atrodas gravitācijas rādiusa iekšpusē, tad tam jāattīsta ātrums, kas ir lielāks par gaismas ātrumu, bet tas principā nav iespējams. Tāpēc jebkurš objekts (gaismas stars, puteklis vai kosmosa kuģis), kas nokļuvis melnajā caurumā, to vairs nespēj atstāt. Melnais caurums spēj "aprīt" jebkuru vielas daudzumu. Palielinoties tā masai, arī tā izmēri palielinās. Spēcīgā gravitācijas laukā mainās telpas un laika īpašības.



4.28. att. Melnais caurums dubultsistēmā (uzbūves modelis).

To aprakstīšanai jālieto vispārīgā relativitātes teorija. Šādos apstākļos, piemēram, palēninās laika ritējums, tādēļ zvaigznes gravitācijas kolapss, kura rezultātā rodas melnais caurums, ārējam novērotājam un iedomātam novērotājam, kas atrodas uz zvaigznes, norisinās atšķirīgi. Taču galarezultāts ir viens un tas pats: kosmosā zvaigznes vietā rodas "melns tukšums". Tikai gravitācijas lauks liecina par melnā cauruma eksistenci. Zvaigznes kolapss turpinās arī melnā cauruma iekšienē, līdz tā saspiežas praktiski vienā punktā, taču šos notikumus nav iespējams precīzi aprakstīt, jo šādos apstākļos mums zināmie fizikas likumi vairs nedarbojas.

Atsevišķi melnais caurums nav novērojams, ja vien uz to nekrīt starpzvaigžņu gāze, kas atdod enerģiju starojuma veidā. Ja melnais caurums ietilpst dubultsistēmā, kuras otrs komponents ir normāla zvaigzne, tad viela pārplūst no zvaigznes uz melno caurumu, veidojot ap to **akrēcijas disku** (4.28. att.). Diska vielai krītot melnajā caurumā, rodas spēcīgs rentgenstarojums. Līdz šim ir atklāti tikai daži rentgenstarojuma avoti, kas ir samērā droši melnā cauruma "kandidāti". Viens no tiem ir Gulbis X-1, kura neredzamā komponenta masa ir lielāka nekā $6m_{\odot}$. Otrs šīs dubultsistēmas komponents ir zilgana milzu zvaigzne.

Jautājumi.

1. Cik reižu lielāka enerģija izdalās supernovas uzliesmojumā salīdzinājumā ar novas uzliesmojumu?
2. Vai supernovas uzliesmojums ir reti novērojama parādība?
3. Kāpēc pulsāru nav visos supernovu miglājos?
4. Vai uz neitronu zvaigznes iespējams nosēdināt kosmosa kuģi?
5. Ar ko atšķiras radiopulsāri no rentgenpulsāriem?
6. Kā iespējams ieraudzīt melno caurumu, ja tas neko neizstaro?
7. Vai Saule var kļūt par melno caurumu?

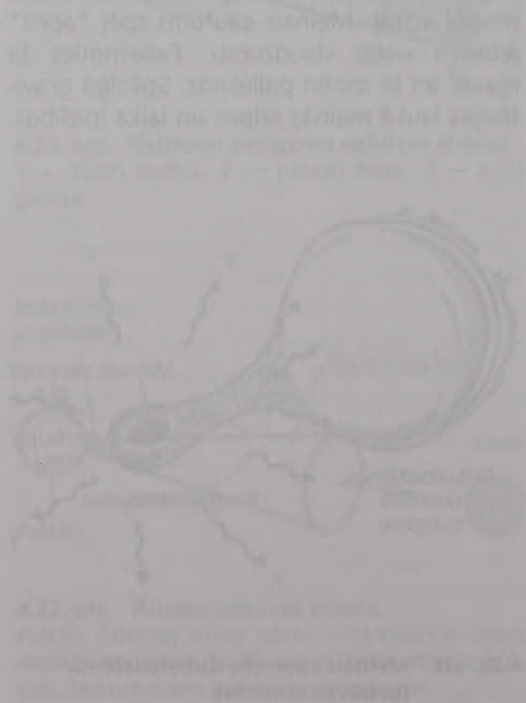


Diagramma parāda zvaigznes kolapsu un melnā cauruma veidošanos. Zvaigzne, kas ir pietiekami masīva, sasniedz galu stadiju un izplūst kā supernova. Atlikušā materiāla daļa, kas ir pietiekami masīva, kolapsa uz vienu punktu, veidojot melno caurumu. Melnais caurums ir apņemts ar akrēcijas disku, kurā materiāls no apkārtējās telpas krīst uz caurumu. Šis process ir saistīts ar enerģijas izdalīšanu, kas var būt redzama kā starojums.



5.1. GALAKTIKA

Mēs dzīvojam milzīgā zvaigžņu sistēmā, ko sauc par Galaktiku. Lai to atšķirtu no citām galaktikām, mūsu Galaktikas nosaukumu raksta ar lielo burtu. Galaktikā ir aptuveni 200 mljrd. zvaigžņu. Skatoties no Zemes, var redzēt tikai nelielu daļu no tām. Visvairāk zvaigžņu atrodas Piena Ceļā, kas stiepjas pār debesjumu kā blāva, miglaina josla. Piena Ceļu veido vienkop saplūdušī Galaktikas zvaigžņu gaismā. Visspožākais Piena Ceļš ir Strēlnieka zvaigznāja apkaimē. Šajā virzienā atrodas Galaktikas centrs, kura koordinātas ir $\alpha = 17^{\text{h}}42^{\text{m}}$, $\delta = -29^{\circ}$.

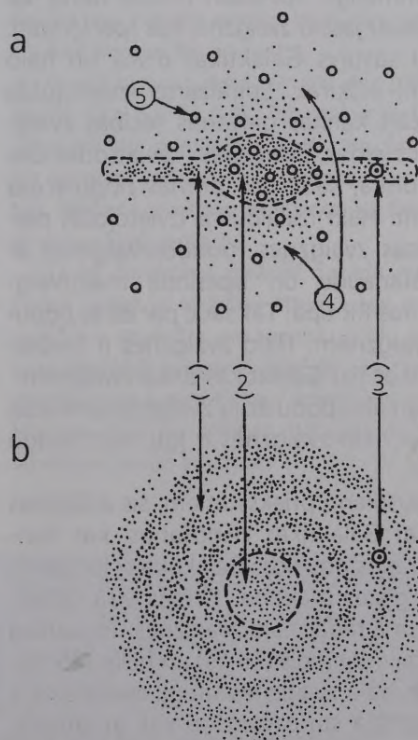
Galaktikas uzbūve. Ja būtu iespējams paskatīties uz Galaktiku no malas, tad varētu redzēt plānu, apaļu disku ar spirāļu zariem un biežāku centrālo sablīvējumu (5.1. att.). Diska biezums vidēji ir 20 reizi mazāks par tā diametru. Galaktikas diametrs ir 100 tūkst. ly (30 tūkst. pc). Centrālā sablīvējuma diametrs ir 8 kiloparseki (kpc). **Mūsu Galaktika ir spirālveida galaktika.** Tai ir 2 vai 4 spirālžari, precīzi nav zināms. Tie sākas nevis no centra, bet no centrālā sablīvējuma ārmas. Galaktikas diskā koncentrējušās 95 % visu zvaigžņu. Atlikušie 5 % zvaigžņu veido Galaktikas sfērisko sastāvdaļu, ko sauc par **halo**. Halo aptuvenš diametrs ir 40 kpc. Tas nav pilnīgi apaļš, bet nedaudz saplacināts.

Galaktikas disku divās daļās daļa Galaktikas ekvatora plakne. Saules sistēma atrodas šīs plaknes tuvumā. Pie debess Galaktikas ekvators iet aptuveni pa Piena Ceļa vidu. Tas veido ar debess ekvatoru 63° leņķi. Galaktikas ziemeļpols atrodas Berenikes Matu zvaigznājā, bet dienvidpols — Tēlnieka zvaigznājā.

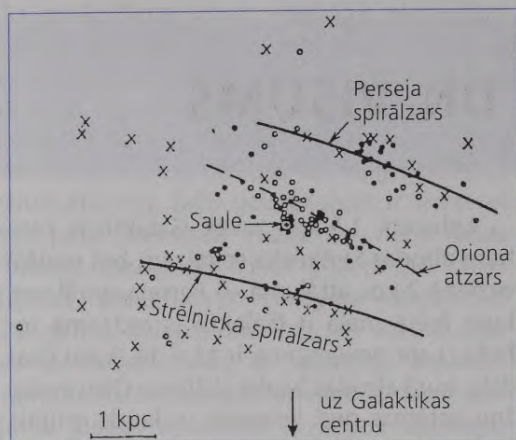
Saule atrodas Galaktikas nomalē 10 kpc attālumā no tās centra Oriona spirālžarā (5.2. att.). Tas nav vesels spirālžars, bet tikai atzarojums. Visas ar neapbruņotu aci redzamās zvaigznes pieder šim spirālžaram.

Aptuveni 1,5 kpc tuvāk Galaktikas centram atrodas Strēlnieka spirālžars, bet pretējā virzienā 2 kpc attālumā — Perseja spirālžars, kura ārējā mala ir Galaktikas redzamā robeža. Labi novērojama ir tikai tā Galaktikas daļa, kurā atrodas Saules sistēma. Otru zvaigžņu sistēmas pusi ieraudzīt ir daudz grūtāk, jo traucē spirālžari un Galaktikas centrālais sablīvējums.

Galaktikas sastāvs. Galaktika sastāv no zvaigznēm, vaļējām un lodveida zvaigžņu kopām, miglājiem un starpzvaigžņu vides.



5.1. att. Galaktikas uzbūves shēma:
 a — skats no sāniem, b — skats no augšas.
 (1 — Galaktikas disks ar spirālžariem, 2 — centrālais sablīvējums, 3 — Saules atrašanās vieta, 4 — Galaktikas halo, 5 — lodveida zvaigžņu kopas.)



5.2. att. Saulei tuvākā Galaktikas daļa.

(Spirālzaršiem raksturīgi objekti: cefeidas — x, vajē-
jās zvaigžņu kopas — ●, ūdeņraža mākoņi — ○.)

Galaktikas diskā zvaigznes izvietojušās samērā vienmērīgi. *Spirālzarš izceļas tādēļ, ka tajos ir daudz jaunu zvaigžņu, kas spēcīgi spīd.* Zvaigžņu sastāvs Galaktikas diskā un halo ievērojami atšķiras. Spirālzaršos izvietojušās galvenokārt karstas galvenās secības zvaigznes un cefeidas. Zvaigznes, kas atrodas Galaktikas diskā, sauc par *pirmās populācijas* zvaigznēm. Halo izklaidus ir izvietojušās pārsvarā vecas zvaigznes, pundurzvaigznes ar nelielu starjaudu un īsperioda maiņzvaigznes — Liras RR tipa. Tās sauc par *otrās populācijas* zvaigznēm. Halo zvaigznes ir ievērojami vecākas par Galaktikas diska zvaigznēm. Atšķiras arī abu populāciju zvaigžņu ķīmiskais sastāvs — halo zvaigznēs ir ļoti maz smago elementu.

Pēc mūsdienu priekšstatiem, šis atšķirības saistītas ar Galaktikas veidošanos, kas norisējusi vairākos posmos. Galaktika veidojās no lodveida gāzes mākoņa. Pirmās visā Galaktikas tilpumā radās halo zvaigznes. To sastāvā ietilpa tikai ūdeņradis (75 %) un hēlijs (25 %). Masīvākās halo zvaigznes strauji evolucionēja un papildināja starpzvaigžņu vidi ar smagajiem elementiem un putekļiem. Galaktika rotēja, tāpēc tajā ietilpstošā gāze saspiedās, līdz izveidojās Galaktikas disks. Tajā radās zvaigznes, kuru sastāvā jau bija samērā daudz smago elementu. Ap šīm zvaigznēm principā

var veidoties planētu sistēmas, jo gāzē jau ir pietiekams putekļu daudzums. Saule ir jaunākās, pirmās populācijas zvaigzne. Loģiski būtu numurēt zvaigžņu populācijas otrādi, taču vēsturiski ir izveidojies šāds iedalījums.

Galaktikas masa ir aptuveni 150 mljrd. m_{\odot} . Gandrīz visu šo masu veido zvaigznes un tikai 3 % — gāze un putekļi. Taču tiem ir ievērojama nozīme Galaktikas struktūrā, jo tie aizņem lielas platības. *Galaktikas gāze un putekļi koncentrējušies spirālzaršos starpzvaigžņu mākoņu veidā.* Tie neaizņem visu Galaktikas diska biezumu, bet veido plānu slāni ekvatora plaknē. Šos mākoņus var ieraudzīt dažviet Piena Ceļa vidū, kur tie veido tumšu joslu. Tos dēvē par **ūdeņraža mākoņiem** — to galvenā sastāvdaļa ir ūdeņradis. Ir molekulārā ūdeņraža un neitrālā ūdeņraža mākoņi. Tikai karsto zvaigžņu tuvumā ūdeņradis ir jonizētā stāvoklī. Molekulārā ūdeņraža mākoņi veido samērā blīvus un lielus gāzu un putekļu kompleksus. Tieši šajos mākoņos iespējama jaunu zvaigžņu veidošanās. Neitrālā ūdeņraža mākoņi izstaro radioviļņus, kuru viļņa garums ir 21 cm. Analizējot šo starojumu, ir izdevies noskaidrot Galaktikas spirālzaršu struktūru.

Galaktikas centrs. Galaktikas centrālā sablīvējuma vidū atrodas saplacināts zvaigžņu mākonis, kura diametrs ir 1200 pc un masa aptuveni 4 mljrd. m_{\odot} . Zvaigžņu mākonis redzamajā gaismā nav saskatāms, jo to aizsedz biezi gāzu un putekļu mākoņi. Ziņas par Galaktikas centra uzbūvi sniedz infrasarkanais starojums un radioviļņi. Zvaigžņu mākoņa centrā atrodas radiostarojuma avots Strēlnieka A (5.3. att.). Tā diametrs ir aptuveni 10 pc. Savukārt šī radiostarojuma avota vidū atrodas Galaktikas **kodols**, kura diametrs ir tikai 1 pc. Galaktikas kodols spēcīgi staro, tajā notiek strauja vielas kustība. Pastāv pieņēmums, ka kodolā atrodas melnais caurums, kura masa ir 1 milj. m_{\odot} un kurš rada šīs aktivitātes izpausmes.

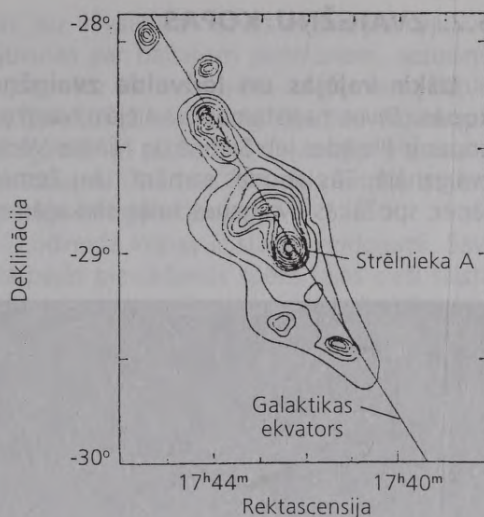
Galaktikas rotācija. Zvaigznes riņķo ap Galaktikas centru pa dažādām orbītām un ar dažādiem ātrumiem. Halo zvaigznes ir mazkustīgas, tās riņķo ap Galaktikas centru pa izstieptām elipsēm. Galaktikas diska

zvaigznes strauji riņķo aptuveni pa riņķveida orbitām Galaktikas plaknes tuvumā. Piemēram, Saule riņķo ap Galaktikas centru ar ātrumu 240 km/s, veicot vienu apriņķojumu 250 milj. gadu. Šo laika periodu sauc par **galaktisko gadu**. Diska zvaigznes riņķo vienā virzienā. Ja skatītos no Galaktikas ziemeļpola, tad būtu redzams, ka Galaktika griežas pulksteņa rādītāju kustības virzienā un tās spirālzarī it kā savijas.

Galaktikas ārējā daļā zvaigžņu kustības ātrums samazinās lēnāk, nekā tam teorētiski vajadzētu būt. Iespējams, ka novērojamo atšķirību rada korona — plašs zvaigžņu apvalks, kas apņem Galaktiku. Korona var sastāvēt no ļoti mazas starjaudas zvaigznēm, un tās masa var vairākkārt pārsniegt visas Galaktikas masu. Tiesa, mūsu Galaktikai šāds veidojums nav atklāts, bet dažām citām galaktikām tas ir novērojams.

Mūsu Galaktikai un daudzām citām galaktikām ir izteikta spirālveida struktūra. Divi vai vairāk spirālzarī stiepjas aptuveni viena apgrieziena garumā apkārt centram. Šādas stabilas struktūras pastāvēšana ir grūti izskaidrojama. Mūsdienās uzskata, ka pa Galaktiku pārvietojas spirālveida blīvuma vilnis, kura rašanās iemesls nav zināms. Tajās vietās, kur tas nokļūst, sākas intensīva zvaigžņu veidošanās un rodas spirālzarī, kas atveido blīvuma vilņa struktūru.

Blīvuma vilņa pārvietošanās jāatšķir no Galaktikas rotācijas. Blīvuma vilnim kustoties, pārvietojas tikai zvaigžņu sablīvējuma un retinājuma vietas, pašas zvaigznes kopā ar blīvuma vilni nekustas. Līdzīgi tas



5.3. att. Radiostarojuma avota Strēlnieka A radiostarojuma karte.

ir vilņos, kas rodas, ūdenī iemetot akmeni. Ūdens daļiņas tikai svārstās augšup, leļup, bet nepārvietojas kopā ar vilni projām no centra.

Zvaigžņu izvietojuma blīvums vilnī palielinās nedaudz, tikai par 3...5%. Taču tas ir pietiekami, lai gāzes blīvums palielinātos vairākkārt. Šādos apstākļos ūdeņraža mākoņi kļūst nestabili un sāk saspīstties. No tiem izveidojas zvaigznes, un blīvuma vilņa struktūra kļūst redzama.

Tā kā Galaktikas rotācija dažādā attālumā no centra notiek ar atšķirīgu ātrumu, tad izveidojusies spirālzarī struktūra pakāpeniski izjūk, taču pa šo laiku spožākās zvaigznes, kas nosaka spirālzarī redzamību, jau ir paspējušas "izdegt" un nodzist. Tad blīvuma vilnis jau atrodas citā vietā, kur rodas un iekvēlojas jaunas zvaigznes.

Jautājumi.

1. Cik liels ir Galaktikas diska biezums parsekos?
2. Kas ir Piena Ceļš?
3. Cik liels ir attālums no Saules līdz Galaktikas robežai?
4. Galaktikas diskā zvaigznes izvietojušās samērā vienmērīgi. Kāpēc izceļas tieši spirālzarī?
5. Kādaī populācijai pieder halo zvaigznes? Ar ko un kāpēc tās atšķiras no Galaktikas diska zvaigznēm?
6. Kāda ir Galaktikas centrālā sablīvējuma uzbūve?
7. Pie kuras populācijas zvaigznēm pieder Saule?

5.2. ZVAIGŽŅU KOPAS

Izšķir vajējās un lodveida zvaigžņu kopas. Divas pazīstamākās vajējās zvaigžņu kopas ir Plejādes jeb Sietiņš un Hiādes Vērša zvaigznājā. Tās atrodas samērā tuvu Zemei, tāpēc spožākās zvaigznes tajās saskatāmas



5.4. att. Vajējā zvaigžņu kopa M37 Vedēja zvaigznājā.

Kopā ir aptuveni 150 zvaigžņu, un tā atrodas 1,3 kpc attālumā.



5.5. att. Lodveida zvaigžņu kopa M3 Medību Suņu zvaigznājā.

Kopā ir aptuveni 100 000 zvaigžņu, un tā atrodas 10 kpc attālumā.

bez teleskopa. Vēl dažas vajējās zvaigžņu kopas (dubultkopa h un χ Perseja zvaigznājā, Sile Vēža zvaigznājā u.c.) redzamas pie debess kā miglaini plankumi, un tikai teleskopā tajās var izšķirt atsevišķas zvaigznes. Spožākās lodveida kopas ir Centaura ω un Tukāna 47. Tās atrodas debess dienvidu puslodē un izskatās kā miglainas zvaigznes. Lai tajās izšķirtu atsevišķas zvaigznes, nepieciešams vidēji spēcīgs teleskops. *Vajējās un lodveida zvaigžņu kopas ir visai atšķirīgi objekti.*

Vajējās zvaigžņu kopas. Zināmas aptuveni 1200 vajējās zvaigžņu kopas. Tās ir izvietojušās Galaktikas spirālzaros, tādēļ pie debess redzamas Piena Ceļa apvidū. Saskaņā ir tikai tuvākās vajējās kopas, kas atrodas līdz 2 kpc attālumā no Saules. Tālākās kopas aizsedz gāzu un putekļu mākoņi. *Vajējās zvaigžņu kopas ir objekti, kas sastāv no jaunām zvaigznēm* (5.4. att.). Tajās ir daudz galvenās secības zvaigžņu, bet maz milzu un pārmilzu. Vajējo zvaigžņu kopu vecums ir atšķirīgs. Jaunākās kopas ir dažus miljonus gadu vecas, taču ir tādas, kuru vecums mērāms simtos miljonu gadu.

Zvaigžņu skaits vajējās kopās nav liels — aptuveni 100...1000 zvaigžņu. Kopām ir neregulāra forma, to vidējais diametrs 3...5 pc. Dažas kopas ir saistītas ar miglājiem. Piemēram, ap Sietiņa spožākajām zvaigznēm redzami miglāja fragmenti. Zvaigznēm, kas ietilpst vajējās kopās, ir līdzīgas īpatnējās kustības. Tas nozīmē, ka kosmiskajā telpā tās kustas aptuveni vienā virzienā.

Lodveida zvaigžņu kopas. Ir zināmas aptuveni 160 lodveida zvaigžņu kopas. To skaits nav liels, taču tajās ir ļoti daudz zvaigžņu. Lodveida kopās ietilpst no vairākiem simtiem tūkstošu līdz vairākiem miljoniem zvaigžņu. Viena no vislielākajām ir lodveida kopa M 22 Strēlnieka zvaigznājā, kurā ir aptuveni 7 milj. zvaigžņu. Lodveida kopas ir lieli objekti, to diametrs ir 20...60 pc (5.5. att.). Daļa kopu nav apaļas, bet nedaudz saplacinātas. Zvaigznes koncentrējas kopas centra virzienā, kur zvaigžņu izvietojuma blīvums sasniedz 10 tūkst. zvaigžņu uz 1 kpc³. Lodveida kopas starjauca ir visai liela, tādēļ tā redzama no liela attāluma.

Lodveida kopas atrodas visā Galaktikas sfēriskajā telpā — diskā, halo, bet visvairāk to ir Galaktikas centrālajā sablīvījumā. Šī iemesla dēļ, skatoties no Zemes, visvairāk lodveida kopu var redzēt Strēlnieka zvaigznājā un tam piegulošajos zvaigznājos. *Lodveida kopas ir vieni no vecākajiem (11...13 mljrd. gadu) Galaktikas objektiem.* Tās veidojās Galaktikas attīstības pirmajā fāzē. Lodveida kopas sastāv no vecām zvaigznēm (pārsvārā no sarkanajiem milžiem, Liras RR tipa zvaigznēm un pazeminātās starjaudas cefeidām). Tajās praktiski nav masīvo galvenās secības zvaigžņu —

tās jau ir veikušas savas evolūcijas ceļu un kļuvušas par baltajiem punduriem, neitronu zvaigznēm vai melnajiem caurumiem. Tāpat kā Galaktikas halo zvaigznēs, lodveida kopu zvaigznēs ir pazemināts smago elementu daudzums. Daudzas lodveida kopas izstaro spēcīgu rentgenstarojumu.

Lodveida kopas ir stabili veidojumi. Savstarpējās pievilksnās spēks tajās cieši saista zvaigznes, un kopa var pastāvēt ļoti ilgi. Lielākās lodveida un vajējās zvaigžņu kopas var ieraudzīt arī tuvākajās galaktikās — Mage-lāna Mākoņos un Andromedas miglājā.

5.1. tabula

Dažu zvaigžņu kopu raksturlielumi

| Kopas tips | Apzīmējums | Zvaigznājs | Spožums, zv.l. | Redzamais diametrs, ' | Attālums, pc | Lineārais diametrs, pc | Zvaigžņu skaits |
|------------|------------|------------|----------------|-----------------------|--------------|------------------------|-----------------|
| Vajējā | h un X | Persejs | 4,3 | 29* | 2200 | 19* | 270* |
| -" | Plejādes | Vērsis | 1,5 | 110 | 130 | 4.2 | 250 |
| -" | Hīādes | Vērsis | 0,8 | 330 | 43 | 4.1 | 250 |
| -" | Sile | Vēzis | 3,9 | 95 | 160 | 4.4 | 210 |
| -" | M 6 | Skorpions | 4,6 | 14 | 490 | 2.0 | 130 |
| -" | M 7 | Skorpions | 3,3 | 80 | 240 | 5.6 | 180 |
| Lodveida | 47 | Tukāns | 4,0 | 31 | 4600 | 41 | — |
| -" | ω | Centaurs | 3,7 | 36 | 5200 | 55 | — |
| -" | M 5 | Čūska | 6,0 | 17 | 7600 | 38 | 60 000** |
| -" | M 13 | Herkules | 5,9 | 17 | 7200 | 35 | 300 000** |
| -" | M 22 | Strēlnieks | 5,1 | 24 | 3100 | 22 | 7 000 000** |

* — Otram kopas komponentam dati tādi paši.

** — Nevis zvaigžņu skaits, bet gan kopas masa, izteikta m_{\odot} .

+++++
 +
 + **Zvaigžņu asociācijas.** Zvaigžņu asociācijas ir nelielas zvaigžņu grupas, kurās
 + zvaigžņu izvietojuma blīvums ir nedaudz lielāks par vidējo. Tās sastāv no ļoti jaunām
 + zvaigznēm. Daļa asociāciju sastāv no karstām O un B spektra klašu galvenās secības
 + zvaigznēm, bet vairums asociāciju — no Vērša T tipa maiņzvaigznēm. Jaunāko asociāciju
 + vecums ir 1 milj. gadu vai mazāk. Asociācijā parasti ir daži desmiti zvaigžņu, kas aizņem
 + kosmiskajā telpā apgabalu, kura diametrs ir vairāki desmiti pc.
 + Asociācijas atrodas Galaktikas spirālzaros ūdeņraža mākoņu tuvumā vai iekšienē. Jau
 + ir atklāti vairāki simti asociāciju. Zemei tuvākā zvaigžņu asociācija atrodas Oriona zvaig-
 + znājā. Tā sastāv no četrām virknē izvietotām zvaigžņu grupām, kas veido Oriona
 + zobenu. Šajos apgabalos turpinās jaunu zvaigžņu veidošanās.
 +
 + Kas notiek ar zvaigžņu asociāciju pēc tās izveidošanās, nav īsti skaidrs. Daļa asociāciju nav stabilas,
 + tās pakāpeniski izkļūst un paaugstinātais zvaigžņu blīvums izlīdzinās, taču citas, savstarpēji tuvas asoci-
 + ācijas izrāda tendenci apvienoties. Iespējams, ka šādi veidojas vajējās zvaigžņu kopas.
 +
 +++++

Jautājumi.

1. Kurās kopās — vajējās vai lodveida — ir lielāks zvaigžņu skaits?
2. Vajējās un lodveida kopas ir stipri atšķirīgas. Kas tām ir līdzīgs?
3. Kas ir Sietiņš?
4. Kādos zvaigznājos biežāk redzamas vajējās kopas un kādos — lodveida? Kāpēc?
5. Fotogrāfijās redzams, ka zvaigznes lodveida kopas centrālajā daļā saplūst kopā. Vai tā ir arī dabā?
6. Vai zvaigžņu asociācijas vairāk līdzinās vajējam kopām vai — lodveida kopām?
7. Vai visas zvaigžņu kopas mūsu Galaktikā jau ir atklātas?

5.3. MIGLĀJI UN STARPZVAIGŽŅU VIDE

Miglājus iedala difūzajos, planetārajos un supernovu miglājos. Vairums miglāju spīd ļoti vāji. Ar neapbruņotu aci redzams vienīgi Oriona miglājs un tumšie miglāji Piena Ceļā. Lielāko miglāju leņķiskais diametrs ir vairāki loka grādi, bet mazāko miglāju leņķiskais diametrs ir dažas loka minūtes un mazāk.

Difūzie miglāji. Difūzie miglāji izskatās kā miglaini, šķiedraini mākoņi. Būtībā difūzie miglāji ir tie paši Galaktikas ūdeņraža mākoņi. Miglāju galvenā sastāvdaļa ir ūdeņradis (70 %), hēlijs (28 %), citi elementi un putekļi (2 %). *Difūzos miglājus iedala emisijas, atstarojošos un tumšajos miglājos.* Emisijas un atstarojošos miglājus sauc arī par gaišajiem miglājiem, jo tie spīd. Pavisam zināmi aptuveni 150 gaišie miglāji. Tumšos miglājus vēl sauc arī par putekļu miglājiem. Kaut gan miglāju sastāvā putekļu ir nedaudz, tie nosaka tumšo miglāju lielo necaurspīdīgumu.

Emisijas miglāji spīd tādēļ, ka to tuvumā vai iekšienē atrodas karsta zvaigzne, kas lielu daļu enerģijas izstaro ultravioletajā diapazonā. Tā ir O vai B spektra klases zvaigzne. Miglājā zvaigznes ultravioletais starojums tiek absorbēts un pēc tam izstarots jau kā redzamā gaisma. Zvaigznes starojums sasilda miglāju līdz 7...9 tūkst. K temperatūrai. Emisijas miglājos ūdeņradis ir jonizēts.

Emisijas miglāju spektrs nav nepārtraukts. Miglāji staro tikai atsevišķās spektrālinijās. Spēcīgākās ir ūdeņraža linijas. Starojums H_{α}

linijā piešķir emisijas miglājiem sarkanu krāsu. Emisijas miglāji ir samērā lieli. To diametrs ir no viena līdz vairākiem desmitiem pc un atkarīgs no miglāju aspīdošās zvaigznes starjaušanas. Piemēram, Oriona miglāja diametrs ir 8 pc.

Arī atstarojošie miglāji redzami tikai tāpēc, ka tos aspīd tuvumā esoša zvaigzne. Tā kā miglājs tikai atstaro zvaigznes gaismu, tā spektrs sakrīt ar zvaigznes spektru. Atstarojošo miglāju rada A spektra klases vai aukstākas zvaigznes. Zvaigznes gaismu galvenokārt atstaro miglājā esošie putekļi. Pazīstamākais atstarojošais miglājs apņem Sietiņa spožākās zvaigznes. Fotogrāfijās to var atšķirt no emisijas miglāja pēc sudrabainās krāsas. Atstarojošo miglāju skaits ir neliels.

Vairums miglāju ir tumšie miglāji. Tie skatāmi tikai tad, ja atrodas uz gaiša miglāja fona vai zvaigžņu fona. Piemēram, Zirga Galvas miglājs redzams uz gaiša miglāja fona Oriona zvaigznājā, bet miglājs Ogļu Maiss redzams kā tumšs plankums blakus Dienvidu Krusta zvaigznēm (5.6. att.).

Tumšo miglāju diametrs sasniedz 40 pc. Tie ir visaukstākie miglāji — to temperatūra ir tikai 10...30 K. Tumšie miglāji atbilst Galaktikas molekulārā ūdeņraža mākoņiem. Pie tumšajiem miglājiem pieskaitāmas arī **globulas** — nelieli, blīvi miglāji, kas izskatās kā mazi, melni caurumi uz gaišo miglāju vai zvaigžņu fona. Globulām ir aptuveni apaļa forma. To diametrs ir 0,1...1 pc, bet masa — 1...100 m_{\odot} . *Globulas ir starpzvaigžņu vides mākoņi, kuros sācies zvaigžņu veidošanās process.*

Planetārie un supernovu miglāji. Planetārie un supernovu miglāji ir zvaigžņu

elementi. Daļa elementu veido molekulas. Kosmiskajā telpā ir atklātas aptuveni 60 dažādas molekulas. Izplatītākās ir ūdeņradis H_2 , hidroksilgrupa OH, oglekļa oksīds CO, ciāns CN, amonjaks NH_3 un formaldehīds H_2CO . Starpzvaigžņu vide satur arī ūdeni ledus veidā. Atklātas arī sarežģītas organiskās molekulas, kurām ir svarīga nozīme aminoskābju molekulu veidošanā. Kā zināms, aminoskābes ir galvenais dzīvo šūnu ķīmiskais "ķieģelītis".

Starpzvaigžņu vidē aptuveni puse smago elementu ir putekļu veidā. Starpzvaigžņu putekļi ir necīgas 0,1...1 μm diametra dzelzs un silikātu daļiņas, kuras pārklāj plāns ledus

apvalks. Ir arī vēl mazākas tumšas oglekļa (grafīta) daļiņas. *Ejot cauri starpzvaigžņu videi, zvaigžņu gaismā pavājinās.* Gaismas vājinājumu rada putekļi, kas gan izkliedē, gan aiztur zvaigžņu gaismu. Galaktikas plaknē vājinājums sasniedz 2 zvaigžņlielumus uz 1 kpc. Piemēram, zvaigzne, kas atrodas Perseja spirālzarā 2 kpc attālumā, izskatās par 4^m vājāka nekā īstenībā. Visos spektra diapazonos vājinājums nav vienāds. Izplatoties caur starpzvaigžņu vidi, zvaigžņu gaismā kļūst sarkanāka. Līdzīgi notiek arī uz Zemes — kad Saule vakarā redzama cauri biežam un putekļainam atmosfēras slānim, tā izskatās sarkana.

+++++

+ **Kosmiskais starojums.** *Par kosmisko starojumu sauc lādētu kosmisko daļiņu plūsmu, kurām ir augsta enerģija un liels kustības ātrums.* Atsevišķai daļiņai piemītošā enerģija var sasniegt 200 J. Tā ir liela enerģija — mūsdienās daļiņu paātrinātajos daļiņām iespējams piešķirt miljardu reižu mazāku enerģiju. Kosmiskā starojuma sastāvā visvairāk ir protonu, mazāk hēlija atomu kodolu un elektronu. Kosmiskā starojuma kopējā enerģija ir ļoti liela — vienliela ar enerģiju, kādu visos virzienos Galaktikā pārnēs gaismas plūsma un cita veida elektromagnētiskais starojums. Uzskata, ka *kosmiskais starojums galvenokārt rodas supernovu sprādzienos.* Galaktiku caurauž sarežģītas struktūras magnētiskais lauks, kas maina lādēto daļiņu trajektorijas. Kosmiskais starojums ilgi ceļo šajā "samezglotajā" laukā, līdz nokļūst, piemēram, uz Zemes. Zeme saņem kosmisko starojumu vienmērīgi no visām pusēm, tādēļ grūti spriest par tā izcelsmes vietu.

+++++

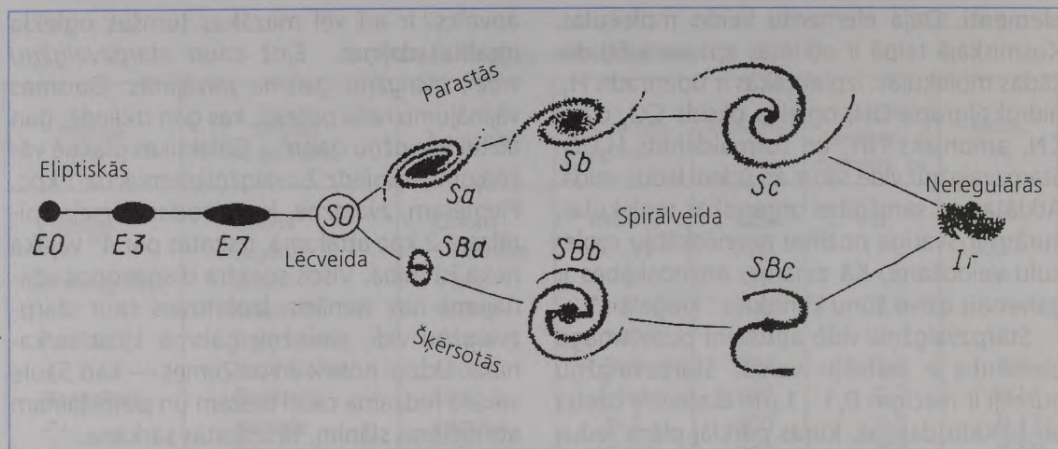
Jautājumi.

1. Kāpēc gaišie miglāji ir gaiši?
2. Vai putekļu miglāji sastāv no putekļiem?
3. Kāpēc emisijas miglāji ir sarkani, bet planetārie miglāji — zaļi?
4. Ar ko supernovu miglāji atšķiras no cita veida miglājiem?
5. Kuri miglāji pastāv visilgāk?
6. No kādas starpzvaigžņu vides sastāvdaļas rodas planētas?
7. Vai kosmiskais starojums vispār ir starojums?

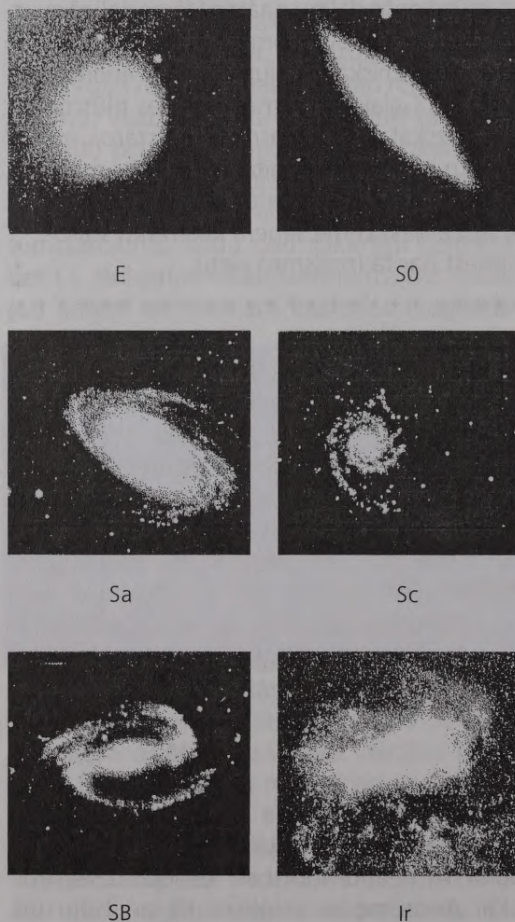
5.4. GALAKTIKU IEDALĪJUMS UN UZBŪVE

Galaktikas ir patstāvīgas, milzīgas zvaigžņu sistēmas, kas sastāv no daudziem miljardiem zvaigžņu. Tās ir līdzīgas

mūsu Galaktikai, taču atrodas tik tālu, ka redzamas pie debess kā nelieli miglaini plankumi. Ar neapbruņotu aci iespējams saskatīt tikai Andromedas miglāju, kā arī Lielo un Mazo Magelāna mākonī. Nelielā teleskopā var redzēt dažus desmitus galaktiku, bet



5.8. att. Galaktiku iedalījums.



5.9. att. Dažādu tipu galaktikas.

spēcīgā teleskopā — daudzus miljonus. **Izšķir eliptiskās (E), spirālveida (S) un neregulārās (Ir) galaktikas** (5.8. att.). Vēl ir arī **lēcveida galaktikas (S0)** — pārejas formas galaktikas starp eliptiskajām un spirālveida galaktikām (5.9. att.).

Eliptiskās galaktikas. Eliptiskās galaktikas veido 25 % galaktiku kopskaita. Tām ir ļoti vienkārša struktūra. *Eliptiskās galaktikas sastāv no elipsoidālas formas zvaigžņu mākoņa, kura spožums pakāpeniski palielinās centra virzienā.* To forma atšķiras ar saspieduma pakāpi — no sfēriskas (E0 apakštīps) līdz samērā plakanai (E7 apakštīps). Eliptiskajās galaktikās praktiski nav gāzes, tāpēc tajās nenotiek jaunu zvaigžņu veidošanās un tās sastāv galvenokārt no vecām zvaigznēm — sarkanajiem milžiem, dzeltenajiem un sarkanajiem punduriem.

Eliptiskās galaktikas ir ļoti dažādas. Starp tām ir gan lielākās galaktikas ar milzīgu diametru, masu un starjaudu (piemēram, M 87 Jaunavas zvaigznājā), gan eliptiskas pundurgalaktikas (piemēram, galaktika Krāsns zvaigznājā).

Lēcveida galaktikas. Šīs galaktikas veido 20 % visu galaktiku. *Lēcveida galaktikas ir līdzīgas gan eliptiskajām, gan spirālveida galaktikām.* Tām ir saplacināts zvaigžņu disks (bez spirālzarjiem) ar blīvāku centrālo daļu un elipsveida zvaigžņu oreols. Tipiska lēcveida galaktika ir M 85 Berenikes Matu zvaigznājā.

Spirālveida galaktikas. Spirālveida galaktiku ir visvairāk (5.10. att.). Tās veido 50 % galaktiku kopskaita. Spirālveida galaktikas iedala divās grupās pēc šādas pazīmes. Daļai galaktiku spirālzari sāk vīties no paša centra, bet daļai — veido taisnu nogriezni un tikai pēc tam sāk izliekties. Pēdējās sauc par šķērsotajām galaktikām un apzīmē ar burtiem SB, lai atšķirtu no parastajām spirālveida galaktikām. Puse no visām spirālveida galaktikām ir šķērsotās galaktikas. Parastās spirālveida galaktikas piemērs ir galaktika M 33 Trijstūra zvaigznājā, bet tipiska šķērsotā galaktika — NGC 1300 Eridānas zvaigznājā. Dažādu galaktiku izvietojums attiecībā pret Zemi atšķiras, tādēļ daļu galaktiku mēs redzam it kā pretstatā (Atvara galaktika M 51 Medību Suņu zvaigznājā), citas — ieslīpi (Andromedas miglājs M 31) un arī no sāniem (galaktika NGC 253 Tēlnieka zvaigznājā). Pēdējām bieži redzama tumšo miglāju josla, kas daļa galaktiku divās daļās.

Spirālveida galaktikas pēc spirālzaru attīstības pakāpes vēl sīkāk iedala šādi: Sa, Sb un Sc. Sa tipa galaktikām ir liels kodols un vāji izteikti spirālzari, Sc — spirālzari ir vizisitektākie. Mūsu Galaktika, visticamāk, pieder pie Sb tipa galaktikām. Šķērsotās galaktikas apzīmē attiecīgi SBa, SBB un SBc.

Spirālveida galaktikas daudzējādā ziņā ir līdzīgas mūsu Galaktikai. Tām tāpat ir zvaigžņu disks ar centrālo sablīvējumu. Disks ietver spirālzarus, kuros ir 5...10 % gāzu un putekļu no visas galaktikas masas. Spirālzaros veidojas jaunas zvaigznes. Spirālveida galaktikās ir daudz spožu miglāju un karstu pārmilzu zvaigžņu. Lielāko spirālveida galaktiku diametrs sasniedz 30...40 kpc. Mūsu Galaktika pieder pie lielām spirālveida galaktikām.

Neregulārās galaktikas. 5 % galaktiku, kas neietilpst nevienā no minētajiem iedalījumiem, ir neregulārās galaktikas. Tām ir neregulāra forma un neviendabīga struktūra. Neregulārajām galaktikām nav kodola. Šajās galaktikās ir daudz gāzu un putekļu (20...50 % visas galaktikas masas). Šī tipa galaktikās atsevišķos apgabalos intensīvi norisinās zvaigžņu veidošanās. Neregulārajās galaktikās ir daudz jaunu un karstu (baltu un



5.10. att. Spirālveida galaktika no sāniem. Redzama putekļu josla galaktikas ekvatora plaknē.

zilganu) zvaigžņu. Šī tipa galaktiku masa, izmēri un starjaua vidēji ir mazāka nekā eliptiskajām un spirālveida galaktikām. Neregulārās galaktikas ir, piemēram, abi Magelāna Mākoņi.

Aktīvās galaktikas. Galaktikas ar aktīviem kodoliem sauc par aktīvajām galaktikām. To kodolos norisinās intensīvi procesi, kuru rezultātā šīs galaktikas dod spēcīgu starojumu plašā elektromagnētisko viļņu



5.11. att. Aktīvā galaktika M 87 Jaunavas zvaigznājā.

Dažu galaktiku raksturlielumi

| Galaktika | Tips | Zvaigznājs | Spožums, zv.l. | Redzamie izmēri, ' | Attālums, kpc | Lineārais diametrs, kpc | Masa, $10^9 m_s$ |
|--------------|------|----------------|----------------|--------------------|---------------|-------------------------|------------------|
| — | E | Krāsns | 7 | 17×13 | 170 | 1 | 0.02 |
| NGC 5128* | E0 | Centaurs | 7 | 31×25 | 4400 | 40 | 200 |
| M 87* | E1 | Jaunava | 9.8 | 10×10 | 16 000 | 47 | 4000 |
| M 85 | S0 | Berenikes Mati | 9.6 | 11×8 | 16 000 | 44 | — |
| M 31 | Sb | Andromeda | 3.7 | 197×92 | 690 | 40 | 200 |
| NGC 253 | Sc | Tēlnieks | 7.7 | 22×6 | 2400 | 15 | 125 |
| M 33 | Sc | Trijstūris | 6.3 | 83×53 | 720 | 17 | 13 |
| M 51** | Sc | Medību Suņi | 9.2 | 14×10 | 7000 | 29 | 80 |
| NGC 1300 | SB | Eridāna | 10.6 | 8×5 | 18 900 | 44 | — |
| L. Mag. Māk. | Ir | Zelta Zivs | 0.4 | 650×550 | 52 | 10 | 10 |
| M. Mag. Māk. | Ir | Tukāns | 2.4 | 315×185 | 63 | 6 | 2 |
| NGC 4151*** | SBa | Medību Suņi | 10.5 | 6×4 | 10 000 | 18 | 100 |

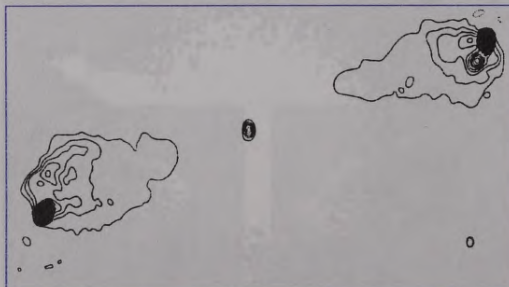
* — Radiogalaktika.

** — Mijiedarbojošā galaktika.

*** — Seiferta galaktika.

diapazonā. Kodola starжда veido ievērojamu daļu kopējās galaktikas starжда. Dažās aktivajās galaktikās redzamas gāzu strūklas, kas stiepas lielā attālumā no galaktikas centra (5.11. att.). Kodola starjums nav termiskais starjums, bet gan sinhrotroniskais starjums.

Sinhrotroniskais starjums rodas, kad elektroni, kuru ātrums ir tuvs gaismas ātrumam, nokļūst spēcīgā magnētiskajā laukā. Tad atkarībā no elektronu



5.12. att. Radiogalaktika Gulbja A.

Radiostarjums nāk no diviem simetriski izvietotiem apgabaliem, kas atrodas tālu ārpus galaktikas redzamās daļas (centrā). Melnajos plankumos radiostarjuma intensitāte ir vislielākā.

enerģijas un magnētiskā lauka intensitātes novērojams radiostarjums, optiskais vai rentgenstarjums. Starjuma spektrs atšķiras no termiskā starjuma spektra. Tā intensitāte pakāpeniski pieaug, samazinoties viļņa garumam. Sinhrotronisko starjumu izstaro ne tikai aktīvo galaktiku kodoli, bet arī supernovu miglāji un pulsāri.

Aktīvās galaktikas iedala radiogalaktikās un Seiferta galaktikās. Aktīvo galaktiku ir $\approx 1\%$ no visām galaktikām. Tās nav īpašs galaktiku tips. Aktivitāti izrāda gan spirālveida, gan eliptiskās, gan neregulārās galaktikas.

Par radiogalaktikām sauc galaktikas, kas dod spēcīgu radiostarjumu. Radiodiapazonā tās izstaro vairāk enerģijas nekā visas galaktikas zvaigznes optiskajā diapazonā. Vairumā gadījumu tās ir masīvas eliptiskās galaktikas. Radiostarjums plūst nevis no pašas galaktikas, bet no diviem starjuma avotiem abpus tās. To rada gāzes strūklas, kas ir izmestas no galaktikas kodola un sniedzas 10...100 kpc attālumā. Spēcīgi staro radiogalaktikas Jaunavas A (M 87), Centaura A (NGC 5128) un Gulbja A (5.12. att.).

Seiferta galaktikām ir spoži zvaigžņveida kodoli un platas emisijas līnijas to spektros.

Galvenokārt tās ir šķērsotās spirālveida galaktikas. Seiferta galaktikas pastiprināti staro infrasarkanajā, ultravioletajā un rentgenstaru apzonā (5.13. att.). To kodolu diametrs ir mazāks nekā 10 pc. Seiferta galaktikas lēni maina spožumu. Kopējā spožuma izmaiņa ir 1...2^m. Tipiska Seiferta galaktika ir NGC 4151 Medību Suņu zvaigznājā. Galaktiku kodolu aktivitātes cēloņi vēl nav noskaidroti.

Galaktiku aktivitātes izskaidrošanai ir izvirzītas trīs hipotēzes.

1. Aktivās galaktikas kodolā atrodas melnais caurums, kurā krīt gāze un zvaigznes.
2. Galaktikas centrā atrodas milzīgs, rotējošs plazmas ķermenis ar spēcīgu magnētisko lauku.
3. Galaktikas kodolā atrodas blīva zvaigžņu kopa, kurā notiek zvaigžņu sadursmes un bieži supernovu uzliesmojumi.

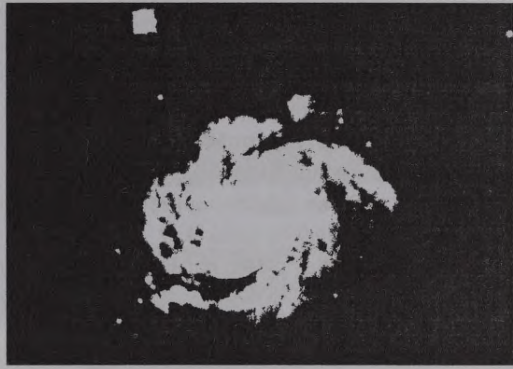
Enerģija, kas rodas šajos procesos, ir pietiekama, lai pamatotu kodola spēcīgo starojumu un gāzu izvirzumus no tā. Tomēr neviena no šīm hipotēzēm neizskaidro galaktiku aktivitāti pilnībā.

Mijiedarbojošās galaktikas. Arī galaktikas reizēm pastāv pa pāriem vai veido vairākkārtīgas sistēmas. *Ja galaktikas atrodas tik tuvu kopā, ka savstarpējās gravitācijas iedarbības rezultātā tās ir būtiski mainījušas savu veidolu, tad tās sauc par mijiedarbojošām galaktikām* (5.14. att.).

Mijiedarbojošos galaktiku iedalījums ir šāds.

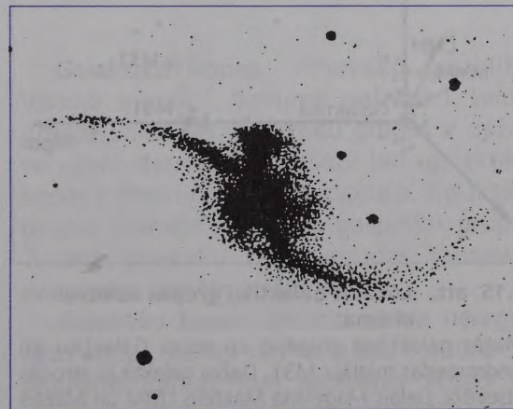
- ✦ Galaktikas ar savienojumu (starp galaktikām redzama tieva "saitīte").
- ✦ Galaktikas ar "astēm" (vienai vai abām galaktikām redzamas "astes", kas parasti vērstas pretējos virzienos).
- ✦ Galaktika ar pavadoni (viens no galaktikas spirālzarēm stiepjas līdz tās pavadonim).
- ✦ Galaktiku "ligzdas" (vairākas galaktikas atrodas cieši kopā, un tās apņem kopīgs miglains apvalks).

Mijiedarbojošos galaktiku pārus veido gan spirālveida, gan eliptiskās galaktikas. Par mijiedarbojošām var kļūt galaktikas, kas iet tuvu garām viena otrai vai saduras. Sadursme šajā gadījumā ir nosacīts jēdziens, jo attālumam starp zvaigznēm galaktikās ir ļoti lieli un galaktikas var brīvi iziet viena otrai cauri, zvaigznēm nesaskaroties. Taču notiek savstarpēja



5.13. att. Seiferta galaktika M 77 Vaļa zvaigznājā.

gravitācijas mijiedarbība, kas īpaši ietekmē galaktikās esošo gāzi. Iespējams arī galaktiku "kanibālisms", kad lielākā galaktika "aprij" mazāko, piesaistot sev daļu tās zvaigžņu. Galaktiku sadursme ilgst vairākus simtus miljonu gadu, tādēļ no Zemes tā šķiet nemainīga, sastingusi aina. Ja galaktiku savstarpējie ātrumi ir mazi, tad dažu miljardu gadu laikā tās var saplūst vienā. Iespējams, ka mijiedarbojošās galaktikas rodas arī, galaktikai sadaloties. Tā var rasties galaktika ar pavadoni, kas atdalās no galaktikas spirālzarē. Šādas zvaigžņu sistēmas piemērs ir Atvara galaktika M 51 Medību Suņu zvaigznājā. Mijiedarbojošos galaktiku skaits salīdzinājumā ar kopējo galaktiku skaitu ir neliels.



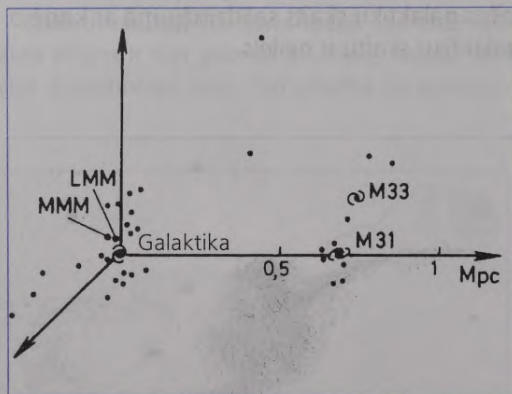
5.14. att. Mijiedarbojošā galaktika.

Jautājumi.

1. Vai Andromedas miglājs īstenībā ir miglājs?
2. Vai mūsu Galaktika ir pundurgalaktika?
3. Ko nozīmē apzīmējums Sbc?
4. Nosauciet dažādu galaktiku tipu piemērus!
5. Kāda ir eliptisko galaktiku un kāda — neregulāro galaktiku krāsa?
6. Ko sauc par Seiferta galaktiku?
7. Kādas ir mijiedarbojošos galaktiku galvenās formas?

5.5. GALAKTIKU KOPAS UN KVAZĀRI

Attālumi līdz galaktikām. Galaktikas šķir neiedomājami attālumi. Zemei tuvākā patstāvīgā galaktika — Andromedas miglājs atrodas 690 kpc jeb 2,25 milj. ly attālumā. Tas nozīmē, ka gaisma no šīs galaktikas, pārvietodamās ar vislielāko dabā iespējamo ātrumu, nokļūst līdz Zemei vairāk nekā 2 miljonus gadu. Ievērojami tuvāk atrodas mūsu Galaktikas pavadoņi: Lielais Magelāna Mākonis (52 kpc) un Mazais Magelāna Mākonis



5.15. att. Lokālās galaktiku grupas uzbūves shēma.

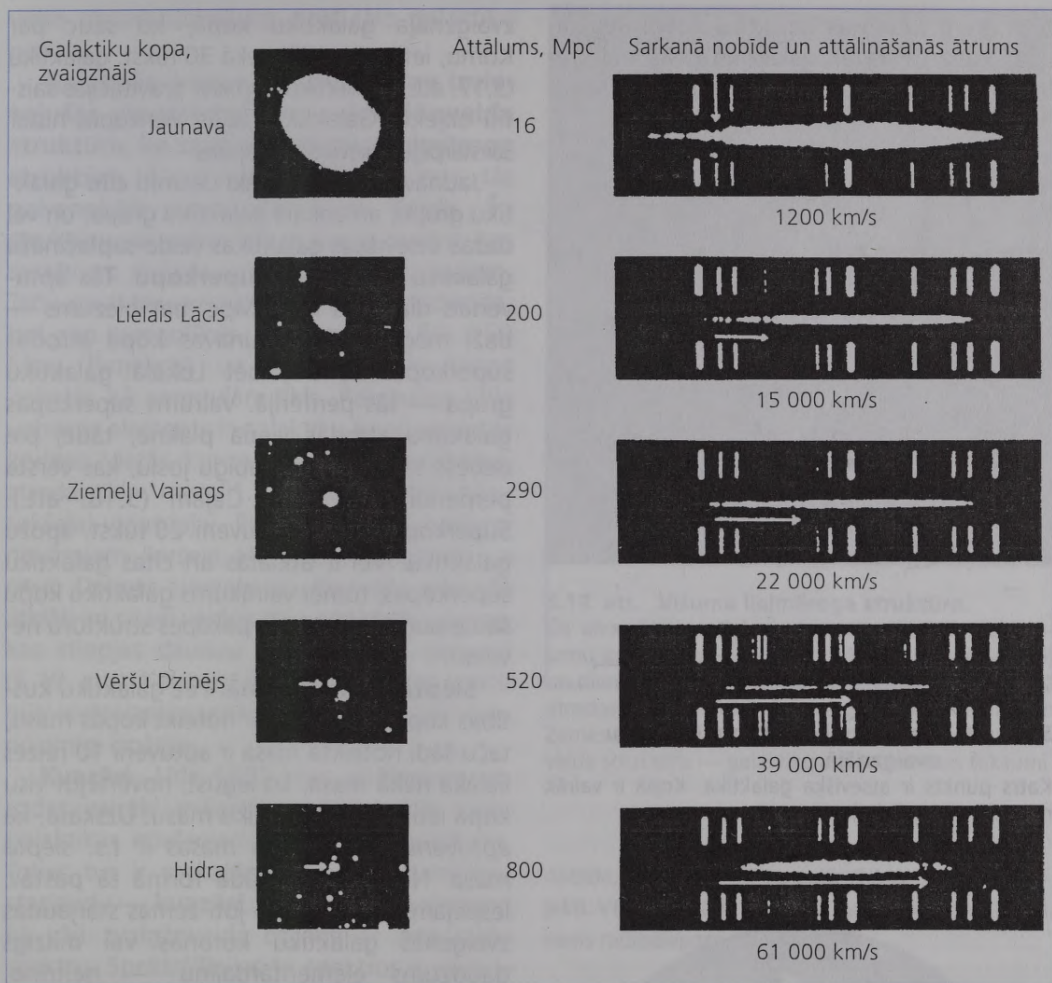
Mazās galaktikas grupējas ap mūsu Galaktiku un Andromedas miglāju M31. Dažas galaktikas atrodas atsevišķi. Lielais Magelāna Mākonis LMM un Mazais Magelāna Mākonis MMM atrodas tuvu Galaktikai. M33 ir spirālveida galaktika Trijstūra zvaigznājā.

(63 kpc), bet attālumi līdz tālajām galaktikām mērāmi daudzos megaparsekos (Mpc).

Tikai līdz tuvākajām galaktikām attālumu var noteikt, izmantojot cefeīdas, vai novērtēt to pēc raksturīgajiem galaktikas objektiem: spožākajām pārmilzu zvaigznēm, lielākajiem miglājiem vai supernovām. Taču vislabākais "metramērs" kosmosa plašumos ir Habla likums.

Galaktikas attālinās cita no citas, turklāt, *jo lielāks attālums līdz galaktikai, jo lielāks tās attālināšanās ātrums*. Tas ir **Habla likums**. Matemātiskā formā to pieraksta šādi: $v = Hr$, kur v — galaktikas attālināšanās ātrums (km/s), r — attālums līdz galaktikai (Mpc), H — Habla konstante. Konstantes vērtība nav precīzi zināma, tā ir intervālā 50...100 km/(sMpc). Šajā grāmatā pieņemts, ka Habla konstante ir 75 km/(sMpc). Tātad, lai noteiktu attālumu līdz galaktikai, jāzina tās attālināšanās ātrums, ko var aprēķināt pēc spektrālliniju nobīdes galaktikas spektrā Doplera efekta dēļ (5.16. att.). Vairumam galaktiku spektrāllinijas ir nobīdītas uz spektra sarkano galu, tādēļ šo nobīdi sauc par *sarkano nobīdi*. Jo lielāka sarkanā nobīde, jo lielāks galaktikas ātrums un attālums. Tā kā attāluma vērtība ir atkarīga no Habla konstantes vērtības, tad astronomiskajos datos bieži norāda sarkano nobīdi, nevis attālumu.

Lokālā galaktiku grupa. Mūsu Galaktika ietilpst galaktiku grupā, ko sauc par Lokālo galaktiku grupu. Tajā ir aptuveni 40 galaktiku, kas aizņem kosmisko telpu aptuveni 2 Mpc diametrā. Divas galvenās galaktikas tajā ir



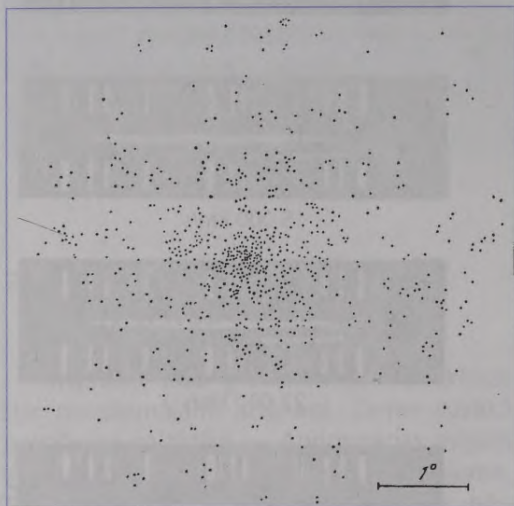
5.16. att. Piecas galaktikas dažādās galaktiku kopās ir sakārtotas pieaugošā sarkanās nobīdes (horizontālā bultiņa), attālināšanās ātruma un attāluma secībā.

mūsu Galaktika un Andromedas miglājs — lielas spirālveida galaktikas (5.15. att.). Ap tām grupējas nelielas eliptiskās un neregulārās galaktikas. Mūsu Galaktikai ir aptuveni 20 šādu pavadoņu. Skatoties no Zemes, šīs nelielās galaktikas ir "izmētātas" pie debess dažādos virzienos. Andromedas miglāja grupā ietilpst 9 galaktikas, to skaitā spirālveida galaktika M 33. Šīs galaktikas izvietojušās pie debess līdzās. Mūsu Galaktika kopā ar Lokālo galaktiku grupu pārvietojas Jaunavas zvaigznāja virzienā ar ātrumu aptuveni 600 km/s.

Galaktiku kopas. Atsevišķu galaktiku Visumā ir maz. *Vairums galaktiku veido grupas un kopas.* Galaktiku grupās ir dažas vai daži desmiti galaktiku, bet galaktiku kopās ir simti un tūkstoši galaktiku. Galaktiku grupas piemērs ir Lokālā galaktiku grupa. Tuvākā galaktiku kopa atrodas Jaunavas zvaigznājā 16 Mpc attālumā.

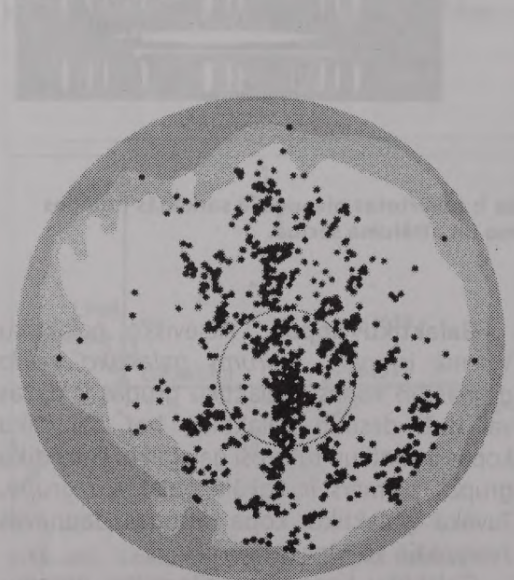
Galaktiku kopas nosacīti iedala neregulārās kopās, kurām nav noteiktu kontūru un regulāras formas, un regulārās kopās ar simetrisku formu un izteiktu galaktiku koncentrāciju centra virzienā. Neregulāras kopas

piemērs ir Jaunavas galaktiku kopa. Regulārajās kopās ir vairāk galaktiku nekā neregulārajās kopās. Piemēram, Berenikes Matu



5.17. att. Galaktiku kopa Berenikes Matu zvaigznājā.

Katrs punkts ir atsevišķa galaktika. Kopā ir vairāk nekā 30 000 galaktiku.



5.18. att. Superkopa, kurā ietilpst arī mūsu Galaktika, veido platu, vertikālu joslu pie debess ziemeļu puslodē.

Apļa centrā atrodas Jaunavas galaktiku kopa.

zvaigznāja galaktiku kopā, ko sauc par Komu, ietilpst vairāk nekā 30 tūkst. galaktiku (5.17. att.). Galaktiku kopas ir gravitācijas saistīti objekti. Galaktikas tajās vienkopus notur savstarpējais pievilkšanās spēks.

Jaunavas kopa, vairāki desmiti citu galaktiku grupu, arī Lokālā galaktiku grupa, un vēl dažas atsevišķas galaktikas veido saplacinātu galaktiku mākonī — **superkopu**. Tās aptuvenais diametrs ir 40 Mpc, bet biežums — daži megaparseki. Jaunavas kopa atrodas superkopas centrā, bet Lokālā galaktiku grupa — tās perifērijā. Vairums superkopas galaktiku atrodas vienā plaknē, tādēļ pie debess tās veido savdabīgu joslu, kas vērsta perpendikulāri Piena Ceļam (5.18. att.). Superkopā ietilpst aptuveni 20 tūkst. spožu galaktiku. Vēl ir atklātas arī citas galaktiku superkopas, tōmēr vairākums galaktiku kopu šādas augstākas kārtas pakāpes struktūru neveido.

Slēptā masa Visumā. Pēc galaktiku kustības kopas iekšienē var noteikt kopas masu, taču šādi noteikta masa ir aptuveni 10 reizes lielāka nekā masa, ko iegūst, novērtējot visu kopā ietilpstošo galaktiku masu. Uzskata, ka *aptuveni 90 % kopas masas ir t.s. slēptā masa*. Nav zināms, kādā formā tā pastāv. Iespējams, ka to veido ļoti zemas starjaudas zvaigznes galaktiku koronās vai milzīgs daudzums elementārdaļiņu — neitrīno, kurām, pēc jaunākajiem pētījumiem, ir niecīga, no nulles atšķirīga masa. Aptuveni 1/10 kopas masas veido ļoti retināta starpgalaktiku gāze, kas aizpilda visu kopas tilpumu. Slēptās masas problēmai astronomijā ir ļoti liela nozīme. *Ja slēptā masa pastāv, tad tā veido vairākumu Visuma masas*, un novērojamā matērija (zvaigznes, galaktikas) ir tikai "aisberga redzamā virsotne".

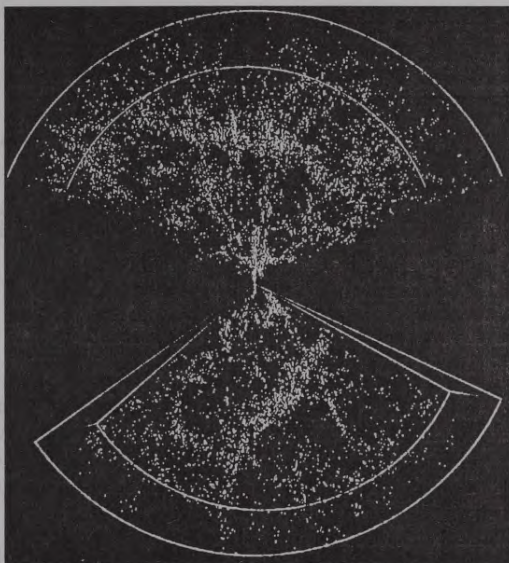
Visuma lielmēroga struktūra. Galaktiku kopas izvietojušās samērā cieši. Vidējais attālums starp tām ir tikai 10...20 reizes lielāks par to izmēriem. Ir zināmas aptuveni 4000 galaktiku kopas. Raugoties teleskopā noteiktā virzienā, redzami daudzi galaktiku kopu slāņi, kas pārklājas, apgrūtinot to izpēti. Vienīgais debess apgabals, kur nav galaktiku, ir Piena Ceļa apvidus — tajā starpzvaigžņu

vides absorbcija pilnīgi dzēš tālo galaktiku gaismu.

Galaktiku kopas un grupas nav izvietojušās vienmērīgi, bet veido šūnveida struktūru, ko sauc par Visuma lielmēroga struktūru. Šūnu vidū galaktiku ir maz, tās galvenokārt izvietojušās šūnu sienās. Šo struktūru var salīdzināt ar ziepju putām, kas sastāv no dažāda izmēra ziepju burbuļiem. Taču galaktiku veidotās šūnas nav lodveida, bet gan neregulāras. To diametrs ir 50...150 Mpc. Projektijā uz debess sfēras šūnas izskatās kā neregulārs tīkls. Raksturīgs tīkla uzbūves elements ir galaktiku kopu veidotās ķēdītes. Vietās, kur saskaras vairākas ķēdītes, atrodas tīkla "mezgli". Tīkla "acis" atbilst šūnu tukšajai vidusdaļai. Pie debess šādi tukšumi novērojami Perseja, Herkulesa zvaigznājā un citur. Debess ziemeļu un dienvidu puslodē atklāti arī citādi veidojumi — galaktiku sienas, kas stiepjas daudzu megaparseku garumā (5.19. att.). Kaut arī Visuma struktūras izpētē gūti ievērojami panākumi, tomēr tā nav viennozīmīgi izpētīta.

Kvazāri. Līdz 1500 Mpc attālumam atrodas vairāki miljardi galaktiku. Vēl tālāk galaktikas novērojamas ar lielām grūtībām. Toties tur ir saskatāmi *objekti ar milzīgu starjaudu* — **kvazāri**. Pie debess tie redzami kā vāji zvaigžņveida objekti ar neparastu spektru. Spektrālīnijas to spektros ir ievērojami pārbīdījušās lielas sarkanās nobīdes dēļ. Uzskata, ka kvazāri ir tālākie novērojamie objekti Visumā. Viens no tuvākajiem un spožākajiem kvazāriem ir 3C 273 Jaunavas zvaigznājā. Attālums līdz tam ir 630 Mpc (sarkanā nobīde 0,16). Viens no tālākajiem kvazāriem ir PC 1247+3406 Medību Suņu zvaigznājā. Tā sarkanā nobīde ir 4,9, un tas atrodas 3800 Mpc attālumā. Kopumā zināmi aptuveni 4000 kvazāru.

Kvazāri tika atklāti 1960. gadā kā radiostarojuma avoti. Nosaukums "kvazāri" ir saīsinājums no angļu valodas vārdiem *quasi-stellar radio sources* — kvazi-zvaigžņveida radiostarojuma avots. Sākumā tos uzskatīja par radiozvaigznēm, jo optiskajā diapazonā tie bija redzami kā vājas zvaigznītes. Kad tika atšifrēti pirmie kvazāru spektri un konstatēta to lielā sarkanā

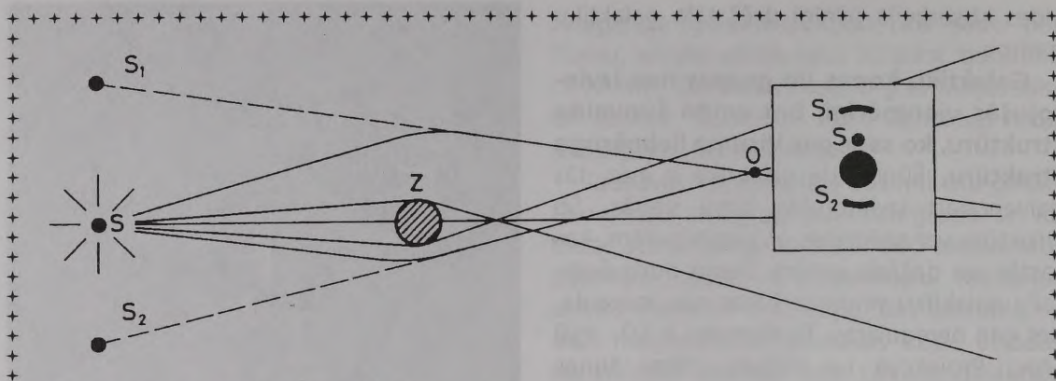


5.19. att. Visuma lielmēroga struktūra.

Šīs divas "ķirbja sloksnes" attēlo galaktiku izvietojumu atkarībā no attāluma ziemeļu puslodē (augšā) un dienvidu puslodē (apakšā). Slokšņu saskarpunktā atrodas Zeme. Slokšņu ārmalā galaktiku attālums no Zemes sasniedz 160 Mpc. Labi redzama Visuma šūnveida struktūra — galaktiku sablīvējumi un tukšumi.

nobīde, kļuva skaidrs, ka patiesībā tie ir ļoti tāli objekti. Vēlāk kvazāri tika atklāti galvenokārt optiskajā, nevis radiodiapazonā.

Pēc mūsdienu priekšstatiem, **kvazāri ir ļoti tālu galaktiku aktīvie kodoli.** Lielā attāluma dēļ galaktika, kas apņem kvazāru, nav redzama. Kvazāri ir visjaudīgākie starotāji Visumā. To starjauda ir aptuveni 10^{40} J/s, kas 1000 reizes pārsniedz mūsu Galaktikas starjaudu. Kvazāru spožums nedaudz mainās. Spožuma maiņas periods ir no dažām nedēļām līdz dažiem mēnešiem. Kvazāri ir līdzīgi Seiferta galaktikām, tikai kvazāru starojums ir spēcīgāks. Kvazāri izstaro ne vien redzamo gaismu, bet arī radioviļņus un rentgenstarojumu. Nedaudziem kvazāriem ir novērojamas garas gāzu izvirdumu strūklas. Kvazāri joprojām nav pietiekami izpētīti objekti. Pastāv uzskats, ka kvazāri ir jaunas galaktikas, kas atrodas straujas attīstības posmā.



5.20. att. Gravitācijas lēcas darbības princips.

Tāla objekta S izstarotie gaismas stari noliecas zvaigznes Z gravitācijas laukā. Ja novērotājs atrodas netālu no taisnes objekts—zvaigzne, tad punktā O viņš redzēs šādu ainu: zvaigzni, virs tās objektu S un divus gravitācijas lēcas veidotus lokveida attēlus S_1 un S_2 .

Gravitācijas lēca. Ar kvazāriem un tālām galaktikām ir saistīta interesanta fizikāla parādība, ko sauc par *gravitācijas lēcu*. No relativitātes teorijas izriet, ka gaisma, ejot garām materiālam ķermeņim, noliecas tā gravitācijas laukā. Staru nolieces lielums ir atkarīgs no attāluma līdz ķermeņim un ķermeņa masas. Tas nozīmē, ka dažādi Visuma objekti (zvaigznes, galaktikas, galaktiku kopas) var darboties kā savdabīgas lēcas un fokusēt tālāk atrodošos objektu starojumu. Tādējādi vājš starojums tiek pastiprināts un kļūst iespējams novērot ļoti tālus objektus. Zvaigznei attēla veidošanās likumsakarības ir vienkāršas. Ja tālais objekts atrodas tieši aiz zvaigznes, tad tas izskatās kā gredzens ap zvaigzni. Ja objekts atrodas iesāņus, tad gravitācijas lēca veido divus lokveida attēlus dažādā attālumā no zvaigznes (5.20. att.).

Galaktikai šīs likumsakarības ir sarežģītākas, jo jāņem vērā visas galaktikas gravitācija.

Gravitācijas lēca rada divus vai vairākus objekta attēlus. Parasti tiem ir loka forma.

Gravitācijas lēcu atklāšanas vēsture ir šāda. Lielā Lāča zvaigznājā tika atklāts dubultkvazārs QSO 0957+561. Eksperimentāli noteiktais attālums līdz abām kvazāra sastāvdaļām bija vienāds. Tālāku pētījumu rezultātā kļuva skaidrs, ka nav divu kvazāru, bet viena kvazāra divi attēli, kurus rada gravitācijas lēca — galaktika, kas atrodas aptuveni divas reizes tuvāk. Ir zināmas daudzas gravitācijas lēcas, un tās tiek joprojām atklātas. Gravitācijas lēca ir kā dabisks kosmiskais teleskops, kas paver jaunas astronomisko novērojumu iespējas.

Jautājumi.

1. Attālums līdz Jaunavas galaktiku kopai ir 14 Mpc. Ar cik lielu ātrumu tā attālinās?
2. No kā sastāv galaktiku superkopa?
3. Galaktikas attālinās cita no citas. Vai galaktiku kopu izmēri palielinās?
4. Kurā debess daļā ir ļoti maz galaktiku?
5. Kāpēc kvazāri redzami lielākā attālumā nekā galaktikas?
6. Kā radies nosaukums "kvazārs"?
7. Ar ko gravitācijas lēca atšķiras no parastās lēcas?

5.6. VISUMA UZBŪVE

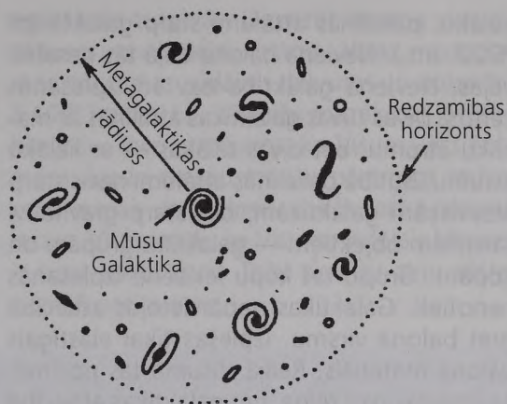
Visumu kā vienotu struktūru, tā uzbūvi un attīstību pēta astronomijas nozare — kosmoloģija. Tajā aplūkoti tādi neparasti jēdzieni kā laika rašanās un telpas liekums. Lai šos jēdzienus uztvertu, nākas atteikties no ikdienā ierastajiem priekšstatiem.

Metagalaktika. *Novērojumiem pieejamo Visuma daļu sauc par Metagalaktiku.* Telpas apgabalos, kuru diametrs lielāks par dažiem simtiem Mpc, matērija sadalīta vienmērīgi, kaut gan apgabala iekšienē tā grupējas galaktikās un galaktiku kopās. Kopumā Visums ir homogēns (viendabīgs) un izotropš (visos virzienos vienāds).

Metagalaktika ir liela, taču ne bezgalīga. Tās izmērus nosaka gaismas izplatīšanās ātrums. Kopš Visuma rašanās gaisma ir paspējusi veikt galīgu attālumu, tādēļ novērotājs var redzēt visu, kas notiek noteiktas sfēras iekšpusē. Taču, lai cik spēcīgs teleskops būtu viņa rīcībā, viņš nevar redzēt, kas notiek ārpus sfēras, jo gaisma no apgabaliem ārpus tās novērotāju vēl nav sasniegusi. Sfēras virsmu sauc par **redzamības horizontu** (5.21. att.). Horizonta pastāvēšana nenozīmē to, ka aiz tā nekā nav. Tur tāpat turpinās Visums. Tāpat kā horizonts novērotājam uz Zemes ierobežo redzamību, tā tas notiek arī Visumā. Ja Habla konstantes vērtība ir $75 \text{ km}/(\text{s}\cdot\text{Mpc})$, tad Metagalaktikas diametrs ir aptuveni 8000 Mpc.

Pie redzamības horizonta galaktiku attālināšanās ātrums tuvojas gaismas ātrumam, bet sarkanās nobīdes vērtība — bezgalībai. Tas nozīmē, ka starojums no redzamības horizonta nevar mūsu Galaktiku sasniegt.

Ieskatoties arvien dziļāk Metagalaktikā, varam ieskatīties arvien tālāk Visuma pagātnē. Jo tālāk atrodas objekts, jo gaismai paiet ilgāks laiks, kamēr tā sasniedz Zemi. Gaisma no Jaunavas galaktiku kopas nāk 45 miljonus gadu, tātad mēs redzam šo kopu nevis tādu, kāda tā izskatās pašlaik, bet gan tādu, kāda tā izskatījās senā pagātnē. Gaisma, kas nāk no kvazāra 3C 273, ir atstājusi to pirms 2 miljardiem gadu. Tālākos kvazārus mēs redzam tādus, kādi tie izskatījās aptuveni pirms 10 mljrd. gadu, laikposmā, kad Visums bija

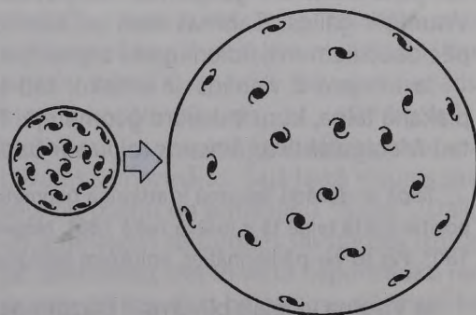


5.21. att. Redzamības horizonts.

jauns un galaktikas tajā bija nesen izveidojušās. Kvazāri un citi tālie Visuma objekti ir kā logs uz Visuma pagātni.

Visuma izplešanās. No galaktikām un citiem Visuma objektiem piemītošās sarkanās nobīdes vērtības var secināt, ka *attālumi starp galaktikām palielinās un Visums izplešas.* Skatoties no mūsu Galaktikas, redzams, ka citas galaktikas attālinās. Turklāt, jo tālāk tās atrodas, jo lielāks ir to attālināšanās ātrums. Taču tas nenozīmē, ka mūsu Galaktika ir Visuma centrs. Skatoties no citas galaktikas, novērojamā izplešanās aina būtu tāda pati.

Iedomāsimies, ka galaktikas ir izvietotas it kā uz gaisa balona virsmas. Pūšot balonu



5.22. att. Visuma izplešanās salīdzinājums ar balona piepūšanu.

Piepūšot balonu lielāku, uz tā virsmas attēlotie punkti attālinās cits no cita.

lielāku, palielinās attālumi starp galaktikām (5.22. att.). Nevienā balona daļā tās nesabli-
vējas. Neviena galaktika nav arī izplešanās
centrs. Divas tuvas galaktikas attālinās ar ma-
zāku ātrumu, bet divas tālākas — ar lielāku
ātrumu. Būtībā palielinās attālumi nevis starp
atsevišķām galaktikām, bet starp gravitatīvi
saistītiem objektiem — galaktiku grupām un
kopām. Grupu un kopu iekšienē izplešanās
nenotiek. Galaktikas nepārvietojas attiecībā
pret balona virsmu. Izplešas tikai elastīgais
balona materiāls. Reālā Visumā tas nozīmē,
ka *izplešas pati telpa*, bet galaktikas attiecībā
pret to nepārvietojas. Līdz ar to nerodas pa-
radokss, ka divas ļoti tālas galaktikas, piemē-
ram, viena Metagalaktikā, bet otra ārpus tās
attālinās ar ātrumu, kas pārsniedz gaismas

ātrumu. Pēc vispārīgās relativitātes teorijas
šādos attālumos paši attāluma un ātruma jē-
dzieni kļūst nosacīti. Arī sarkanā nobīde maina
nozīmi. Gaismas viļņa garums palielinās tādēļ,
ka izplešas telpa, kurā gaismas stars ceļo no
viena objekta līdz otram. Analogiju ar balonu
izmantojām uzskatāmības labad. Taču neva-
jag iedomāties, ka Visums ir lode, kas izplešas
tukšā telpā. **Visums ir viss, kas pastāv.** Ār-
pus tā nekā nav — ne tikai galaktiku, bet arī
ne telpas, ne laika.

Visuma izplešanās ātrums arvien samazi-
nās Visumā esošo ķermeņu savstarpējās pie-
vilkšanās dēļ. Ja Visuma izplešanās ātrums
samazinās, tad mainās arī Habla konstante.
Agrāk tā bija lielāka, bet turpmāk kļūs arvien
mazāka. Tiesa, šīs izmaiņas manāmas tikai

+++++
+
+ **Telpas ģeometrija.** No vispārīgās relativitātes teorijas izriet, ka *Visumā esošā matē- rija maina telpas īpašības, radot tās liekumu.* Iespējami trīs varianti.
+ Ja vidējais blīvums ir lielāks par kritisko, tad telpas liekums ir pozitīvs. Šādu telpu
+ sauc par izliektu jeb **slēgtu telpu**. Telpas liekumu nav iespējams iedomāties, jo mēs
+ atrodamies šajā telpā un nespējam paskatīties uz to no ārpuses. To var aprakstīt tikai
+ matemātiski.
+ Kā analogiju aplūkosim lodi, kuras virsmai arī ir pozitīvs liekums. Iedomāsimies, ka
+ skudra rāpo pa lielu, gludu lodi un tā dzīvo divās dimensijās. Respektīvi, skudra zina,
+ kas ir garums un platums, bet nepazīst jēdzienu "augstums". Skudrai pasaule liekas
+ neierobežota, jo lodei nekur nav "malas". Ja lode salīdzinājumā ar skudru ir pietiekami
+ liela, tad tās virsmas liekumu skudra praktiski nemana. Vienīgi, ja skudra dotos ilgstošā
+ ceļojumā un rāpotu tikai uz priekšu, tad, atgriezoties ceļojuma sākumpunktā, tā
+ saprastu, ka viņas pasaule ir galīga. Visumam salīdzinājumā ar lodi ir par vienu dimensiju
+ vairāk — garums, platums un arī augstums.
+ Ja telpas liekums ir pozitīvs, tad Visums ir neierobežots (tam nav malas vai robežas),
+ tomēr tā tilpums ir galīgs. Tas nozīmē, ka matērijas daudzums un galaktiku skaits šādā
+ Visumā ir galīgs. Gaismas stars vai kosmosa kuģis, kas pārvietojas taisnlinijas virzienā,
+ pēc daudziem miljārdiem gadu atgriezīsies palaišanas vietā.
+ Ja blīvums ir vienāds ar kritisko, tad telpas liekums ir nulle un tā ir mums zināmā
+ plakanā telpa, kuru izskaidro ģeometrija. Tā kā reālais Visuma liekums ir visai tuvu nullei,
+ tad *Metagalaktikas ietvaros telpu var uzskatīt par plakanu.*
+ Telpā ar dažādu liekumu ir atšķirīga ģeometrija. Plakanā telpā trijstūra leņķu summa ir 180°, bet
+ pozitīvi liektā telpā tā ir lielāka nekā 180°. Negatīvi liektā telpā trijstūra leņķu summa ir mazāka nekā
+ 180°. Par to var pārliecināties, aplūkojot trijstūrus uz dažādi liektām virsmām.
+ Ja Visuma vidējais blīvums ir mazāks par kritisko, tad telpas liekums ir negatīvs. Divās
+ dimensijās šādas telpas analogs, piemēram, ir seglveida virsma. Gan plakana, gan
+ negatīvi liekta telpa ir vaļēja. Tā stiepjas bezgalīgi uz visām pusēm. Bezgalīgu Visumu ar
+ bezgalīgu galaktiku skaitu nemaz nav vieglāk iedomāties kā pozitīvi liektu telpu.
+++++

miljardiem gadu laikā. *Lai noteiktu, kā Visuma izplešanās turpināsies nākotnē, ir jāzina Visuma vidējais blīvums.* Ja vidējais blīvums ir pietiekami liels, tad pievilksanas spēks apstādina izplešanos un Visums sāk sarauties. Ja blīvums ir vienāds ar noteiktu blīvumu, ko sauc par kritisko blīvumu un kura vērtība pēc aprēķiniem ir 10^{-26} kg/m³, tad izplešanās kļūst arvien lēnāka un pēc bezgalīgi ilga laika izbeigsies. Ja blīvums ir mazāks par kritisko, tad

izplešanās turpinās. Diemžēl Visuma vidējais blīvums nav precīzi zināms. Visas novērojamās matērijas vidējais blīvums ir aptuveni $5 \cdot 10^{-28}$ kg/m³, t.i., 20 reīzu mazāk par kritisko blīvumu. Taču iespējams, ka Visumā ir slēptā masa, kuras daudzums var pārsniegt redzamās masas daudzumu vairāk nekā desmit reizes. Visticamāk, ka Visuma vidējais blīvums ir tuvu kritiskajam. Taču precīzu ziņu astronomijā par to nav.

Jautājumi.

1. Vai Metagalaktika un Visums ir viens un tas pats?
2. Galaktiku kopas izvietojšanās telpā nevienmērīgi. Kāpēc Visumu tomēr var uzskatīt par viendabīgu?
3. Kas atrodas aiz redzamības horizonta?
4. Galaktikas attālinās no mūsu Galaktikas uz visām pusēm. Vai Zeme atrodas Visuma centrā?
5. Vai Visums ir galīgs vai bezgalīgs?
6. No kā ir atkarīgs Visuma izplešanās raksturs nākotnē?
7. Ko sauc par liektu telpu?

5.7. VISUMA PAGĀTNE UN NĀKOTNE

Lielais Sprādziens. Ja Visums izplešas, tad agrāk tas ir bijis mazāks. Iedomāti atskatoties pagātnē, nokļūstam līdz Visuma izplešanās sākuma brīdim. Pēc mūsdienu priekšstatiem, **Visums ir radies Lielajā Sprādzienā aptuveni pirms 10...15 mljrd. gadu.** Precīzs Visuma vecums nav nosakāms, jo precīzi nav zināma Habla konstantes vērtība, kas raksturo Visuma izplešanās ātrumu. Jautājumam "Kas bija pirms Lielā Sprādziena?" nav jēgas, jo laiks un telpa radās reizē ar Visumu. Protams, ir grūti iedomāties, ka laiks un telpa kādreiz nepastāvēja. Uz jautājumu "Kāpēc radās Visums?" pagaidām nav pārliecinošas atbildes. Visuma attīstībā ļoti nozīmīgi bija tā pastāvēšanas pirmie mirklī (pat ne pirmās sekundes, bet niecīgas sekundes daļas), jo tie noteica Visuma attīstības turpmāko gaitu.

Ir izvirzīta hipotēze, ka Visums radies kā neliela, nejauša nobīde (fluktuācija) sarežģītas konfigurācijas vakuuma telpā ar neparastām īpašībām un milzīgu enerģiju. Tad Visums

"nodalījās" un sāka eksistēt patstāvīgi. Šī koncepcija pieļauj citu — neatkarīgu un nenovērojamu Visumu pastāvēšanu, kuru īpašības var būt gluži citādas nekā mūsu Visumam.

Aplūkosim Visuma attīstību kopš laika momenta, kad Visuma vecums bija 10^{-35} s. Šajā brīdī Visums sastāvēja no elementārdaļiņu sastāvdaļām — **kvarkiem**, kas pēc 1/1 000 000 s apvienojās, izveidojot pašas elementārdaļiņas. Tad sākās **hadronu** — *smago elementārdaļiņu ēra*, kas ilga tikai 1/10 000 s, bet kuras laikā risinājās svarīgi notikumi. Ēras sākumā Visums bija ļoti karsts (≈ 1000 mljrd. K) un blīvs (blīvums vienāds ar atomu kodolu blīvumu, t.i., 10^{17} kg/m³). Izplešoties Visums pakāpeniski atdzīsa un tā blīvums samazinājās. Šajā laikā Visums sastāvēja no daļiņu un antidaļiņu "jūras". Daļiņas un antidaļiņas saduroties savstarpēji iznīcinājās (anihilējās), bet to vietā nepārtraukti radās jaunas daļiņas. Ēras beigās gandrīz visas hadronu daļiņas un antidaļiņas anihilēja, pārvēršoties starojumā. Neliels daudzums daļiņu "palika pāri", jo to bija nedaudz vairāk nekā antidaļiņu. Ja daļiņu un antidaļiņu skaits būtu

bija vienāda. Šis ēras laikā Visumā radās tie sīkie vielas sablīvējumi, kas nākotnē veicināja galaktiku un galaktiku kopu izveidošanos. Ēras beigās temperatūra pazeminājās līdz 4000 K un starojums vairs nespēja jonizēt ūdeņradi. Ūdeņradis rekombinēja, t.i., piesaistīja elektronu un kļuva neitrāls (iepriekš tas notika arī ar hēliju). Viela kļuva caurspīdīga, un starojums varēja brīvi pārvietoties visos virzienos. *Starojums un viela it kā atdalījās viens no otra.* Visuma attīstībā iesākās **vielās ēra**, kas turpinās joprojām un kurā vielai ir galvenā nozīme.

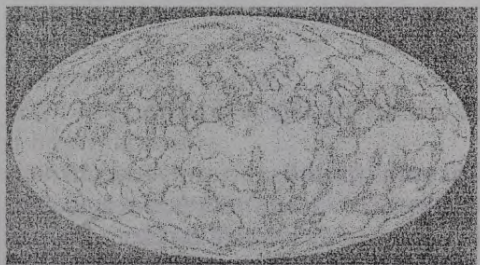
Galaktiku veidošanās un evolūcija. Jautājums par galaktiku veidošanos ir neskaidrs, jo trūkst novērojumu, kas attiektos uz šo Visuma attīstības posmu. Novērojot galaktikas un kvazārus, iespējams ieskatīties Visuma pagātnē par vairākiem miljardiem gadu. Taču tas nav pietiekami, jo galaktiku veidošanās sākās aptuveni pēc miljarda gadu kopš Visuma rašanās. Tad Visums sastāvēja no jau atdzisušas, ļoti retinātas gāzes, kurā gravitācijas nestabilitātes rezultātā attīstījās sākotnējie sablīvējumi, līdz *Visums sadalījās atsevišķos gāzes mākoņos, kas sava pievilksanas spēka ietekmē sāka saspiesties.* Saskaņā ar pieņemto teoriju saspiēšanās rezultātā izveidojās plakani diski, kuru masa bija aptuveni vienāda ar galaktiku kopas masu.

Pēc tam šāds disks sadalījās fragmentos, no kuriem veidojās atsevišķas galaktikas un tajās savukārt — zvaigznes. Kamēr galaktikas bija jaunas, to starjauka bija paaugstināta, jo tās sastāvēja galvenokārt no jaunām zvaigznēm. No brīža, kad zvaigznēs sākās kodolreakcijas, temperatūra Visumā sāka paaugstināties. Tas notika lokāli — tikai zvaigznēs un zvaigžņu tuvumā, bet starpzvaigžņu telpā saglabājās zema temperatūra. Tā izveidojās pašlaik novērojamā Visuma struktūra.

Gravitācijas nestabilitātes būtība ir šāda. Ja viendabīgā gāzē nejauši rodas sablīvējums, tad tas var kļūt blīvāks gravitācijas spēka iedarbībā vai izlīdzināties gāzes spiediena ietekmē. Tas ir atkarīgs no sablīvējuma izmēriem. Ja sablīvējuma izmēri pārsniedz kādu noteiktu, kritisku lielumu, tad tas turpina palielināties. Šie kritiskie izmēri ir atkarīgi no gāzes temperatūras un blīvuma. Jo gāze karstāka, jo kritiskie izmēri ir lielāki. Blīvākā vidē kritiskie izmēri ir mazāki.

Visuma nākotne. Visumā spoži spīd miljardiem zvaigžņu, taču tā nebūs mūžīgi. Iztērējot savus kodolenerģijas krājumus, zvaigznes novecos un pārvērtīsies par baltajiem punduriem, neitronu zvaigznēm vai melnajiem caurumiem. Supernovu sprādzienos un citos zvaigžņu evolūcijas procesos daļa

+++++
 + **Reliktstarojums.** Starojums, kas atdalījās no vielas, sāka eksistēt patstāvīgi. Visu-
 + mam izplešoties, tā enerģija un temperatūra pakāpeniski samazinājās. Mūsdienās šī
 + starojuma temperatūra ir tikai 3 K un tas
 + staro radiodiapazonā. Šo starojumu at-
 + klāja 1965. gadā un nosauca par relikts-
 + starojumu (5.23. att.). Tas bija galvenais pie-
 + rādījums, ka zinātnieku priekšstati par
 + Visuma veidošanos ir pareizi.
 +
 + Reliktstarojums vienmērīgi aizpilda Visumu.
 + Pie debess tas veido gandrīz viendabīgu fonu.
 + Taču tajā jāpastāv kaut vai nelielām temperatūras
 + izmaiņām, kas norādītu uz to, ka starojuma ēra
 + pastāvējušas nelielas vielas blīvuma fluktuācijas,
 + kas vēlāk radīja Visuma pašreizējo struktūru.
 + 1992. gadā tika atklātas 0,00003 K lielas staro-
 + juma temperatūras fluktuācijas.
 + +++++



5.23. att. Reliktstarojuma fluktuāciju karte. Lielais ovāls attēlo visu debess sfēru. Dažādie plankumi iezīmē apgabalus ar atšķirīgu reliktsstarojuma temperatūru.

gāzes atgriezīsies starpzvaigžņu vidē. No tās, kā arī no sākotnējās gāzes krājumiem, veidosies jaunas zvaigznes, taču pakāpeniski šie gāzes krājumi izsīks.

Turpmākais **Visuma liktenis ir atkarīgs no tā, vai Visums turpinās izplesties vai sāks sarauties.** Ja izplešanās nomainīs saraušanās, tad Visuma blīvums un temperatūra paaugstināsies, bet attālumi starp galaktikām samazināsies, līdz Visums atkal kļūs par necīgu objektu ar milzīgu blīvumu līdzīgi tam, kā tas bija Lielā Sprādziena brīdī. Jau kādu laiku pirms tam Visumā pastāvošie ķermeņi (atskaitot melnos caurumus) sabruks atsevišķās elementārdaļiņās. Iespējams, ka ar to Visuma pastāvēšana arī beigsies, taču iespējams, ka sāksies jauns izplešanās cikls, kurā Visuma īpašības var būt gluži citādas.

Ja Visuma izplešanās turpināsies mūžīgi, tad pēc vairākiem simtiem miljardu gadu tas sastāvēs tikai no baltajiem punduriem, ne visai daudz neitronu zvaigznēm, kā arī no

melnajiem caurumiem. Baltie punduri un neitronu zvaigznes lēni atdzisis, pārvērties melnajos punduros, kas neko neizstaro. Zvaigznes Visumā nodzisis, paliks tikai gaisma un daļiņu plūsmas, kas pārvietosies starp nodzisušajiem ķermeņiem. Temperatūra viscaur izlīdzināsies un kļūs ļoti zema. Pēc $\approx 10^{19}$ gadu "iztvaikos" galaktikas — vairs nespīdošās zvaigznes pakāpeniski aizlidos no tām, tāpat kā no šķidrums lēni iztvaiko molekulas. Vienīgi melnie caurumi saglabāsies gandrīz bez izmaiņām.

Visuma tālākais nākotnes apraksts ir atkarīgs no elementārdaļiņu īpašībām. Ja protons nav stabila daļiņa, tad aptuveni pēc 10^{31} gadiem protoni sabruks un visi ķermeņi pārvērtīsies elementārdaļiņās. Vienīgi melnie caurumi saglabās savu "individualitāti". Taču arī tie nepastāvēs mūžīgi. Melnajiem caurumiem ir novērojams efekts, ko sauc par iztvaikošanu. Piemēram, melnais caurums ar Saules masu "iztvaiko" 10^{70} gadu laikā. Pēc tam Visums sastāvēs tikai no elementārdaļiņām.

Jautājumi.

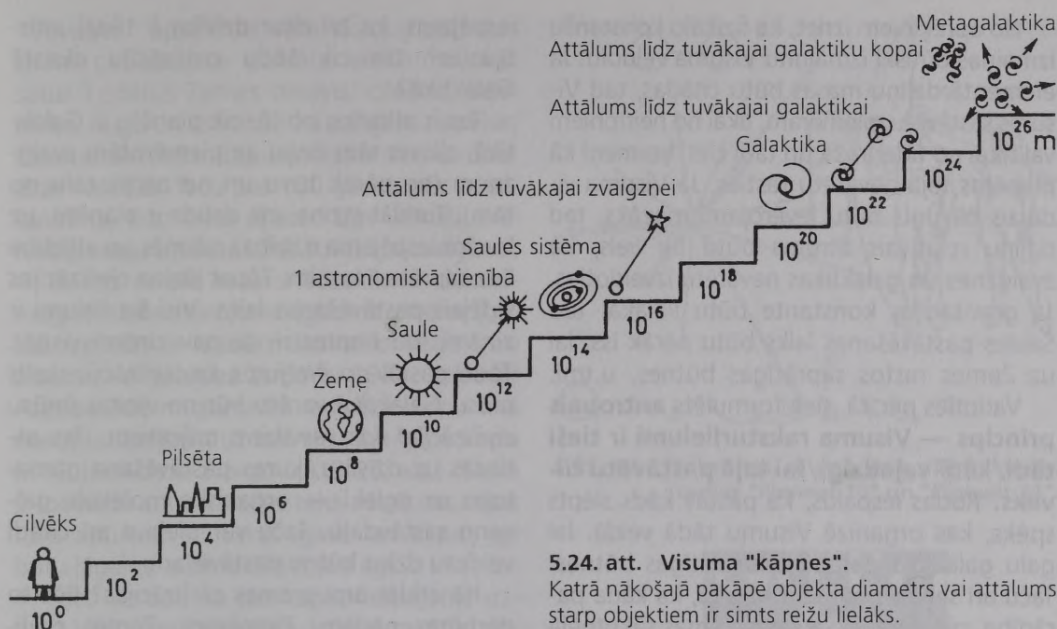
1. Kas ir Lielais Sprādziens?
2. Cik vecs ir Visums?
3. Kas pastāvēja pirms Visuma?
4. Kādi novērojumi apstiprina Visuma veidošanās teorijas pareizību?
5. Kad radās Visuma struktūras "iedīgļi"?
6. Kā izveidojās galaktikas?
7. Kādas atšķirības pastāvēs Visuma uzbūvē nākotnē atkarībā no tā, vai Visums sāks sarauties vai turpinās izplesties?

5.8. CILVĒKS UN VISUMS

Visuma modelis. Lai aptvertu, cik liels ir Visums, izveidosim tā trīs pakāpju modeli, jo ar vienu modeļa pakāpi visu nav iespējams attēlot. Pieņemsim, ka modeļa pirmās pakāpes mērogs ir 1:100 000 000. Attēlosim tajā Saules sistēmu. Šādā mērogā Zemes diametrs ir 12,8 cm. Rīga uz zemeslodes virsmas būtu redzama kā punkts ar 0,3 mm diametru, bet atsevišķus

cilvēkus varētu ieraudzīt tikai elektronu mikroskopā — tie būtu tikai nedaudz lielāki par molekulām. Mēness riņķotu ap Zemi 3,8 m attālumā un būtu galda tenisa bumbiņas lielumā (5.24. att.).

Attālums no Zemes līdz Saulei šajā modeli ir 1,5 km, bet Saule — ar 14 m diametru — pilotējamā gaisa balona lielumā. Jupitera diametrs 1,4 m, attālums līdz tam — 7,8 km. Plūtons izskatītos kā maza plūmīte un atrastos 59 km attālumā. Tātad planētu sistēmas



5.24. att. Visuma "kāpnes".

Katrā nākošajā pakāpē objekta diametrs vai attālums starp objektiem ir simts reižu lielāks.

diametrs šajā modeļa pakāpē ir aptuveni 120 km, bet Orta mākoņa izmēri — daudzkārt lielāki.

Modeļa otrajā pakāpē visus izmērus samazināsim vēl 100 miljonus reižu un attēlosim tajā Galaktiku. Saules sistēma šajā mērogā būs niecīgs plankums, kura diametrs 1,2 mm. Tagad Zeme ir molekulas lielumā, bet cilvēki vispār nav saskatāmi. Attālums līdz tuvākajai zvaigznei Centaura α ir 4,1 m, bet līdz Denebam (Gulbja α) — 780 m. Zvaigznes šajā mērogā ir niecīgi punkti: Saules diametrs ir tikai 0,0001 mm, bet milzīgā Antaresa diametrs — 0,1 mm. Platību starp zvaigznēm aizņem starpzvaigžņu vide, kurā vietumis sastopams kāds miglājs vai zvaigžņu kopa. Piemēram, Oriona miglāja diametrs šajā modeli ir 25 m. Galaktikas centrs atrastos 31 km attālumā no Zemes. Galaktikas diametrs — 93 km. Tagad iedomājieties, ka Saules sistēma ir aplītis ar 1,2 mm diametru un tai apkārt atrodas Galaktika, kuras diametrs ir 93 km! Ja jau cilvēks ar grūtībām ceļo Saules sistēmas ietvaros, tad cik pūļu būtu jāpieliek, lai apgūtu Galaktikas plašumus!

Tomēr Galaktika ir tikai viena no daudzajām zvaigžņu sistēmām. Lai attēlotu tās visas kopumā, trešo reizi mainīsim mērogu un

samazināsim modeli vēl 100 000 reižu. Šajā mērogā Galaktikas diametrs ir 93 cm, Saules sistēma ir ar grūtībām saskatāma mikroskopā — tās izmēri ir tikai 10^{-8} m, bet Saule, nerunājot nemaz par Zemi, nav izšķirama uz kopējā zvaigžņu fona. Lielais Magelāna Mākonis atrodas pavisam tuvu: 1,6 m attālumā, bet līdz Andromedas galaktikai ir 21,3 m. Taču tādi veidojumi kā galaktiku kopas un kvazāri atrodas jau tālāk. Tuvākā galaktiku kopa Jaunavas zvaigznājā ir 430 m attālumā no mūsu Galaktikas, bet līdz galaktiku kopai Berenikes Matu zvaigznājā ir 2,6 km. Visuma lielmēroga struktūras šūnas attēlojamas kā veidojumi, kuru diametrs 1,5...4,5 km, bet attālums līdz kvazāram 3C 273 ir 19 km. Metagalaktikas diametrs šajā modeli ir ≈ 250 km, bet iespējams, ka Visums kopumā ir daudzkārt lielāks.

Antropais princips. Cik iespējams spriest pēc Visuma izpētītās daļas, tajā darbojas vieni un tie paši dabas likumi. Tas nozīmē, ka gan Zemes apkārtnē, gan tālākajās galaktikās tāpat darbojas pievilksanas spēks, eksistē tādas pašas elementārdaļiņas u.tml. Interesanti, kā izskatītos Visums, ja fizikālās konstantes, kas nosaka dabas likumu darbību, būtu nedaudz citādas?

No aprēķiniem izriet, ka fizikālo konstanšu izmaiņas būtiski izmainītu Visuma veidolu. Ja elementārdaļiņu masas būtu citādas, tad Visums sastāvētu, piemēram, tikai no neitroniem vai tikai no ūdeņraža un tādi cieti ķermeņi kā planētas tajā nevarētu rasties. Ja Visuma vidējais blīvums būtu ievērojami mazāks, tad daļiņu relatīvais ātrums būtu tik liels, ka zvaigznes un galaktikas nevarētu izveidoties. Ja gravitācijas konstante būtu lielāka, tad Saules pastāvēšanas laiks būtu pārāk īss, lai uz Zemes rastos saprātīgas būtnes, u.tml.

Vadoties pēc tā, tiek formulēts **antropais princips — Visuma raksturlielumi ir tieši tādi, kādi vajadzīgi, lai tajā pastāvētu cilvēks**. Rodas iespaids, ka pastāv kāds slēpts spēks, kas organizē Visumu tādā veidā, lai galu galā tajā parādītos saprātīgas būtnes. Taču arī senāk zinātnē ir bijis tā, ka kāda parādība, piemēram, Saules sistēmas sākotnējā iegriešanās, tika izskaidrota ar augstākas varas iejaukšanos. Tomēr tika atrasts gluži dabisks izskaidrojums. Visuma gadījumā skaidrojums ir šāds. Mūsu Visums nav vienīgais. PASAULĒ eksistē dažādi Visumi ar visdažādākajiem raksturlielumiem, un vienā no tiem realizējas tādi nosacījumi, ka tajā pastāv novērotājs.

Dzīvības meklējumi un kosmiskās civilizācijas. Vai mēs — cilvēki — esam vienīgie Visumā? Ja tomēr eksistētu mūsu saprāta brāļi, tad kā viņus atrast? Šie jautājumi jau sen nodarbina cilvēkus. Viduslaikos par apdzīvotiem uzskatīja visus spīdekļus, arī Mēnesi, komētas un pat Sauli. Taču līdzšinējie dzīvības meklējumi Saules sistēmā aiz Zemes robežām ir bijuši neveiksmīgi. Protams, visi Saules sistēmas ķermeņi dzīvības meklējumos nav pārbaudīti un pastāv zināma varbūtība, ka labvēlīgos apstākļos, piemēram, Jupitera vai Saturna pavadoņu dzīlēs, kur ir šķidrums ūdens un pietiekami silts, varētu rasties dzīvība.

Uzskata, ka Zemes dzīvības tapšanā liela nozīme ir bijusi **panspermijai** — sarežģītu organisko molekulu nokļūšanai no kosmosa uz Zemes, kur tās attīstījās tālāk, veidojot dzīvus organismus. Līdzīgi procesi varēja norisināties arī uz planētām, kas riņķo ap citām zvaigznēm. Aptuveni 3 miljardos gadu dzīvība uz Zemes attīstījās līdz saprāta līmenim. Vai ir

iespējams, ka arī citur dzīvība ir tiktāl attīstījusies? Un cik šādu civilizāciju eksistē Galaktikā?

Tas ir atkarīgs no tā, cik planētu ir Galaktikā, cik no tām riņķo ap piemērotām zvaigznēm (ne pārāk tuvu un ne pārāk tālu no tām). Turklāt jāzina, cik daudz ir planētu, uz kurām iespējama dzīvības rašanās un attīstība līdz saprāta līmenim. Tāpat jāzina civilizācijas vidējais pastāvēšanas laiks. Visi šie lielumi ir zināmi ļoti neprecīzi vai nav zināmi vispār. Tādēļ pastāv *novērtējums, ka civilizāciju skaits mūsu Galaktikā varētu būt no vienas (mūsu civilizācija) līdz vairākiem miljoniem*. Tas attiecas uz dzīvību, kuras pastāvēšana pamatojas uz oglekli — organisko molekulu galveno sastāvdaļu. Taču var pieļaut arī citādi veidotu dzīvo būtņu pastāvēšanu.

Kā atklāt ārpuszemes civilizācijas? Pēc to darbības pēdām. Piemēram, Zemes civilizācijas pastāvēšanu var konstatēt no samērā liela attāluma pēc televīzijas un radiopārraidēm, kas izplatās kosmiskajā telpā. No mazāka attāluma Zemes nakts puslodē varētu ieraudzīt apgaismotas pilsētas. Ražošanas procesos nenovēršami rodas enerģijas zudumi siltuma veidā. Ja civilizācijas ražošanas apjoms ir pietiekami liels, tad tas izpaužas kā pastiprināts planētas infrasarkanais starojums.

Attīstīta civilizācija varētu uzbūvēt apkārt zvaigznei sfēru, kas uztver tās starojumu. No ārpuses tas izskatītos kā neizprotama zvaigznes nodzišana. Taču šādi un citāda veida "kosmiskie brīnumi" nav konstatēti. Vai tas nozīmētu, ka mūsu civilizācija Visumā ir vienīgā? Var pieņemt, ka citas civilizācijas izvēlas netehnoloģisku attīstības ceļu — neveido ražošanu, neinteresējas par lidojumiem kosmosā un sakariem ar citām civilizācijām. Iespējams arī, ka civilizācijas pastāvēšanas laiks ir samērā īss un citas civilizācijas ir pastāvējušas senāk vai izveidošies tikai nākotnē.

Ja pastāv ārpuszemes civilizācijas, tad kā nodibināt ar tām sakarus? Uz kosmiskajiem aparātiem "*Pioneer*", kas pētīja Jupiteru un Saturnu un pēc tam aizlidoja no Saules sistēmas, tika novietotas tērauda plāksnītes ar zīmējumiem, kas attēlo cilvēkus, kosmisko aparātu u.c. (5.25. att.). Kosmiskie aparāti

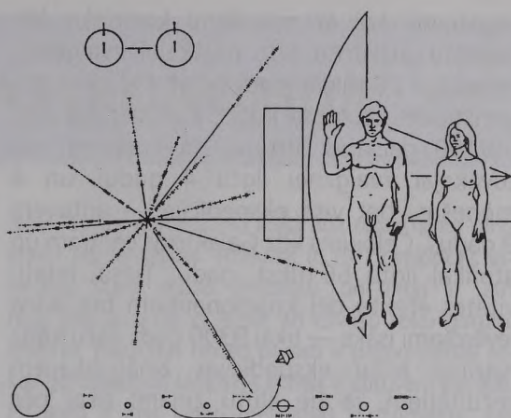
"Voyager" apzeltītās vara skaņuplatēs nes citām civilizācijām domātu vēstījumu, kas satur kodētus Zemes ainavu, cilvēku, dzīvnieku, augu un astronomisku objektu attēlus, kā arī ierakstītu mūziku un apsveikumus daudzās valodās. Taču pat 100 gadus pēc palaišanas šie kosmiskie aparāti būs veikuši tikai niecīgu daļu attāluma līdz tuvākajai zvaigznei.

Daudz ātrāks sakaru līdzeklis ir elektromagnētiskais starojums (gaisma, radioviļņi), kas izplatās ar dabā maksimālo iespējamo ātrumu — gaismas ātrumu. 1974. gadā ar Aresibo 300 m diametra radioteleskopu tika nosūtīts vēstījums uz lodveida zvaigžņu kopu M 13 Herkulesa zvaigznājā (5.26. att.). Tā kā šī lodveida kopa atrodas tālu, vēstījums ceļos turp aptuveni 25 tūkst. gadu un tikpat ilgi būtu jāgaida atbilde. Tas ir ļoti ilgi.

Taču varbūt, ka jau tagad iespējams uztvert kādu ārpuszemes civilizāciju raidīto signālu? Visloģiskāk tos būtu meklēt radiodiapazonā, jo radioviļņu raidīšanai nepieciešams mazāks enerģijas patēriņš nekā, piemēram, gaismas signāla nosūtīšanai. Mūsdienu radioteleskopu jutība ir pietiekama, lai uztvertu pat ļoti vāju radiosignālu, kas nāk no vairāku simtu gaismas gadu attāluma. Tādā attālumā apkārt Saulei atrodas apmēram miljons zvaigžņu. Laiku pa laikam dažus radioteleskopus izmanto mākslīgu radiosignālu meklēšanai, taču līdz šim mākslīgi signāli no kosmosa nav konstatēti. Daži "mīklainie" gadījumi ir raduši dabisku izskaidrojumu, kā tas bija, piemēram, ar pulsāriem.

Citu civilizāciju signālu meklēšanā pastāv lielas grūtības. Pirmkārt, ir ļoti daudz frekvenču, kurās iespējams "klausīties" Visumā. Ja astronomi "klausās" vienu frekvenci, bet raidījums "skan" ar citu frekvenci, tad tas paliek neuzverts. Otrkārt, radioteleskopa redzes lauks ir neliels. Tajā brīdī, kad teleskops pavērsts vienā virzienā, signāls var pienākt no cita debess virziena un atkal netiks uztverts. Treškārt, var nesakrist raidījuma pienākšanas brīdis ar teleskopa darbības brīdi. Tādēļ ārpuszemes civilizāciju signālu meklēšanu Visumā reizēm salīdzina ar adatas meklēšanu sienakaudzē.

Starpzvaigžņu lidojumu iespējas. Mūsdienās starpzvaigžņu lidojumi praktiski nav



5.25. att. Plāksnītes, kuras nes starpplanētu stacijas "Pioneer-10" un "Pioneer-11".



5.26. att. Radioziņojums, kas nosūtīts uz lodveida zvaigžņu kopu Herkulesa zvaigznājā.

Augšā — informācija par decimālo skaitīšanas sistēmu un ķīmiskajiem savienojumiem, kas ir dzīvības pamatā. Vidū — DNS molekulas dubultspirāles un cilvēka figūras attēlojums. Apakšā — dati par Saules sistēmu un radioteleskopu, ar kuru nosūtīts ziņojums.



6.1. ORIENTĒŠANĀS PIE DEBESS. ZVAIGŽŅU KARTES

Nepieredzējušam novērotājam liekas, ka zvaigznes izvietojušās haotiski, bez jebkādas sistēmas. Tikai rūpīgāk ieskatoties, var redzēt, ka spožākās zvaigznes veido dažādas ģeometriskas figūras. Kā iemācīties pazīt zvaigznājus?

Debesspušu noteikšana. Vispirms ir jānoskaidro, kā izvietotas debesspuses. Šim nolūkam jāatrod Polārzcīņzvaigzne — orientieris, kas Zemes ziemeļu puslodē norāda ziemeļu virzienu. Polārzcīņzvaigzne nav pārāk spoža, tādēļ to atrod pēc Lielā Lāča zvaigznāja, kuru pazīst gandrīz katrs (6.1. att.).

Tātad **ziemeļi atrodas virzienā uz Polārzcīņzvaigzni**. Ja nostājas ar muguru pret to, tad priekšā atrodas dienvidi, pa kreisi — austrumi, pa labi — rietumi. Iegūstamējiem debesspušu izvietojumu savā novērojumu vietā! Debesspuses var noteikt arī ar kompasu vai pēc Saules stāvokļa pusdienlaikā.

Ja nostājas minētajā stāvoklī, tad virs galvas un aiz muguras atrodas nenorietošo zvaigžņu apgabals. Pārējās zvaigznes lēni lec austrumu pusē, dienvidos sasniedz vislielāko augstumu un rietumu pusē noriet. Zvaigznes, kas lec dienvidaustrumos, veic pie debess samērā nelielu ceļu un riet dienvidrietumos. Savukārt zvaigznes, kas lec ziemeļaustrumos, veic garu, plašu loku pie debess un riet ziemeļrietumos.

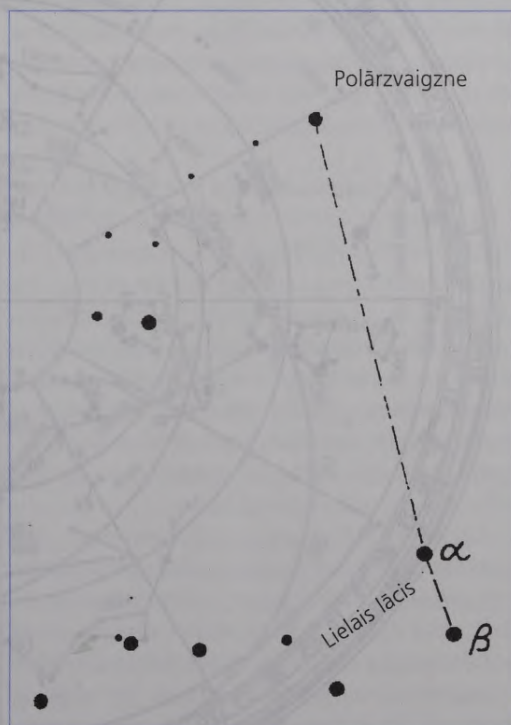
Debess kustību var pamanīt dažu desmitu minūšu laikā, novērojot, kā mainās kādas spožas zvaigznes stāvoklis attiecībā pret horizontu. Vairāku stundu laikā zvaigžņotā debess būtiski mainās. Rīta pusē jau ir redzami pavisam citi zvaigznāji nekā vakarā. Zvaigžņotās debess aina ir atkarīga arī no gadalaika — katrā gadalaikā var redzēt atšķirīgus zvaigznājus.

Leņķiskie attālumi pie debess. Cik lieli pie debess ir zvaigznāji, un kādi ir zvaigžņu savstarpējie attālumi? Lai atbildētu uz šo jautājumu, jāpārzina leņķiskie attālumi. Pie debess visi mērījumi veicami leņķiskās vienībās.

Aptuveni leņķisko attālumu noteikšanai ērti izmantot rokas mērus. Ja roku tur izstieptu, tad mazais pirkstiņš redzams 1° leņķī, īkšķis — 2° , dūre — 10°

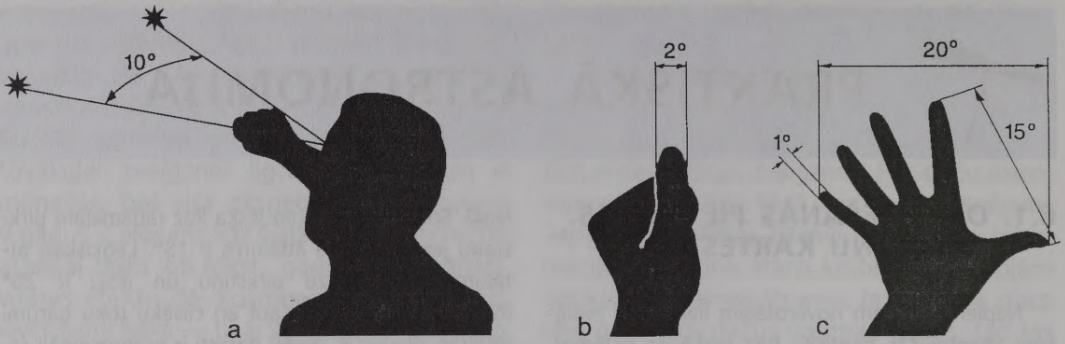
leņķī. Sprīža garums (no īkšķa līdz rādāmajam pirkstam) jeb leņķiskais attālums ir 15° . Leņķiskais attālums starp mazo pirkstiņu un īkšķi ir 20° (6.2. att. a, b un c). Kaut arī cilvēku roku garumi atšķiras, plaukstu izmēri parasti ir proporcionāli rokas garumam un leņķiskie izmēri ir aptuveni vienādi. Plauksta ir ērts leņķu mērīšanas instruments, kas cilvēkam vienmēr ir "pie rokas". Mazāku leņķisko attālumu mērīšanai var izmantot Sauli vai Mēnesi, kuru leņķiskais diametrs ir $0^\circ,5$.

Šādi mērot, no horizonta līdz zenītam ir seši sprīži (90°), tikpat liels attālums pa horizontu šķīr, piemēram, austrumu un dienvidu punktus.

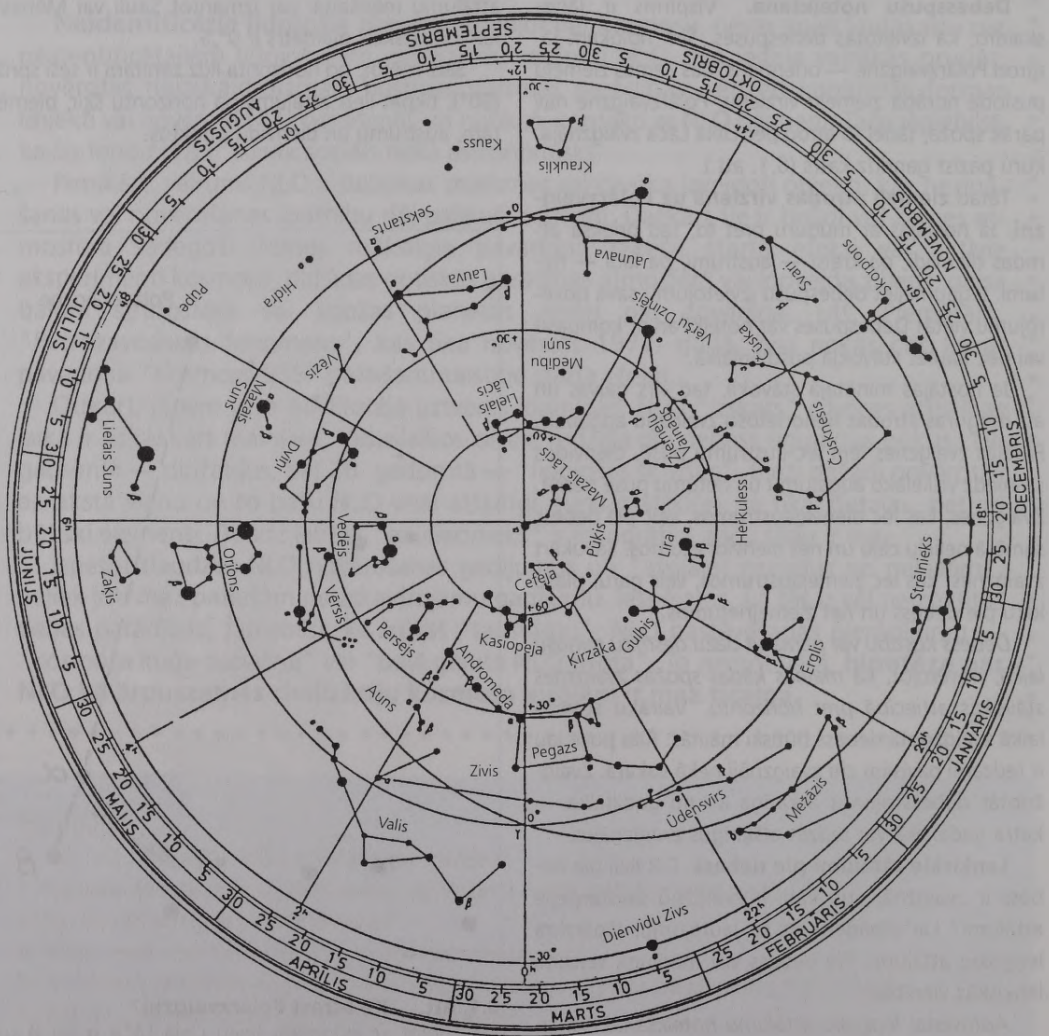


6.1. att. Kā atrast Polārzcīņzvaigzni?

Savienojot ar iedomātu līniju Lielā Lāča α un β un turpinot to aptuveni piecas reizes tālāk, nokļūst pie Polārzcīņzvaigznes.



6.2. att. Leņķu mērīšana pie debess ar izstieptu roku.

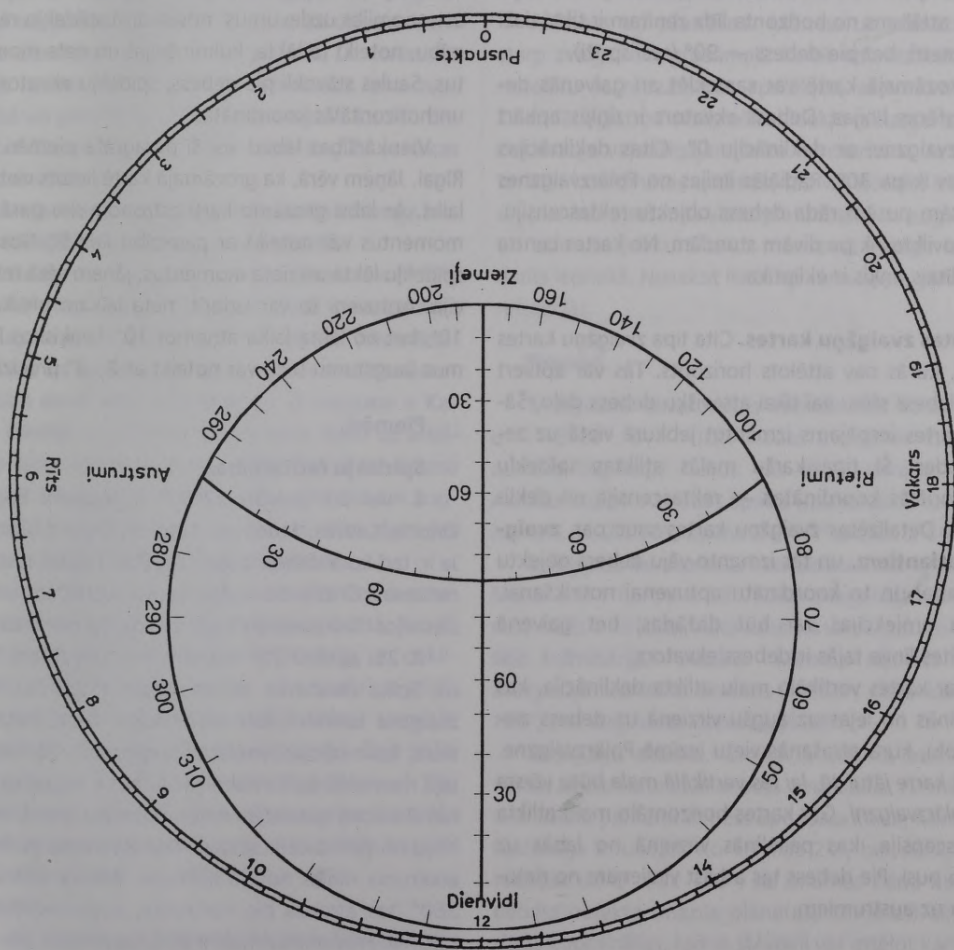


6.3. att. Zvaigžņotās debess grozāmā karte.

Grozāmā zvaigžņu karte. Lai meklētu pie debess zvaigznājus un iepazītos ar tiem, vajadzīga zvaigžņu karte. Šim nolūkam ļoti ērta ir grozāmā zvaigžņu karte, ar kuru var attēlot zvaigžņu redzamo stāvokli jebkurā laika momentā. Grozāmo karti var pagatavot no šeit ievietotās zvaigžņu kartes un uzlietamā riņķa (6.3. un 6.4. att.). Nokopē un izgriež karti, uzlietamo riņķi un tā atvērumu. Abus riņķus uzliemē uz kartona un sastiprina kopā. Sastiprināšanu var veikt dažādi. Zvaigžņu kartes malās var uzliemēt kartona stūrišus un uzlietamo riņķi ievietot starp tiem. Uzlietamo riņķi var nokopēt uz caurspīdīgas plēves. Tādā gadījumā iekšējais riņķis nav jāizgriež. Kartes un uzlietamā riņķa centrā var izdurt asi, kas ļauj griezt vienu apli ap otru.

Karte konstruēta, ņemot vērā Rīgas ģeogrāfisko platumu, taču to var lietot visā Latvijas teritorijā, jo ģeogrāfiskā platumā atšķirības ir nelielas. Kartes malās atlikti mēneši un datumi, bet uzlietamā riņķa malās — stundas pēc vietējā laika. *Lai karti ieregulētu uz nepieciešamo laika momentu, no ikdienā lietotajā laikā jāpāriet uz vietējo laiku.* Aptuveni to var izdarīt šādi: ziemā no pulkšteņa rādījuma jāatņem pusstunda, bet vasarā pusotras stundas. Piemēram, Rīgā ziemas laika periodā jāatņem 0^h24^m , bet vasaras laika periodā jāatņem 1^h24^m .

Piemērs. Kā izskatās zvaigžņotā debess Rīgā Jaungada naktī 31. decembrī pl. 24^h? Ir ziemas laiks, tātad vietējais laiks ir 23^h36^m. Uzlietamo apli pagriež tā, lai 23^h36^m sakristu ar 31. decembri. Kartes



6.4. att. Zvaigžņotās debess grozāmās kartes uzlietamais riņķis.

atvērumā redzamas visas zvaigznes, kas atbilstošajā brīdī atrodas virs horizonta.

Grozāmajā zvaigžņu kartē parādītas tikai spožākās zvaigznes, kas labi redzamas pilsētas apstākļos, un dažī citi raksturīgi objekti.

Grozāmās zvaigžņu kartes uzliekamā riņķa atvērumš. Aplūkosim to sīkāk. Tā mala ir horizonts, gar kuru atliktas debesspusēs. Riņķa centra tuvumā atrodas zenīts. Pašā kartes centrā ir Polārsvaigzne.

Ja pagriežas ar seju pret dienvidiem un karti tur priekšā ar dienvidu malu uz leju, tad var sameklēt dienvidos esošos zvaigznājus. Līdzīgi atrod zvaigznājus arī citās debesspusēs. Lai aplūkotu zvaigznes zenīta apkaimē, pēc debesspusēm orientētu karti paceļ virs galvas. Jāņem vērā, ka kartē attālumš starp zvaigznājiem liekas daudz mazāki nekā pie debess. Kartē attālumš no horizonta līdz zenītam ir tikai dažī centimetri, bet pie debess — 90° (seši spriži).

Grozāmajā kartē var sameklēt arī galvenās debess sfēras līnijas. Debess ekvators ir riņķis apkārt Polārsvaigznei ar deklināciju 0°. Citas deklinācijas atliktas ik pa 30°. Radiālās līnijas no Polārsvaigznes uz visām pusēm rāda debess objektu rektascensiju. Tās novilktaš ik pa divām stundām. No kartes centra nobīdītais riņķis ir ekliptika.

Citas zvaigžņu kartes. Cita tipa zvaigžņu kartes ir tās, kurās nav attēlots horizonts. Tās var aptvert visu debess sfēru vai tikai atsevišķu debess daļu. Šādas kartes iespējams izmantot jebkurā vietā uz zemeslodes. Šī tipa karšu malās atliktas spīdekļu ekvatoriālās koordinātas — rektascensija un deklinācija. Detalizētas zvaigžņu kartes sauc par **zvaigžņu atlantiem**, un tās izmanto vāju debess objektu atrašanai un to koordinātu aptuvenai noteikšanai. Karšu projekcijas var būt dažādas, bet galvenā atskaites līnija tajās ir debess ekvators.

Gar kartes vertikālo malu atliktā deklinācija, kas palielinās no lejas uz augšu virzienā uz debess ziemeļpolu, kura atrašanās vietu iezīmē Polārsvaigzne. Tādēļ *karte jātur tā, lai tās vertikālā mala būtu vērsta uz Polārsvaigzni*. Gar kartes horizontālo malu atliktā rektascensija, kas palielinās virzienā no labās uz kreiso pusi. Pie debess tas atbilst virzienam no rietumiem uz austrumiem.

Kartes epoha. Precesijas un zvaigžņu īpatnējās kustības dēļ zvaigžņu koordinātas pakāpeniski mai-

nās, tādēļ *kartes sastāda noteiktai epochai*, t.i., parāda zvaigžņu stāvokli noteiktā laikā. *Pašlaik lieto 2000. gada zvaigžņu koordinātas*. Zvaigžņu koordinātas, to spožumu un citus raksturlielumus apkopo tabulās, ko sauc par **zvaigžņu katalogiem**. Papīra karšu vietā arvien biežāk lieto datorprogrammas, kas attēlo uz datora ekrāna zvaigžņu, Saules, Mēness un citu spīdekļu stāvokli jebkurā laika momentā.

6.2. VINGRINĀJUMI AR ZVAIGŽŅU KARTĒM

Grozāmā zvaigžņu karte. Ar grozāmo zvaigžņu karti iespējams *aptuveni atrisināt* daudzus praktiskās astronomijas uzdevumus: noskaidrot spīdekļu redzamību, noteikt to lēkta, kulminācijas un rieta momentus, Saules stāvokli pie debess, spīdekļu ekvatoriālās un horizontālās koordinātas.

Vienkāršības labad visi šī paragrāfa piemēri doti Rīgai. Jāņem vērā, ka grozāmajā kartē lietots vietējais laiks. Ar labu grozāmo karti astronomisko parādību momentus var noteikt ar pareizību līdz 5'. Nosakot spīdekļu lēkta un rieta momentus, jāņem vērā refrakcija. Aptuveni to var izdarīt, rieta laikam pieskaitot 10', bet no lēkta laika atņemot 10'. Leņķiskos lielumus (augstumu u.c.) var noteikt ar 2...3° precizitāti.

Piemēri.

Spīdekļu redzamība.

1. Vai 20. janvārī 22^h00^m ir redzami Pegaza, Oriona, Lauvas, Jaunavas, Liras un Ērgļa zvaigznāji? Ja ir, tad kurā debess pusē? *Atbilde.* Pegazs redzams rietumos, Orions dienvidos, Lauva austrumos un Lira ziemeļos. Jaunavas un Ērgļa zvaigznāji nav redzami.

2. 25. aprīlī 0^h30^m redzams Procions (Mazā Suņa α), Spika (Jaunavas α) un Altairs (Ērgļa α). Kura zvaigzne kulminē, lec, riet? Kāds ir lēkta, rieta azimuts, kulminācijas leņķiskais augstums? *Atbilde.* Dotajā momentā Spika kulminē, Altairs ir nupat uzlēcis, bet Procions gatavojas rietēt. Azimutu atrod, velkot līniju no zenīta caur spīdekli līdz atvēruma malai. Uz atvēruma malas nolasa azimutu. Altaira azimuts ir 260°, tas atrodas pie horizonta, austrumu punkta tuvumā. Prociona azimuts ir 90°, tas atrodas pie horizonta tieši rietumos. Kulminācijas leņķisko augstumu nosaka, ņemot vērā, ka no zenīta līdz horizontam ir

90°. Attālumu no horizonta dienvidu punkta līdz zenītam sadala ik pa 10° un nolasa leņķisko augstumu. Spika kulminē dienvidos 22° leņķiskajā augstumā.

Laika momenta noteikšana.

1. Cikos 10. decembrī lec un riet divas zvaigznes — Sīriuss (Lielā Suņa α) un Reguls (Lauvas α)? Refrakciju neņem vērā. *Atbilde.* Zvaigžņu karti pagriež tā, lai vajadzīgais spīdeklis atrastos uz atvēruma malas austrumu pusē. Uz kartes malas atrod 10. decembrim atbilstošo laika momentu un pārvērš to joslas laikā. Līdzīgi rikojas, nosakot rieta laiku, tikai tad karte jāpagriež tā, lai spīdeklis atrastos uz horizonta rietumu pusē. Sīriuss un Reguls 10. decembrī lec reizē — 22^h00^m. Taču abu zvaigžņu rieta laiki ir atšķirīgi. Sīriuss riet 6^h00^m, bet Reguls — tikai 12^h40^m.

2. Cikos 10. decembrī Sīriuss un Reguls atrodas augšējā kulminācijā? *Atbilde.* Zvaigžņu karti pagriež tā, lai atbilstošais spīdeklis atrastos uz debess meridiāna dienvidos no debess ziemeļpola. Uz atvēruma malas nolasa 10. decembrim atbilstošo laika momentu un pārvērš to joslas laikā. Iegūst, ka 10. decembrī Sīriuss kulminē 1^h55^m, bet Reguls vairākas stundas vēlāk: 5^h20^m.

Pāreja no ekvatoriālajām koordinātām uz horizontālajām koordinātām un otrādi.

1. Zvaigznes ekvatoriālās koordinātas ir $\alpha = 5^{\text{h}}10^{\text{m}}$, $\delta = +40^{\circ}$. Kas tā ir par zvaigzni? Kāds ir tās azimuts un augstums 10. jūlijā 23^h25^m? *Atbilde.* Pēc rektascensijas un deklinācijas linijām kartē dotajām koordinātām atrod atbilstošo objektu. Šī zvaigzne ir Kapella (Vedēja α). Pagriež kartes laika skalu uz atbilstošo laika momentu (pēc vietējā laika) un nolasa spīdekļa horizontālās koordinātas: azimutu un augstumu. 10. jūlijā 23^h25^m Kapella atrodas ziemeļos (azimuts 180°), 15° leņķiskajā augstumā.

2. 5. jūnijā 23^h10^m zvaigzne atrodas tieši austrumos (azimuts 270°) 51° leņķiskajā augstumā. Kas tā ir par zvaigzni? Kāda ir tās rektascensija un deklinācija? *Atbilde.* Pagriež kartes laika skalu uz atbilstošo laika momentu (pēc vietējā laika), sameklē zvaigzni ar doto azimutu un augstumu. Šajā laikā austrumos 51° augstumā atrodas Vega (Liras α). Pēc tās izvietojuma attiecībā pret rektascensijas un deklinācijas linijām nolasa zvaigznes ekvatoriālās koordinātas. Tās ir šādas: $\alpha = 18^{\text{h}}35^{\text{m}}$, $\delta = +39^{\circ}$.

Saule.

1. Kādā zvaigznājā atrodas Saule 5. februārī? *Atbilde.* Saules ceļš pie debess (ekliptika) iezīmēts kartē ar atsevišķu līniju. Aptuveno Saules stāvokli starp

zvaigznēm noteiktā datumā var atrast, velkot līniju no kartes centra uz atbilstošo datumu. Šīs līnijas un ekliptikas krustpunktā 5. februārī Saule atrodas Mežāža zvaigznājā.

2. Cikos Saule lec un cikos riet Jāņos (24. jūnijā) un Ziemassvētkos (25. decembrī)? *Atbilde.* Zinot Saules atrašanās vietu un, ņemot par paraugu 2. punkta piemērus, nosaka tās lēkta un rieta momentus. Lai ievērotu refrakciju, pēc kartes noteiktajam rieta momentam pieskaita 10 minūtes, bet lēkta momentam atņem 10 minūtes. Jāņos Saule lec 4^h30^m, riet 22^h22^m. Ziemassvētkos Saule lec 9^h02^m, riet 15^h46^m.

3. Kāds ir Saules leņķiskais augstums pusdienlaikā (augšējā kulminācijā) Jāņos un Ziemassvētkos? *Atbilde.* Saules maksimālais leņķiskais augstums Jāņos ir 56°, bet Ziemassvētkos 10°.

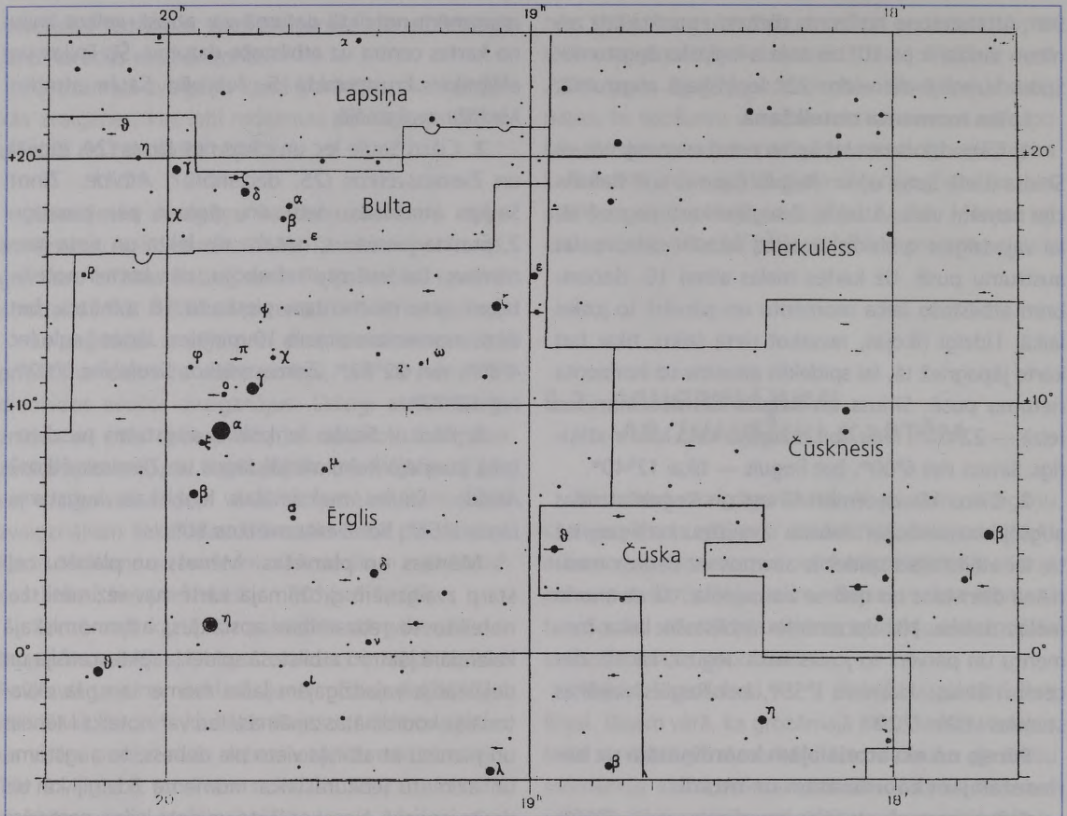
Mēness un planētas. Mēness un planētu ceļi starp zvaigznēm grozāmajā kartē nav iezīmēti. Lai noteiktu to redzamības apstākļus, astronomiskajā kalendārā jāatrod atbilstošā spīdekļa rektascensija un deklinācija vajadzīgajam laika momentam. Ja ekvatoriālās koordinātas zināmas, tad var noteikt Mēness un planētu atrašanās vietu pie debess, to augstumu un azimutu jebkurā laika momentā līdzīgi, kā tas darīts iepriekš. Nosakot lēkta un rieta laiku, ņem vērā refrakciju.

Piemēri.

1. Jupitera ekvatoriālās koordinātas 1. aprīlī ir $\alpha = 13^{\text{h}}20^{\text{m}}$, $\delta = -10^{\circ}$. Kādas zvaigznes tuvumā atrodas Jupiters? Cikos tas lec, kulminē, riet? *Atbilde.* Jupiters atrodas Spikas (Jaunavas α) tuvumā. Jupiters lec 20^h50^m, kulminē 2^h10^m un riet 7^h30^m.

2. Mēness ekvatoriālās koordinātas 10. oktobrī ir šādas: $\alpha = 1^{\text{h}}05^{\text{m}}$, $\delta = +5^{\circ}$. Kādā zvaigznājā tas atrodas? Kāds ir tā lēkta, rieta azimuts un augstums augšējā kulminācijā? *Atbilde.* Mēness atrodas Zivju zvaigznājā. Tā lēkta azimuts ir 258°, rieta azimuts 102°, bet augstums kulminācijā 38°.

Zvaigžņu atlanti. Zvaigžņu atlanta atsevišķās kartes attēlo noteiktus debess apgabalus. Piemēram, 6.5. attēlā parādīta debess apgabala karte, kurā rektascensija ir robežās no 18^h līdz 20^h, bet deklinācija robežās no 0° līdz +20°. Ja zināmas kāda kustīga debess objekta (mazās planētas, komētas) ekvatoriālās koordinātas, tad tā stāvokli var attēlot kartē un pēc tam to meklēt pie debess. Jāņem vērā, ka kartes un objekta koordinātu epohām jāsakrīt, citādi



6.5. att. Zvaigžņu atlanta kartes fragments.

objekta stāvoklis nebūs precīzs. Savukārt, ja ieraudzīts kāds jauns objekts, tad tā koordinātas var aptuveni nolasīt no kartes. Pēc zvaigžņu kartes var noteikt leņķiskos attālumus starp objektiem, kā arī izvēlēties "maršrutu" vāja debess objekta meklēšanai.

Piemēri.

1. Kāds ir 6.5. attēlā redzamās kartes mērogs (cik milimetru atbilst vienam loka grādam)? *Atbilde.* Šajā kartē 1° atbilst 4 mm.

2. Kādas ir Altaira (Ērgļa α) ekvatoriālās koordinātas? *Atbilde.* Altaira rektascensija ir 19^h51^m , deklinācija $+9^\circ$.

3. Mazās planētas ekvatoriālās koordinātas ir $\alpha = 19^h02^m$, $\delta = +14^\circ,5$. Starp kādām zvaigznēm tā meklējama? *Atbilde.* Mazā planēta atrodas starp Ērgļa ζ un ϵ .

4. Pusceļā starp Ērgļa ϑ un η novērota jauna komēta. Kādas ir tās ekvatoriālās koordinātas? *Atbilde.* Komētas koordinātas ir šādas: $\alpha = 20^h02^m$, $\delta = +0^\circ,5$.

5. Kāds ir leņķiskais attālums starp zvaigznēm Ērgļa ζ un λ , kā arī starp Čūska ϑ un Čūskneša β ? *Atbilde.* Ar lineālu izmēra attālumu starp zvaigznēm un, zinot kartes mērogu, pārrēķina to grādos. Leņķiskais attālums starp Ērgļa ζ un λ ir 19° , bet starp Čūska ϑ un Čūskneša β tas ir $17^\circ,5$.

V i n g r i n ā j u m s. Atrodiet vismaz septiņas astronomiska rakstura kļūdas šādā tekstā!

1. decembra vakarā jauno astronomu grupa veica novērojumus Rīgā. 21^h00^m viņi novēroja Ērgļa, Oriona un Jaunavas zvaigznājus un pēc kartes noteica, ka Saule atrodas Skorpiona zvaigznājā. Viņi noteica, ka Kapella atrodas kulminācijā 53° leņķiskajā augstumā un ka kopš vakardienas zvaigznes kulminācijas augstums mainījies par 2° . Jupiters, kura ekvatoriālās koordinātas bija $\alpha = 1^h$ un $\delta = 0^\circ$, atradās Andromedas zvaigznājā, bet pilns Mēness bija redzams zemu pie horizonta ziemeļrietumos. 22^h00^m , kad uzlēca Sīriuss (Lielā Suņa α), Rīgela (Oriona β) azimuts bija 40° .

6.3. ASTRONOMIJAS UZDEVUMI

[Spīdekļu koordinātas un kustības likumi]

Šajā un nākamajā paragrāfā aplūkoti izplatītākie astronomijas aprēķinu uzdevumi. Katram uzdevumu tipam dots īss nepieciešamo formulu izklāsts, uzdevuma paraugs ar atrisinājumu un patstāvīgi vingrinājumi. Grūtākie vingrinājumi ir atzīmēti ar zvaigznīti. Paragrāfa beigās sniegtas uzdevumu atbildes.

Spīdekļa leņķiskais augstums kulminācijā. Spīdeklim, kura deklinācija ir δ , leņķisko augstumu h kulminācijā novērojumu vietā ar ģeogrāfisko platumu φ aprēķina šādi:

augšējā kulminācijā, ja $\delta < \varphi$, $h = 90^\circ - \varphi + \delta$,

augšējā kulminācijā, ja $\delta > \varphi$, $h = 90^\circ + \varphi - \delta$,

apakšējā kulminācijā $h = \varphi + \delta - 90^\circ$.

Ja leņķiskais augstums kulminācijā zināms, tad, pārveidojot šīs izteiksmes, var aprēķināt novērojumu vietas ģeogrāfisko platumu vai spīdekļa deklināciju.

Ievērojiet: spīdekļa leņķiskais augstums nevar būt lielāks kā 90° !

Piemērs.

Kāds ir Mēness leņķiskais augstums augšējā un apakšējā kulminācijā Rīgā ($\varphi = 57^\circ$), ja tā deklinācija ir 27° ?

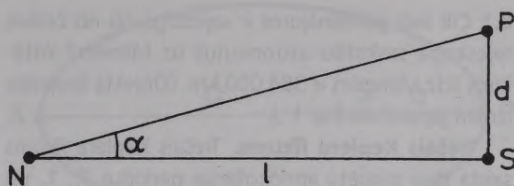
| | | |
|----------------------|--|-----------------------------------|
| $\varphi = 57^\circ$ | $\delta < \varphi (27^\circ < 57^\circ)$ | $h_1 = 90 - 57 + 27 = 60^\circ$, |
| $\delta = 27^\circ$ | $h_1 = 90^\circ - \varphi + \delta$ | $h_2 = 57 + 27 - 90 = -6^\circ$. |
| $h_1 = ?$ | $h_2 = \varphi + \delta - 90^\circ$ | |
| $h_2 = ?$ | | |

Atbilde. Mēness leņķiskais augstums augšējā kulminācijā ir 60° , bet apakšējā kulminācijā -6° .

Vingrinājumi.

1. Kāds ir Polārzcvaigznes ($\delta = +89^\circ 16'$) leņķiskais augstums Rīgā ($\varphi = 56^\circ 57'$) augšējā kulminācijā?
2. Spožas zvaigznes leņķiskais augstums augšējā kulminācijā Rīgā ($\varphi = 56^\circ 57'$) ir $16^\circ 20'$. Kāda ir šīs zvaigznes deklinācija? Kas tā ir par zvaigzni?
3. Kāds ir novērotāja atrašanās vietas ģeogrāfiskais platums, ja Saule, kuras deklinācija ir $+20^\circ$, pusdienlaikā atrodas zenītā?
- 4.* Observatorijā, kas atrodas ziemeļu puslodē, planētas leņķiskais augstums augšējā kulminācijā ir 20° , bet apakšējā kulminācijā -40° . Kāds ir novērojumu vietas ģeogrāfiskais platums? (Aprēķināt, izslēdzot deklināciju!)

Leņķisko un lineāro izmēru saistība. Šeit būtībā ir aplūkoti ģeometrijas uzdevumi, kuros jāaprēķina astronomiskie lielumi.



6.6. att.

Aplūkosim situāciju, kad novērotājs atrodas punktā N , bet spīdekļa punktā S (6.6. att.). Attālums no novērotāja līdz spīdeklim ir l . Attālumu d var uzskatīt par spīdekļa diametru¹⁾ vai attālumu līdz tā pavadonim, vai par attālumu starp jebkuriem diviem kosmiskajiem objektiem. Leņķis NSP ir 90° . Attālums d novērotājam redzams leņķi α . Šos lielumus saista sakarība $\text{tg} \alpha = d/l$. Ja jebkuri divi lielumi zināmi, tad trešo lielumu var aprēķināt. Lai no tangensa vērtības noteiktu pašu leņķi, jāaprēķina arktangenss.

Piemērs.

Lielās opozīcijas laikā Marss tuvojas Zemei līdz 56 milj. km attālumam un tā leņķiskais diametrs ir $25''$. Kāds ir Marsa lineārais diametrs?

Risinājums.

| | | |
|--------------------------------|--|-------------------------------|
| $l = 56 \cdot 10^6 \text{ km}$ | $25'' = 0^\circ,006944$ | $d = 56 \cdot 10^6$ |
| $\alpha = 25''$ | $\text{tg} \alpha = 1,212 \cdot 10^{-4}$ | $\cdot 1,212 \cdot 10^{-4} =$ |
| $d = ?$ | $d = l \cdot \text{tg} \alpha$ | $= 6787 \text{ km.}$ |

Atbilde. Marsa lineārais diametrs ir 6787 kilometri.

Vingrinājumi.

5. Cik liela diametra detaļas var saskatīt uz Zemes virsas, atrodoties kosmosa kuģī 345 km augstumā, ja neapbruņotas acs izšķirtspēja ir $1'$?
6. Raugoties no kādas planētas, Saules redzamais diametrs ir $1'4''$. Cik liels ir planētas attālums no Saules, ja Saules lineārais diametrs ir 1 392 000 km? Kas tā ir par planētu?
7. Sīriusa pavadonis riņķo ap zvaigzni 21,3 ua attālumā. Kādā maksimālā leņķiskā attālumā no zvaigznes tas redzams, ja attālums līdz Sīriusam ir 8,7 ly? Uzskatīt, ka pavadonim ir riņķveida orbīta.

¹⁾ Rēķinot pilnīgi korekti, diametra vietā jāņem rādiuss, taču astronomiskajos aprēķinos, kur $l \gg d$, ar nelielu kļūdu attālumu SP var attiecināt uz diametru.

8.* Cik liels palielinājums ir vajadzīgs, lai no Zemes teleskopā saskatītu astronautus uz Mēness? Attālums līdz Mēnesim ir 384 000 km. (Objekta leņķiskie izmēri jāpalielina līdz 1'.)

Trešais Keplera likums. Trešais Keplera likums saista divu planētu apriņķošanas periodus T_1, T_2 un to orbītu lielās pusas a_1, a_2 šādi:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Ja viena no planētām ir Zeme ($T_2 = 1$ gads, $a_2 = 1$ ua), tad formula kļūst vienkāršāka: $T^2 = a^3$. No tās var izteikt nezināmo lielumu — apriņķošanas periodu vai lielo pusasi. *Trešo Keplera likumu var izmantot visos uzdevumos, kuros divi vai vairāki debess ķermeņi riņķo ap vienu un to pašu centrālo ķermeni, piemēram, divi kosmosa kuģi ap planētu vai divi pavadoņi ap zvaigzni.*

Piemērs.

Neptūna orbītas lielā pusass ir 30,06 ua. Cik ilgā laikā Neptūns apriņķo Sauli?

Risinājums.

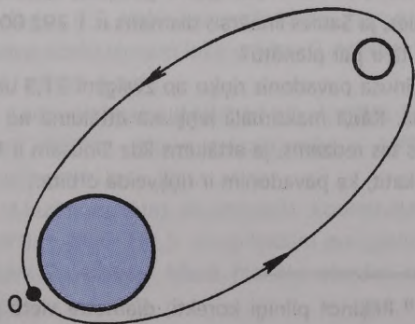
| | | |
|----------------|------------------|--------------------------|
| $a = 30,06$ ua | $T = \sqrt{a^3}$ | $T = \sqrt{(30,06)^3} =$ |
| $T = ?$ | | $= 164,8$ gadi. |

Atbilde. Neptūna apriņķošanas periods ir 164,8 gadi.

Vingrinājumi.

9. Cik liels ir Merkura vidējais attālums no Saules, ja tā viens apriņķojums ilgst 88 diennaktis?

10. Jupitera pavadoņi Kallisto veic vienu apriņķojumu ap planētu 16,69 dienās. Tā orbītas lielās pusass garums ir 1,883 milj. km. Cik ilgā laikā Jupiteru apriņķo pavadoņi Jo, ja tā orbītas lielās pusass garums ir 0,422 milj. km?



6.7. att. Kosmiskā kuģa trajektorija lidojumam uz Mēnesi.

11. No kosmosa kuģa, kas lido 275 km augstumā un veic vienu apriņķojumu ap Zemi 90 minūtēs, virzienā uz ģeostacionāro orbītu palaida pavadoņi. Kāds ir ģeostacionārās orbītas augstums, ja pavadoņi tajā veic vienu apriņķojumu diennaktī? Zemes rādiuss ir 6378 km.

12.* Cik ilgs laiks vajadzīgs, lai, startējot no Zemes orbītas punktā O, kosmosa kuģi aizlidotu līdz Mēnesim un atpakaļ (6.7. att.)? Mēness orbītas lielā pusass ir 384 400 km, apriņķošanas periods ir 27 dienas 8 stundas. Zemes un Mēness pārlidojuma augstums ir 400 km, Zemes rādiuss 6378 km, Mēness rādiuss 1738 km. (Mēness pievilksanas spēku neņem vērā.)

Sinodiskais un sideriskais periods. Planētas sinodisko apriņķošanas periodu S nosaka pēc novērojumiem, bet siderisko apriņķošanas periodu T aprēķina šādi:

iekšējām planētām $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_z}$

ārējām planētām $\frac{1}{S} = \frac{1}{T_z} - \frac{1}{T}$

$T_z = 1$ gads = 365,24 dienas.

Piemērs.

Veneras sinodiskais periods ir 583,92 dienas. Cik ilgā laikā tā apriņķo Sauli?

Risinājums.

| | | |
|------------------|--|---|
| $S = 583^d,92$ | Venera ir iekšējā planēta, tādēļ | $T = \frac{1}{\frac{1}{583,92} + \frac{1}{365,24}} = 224,7$ dienas. |
| $T_z = 365^d,24$ | | |
| $T = ?$ | $\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_z}$
$T = \frac{1}{\frac{1}{S} + \frac{1}{T_z}}$ | |

Atbilde. Veneras sideriskais periods ir 224,7 dienas.

Vingrinājumi.

13. Cik bieži atkārtojas Marsa opozīcijas, ja tā sideriskais periods ir 1,8809 gadi?

14. Ārējās planētas sinodiskais periods ir 378,09 dienas. Kas tā ir par planētu?

15. Kosmiskā stacija riņķo ap Sauli 30 milj. km attālumā no tās centra. Zemes un stacijas orbītas atrodas vienā plaknē. Cik bieži atkārtojas stacijas neredzamības periodi, tai aizejot aiz Saules?

16.* Mazās planētas sinodiskais periods ir precīzi 2 gadi. Cik liela ir tās orbītas lielā pusass? (Izvēlieties pareizo formulu!)

Perihēlija un afēlija attālums. Ja zināma kosmiskā objekta orbītas lielā pusass a un ekscentricitāte e , tad var aprēķināt šādus orbītas raksturlielumus:

$$\text{perihēlija attālumu } q = a \cdot (1 - e),$$

$$\text{afēlija attālumu } Q = a \cdot (1 + e).$$

Savukārt, zinot perihēlija un afēlija attālumu, viegli aprēķināt orbītas lielo pusasi $a = (Q + q)/2$.

Piemērs.

Kāds ir Enkes komētas perihēlija attālums, ja tās orbītas lielā pusass ir 2,22 ua, bet ekscentricitāte 0,847?

Risinājums.

| | | |
|-----------------------|-----------------------|--|
| $a = 2,22 \text{ ua}$ | $q = a \cdot (1 - e)$ | $q = 2,22 \cdot (1 - 0,847) = 0,340 \text{ ua.}$ |
| $e = 0,847$ | | |
| $q = ?$ | | |

Atbilde. Enkes komētas perihēlija attālums ir 0,34 astronomiskās vienības.

Vingrinājumi.

17. Cik tālu no Saules afēlijā atrodas Plūtons, ja tā orbītas lielā pusass ir 39,54 ua, bet ekscentricitāte 0,25?

18. Starp kādu planētu orbītām atrodas Haleja komētas afēlijs, ja tās apriņķojuma periods ir 76 gadi, bet orbītas ekscentricitāte 0,967?

19. Zemes mākslīgā pavadoņa orbītas augstums pēriņē ir 622 km, bet apogejā 9122 km. Cik liela ir tā orbītas lielā pusass un ekscentricitāte? Zemes rādiuss 6378 km.

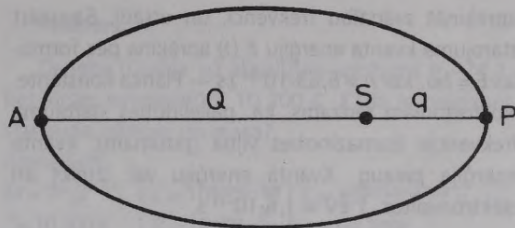
20.* Kādā romānā Žils Verns apraksta komētu, kuras afēlija attālums ir 820 milj. km, bet apriņķošanas periods 2 gadi? Vai šāda komēta ir iespējama? (Pamēģiniet uzzīmēt komētas orbītu!)

Debess ķermeņu masas noteikšana. Ja kosmiskajam objektam (zvaigznei, planētai) ir pavadoņi, kura orbītas lielā pusass a un apriņķošanas periods T ir zināmi, tad pēc precizētā trešā Keplera likuma iespējams noteikt kosmiskā objekta un tā pavadoņa masu summu $M + m$. Ja pavadoņi ir daudzkārt mazāks par centrālo ķermeni ($m \ll M$), tad masu m var neņemt vērā un uzreiz noteikt centrālā ķermeņa masu M . Precizēto trešo Keplera likumu var uzrakstīt šādā formā:

$$M + m = k \cdot \frac{a^3}{T^2}, \text{ kur } k = 4 \frac{\pi^2}{G} \text{ ir konstants lielums (} G \text{ — gravitācijas konstante).}$$

Ja a mēra metros, bet T sekundēs, tad $k = 5,917 \cdot 10^{11} \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^3$ un masu iegūst kilogramos.

Ja a mēra astronomiskajās vienībās, bet T gados, tad $k = 1$ un iegūtā masa ir izteikta Saules masas



6.8. att. Perihēlija un afēlija attālums.

P — perihēlijs, A — afēlijs, S — centrālais ķermenis, q — perihēlija attālums, Q — afēlija attālums.

vienībās M_s . To var pārvērst kilogramos, zinot, ka $M_s = 1,989 \cdot 10^{30} \text{ kg}$.

Piemērs.

Cik liela ir Marsa masa, ja Foboss to apriņķo 0,319 dienās pa orbītu, kuras lielā pusass ir 9378 km?

Risinājums.

| | | |
|--|------------------------|---|
| $a = 9378 \text{ km}$ | $m \ll M$ | $a = 9\,378\,000 \text{ m,}$ |
| $T = 0,319$ | $M = \frac{ka^3}{T^2}$ | $T = 0,319 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 27\,562 \text{ s,}$ |
| $k = 5,917 \cdot 10^{11} \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^3$ | | $M = 5,917 \cdot 10^{11} \times \frac{(9\,378\,000)^3}{(27\,562)^2} = 6,42 \cdot 10^{23} \text{ kg.}$ |
| $M = ?$ | | |

Atbilde. Marsa masa ir $6,42 \cdot 10^{23} \text{ kg}$.

Vingrinājumi.

21. Cik liela ir Jupitera masa kilogramos un Saules masas vienībās, ja pavadoņi Lēda to apriņķo 238,72 dienās pa orbītu, kuras lielā pusass ir $11,094 \cdot 10^6 \text{ km}$?

22. Kosmiskā zonde veic apriņķojumu ap asteroīdu 7 stundās pa orbītu, kuras lielā pusass ir 10 km. Cik liela ir asteroīda masa?

23. Pastāv hipotēze, ka Saulei ir pavadoņi — pundurzvaigzne Nemesīda. Cik liels ir tās vidējais attālums no Saules, ja pieņem, ka Nemesīdas masa ir $0,11 M_s$, bet apriņķošanas periods 30 milj. gadu?

24.* Divas vienādas masas zvaigznes kustas pa riņķveida orbītu ap kopīgu masas centru 100 ua attālumā no tā. Vienu apriņķojumu zvaigznes veic 1000 gados. Cik liela ir to masa? (Uzzīmējiet zvaigžņu orbītu!)

Viļņa garums, frekvence, kvanta enerģija.

Elektromagnētiskā viļņa garumu vakuumā λ (m) un tā frekvenci ν (Hz) saista sakarība $\lambda \nu = c$, kur $c = 299\,792\,458 \text{ m/s} \approx 300 \text{ tūkst. km/s}$ ir gaismas ātrums vakuumā. Zinot viļņa garumu, viegli

aprēķināt svārstību frekvenci, un otrādi. Savukārt starojuma kvanta enerģiju E (J) aprēķina pēc formulas $E = h\nu$, kur $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34}$ Js — Planka konstante. No formulām redzams, ka, palielinoties starojuma frekvencei (samazinoties viļņa garumam), kvanta enerģija pieaug. Kvanta enerģiju var izteikt arī elektronvoltos. $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.

Piemērs.

Infrasarkanā starojuma viļņa garums 1000 nm. Cik liela ir starojuma frekvence un atbilstošā kvanta enerģija elektronvoltos?

Risinājums.

| | | |
|--|----------------------------------|---|
| $\lambda = 1000 \text{ nm}$ | $\nu = c / \lambda$ | $\nu = 3 \cdot 10^8 / 10^{-6} =$ |
| $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ | $E = h\nu$ | $= 3 \cdot 10^{14} \text{ Hz} =$ |
| $h \approx 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ | $1000 \text{ nm} =$ | $= 300\,000 \text{ GHz},$ |
| $\nu \text{ — ?}, E \text{ — ?}$ | $= 10^{-6} \text{ m}$ | $E = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{14} =$ |
| | $1 \text{ eV} =$ | $= 2 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,25 \text{ eV}.$ |
| | $= 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ | |

Atbilde. Starojuma frekvence ir 300 tūkst. GHz un kvanta enerģija 1,25 eV.

V i n g r i n ā j u m i.

25. Reliktstarojuma viļņa garums ir 0,1 cm. Kāda ir relikstarojuma frekvence un kvanta enerģija?

26. Ultraīsviļņu FM diapazona raidstacija raida 100 MHz frekvencē. Cik liels ir šīs raidstacijas viļņa garums?

27. Ūdeņraža atoma jonizēšanai nepieciešama 13,6 eV enerģija. Cik lielam jābūt starojuma viļņa garumam, lai tā kvants spētu jonizēt ūdeņraža atomu?

28.* Divas ārpuszemes civilizācijas sazinās, izmantojot atšķirīgus paņēmienus. Viena civilizācija izmanto lāzera staru, kura konusveida kūļa leņķiskais platums $2'$ un viļņa garums 500 nm. Otrā civilizācija raida radioviļņus ar viļņa garumu 5 cm, kas izplatās 10° platā konusveida kūlī. Kura civilizācija patērē raidīšanai vairāk enerģijas, pieņemot, ka signāla uztveršanai jāsaņem vienāds kvantu skaits? Uztvērēju laukumi ir vienādi. (Salīdziniet, cik lielu laukumu noteiktā attālumā nokļāj lāzera stars un radioviļņu kūlis!)

6.4. ASTRONOMIJAS UZDEVUMI

[Zvaigžņu un galaktiku raksturlielumi]

Zvaigžņu spožums. Zvaigznes spožumu var raksturot ar apgaismojumu, ko tā dod uz Zemes virsu, taču astronomijā zvaigžņu spožumu pieņemts mērit

zvaigžņlielumos. Apgaismojumu E_1 un E_2 , ko dod divas zvaigznes, un to zvaigžņlielumus m_1 un m_2 saista šāda sakarība:

$$\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}, \text{ kur } 10^{0,4} \approx 2,512.$$

Zinot abus zvaigžņlielumus, var aprēķināt apgaismojumu attiecību un noteikt, cik reizi viena zvaigzne spožāka par otru. Un otrādi, ja zināma spožumu attiecība, tad var aprēķināt zvaigžņlielumu starpību $m_2 - m_1 = 2,5 \lg E_1/E_2$.

Zvaigžņlielumu var arī saistīt ar fizikā lietoto apgaismojuma vienību luksu (lx). Vienam luksam atbilst zvaigžņlielums $m_0 = -14^m,18$. Ja zināms objekta zvaigžņlielums m , tad var aprēķināt, kādu apgaismojumu E tas rada uz Zemes virsu:

$$E = 10^{0,4(m_0 - m)}.$$

Piemērs.

Cik reizi 1. zvaigžņlieluma zvaigzne spožāka par 6. zvaigžņlieluma zvaigzni?

Risinājums.

| | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------------|
| $m_1 = 1^m$ | $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(m_2 - m_1)}$ | $\frac{E_1}{E_2} = 10^{0,4(6 - 1)} =$ |
| $m_2 = 6^m$ | | $= 10^2 = 100 \text{ reizes}.$ |
| $\frac{E_1}{E_2} \text{ — ?}$ | | |

Atbilde. 1. zvaigžņlieluma zvaigzne ir 100 reizu spožāka nekā 6. zvaigžņlieluma zvaigzne.

V i n g r i n ā j u m i.

1. Cik reizi Saule ir spožāka par Sīriusu, ja Saules zvaigžņlielums ir $-26^m,74$, bet Sīriusa zvaigžņlielums $-1^m,46$?

2. Neptūns spīd 10 000 reizu vājāk nekā Jupiters. Cik liels ir Neptūna zvaigžņlielums, ja Jupitera zvaigžņlielums ir $-2^m,2$?

3. Pilnmēness spožums ir $-12^m,6$. Vai tā gaismā var lasīt avīzi, ja zināms, ka šim nolūkam nepieciešamais apgaismojums ir 0,2 lx?

4.* Centaura α ir dubultzvaigzne, kuras komponentu spožums ir $0^m,0$ un $1^m,33$. Ar neapbruņotu aci šie komponenti nav izšķirami. Kāds ir to kopējais spožums? (Summējiet zvaigžņu radītos apgaismojumus!)

Redzamais un absolūtais spožums, attālums līdz zvaigznēm. Ja zināma zvaigznes paralakse π loka sekundēs, tad var noteikt attālumu līdz zvaigznei $r = 1/\pi$ parsekos.

$$1 \text{ pc} = 3,262 \text{ ly} = 206\,265 \text{ ua} = 3,0857 \cdot 10^{13} \text{ km}.$$

Zinot attālumu līdz zvaigznei parsekos un tās redzamo spožumu m , var noteikt zvaigznes absolūto spožumu M : $M = m + 5 - 5 \lg r$.

Ja lielumi M un m ir zināmi, tad nav grūti pārveidot šo formulu attāluma noteikšanai:

$$r = 10^{1 + 0,2(m - M)}$$

Piemērs.

Saulei tuvākās zvaigznes Centaura α paralakse ir $0",754$, bet redzamais spožums 0^m . Cik liels ir attālums no Saules līdz zvaigznei parsekos un cik liels — gaismas gados? Kāds ir zvaigznes absolūtais spožums?

Risinājums.

| | | |
|-----------------|---------------------|--|
| $\pi = 0",754$ | $r = \frac{1}{\pi}$ | $r = \frac{1}{0,754} = 1,326 \text{ pc} =$ |
| $m = 0^m$ | $M = m + 5 -$ | $= 4,326 \text{ ly},$ |
| | $- 5 \lg r$ | $M = 0 + 5 - 5 \lg(1,326) =$ |
| $r \text{ — ?}$ | | $= 4^m,39.$ |
| $M \text{ — ?}$ | | |

Atbilde. Attālums līdz Centaura α ir $1,326 \text{ pc}$ jeb $4,326 \text{ ly}$. Zvaigznes absolūtais spožums $4^m,39$.

Vingrinājumi.

5. Cik spoža izskatītos Saule no 10 pc attāluma, ja tās redzamais spožums ir $-26^m,74$ un attālums 1 ua ?
6. Sīriusa redzamais spožums ir $-1^m,46$ un paralakse $0",374$. Kapellas redzamais spožums ir $+0^m,08$ un paralakse $0",073$. Kurai zvaigznei ir lielāks absolūtais spožums?
7. Supernovas absolūtais spožums ir -18^m . Kādā attālumā no Zemes tai jāuzliesmo, lai tā būtu redzama pie debess pilnmēness spožumā ($-12^m,6$)?
- 8.* Pundurzvaigzne, kuras absolūtais spožums $+10^m$, atrodas Galaktikas rādiusa attālumā no Zemes. Vai to iespējams saskatīt modernākajos teleskopos? (Uzdevuma atrisināšanai nepieciešamos lielumus atrodi patstāvīgi!)

Zvaigžņu raksturlielumi. Ja zināms zvaigznes absolūtais spožums M , tad iespējams noteikt tās starjaužu L Saules starjaužas vienībās: $L = 10^{0,4(M_s - M)}$, kur $M_s = 4^m,8$ ir Saules absolūtais spožums. Zinot starjaužu un zvaigznes virsas temperatūru T , ko nosaka pēc tās spektra, var aprēķināt aptuvenu zvaigznes rādiusu R Saules rādiusa vienībās:

$R = (T_s/T)^2 \sqrt{L}$, kur $T_s = 5800 \text{ K}$ — Saules virsas temperatūra. Zvaigznes starjaužu un tās masu m_{zv} , kas izteiktas atbilstoši Saules starjaužas un Saules masas vienībās, saista aptuvena sakarība: $m_{zv} \approx \sqrt[4]{L}$.

Piemērs.

Deneba (Gulbja α) absolūtais spožums ir $-7^m,3$, bet virsas temperatūra $10\,300 \text{ K}$. Kāda ir zvaigznes starjauža, rādiuss un masa?

Risinājums.

| | | |
|-------------------------|------------------------------|--|
| $M = 7^m,3$ | $L = 10^{0,4(M_s - M)}$ | $L = 10^{0,4(4,8 - (-7,3))} =$ |
| $T = 10\,300 \text{ K}$ | $R = (T_s/T)^2 \sqrt{L}$ | $= 69\,200 L_s$ |
| $M_s = 4^m,8$ | $m_{zv} \approx \sqrt[4]{L}$ | $R = \left(\frac{5800}{10\,300}\right)^2 \sqrt{69\,200} =$ |
| $T_s = 5800 \text{ K}$ | | $= 83 R_s$ |
| $L \text{ — ?}$ | | $m_{zv} \approx \sqrt[4]{69\,200} \approx 16 m_s$ |
| $R \text{ — ?}$ | | |
| $m_{zv} \text{ — ?}$ | | |

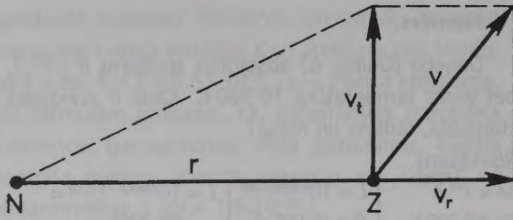
Atbilde. Deneba starjauža ir $69\,200$ reizu lielāka nekā Saulei, Deneba rādiuss ir 83 reizu lielāks nekā Saules rādiuss, bet masa ir aptuveni $16 m_s$.

Vingrinājumi.

9. Polārzvaigznei, kuras virsas temperatūra ir 5800 K , un Antaresam, kura virsas temperatūra 2500 K , ir vienāds absolūtais spožums: $-4^m,7$. Cik lielas ir šo zvaigžņu starjaužas, rādiusi un masas Saules vienībās?
10. Betelgeizei un zvaigznei Krīgers 60 ir vienāda virsas temperatūra 3100 K , bet atšķirīgi absolūtie spožumi. Tie ir atbilstoši $-6^m,0$ un $+11^m,9$. Cik lielas ir šo zvaigžņu starjaužas, rādiusi un masas Saules vienībās?
11. Attālums līdz zvaigznei Eridānas ϵ ir $3,30 \text{ pc}$, zvaigznes redzamais spožums $3^m,73$ un virsas temperatūra 4700 K . Cik liela ir šīs zvaigznes starjauža, rādiuss un masa Saules vienībās?
- 12.* Miglāja masa ir $5 m_s$. Kādu zvaigzni no tā varētu "uzbūvēt"? (Temperatūru izraugieties patstāvīgi!)

Zvaigžņu kustības ātruma noteikšana. A. Ja zvaigznes spektrā konstatēta kādas spektrālīnijas nobīde $\Delta\lambda$ attiecībā pret šīs līnijas viļņa garumu laboratorijā λ , tad var aprēķināt zvaigznes tuvošanās vai attālināšanās ātrumu skata virzienā jeb radiālo ātrumu kilometros sekundē: $v_r = c \cdot \Delta\lambda/\lambda$, kur $c = 299\,792,458 \text{ km/s} \approx 300\,000 \text{ km/s}$ ir gaismas ātrums. Ja radiālais ātrums ir negatīvs, tad zvaigzne tuvojas, bet, ja pozitīvs, — zvaigzne attālinās.

B. Zvaigznes kustības ātrumu perpendikulāri skata virzienam jeb tangenciālo ātrumu v_t kilometros sekundē nosaka, zinot zvaigznes paralaksi π loka sekundēs un īpatnējo kustību μ , kas arī izteikta loka sekundēs. Tad $v_t = k \cdot \mu/\pi$, kur $k = 4,74 \text{ km/s}$ ir konstants lielums.



6.9. att. Zvaigznes telpiskās kustības aprēķinam:

N — novērotājs, Z — zvaigzne, r — attālums līdz zvaigznei, v_t — tangenciālais ātrums, v_r — radiālais ātrums, v — zvaigznes telpiskās kustības ātrums.

C. Zvaigznes telpiskās kustības ātrumu v attiecībā pret novērotāju nosaka pēc šādas formulas:

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2} \text{ (6.9. att.)}$$

Piemērs.

Bārnarda zvaigznes spektrā konstatēta spektrāl-līnijas pārbīde $-0,15 \text{ nm}$ attiecībā pret spektrāl-līnijas viļņa garumu 420 nm laboratorijā. Zvaigznes paralakse ir $0",55$, bet īpatnējā kustība ir $10",31$. Cik liels ir Bārnarda zvaigznes telpiskās kustības ātrums? Vai zvaigzne tuvojas vai attālinās?

Risinājums.

| | | |
|------------------------------------|---|---|
| $\Delta\lambda = -0,15 \text{ nm}$ | $v_r = c \frac{\Delta\lambda}{\lambda}$ | $v_r = 299\,792 \cdot \frac{-0,15}{420} = -107 \text{ km/s};$ |
| $\lambda = 420 \text{ nm}$ | | |
| $c = 299\,792 \text{ km/s}$ | $v_t = k \frac{\mu}{\pi}$ | $v_t = 4,74 \cdot \frac{10,31}{0,55} = 89 \text{ km/s};$ |
| $k = 4,74 \text{ km/s}$ | | |
| $\pi = 0",55$ | $v = \sqrt{v_r^2 + v_t^2}$ | $v = \sqrt{(-107)^2 + (89)^2} = 139 \text{ km/s}.$ |
| $\mu = 10",31$ | | |
| $v = ?$ | | |

Atbilde. Bārnarda zvaigznes telpiskās kustības ātrums ir 139 km/s . Zvaigzne tuvojas.

V i n g r i n ā j u m i.

13. Cik lielu radiālo ātrumu iespējams izmērīt, ja spektrālā aparātūra spēj konstatēt minimālo spektrāl-līnijas pārbīdi $0,004 \text{ nm}$, turklāt viļņa garums ir 400 nm ?

14. Zvaigznes Indiāņa ϵ tangenciālais ātrums ir 78 km/s , bet paralakse $0",285$. Cik ilgā laikā zvaigzne veiks pie debess attālumu, kas vienāds ar Mēness leņķisko diametru ($30'$)?

15. Aldebarana spektrā līnija ar viļņa garumu 666 nm nobīdīta par $0,12 \text{ nm}$. Zvaigznes paralakse ir $0",048$, īpatnējā kustība $0",203$. Cik liels ir Aldebarana radiālais, tangenciālais un telpiskās kustības ātrums?

16.* Zvaigznes telpiskās kustības ātrums ir 99 km/s , paralakse $0",3$, īpatnējā kustība $4",43$. Kāds ir tās radiālais ātrums? (Pārdomājiet risinājuma variantus!)

Galaktiku attāluma noteikšana. Galaktikas attālināšanās ātrumu v kilometros sekundē var noteikt, ja zināma spektrāl-līnijas nobīde tās spektrā $\Delta\lambda$ attiecībā pret šīs līnijas viļņa garumu λ laboratorijā. Vispirms aprēķina sarkano nobīdi $z = \Delta\lambda/\lambda$ un pēc tam ātrumu $v = cz$, kur $c = 299\,792,458 \text{ km/s} \approx 300\,000 \text{ km/s}$ — gaismas ātrums. Tālākajiem astronomiskajiem objektiem $z > 1$. Taču tas nenozīmē, ka objekta attālināšanās ātrums ir lielāks par gaismas ātrumu. Pastāvot lieliem ātrumiem, jāņem vērā relativitātes efekti un, ja $z > 0,2$, tad attālināšanās ātrums jāaprēķina pēc formulas:

$$v = c \frac{(z+1)^2 - 1}{(z+1)^2 + 1}$$

Šajā gadījumā, ja sarkanā nobīde tuvojas bezgalībai, tad ātrums tuvojas gaismas ātrumam.

Ja galaktikas attālināšanās ātrums ir zināms, tad var noteikt attālumu r līdz galaktikai megaparsekos, izmantojot Habla likumu: $r = v/H$, kur $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$ — Habla konstante.

Piemērs.

Galaktikas M 87 spektrā līnija ar viļņa garumu 434 nm ir nobīdījusies par $1,77 \text{ nm}$ uz spektra sarkano galu. Cik liels ir galaktikas attālināšanās ātrums un attālums līdz tai?

Risinājums.

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|---|
| $\lambda = 434 \text{ nm}$ | $z = \Delta\lambda/\lambda$ | $z = 1,77/434 = 0,004;$ |
| $\Delta\lambda = 1,77 \text{ nm}$ | $z > (0,2)$ | $v = 299\,792 \cdot 0,004 = 1200 \text{ km/s};$ |
| $c = 299\,792 \text{ km/s}$ | $v = cz$ | $= 1200 \text{ km/s};$ |
| $H = 75 \text{ km/s/Mpc}$ | $r = v/H$ | $r = 200/75 = 16 \text{ Mpc}.$ |
| $v = ?$ | | |
| $r = ?$ | | |

Atbilde. Galaktika M87 attālinās ar ātrumu 1200 km/s un atrodas 16 Mpc attālumā.

V i n g r i n ā j u m i.

17. Kvazāra 3C273 spektrā novērojama 280 nm viļņa garuma spektrāl-līnijas pārbīde par $+44,2 \text{ nm}$. Cik liels ir attālums līdz kvazāram?

18. Sombrero galaktika (M 104) attālinās ar ātrumu 1030 km/s . Tās leņķiskais diametrs ir $10'$. Cik liels ir galaktikas lineārais diametrs?

19. Berenikes Matu un Hidras zvaigznājos esošo galaktiku kopu sarkanā nobīde ir atbilstoši $0,022$ un $0,225$. Cik liels ir šo galaktiku kopu attālināšanās ātrumi un attālumi?

20.* Zinot Habla konstanti, nosakiet Visuma iespējamo vecumu! (Noskaidrojiet, cik vienā parsekā ir kilometru un cik gadā — sekunžu!)

Kosmiskie ātrumi. Lai noteiktu pirmo un otro kosmisko ātrumu, jāzina debess ķermeņa masa M kilogramos, tā rādiuss R metros un gravitācijas konstante $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$.

Ja kādam objektam piešķir pirmo kosmisko ātrumu v_1 , tad tas kustas ap debess ķermeni pa riņķveida orbītu attālumā R ar ātrumu $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ m/s.

Ja kosmiskais objekts kustas ap debess ķermeni pa riņķveida orbītu augstumā h metri, tad tā ātrums ir $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$ (m/s).

Ja kādam objektam piešķir otro kosmisko ātrumu v_2 , tad tas aizlido projām no debess ķermeņa pa parabolu ar ātrumu

$$v_2 = \sqrt{2 \frac{GM}{R}} = \sqrt{2} \cdot v_1 \text{ (m/s)}$$

Piemērs.

Cik liels ir pirmais un otrais kosmiskais ātrums uz Zemes, ja tās masa ir $5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, bet rādiuss 6378 km

Risinājums.

| | | |
|---|-----------------------------|---|
| $M = 5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ | $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ | $v_1 = \sqrt{\frac{6,672 \cdot 10^{-11} \cdot 5,974 \cdot 10^{24}}{6\,378\,000}} =$ |
| $R = 6\,378\,000 \text{ m}$ | $v_2 = \sqrt{2} \cdot v_1$ | $= 7905 \text{ m/s} \approx 7,91 \text{ km/s};$ |
| $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{kg} \cdot \text{s}^2)$ | | $v^2 = \sqrt{2} \cdot 7905 = 11\,180 \text{ m/s} \approx$ |
| | | $\approx 11,18 \text{ km/s}$ |

Atbilde. Pirmais kosmiskais ātrums uz Zemes ir $7,91 \text{ km/s}$, bet otrais kosmiskais ātrums ir $11,18 \text{ km/s}$.

Vingrinājumi.

21. Cik liels ir kosmiskā kuģa ātrums riņķveida orbītā ap Zemi, ja orbītas augstums ir 400 km ? Zemes masa ir $5,974 \cdot 10^{24} \text{ kg}$, rādiuss 6378 km .

22. Ar cik lielu ātrumu jāsviež akmens, lai tas sāktu riņķot ap sfērisku asteroīdu, kura masa ir 10^{15} kg , bet rādiuss 4 km ?

23. Cik liels ātrums jāsasniedz kosmiskajam kuģim, lai aizlidotu projām no Mēness? Mēness masa ir $7,35 \cdot 10^{22} \text{ kg}$, bet rādiuss 1738 km .

24.* Cik lielam jābūt Saules rādiusam, lai tā kļūtu par melno caurumu? Saules masa ir $2 \cdot 10^{30} \text{ kg}$. (Noskaidrojiet, cik liels ir otrais kosmiskais ātrums gravitācijas rādiusa attālumā no melnā cauruma centra!)

Reaktīvā kustība. Ja no raķetes izsviež darbvielas porciju ar masu m un ātrumu v_d , tad raķete, kuras masa ir M , iegūst ātrumu v_R . Šos lielumus

saista impulsa nezūdamības likums $Mv_R = -mv_d$. Minusa zīme norāda, ka darbvielas izplūšana un raķetes kustība notiek pretējos virzienos. Taču reālā lidojumā raķetes masa mainās nepārtraukti uz izvies-tās darbvielas rēķina. Tāpēc kustības procesa aprakstišanai lieto sarežģītāku formulu $v_R = -v_d \ln(1 + \frac{m}{M})$. Šajā gadījumā m — degvielas kopējā masa, v_d — darbvielas izplūšanas ātrums, M — raķetes masa pēc degvielas iztērēšanas un v_R — raķetes iegūtais ātrums. Pēc formulas aprēķinātais ātrums ir maksimālais ātrums, ko raķete var iegūt gadījumā, ja tā kustas ārpus Zemes atmosfēras un uz to nedarbojas Zemes pievilkšanas spēks.

Piemērs.

Raķetes sākotnējā masa 100 t , no tās 90 t ir degvielas masa. Darbvielas izplūšanas ātrums ir -2 km/s . Cik lielu ātrumu iegūs raķete pēc degvielas iztērēšanas?

Risinājums.

| | | |
|---------------------------|-----------------------------------|--|
| $m = 90\,000 \text{ kg}$ | $v_R = -v_d \ln(1 + \frac{m}{M})$ | $v_R = -(-2000) \cdot$ |
| $v_d = -2000 \text{ m/s}$ | | $\ln(1 + 90000/10\,000) =$ |
| $M = 10\,000 \text{ kg}$ | | $= 2000 \cdot \ln 10 = 4605 \text{ m/s}$ |
| $v_R = ?$ | | |

Atbilde. Raķete iegūs ātrumu $4,6 \text{ km/s}$.

Vingrinājumi.

25. F. Candra konstruētās raķetes GIRD-X masa bija $29,5 \text{ kg}$, no tās $8,3 \text{ kg}$ — degvielas masa. Cik lielu ātrumu sasniegta raķete, ja gāzu izplūdes ātrums bija -3160 m/s ?

26. Vienpakāpes automātiskā raķete ar ķīmisko raķešdzinēju (gāzu izplūdes ātrums -4343 m/s) startēja Centaura α virzienā. Raķetes sākotnējā masa $1\,000\,000 \text{ t}$, derīgā krava 1 t . Pēc cik gadiem raķete sasniegs mērķi, ja attālums līdz zvaigznei ir $4,1 \cdot 10^{13} \text{ km}$? Vienā gadā ir $31\,556\,925 \text{ s}$.

27. Avārijas rezultātā no kosmiskās stacijas atdalījās 1 t smaga sekcija bez dzinējiem, kas attālinājās no stacijas ar ātrumu $3,4 \text{ m/s}$. Sekcijā palikušais kosmonauts izsvieda sekcijas kustības virzienā 10 aparatūras blokus ar ātrumu 5 m/s . Katra bloka masa 50 kg . Vai kosmonautam izdosies atgriezties stacijā?

28.* Aprēķināt, cik daudz degvielas nepieciešams lidojumam ar vienpakāpes raķeti uz Marsu, ja raķetes derīgā krava ir 5 t . Otrais kosmiskais ātrums uz Zemes ir $11,19 \text{ km/s}$. Darbvielas izplūdes ātrums $-3,73 \text{ km/s}$. (Ņemiet vērā bremzēšanai nepieciešamo degvielas daudzumu!)

6.5. VIENKĀRŠA TELESKOPA UN SAULES PULKSTEŅA IZGATAVOŠANA

Teleskops. Lai sīkāk iepazītos ar teleskopa uzbūvi un darbības principu, ieteicams pašam uzbūvēt vienkāršu teleskopu. To varēs izmantot arī astronomiskajos novērojumos.

Astronomijas literatūrā ir aprakstīts, kā patstāvīgi izgatavot spoguļteleskopu, taču šeit aplūkosim vienkārša lēcu teleskopa salikšanu no gatavām optiskām detaļām, ko iespējams veikt dažās stundās. Līdzīgus teleskopus astronomi izmantoja 17. gs. un, neraugoties uz to vienkāršo uzbūvi, izdarīja daudzus atklājumus.

Teleskopa izgatavošanai vajadzīgi šādi materiāli: objektīva lēca, divas okulāra lēcas, liela rasējāmā papīra loksne, lime un melna tuša. Lēcu fokusa attālumam jābūt zināmam. To var aptuveni noteikt, izmērot, kādā attālumā aiz lēcas fokusējas Saules vai cita tāla gaismas avota stari.

Objektīvs. Kā objektīvu var izmantot gandrīz jebkuru savācējlēcu, ja vien tai ir pietiekami liels fokusa attālums. Tā var būt abpusēji izliekta, vienusēji izliekta vai meniska formas (brilju lēca). Liels fokusa attālums (≈ 1 m) vajadzīgs divu iemeslu dēļ. Pirmkārt, ar lielu objektīva fokusa attālumu var iegūt lielu palielinājumu, otrkārt, jāievēro nosacījums, ka lēcas fokusa attālumam jābūt vismaz 25 reizes lielākam nekā tās diametram. Tas ir vajadzīgs, lai samazinātu optiskās nepilnības, kas piemīt vienkāršai lēcai.

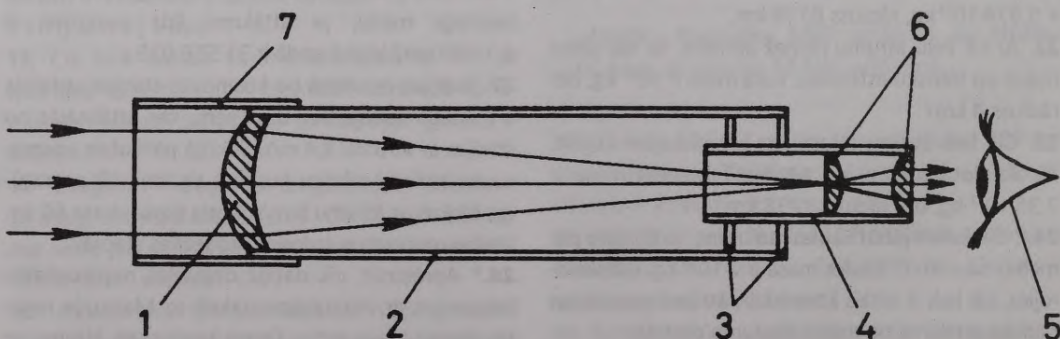
Ja ir pieejama ahromatiska lēca, t.i., lēca, kurai optiskās nepilnības ir novērstas, tad pēdējais nosacījums nav jāievēro.

Okulārs. Par visvienkāršāko okulāru var izmantot īsfokusa savācējlēcu, taču ar to iegūst sliktu attēlu. Labākus rezultātus var iegūt ar okulāru, kas sastāv vismaz no divām lēcām. Tāds, piemēram, ir Ramsdena okulārs. Tā izgatavošanai vajadzīgas divas vienusēji izliektas lēcas ar vienādu fokusa attālumu. Lēcas pagriež ar izliektajām pusēm vienu pret otru un novieto attālumā, kas vienāds ar $7/10$ lēcu fokusa attāluma. Kopējais fokusa attālums, ko dod okulārs, ir 1,3 reizes mazāks nekā atsevišķo lēcu fokusa attālums.

Ja rīcībā ir gatavi mikroskopa, binokļa, teodolīta vai citi okulāri, tad var izmantot tos. Ja uz okulāra uzrakstīts tā palielinājums n_{ok} (reizes), bet nav dots fokusa attālums f milimetros, tad to var aprēķināt pēc formulas $f = 250/n_{ok}$.

Teleskopa darbības princips. Teleskopa objektīvs savāc gaismu un izveido objekta attēlu, bet okulārs to palielina un padara ērti aplūkojamu (6.10. att.). Objektīvu un okulāru novieto tā, lai to fokusi sakristu. Teleskopa fokusā stari krustojas, tādēļ veidojas apgriezts attēls.

Teleskopa konstruēšana. No papīra salīmē cauruli, kuras diametrs vienāds ar objektīva lēcas diametru. Caurulei jābūt par pāris centimetriem īsākai nekā objektīva fokusa attālums. Caurules iekšpusi iepriekš noklāj ar melnu tušu. Vienā galā nostiprina objektīva lēcu tā, lai lēca nesašķiebtos. Turpat uzlīmē blendi, kuras garums 1,5 reizes pārsniedz objektīva diametru. Tā pasargā objektīvu no sānu gaismas un norasošanas. Caurules otrajā galā dažu centimetru attālumā vienu no otra ielīmē divus kartona gredzenus. Pēc tam salīmē mazāka garuma un diametra



6.10. att. Staru gaita teleskopā.

Apzīmējumi: 1 — objektīvs (brilju lēca), 2 — teleskopa caurule, 3 — okulāra caurules turētāji, 4 — okulāra caurule, 5 — acs, 6 — okulārs, 7 — blende.

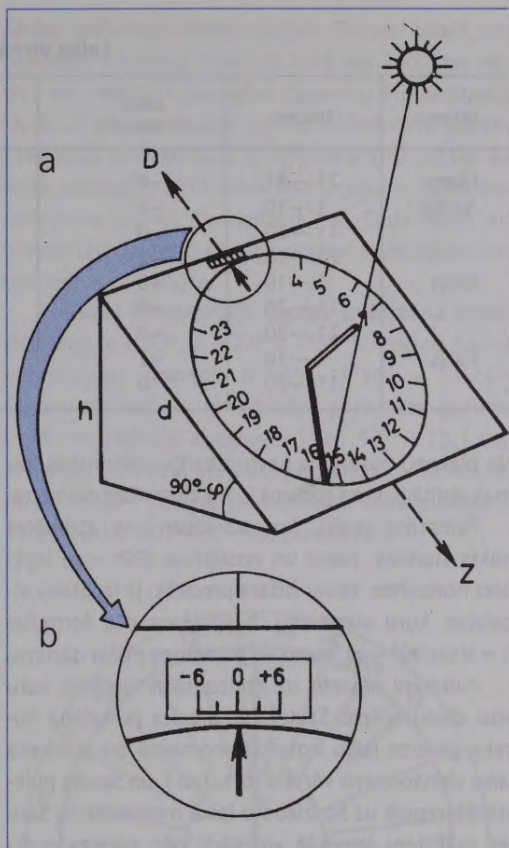
cauruli, kurā iestiprina okulāru. Cauruli iebīda gredzenos, un teleskops ir gatavs. Pārvietojot okulāra cauruli, teleskopu iespējams fokusēt. Lai noteiktu visus vajadzīgos izmērus, ieteicams uzzīmēt teleskopa izveides projektu noteiktā mērogā jau pirms darba uzsākšanas.

Teleskopa izmantošana. Nosakiet teleskopa palielinājumu (reizēs) pēc formulas $n=F/f$, kur F — objektīva fokusa attālums, bet f — okulāra fokusa attālums! Novērojot Sauli, ievērojiet piesardzību! Uz Sauli drīkst skatīties tikai caur tumšu filtru, vai projicējot to uz ekrāna. Iespējams, ka spožākajiem objektiem (Mēnesim, Venerai) būs redzamas miglainas un krāsainas maliņas. Tādā gadījumā jāsamazina objektīva diametrs, uzliekot tam kartona gredzenu. Ja teleskops ir tik liels, ka to grūti noturēt rokās, tad jāizgatavo montējums un statīvs.

Piemērs. Teleskopu var izveidot, piemēram, no briļļu lēcas, kuras diametrs 40 mm, fokusa attālums 1 m, un no divām vienusēji izliektām lēcām ar 26 mm fokusa attālumu. Briļļu lēca der par objektīvu, jo tās fokusa attāluma un diametra attiecība ir $1000/40 = 25$. No divām pārējām lēcām var izgatavot Ramsdena okulāru, kura fokusa attālums ir $26/1,3 = 20$ mm. Šāds teleskops dod $1000/20 = 50$ reižu palielinājumu.

SAULES PULKSTENIS. Senatnē un viduslaikos Saules pulkstenis bija galvenā laika mērīšanas ierīce, līdz to aizstāja mehāniskais pulkstenis. Izgatavojot Saules pulksteni, var ļabi iepazīties ar Saules kustību pie debess. Šāds pulkstenis ir dekoratīvs un izmantojams arī laika mērīšanai. Laiku nosaka pēc pulksteņa rādītāju mestās ēnas stāvokļa attiecībā pret ciparnīcas iedaļām. Ar Saules pulksteni var mērīt laiku ar precizitāti līdz vienai minūtei. Protams, jebkurš Saules pulkstenis rāda laiku tikai tad, kad spīd Saule. Pulksteņa izgatavošanai ir jāzina novērotāja atrašanās vietas ģeogrāfiskais garums λ un ģeogrāfiskais platumus φ ar precizitāti līdz pusgrādam.

Ekvatoriālais Saules pulkstenis. Ekvatoriālā Saules pulksteņa ciparnīca ir novietota slīpi pret horizontu, paralēli debess ekvatoram (6.11. att. a). Tas nozīmē, ka šis pulkstenis rāda laiku tikai pusgadu (aptuveni no 21. marta līdz 23. septembrim), kad Saule atrodas debess ziemeļu puslodē un apspīd ciparnīcu no augšas. Pulkstenim ir vienkārša ciparnīca, un nerodas sarežģījumi ar pāreju uz ziemas laiku. Atskaitot dažas dienas pēc 21. marta, pulksteņa darbības periods atbilst vasaras laikam.



6.11. att. a — ekvatoriālā Saules pulksteņa uzbūve:

$(90^\circ - \varphi)$ — pamatnes leņķis, d — pamatnes malas garums, h — pamatnes augstums, D — dienvidi, Z — ziemeļi.

b — pulksteņa korekcijas skala.

Vispirms izgatavo apaļu ciparnīcu ar 20...30 cm diametru un sadala to 24 (nevis 12) vienādās daļās. Iedaļas numurē pulksteņa rādītāju kustības virzienā no 1 līdz 24. Stundu iedaļas no 4 līdz 23 sadala vēl sīkāk (6 vai 12 daļās). Tad mazo iedaļu lielums atbilstoši ir 10 vai 5 minūtes.

Vietas ģeogrāfisko garumu pārrēķina stundās un minūtēs, ņemot vērā, ka vienam grādam atbilst četras minūtes, un rezultātu atņem no 15^h , tad iegūst vidējo Saules kulminācijas momentu.

Ciparnīcu novieto uz kvadrātveida pamatnes tā, lai iedaļa ar Saules kulminācijas momentu atrastos vienas malas vidū. Jāsaglabā iespēja nedaudz grozīt ciparnīcu ap asi. Ciparnīcas centrā, perpendikulāri

Laika vienādojuma vērtības

| Mēnesis | Datums | Laika vienādojums | Mēnesis | Datums | Laika vienādojums |
|---------|---------|-------------------|------------|---------|-------------------|
| Marts | 21.—31. | -6 ^m | Jūnijs | 21.—30. | -3 ^m |
| Aprīlis | 1.—10. | -3 | Jūlijs | 1.—10. | -5 |
| | 11.—20. | 0 | | 11.—20. | -6 |
| Maijs | 21.—30. | +2 | | 21.—30. | -6 |
| | 1.—10. | +3 | Augusts | 1.—10. | -6 |
| | 11.—20. | +4 | | 11.—20. | -4 |
| | 21.—30. | +3 | | 21.—30. | -2 |
| Jūnijs | 1.—10. | +2 | Septembris | 1.—10. | +1 |
| | 11.—20. | 0 | | 11.—20. | +5 |

tās plaknei, nostiprina tievu, izturīgu cilindriskas formas rādītāju, kura garums ir 1/4 ciparnīcas diametra.

Pamatnes malu, kur uz ciparnīcas atzīmētas nakts stundas, paceļ un nostiprina ($90^\circ - \varphi$) leņķī pret horizontu. To var izdarīt precīzāk, ja izgatavo atbalstus, kuru augstumu h aprēķina pēc formulas $h = d \sin(90^\circ - \varphi)$, kur d — pamatnes malas garums.

Pulksteni novieto uz horizontālas virsmas, kuru visu dienu apspīd Saule. Pēc precīza pulksteņa nosaka pareizo laiku noteiktā momentā un pieskaita laika vienādojuma vērtību (6.1. tab.), un Saules pulksteni ieregulē uz šo izlaboto laika momentu. Ja Saules pulksteni ieregulē vienkārši pēc pareiza pulksteņa, tad tajā dienā tas rādītu pareizi, bet ar laiku kļūda palielinātos līdz 10 minūtēm.

Pareizi iestādīts ekvatoriālais Saules pulkstenis rāda laiku ar precizitāti 3...6 minūtes. Kā to padarīt precīzāku? Lai iegūtu pareizo laiku, no pulksteņa

rādījuma var vienkārši atņemt laika vienādojuma vērtību atbilstošajā datumā.

Tabulu ir vēlams uzzīmēt uz pulksteņa ciparnīcas.

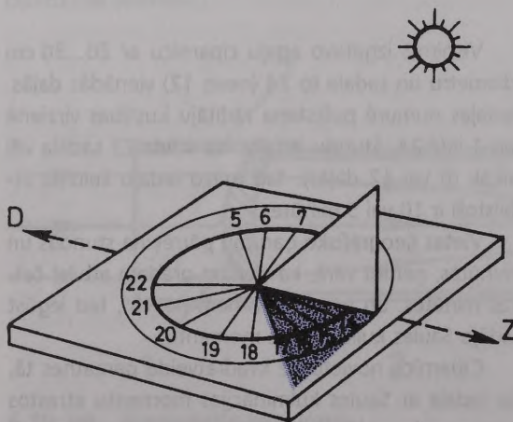
Korekciju var izdarīt arī, nedaudz pagriežot ciparnīcu (bet ne visu pulksteni!) ap asi. Tādā gadījumā uz ciparnīcas īpaši iezīmē vidējam Saules kulminācijas momentam diametrāli pretējo punktu (pusnakts punktu). Tam pretī ārpus ciparnīcas novieto nelielu skalu, uz kuras atliktas minūšu iedaļas no -6^m līdz +6^m (6.11. att. b). Ciparnīcu nedaudz pagriež tā, lai pusnakts punkts rādītu laika vienādojuma vērtību noteiktā datumā. Pēc korekcijas veikšanas pulksteņa rādījumu precizitāte būs aptuveni 1...2 minūtes.

Piemērs ekvatoriālā Saules pulksteņa izveidei.

Rīgā ($\lambda = 24^\circ$, $\varphi = 57^\circ$). Pārreķina: $24^\circ = 1^h36^m$. Vidējais Saules kulminācijas moments ir $15^h - 1^h36^m = 13^h24^m$. Ciparnīcas diametrs 30 cm, rādītāja garums 7,5 cm, pamatnes malas garums 32 cm. Ciparnīcas slīpums pret horizontu ir $90^\circ - 57^\circ = 33^\circ$. Atbalsta augstums $32 \sin(90^\circ - 57^\circ) = 17,4$ cm. Ja Saules pulksteni uzstāda 5. aprīlī plkst. 10^h40^m , tad tas jāieregulē uz laika momentu $10^h40^m + (-3^m) = 10^h37^m$.

Horizontālais Saules pulkstenis. Šī pulksteņa izgatavošana ir nedaudz sarežģītāka, toties tas rāda laiku visu gadu, jo tā ciparnīca atrodas horizontālā stāvoklī. Uz horizontālas virsmas mestās rādītāja ēnas kustības ātrums diennakts laikā mainās, tādēļ horizontālā Saules pulksteņa stundu iedaļas nav vienādas (6.12. att.).

Aprēķināsim ciparnīcas iedalījumu saskaņā ar vasaras laiku. Pirmkārt, nosaka vidējo Saules kulminācijas momentu, $t_k = 15^h - \lambda$. Pēc tam visām pilnām stundām t no 8^h līdz 19^h aprēķina starpību $t - t_k$ un pārvērš to leņķiskās vienībās, ņemot vērā, ka vienai



6.12. att. Horizontālais Saules pulkstenis.

stundai atbilst 15° . Piemēram, ja $t_k = 13^h30^m$ un $t = 10^h$, tad $t - t_k = -3^h30^m = -52^\circ,5$. Aprēķina katrai stundai iedaļas leņķi e pēc formulas $\operatorname{tg} e = \sin\varphi \cdot \operatorname{tg}(t - t_k)$. Lai no leņķa tangensa aprēķinātu leņķi, izmanto arktangensa funkciju. Iegūst divpadsmit stundu iedaļu leņķu vērtības — sešas negatīvas un sešas pozitīvas.

Uzzīmē ciparnīcas apli, kura diametrs 20...30 cm, un novelk rādiusu. Pa kreisi no rādiusa ar transportieri atliek negatīvās leņķa vērtības, bet pa labi — pozitīvās. Katrai iedaļai pieraksta atbilstošo stundu. Trūkstošās rīta un vakara stundu iedaļas atliek pretī iedaļai, kas atšķiras tieši par 12 stundām. Piemēram, iedaļa "4" atrodas tieši pretī iedaļai "16", utt. Katru stundas iedaļu sadala vēl sīkāk 6 vai 12 daļās (6.13. att. a).

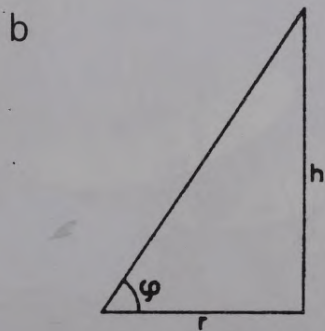
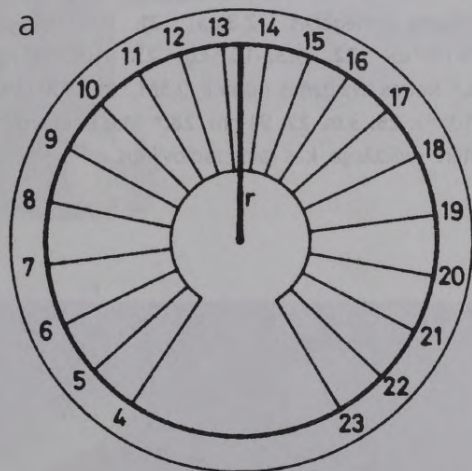
Kad ciparnīca ir izveidota, no plāna, bet izturīga materiāla izgatavo taisnleņķa trijstūra formas rādītāju. Tā pamatnes garums ir vienāds ar ciparnīcas rādiusu r , bet augstumu aprēķina pēc formulas $h = r \operatorname{tg}\varphi$, kur φ — ģeogrāfiskais platums (6.13. att. b). Rādītāju nostiprina uz sākumā novilkta ciparnīcas rādiusa tā, lai rādītāja vertikālā mala atrastos ārpusē. Pulkstenim izgatavo kvadrātveida vai citādu pamatni.

Pulksteni novieto uz horizontālas virsmas un pagriež tā, lai tas rādītu laika momentu, ko iegūst, pareizajam laikam pieskaitot laika vienādojuma vērtību noteiktajā dienā. *Laiku nolasa pēc rādītāja slīpās malas mestās ēnas*. Pulkstenis ir gatavs lietošanai.

Šādi konstruēts horizontālais Saules pulkstenis pareizi rādīs laiku visā vasaras laika periodā. Lai tas pareizi rādītu arī ziemas laiku, visām ciparnīcas iedaļām blakus var pierakstīt par stundu mazākus skaitļus. Tāpat kā ekvatoriālais pulkstenis, arī horizontālais pulkstenis rāda laiku ar pareizību līdz laika vienādojumam. Tā kā rudenī un ziemā laika vienādojuma vērtība var sasniegt ± 15 min, horizontālo

Saules pulksteni vēlams koriģēt. To var izdarīt, no pulksteņa rādījuma atņemot laika vienādojuma vērtību vai nedaudz pagriežot ciparnīcu (ne rādītāju), tāpat kā ekvatoriālajam Saules pulkstenim. Korekcijas skalai jābūt plašākai ($\pm 15^m$), un korekcijas tabulu ērtāk uzzīmēt grafika veidā visam gadam. Laika vienādojuma grafiks atrodams 1.4.§. Tādā veidā arī horizontālā Saules pulksteņa rādījuma precizitāte var sasniegt 1...2 minūtes.

Piemērs horizontālā Saules pulksteņa izveidei. Rigā ($\varphi = 57^\circ$, $\lambda = 24^\circ = 1^h36^m$). Vidējais Saules kulminācijas moments ir $15^h - 1^h36^m = 13^h24^m$. Ciparnīcas rādiuss un rādītāja pamatnes garums ir 15 cm, rādītāja augstums $15 \operatorname{tg} 57^\circ = 23,1$ cm. Ja Saules pulksteni uzstāda, piemēram, 5. novembrī plkst. 15^h29^m , tad tas jāieregulē uz laika momentu $15^h20^m + 16^m = 15^h36^m$ pēc ziemas laika.



6.2. tabula
Horizontālā Saules pulksteņa stundu iedaļu leņķi

| Stunda | Iedaļas leņķis e , $^\circ$ | Stunda | Iedaļas leņķis e , $^\circ$ |
|--------|-------------------------------|--------|-------------------------------|
| 8 | -79,3 | 14 | +7,6 |
| 9 | -62,0 | 15 | +20,5 |
| 10 | -46,0 | 16 | +34,2 |
| 11 | -31,4 | 17 | +49,1 |
| 12 | -17,9 | 18 | +65,4 |
| 13 | -5,0 | 19 | +82,9 |

6.13. att. Horizontālā Saules pulksteņa ciparnīcas (a) iedalījums un rādītāja (b) izveide.



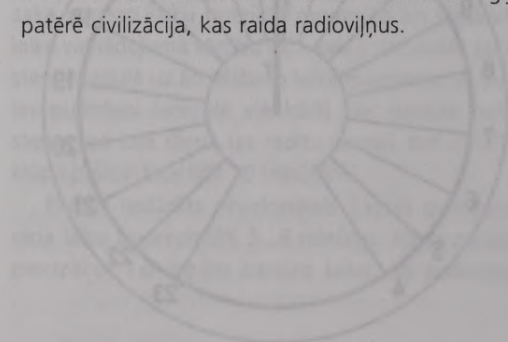
ATBILDES

6.3. §.

1. $57^{\circ}41'$. 2. $-16^{\circ}43'$; Sīriuss. 3. 20° ; $\varphi = \delta$.
 4. * Vietas ģeogrāfiskais platums 60° . 5. 100 m.
 6. 19,19 ua; Urāns. 7. $8''$. 8.* Palielinājumu rēķināt nav jēgas, jo tik sīku objektu no Zemes nevar saskatīt atmosfēras nehomogenitātes dēļ. 9. 0,387 ua.
 10. 1,77 dienas. 11. 35 866 km. 12.* Lidojums ilgs 10 dienas. 13. Divi gadi un 49 dienas. 14. Saturns.
 15. $35^d,9$. 16.* Iespējamās divas atbildes: 0,763 ua un 1,587 ua. 17. 49,43 ua. 18. 35,29 ua, starp Neptūnu un Plūtonu. 19. $a = 11\,250$ km, $e = 0,378$.
 20.* Tāda komēta nav iespējama, jo tās perihēlija attālums ir negatīvs ($-2,3$ ua). 21. $0,001M_{\odot}$ jeb $1,9 \cdot 10^{27}$ kg. 22. $9,32 \cdot 10^{14}$ kg. 23. 100 000 ua.
 24.* Katras zvaigznes masa ir $0,5M_{\odot}$. 25. 300 GHz; $2 \cdot 10^{-22}$ J. 26. 3 m. 27. 91 nm. 28.* Mazāk enerģijas patērē civilizācija, kas raida radioviļņus.

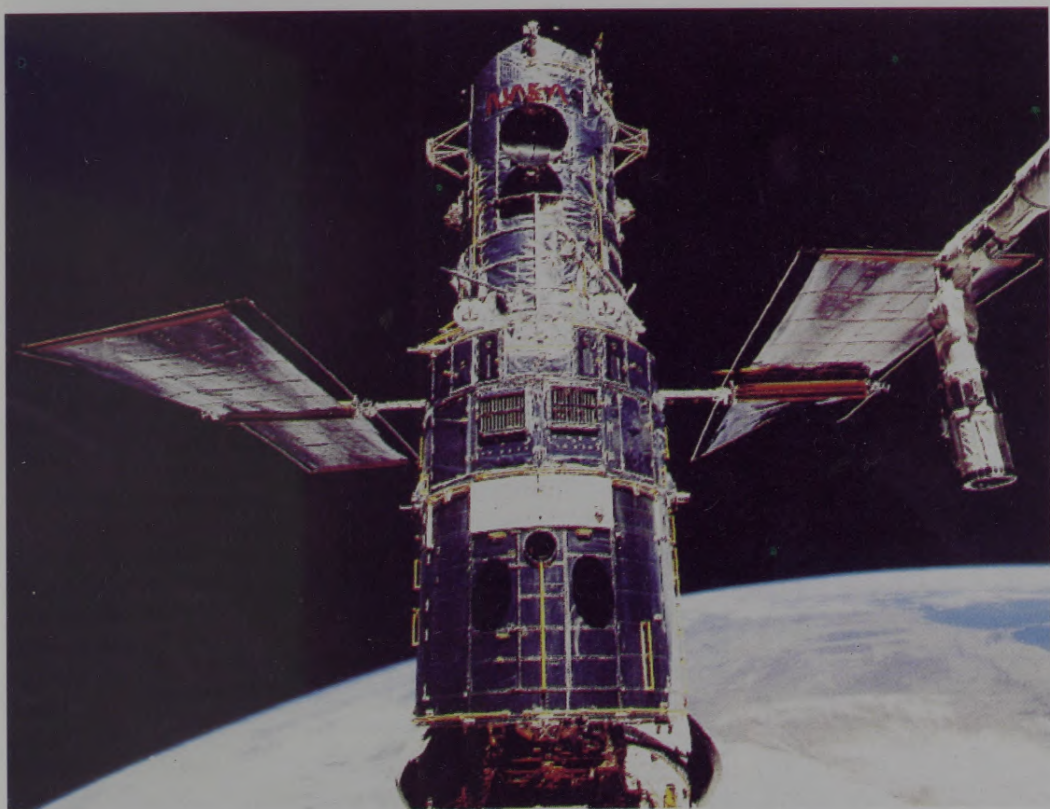
6.4. §.

1. 13 mljrd. reižu. 2. $7^m,8$. 3. Jā, jo Mēness dod 0,23 lx apgaismojumu. 4.* Centaura α komponentu kopējais spožums ir $-0^m,28$. 5. $4^m,83$.
 6. Kapella ($M = -0^m,6$) ir spožāka par Sīriusu ($M = 1^m,4$). 7. 120 pc. 8.* Jā, jo zvaigznes redzamais spožums aptuveni ir 26^m , bet teleskopos saskatāmas zvaigznes, kuru spožums ir 30^m . 9. $L = 6300L_{\odot}$, $m_{zv} = 9m_{\odot}$. Polārzvaigznei $R = 79R_{\odot}$, Antaresam $R = 427R_{\odot}$. 10. Betelgeizei: $L = 20\,900L_{\odot}$, $R = 506R_{\odot}$, $m_{zv} = 12m_{\odot}$; Krīgeram 60: $L = 0,001L_{\odot}$, $R = 0,13R_{\odot}$, $m_{zv} = 0,2m_{\odot}$. 11. $L = 0,29L_{\odot}$, $R = 0,82R_{\odot}$, $m_{zv} = 0,7m_{\odot}$. 12.* Zvaigznes starжда 625 L_{\odot} , bet rādiuss ir atkarīgs no temperatūras: ja $T = 2900$ K, tad $R = 100R_{\odot}$; ja $T = 5800$ K, tad $R = 25R_{\odot}$; ja $T = 11\,600$ K, tad $R = 6,25R_{\odot}$. 13. 3 km/s. 14. 384 gados. 15. $v_r = +54$ km/s, $v_t = 20$ km/s, $v = 58$ km/s. 16.* Iespējamās divas atbildes: $+70$ km/s un -70 km/s. 17. 630 Mpc. 18. 40 kpc. 19. Berenikes Matu galaktiku kopa: $v = 6600$ km/s, $r = 88$ Mpc; Hidras galaktiku kopa: $v = 60$ tūkst. km/s, $r = 800$ Mpc. 20.* Saskaņā ar Habla konstantes vērtību Visuma vecums ir aptuveni 13 mljrd. gadu. 21. 7,67 km/s. 22. 4 m/s. 23. 2,38 km/s. 24.* Lai Saule kļūtu par melno caurumu, tās rādiusam jābūt 3 km. 25. 1044 m/s. 26. Pēc 21 650 gadiem. 27. Jā, jo sekcija iegūs ātrumu $-3,47$ m/s. 28.* Lai startētu no Zemes, nepieciešamas ≈ 1900 t degvielas; lai nolaistos uz Marsa — 95 t degvielas, kopējais degvielas patēriņš ≈ 2000 t.



13. att. Horizontālā Saules polkaste (a) cilindriskā (b) iedaļuma un vertikālā (c) iedaļuma (d) izveidots.

| Objekts | Attālums (pc) | Ātrums (km/s) | Virziens |
|---------|---------------|---------------|----------|
| 1 | 13 | 7,67 | ... |
| 2 | ... | ... | ... |
| 3 | ... | ... | ... |
| 4 | ... | ... | ... |
| 5 | ... | ... | ... |
| 6 | ... | ... | ... |
| 7 | 120 | ... | ... |
| 8 | ... | ... | ... |
| 9 | ... | ... | ... |
| 10 | ... | ... | ... |
| 11 | ... | ... | ... |
| 12 | ... | ... | ... |
| 13 | ... | ... | ... |
| 14 | ... | ... | ... |
| 15 | ... | ... | ... |
| 16 | ... | ... | ... |
| 17 | 630 | ... | ... |
| 18 | 40 | ... | ... |
| 19 | ... | ... | ... |
| 20 | ... | ... | ... |
| 21 | ... | 7,67 | ... |
| 22 | ... | ... | ... |
| 23 | ... | 2,38 | ... |
| 24 | ... | ... | ... |
| 25 | ... | 1044 | ... |
| 26 | ... | ... | ... |
| 27 | ... | ... | ... |
| 28 | ... | ... | ... |



Habla Kosmiskais teleskops. Spoguļa diametrs 2,4 m.



Radioteleskops VLA (Very Large Array), kas sastāv no 25 m diametra 27 antenām (Jaunmeksikā, ASV). Attēlā redzamas 11 antenas.



Eiropas Dienvidu observatorija (La Silja kalnā, Čīlē).



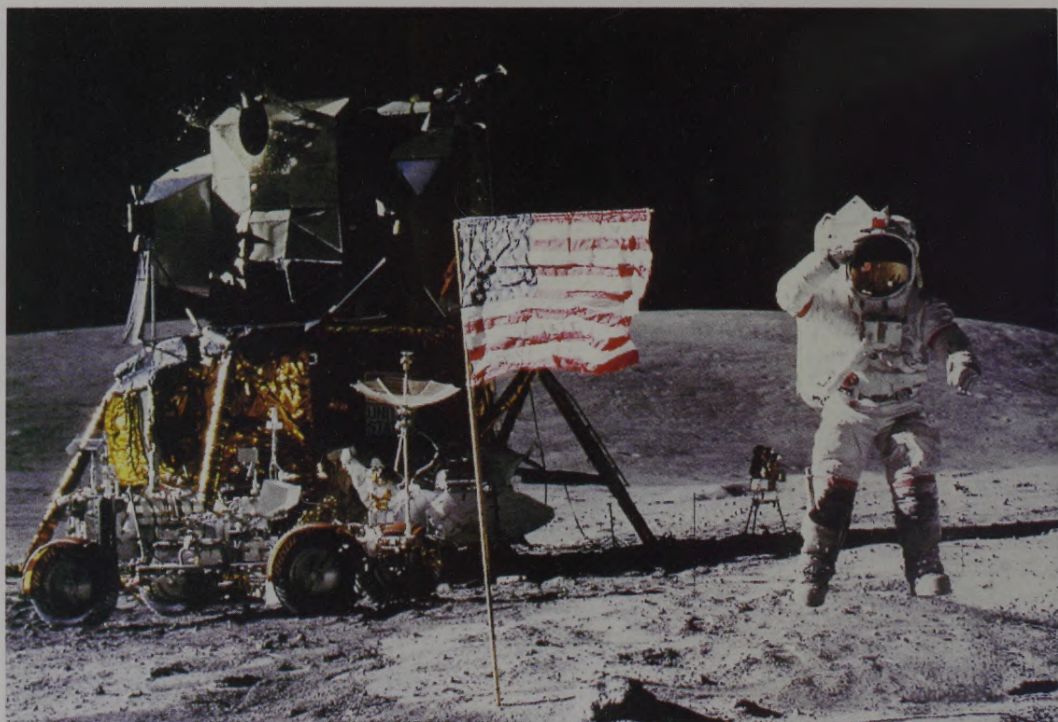
Šmita teleskops —
lielākais teleskops
Latvijā. Spoguļa
diametrs 1,2 m.



Radioteleskops Irbenē, Ventspils rajonā. Antenas
diametrs 32 m.



Pavadoņu lāzertālmērs LU Astronomiskajā
observatorijā. Teleskopa spoguļa diametrs 1,05 m.



"Apollo-16" Mēness ekspedīcija.



Lidojums atklātā kosmosā bez sasaites ar kosmosa kuģi.

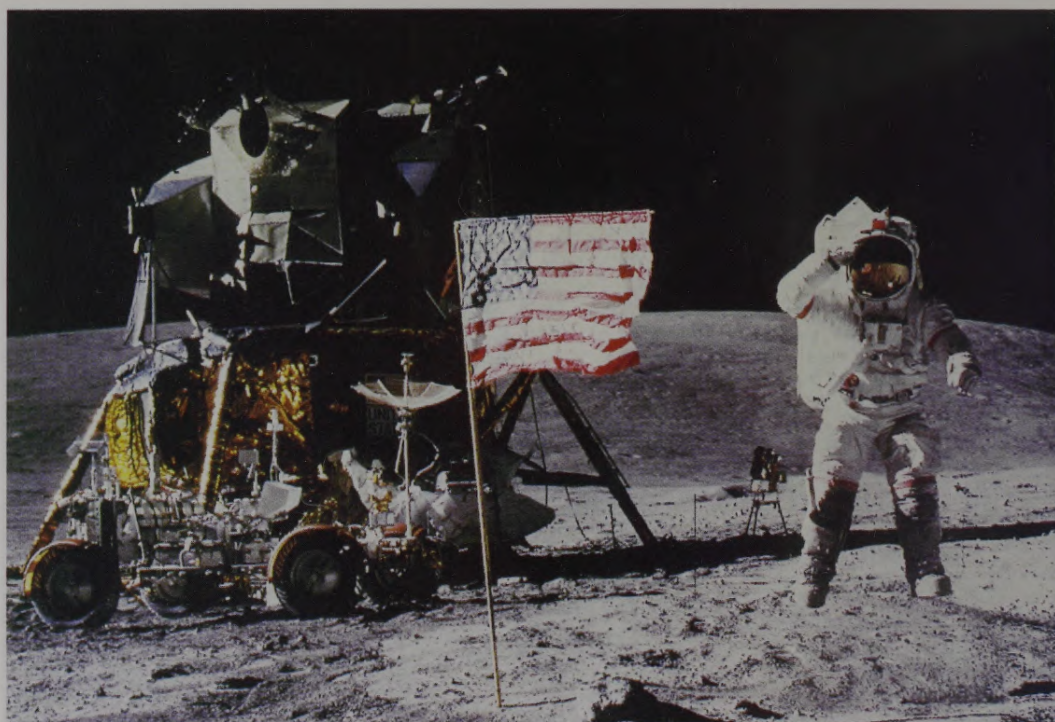


"Apollo-17" astronauti uz Mēness.





Kosmoplāna "Space Shuttle" starts.



"Apollo-16" Mēness ekspedīcija.



Lidojums atklātā kosmosā bez sasaites ar kosmosa kuģi.

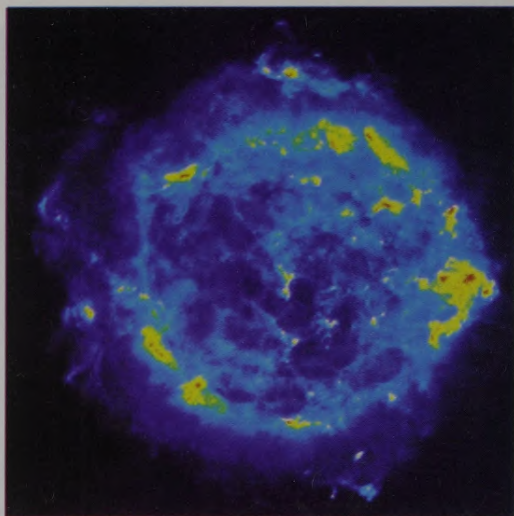


"Apollo-17" astronauts uz Mēness.





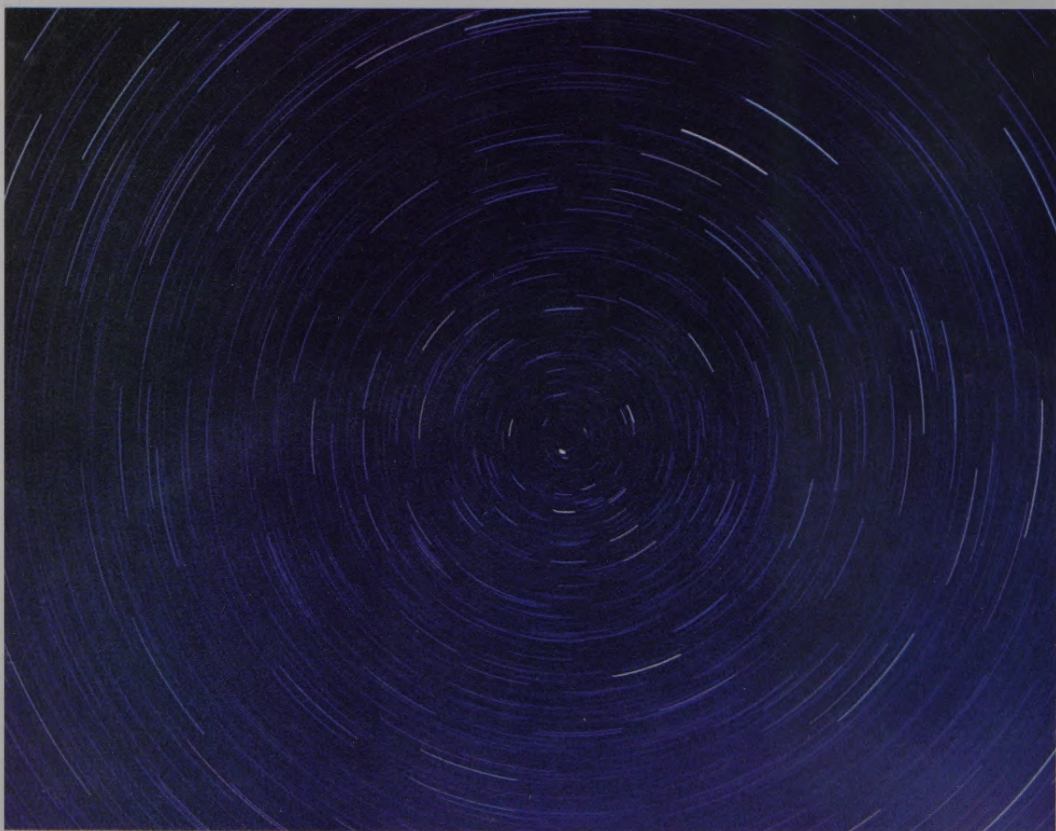
Kosmoplāna "Space Shuttle" starts.



Supernovas miglāja Kasiopejas A radioattēls.
(Spēcīga radiostarojuma apgabali attēloti sarkanā un dzeltenā krāsā, vājāka radiostarojuma apgabali — zilā krāsā.)



Polārblāzma.



Zvaigžņotās debess rotācija ziemeļu puslodē norisinās ap Polārzcvaigzni (centrā).



Skats uz Zemi no kosmosa.



Eiropa no kosmosa.



Pilnmēness. Lejasdaļā redzams Tiho krāteris ar gaišo staru sistēmu.



Pilns Mēness aptumsums.



Pilns Saules aptumsums.



Veneras virsas panorāma.



Mazā planēta Ida.



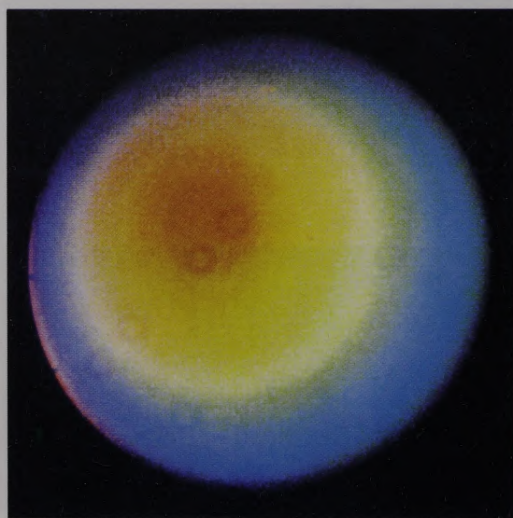
Jupiters. Redzamas dažādu krāsu mākoņu joslas un Sarkanais plankums.



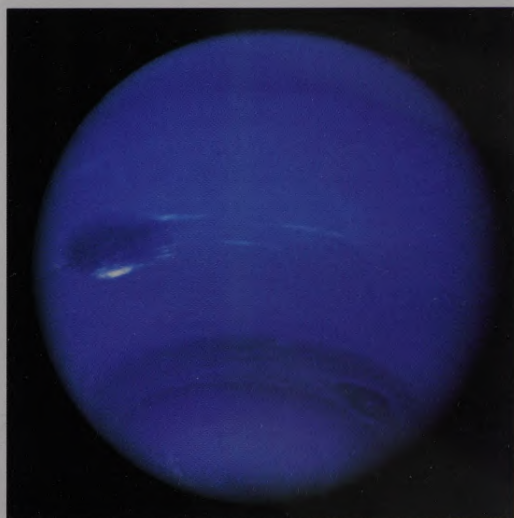
Jupitera četri lielākie pavadoņi (no kreisās uz labo): Kallisto, Ganimēds, Eiropa un Jo.



Saturns un tā gredzenu sistēma.



Urāns.



Neptūns.

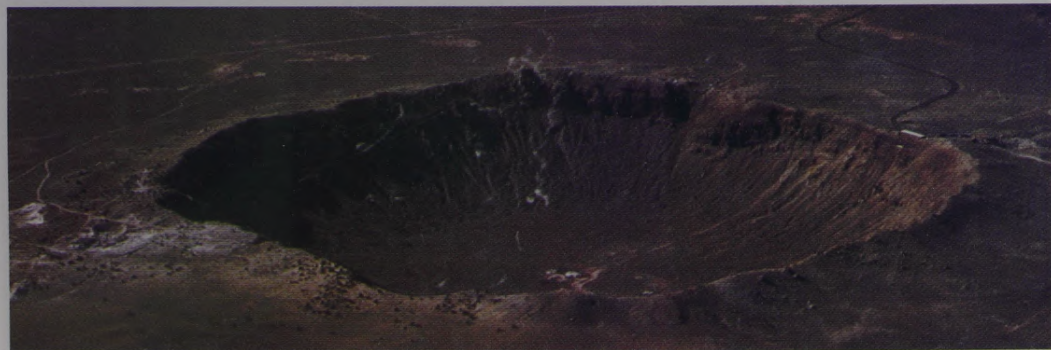
Marsa virsas panorāma.



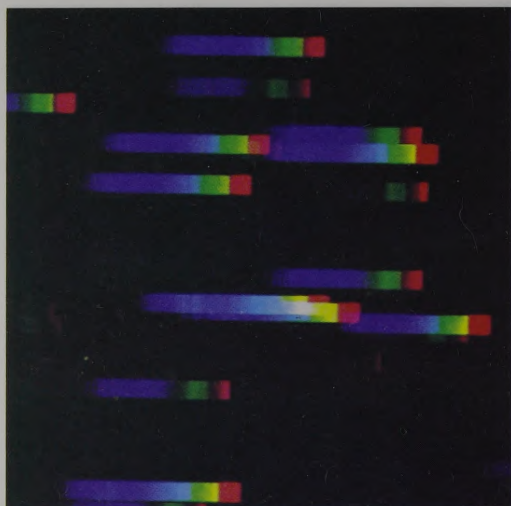
Haleja komētas fotogrāfija 1986. gadā.



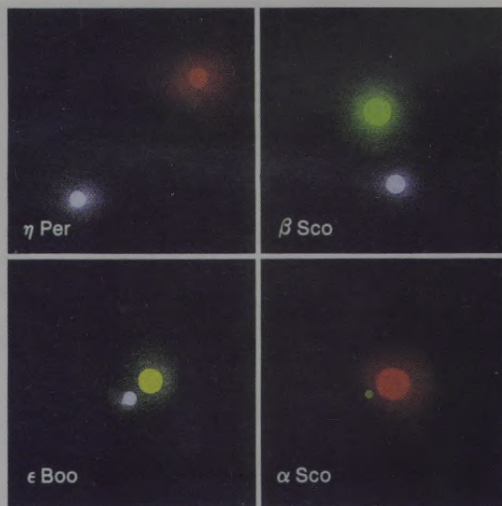
Perseidu meteors.



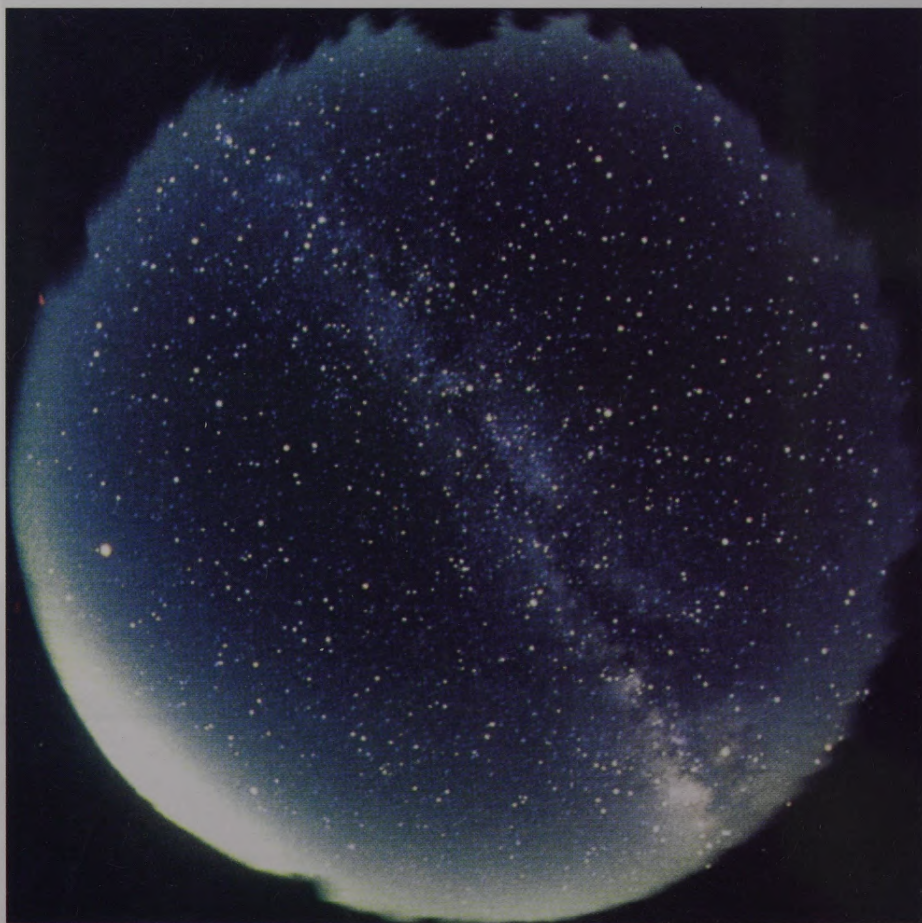
Meteorita krāteris Arizonā (ASV). Tā diametrs 1,2 km, dziļums 200 m.



Zvaigžņu spektri. Valējā zvaigžņu kopa Hiādes.



Dubultzvaigžņu krāsu gamma.



Piena Ceļš.



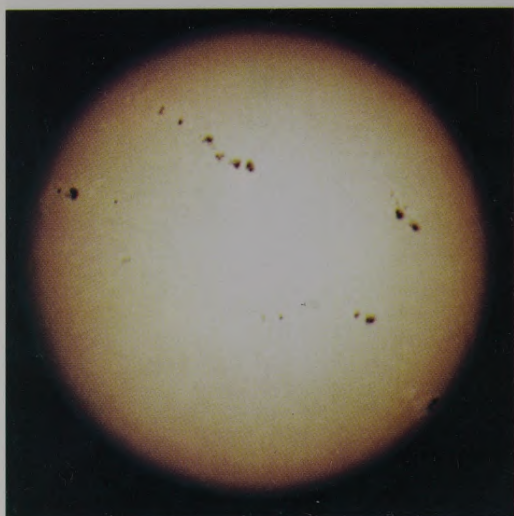
Valējā zvaigžņu kopa Sietīņš Vērša zvaigznājā.



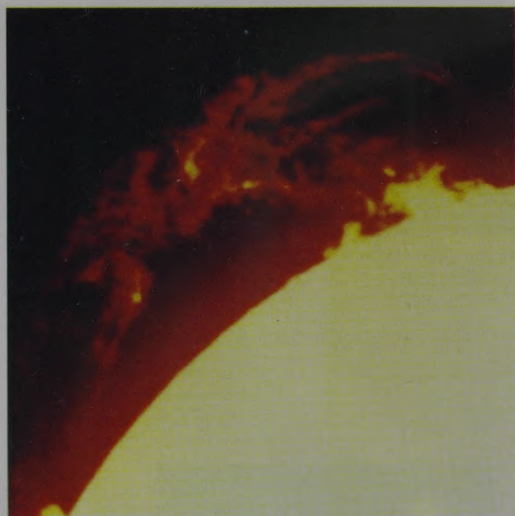
Oriona miglājs — difūzais gāzu miglājs.



Krabja miglājs Vērša zvaigznājā, radies supernovas sprādzienā 1054. gadā.



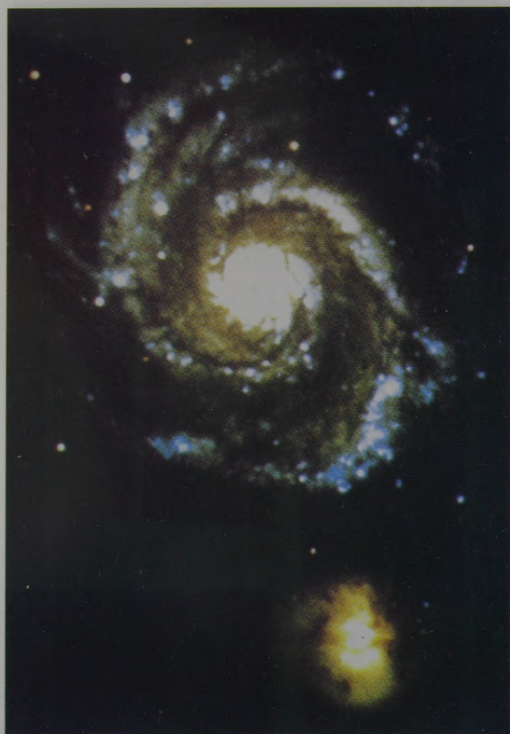
Plankumu grupas uz Saules.



Saule ar protuberanci.



Andromedas miglājs — Zemei tuvākā galaktika.



Spirālveida galaktika Atvars Medību Suņu zvaigznājā.



Tumšais miglājs Zirga Galva Oriona zvaigznājā.



Eliptiskā galaktika Centaura A — spēcīga radiostarojuma avots.



Supernova, kas 1987. gadā uzliesmoja Lielajā Magelānā Mākoni.



Lodveida zvaigžņu kopa Tukāns 47.



Oriona zvaigznājs un Sīriuss — debess spožākā zvaigzne.

Planētu raksturlielumi

| Planēta | Orbitas lielā pusass, ua | Aprīņošanas periods, g | Sinodiskais periods, d | Orbitas ekscentricitāte | Orbitas slīpums, ° | Orbitālais ātrums, km/s |
|----------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| Merkurs | 0,3871 | 0,2409 | 115,9 | 0,2056 | 7,0 | 47,9 |
| Venera | 0,7233 | 0,6152 | 583,9 | 0,0068 | 3,4 | 35,0 |
| Zeme | 1,0000 | 1,0000 | — | 0,0167 | 0 | 29,8 |
| Marss | 1,5237 | 1,8809 | 779,9 | 0,0934 | 1,8 | 24,1 |
| Jupiters | 5,2026 | 11,8631 | 398,9 | 0,0485 | 1,3 | 13,1 |
| Saturns | 9,5549 | 29,4714 | 378,1 | 0,0555 | 2,5 | 9,6 |
| Urāns | 19,2185 | 84,04 | 369,7 | 0,0463 | 0,7 | 6,8 |
| Neptūns | 30,1104 | 164,80 | 367,5 | 0,0090 | 1,8 | 5,4 |
| Plūtons | 39,543 | 248,67 | 366,7 | 0,2490 | 17,1 | 4,7 |

| Planēta | Ekvatoriālais diametrs, km | Rotācijas periods, d | Ekvatora slīpums pret orbitu, ° | Masa, $\text{kg} \cdot 10^{24}$ | Vidējais blīvums, kg/m^3 | Maksim. leņķiskais diametrs, " | Vidējais spožums, zv. l. |
|----------|----------------------------|----------------------|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------|
| Merkurs | 4879 | 58,646 | 0,0 | 0,330 | 5440 | 13 | +0,2 |
| Venera | 12 104 | 243,019* | 2,6 | 4,869 | 5240 | 63 | -4,1 |
| Zeme | 12 756 | 0,997 | 23,5 | 5,974 | 5515 | — | — |
| Marss | 6794 | 1,026 | 25,2 | 0,642 | 3940 | 25 | -1,9 |
| Jupiters | 142 984 | 0,414 | 3,1 | 1898,8 | 1330 | 50 | -2,2 |
| Saturns | 120 536 | 0,444 | 25,1 | 568,50 | 700 | 21 | -0,2** |
| Urāns | 51 118 | 0,718* | 82,1 | 86,63 | 1300 | 4,3 | +5,7 |
| Neptūns | 49 528 | 0,671 | 28,3 | 102,78 | 1760 | 2,4 | +7,7 |
| Plūtons | 2302 | 6,387* | 57,5 | 0,015 | 1100 | 0,1 | +14,7 |

* — Rotācijas virziens pretējs (pulksteņa rādītāju kustības virzienā).

** — Kopā ar gredzenu.

Divdesmit spožākās zvaigznes

| Nosaukums | Apzīmējums | Spožums | Rektas-
censija | Dekli-
nācija | Spektra
klase | Attā-
lums, ly |
|------------|------------------------|---------------------|--------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Siriuss | Lielā Suņa α | -1, ^m 46 | 6 ^h 45 ^m | -16°43' | A | 8,7 |
| Kanopuss* | Kuģa Ķīļa α | -0,72 | 6 24 | -52 42 | F | 45 |
| Tolimans* | Centaura α | -0,28 | 14 40 | -60 50 | G+K*** | 4,3 |
| Arkturs | Vēršu Dzinēja α | -0,04 | 14 16 | +19 11 | K | 36 |
| Vega | Līras α | 0,03 | 18 37 | +38 47 | A | 27 |
| Kapella | Vedēja α | 0,08 | 5 17 | +46 00 | G | 45 |
| Rīgels | Oriona β | 0,12 | 5 15 | -8 12 | B | 360 |
| Procions | Mazā Suņa α | 0,38 | 7 39 | +5 13 | F | 11,5 |
| Ahernars* | Eridānas α | 0,46 | 1 38 | -57 14 | B | 125 |
| Betelgeize | Oriona α | 0,4—1,3** | 5 55 | +7 24 | M | 650 |
| Hadars* | Centaura β | 0,61 | 14 04 | -60 22 | B | 330 |
| Altairs | Ērgļa α | 0,77 | 19 51 | +8 52 | A | 16,8 |
| Aldebarans | Vērša α | 0,85 | 4 36 | +16 31 | K | 68 |
| Spika | Jaunavas α | 0,98 | 13 25 | -11 10 | B | 170 |
| Antares | Skorpionā α | 0,9—1,8** | 16 29 | -26 26 | M+B*** | 170 |
| Akrukss* | Krusta α | 1,05 | 12 27 | -63 06 | B+B*** | 390 |
| Pollukss | Dviņu β | 1,14 | 7 45 | +28 02 | K | 35 |
| Fomalhauts | Dienvīdu Zivs α | 1,16 | 22 58 | -29 37 | A | 23 |
| Denebs | Gulbja α | 1,25 | 20 41 | +45 17 | A | 820 |
| — | Krusta β^* | 1,25 | 12 48 | -59 41 | B | 490 |

* — Latvijā nav redzama.

** — Maiņzvaigzne.

*** — Dubultzvaigzne.

Aberācija **57, 58**
 Afēlijs **31, 80**
 Aktivitāte, Saules **62, 149, 150, 151—153**
 Albedo **85**
 — Jupitera **116**
 — Merkura **102**
 — Mēness **98**
 — Neptūna **127**
 — Urāna **124**
 — Veneras **105**
 Antena, radioteleskopa **27**
 Apeks **165**
 Apgabals, aktīvais **151, 152, 153**
 Apogejs **31, 91, 215**
 Aptums, centrālais **95, 96**
 — Mēness **93, 95, 96**
 — Saules **93, 94, 95**
 Arheoastronomija **41**
 Asociācija, zvaigžņu **65, 183**
 Armilārā sfēra **44**
 Astenosfēra **98**
 Astrolēma **142**
 Astrofizika **3, 61**
 Astroklimats **22**
 Astroloģija **42, 43, 50**
 Astrometrija **3, 61**
 Astronomija **3, 41**
 Astronomiskā vienība **6, 56, 80**
 Atmosfēra, Jupitera **116, 117**
 — Marsa **109**
 — Neptūna **127, 128**
 — Plūtona **131**
 — Saturna **121**
 — Saules **148, 149, 150**
 — Urāna **124**
 — Veneras **104, 105**
 — Zemes **82, 85, 86, 91, 145, 146**
 — zvaigžņu **160**
 Atlants, zvaigžņu **210, 211**
 Attālināšanās, galaktiku **192, 197, 198, 218**
 Attālums, afēlija **215**
 — galaktiku **192, 203, 218**
 — fokusa **23, 24, 220, 221**
 — perihēlija **215**
 — zvaigžņu **4, 154, 216, 217**
 Augstuma riņķis **12**
 Augstums, leņķiskais **12, 210, 211, 213**
 Azimuts **12, 13, 210, 211**
 Ātrums, gaismas **56, 57, 177, 197, 215**
 — otrs kosmiskais **31, 32, 219**
 — pirmais kosmiskais **30, 31, 219**
 — radiālais **163, 217, 218**
 — tangenciālais **217, 218**
 — telpiskās kustības **218**
 — zvaigžņu evolūcijas **173**

Baterija, Saules **38, 40**
 Bezsvara stāvoklis **38**
 Bēgums **57, 84, 90**
 Blīvuma vilnis **181**
 Blīvums, kritiskais **198, 199**
 — Visuma, vidējais **198, 199, 204**
 — zvaigžņu izvietojuma **181, 182, 183**
 Bloks, ekspedīcijas **99, 100**
 — orbitālais **100, 107, 111**
 Bolīda pēda **139**
 Bolīds **60, 138, 139, 140, 141**
 Bolometrs **26**
 Caurums, melnais **174, 177, 178, 180, 202**
 Cefeīda **169, 170, 192**
 Celostats **24**
 Centrs, galaktikas **179, 180**
 Cikls, Mēness—Saules **42, 46**
 — oglekļa—slāpekļa **159**
 — protonu—protonu **147, 159**
 — Saules aktivitātes **151, 152**
 Civilizācija, ārpuszemes **204, 205**

Datuma maiņas līnija **16**
 Debespusēs **7, 207**
 Debess ekvators **9, 11, 12, 210, 221**
 — mehānika **3, 31, 52, 77**
 — meridiāns **12, 211**
 — pols **7—9, 10, 11—14**
 — sfēra **7, 11, 13, 68, 210**
 — zvaigžņotā **3, 4, 7, 207, 209**
 Deferents **47, 48, 50, 52**
 Deklinācija **13, 210, 211, 213**
 Deklināciju riņķis **13**
 Diennakts **15, 18, 43, 85**
 Disks, akrēcijas **178**
 — galaktikas **179, 180, 183, 185**
 — protoplanetārais **143**
 Doplera efekts **163, 164, 192**
 Dreifs, kontinentu **83**
 Dubultsistēma, cieša **168, 171, 174**
 Dubultzvaigzne **59, 63, 165—168**
 — fizikālā **165, 166, 167**
 — optiskā **165, 166**
 — spektrālā **166, 167**
 — vizuālā **166, 167**
 Dzirkstēlkamera **29**

Ekliptika **9, 11, 79, 210**
 Ekliptikas slīpums **46, 48**
 Ekscentricitāte **80, 134, 135, 215**
 Elektronoptiskais pārveidotājs **24, 26**
 Elipsoīds **83**
 Elongācija **81, 101, 104, 105**

Epīcīkls **47, 48, 50, 52**
 Epoha **210, 211**
 Ēra **19**
 — hadronu **199, 200**
 — kvarku **200**
 — leptonu **200**
 — starojuma **200, 201**
 — vielas **200, 201**
 Erozija **98, 110, 142**
 Evolūcija, Saules **173**
 — zvaigžņu **64, 158, 172—174**

Fāze **93—96**
 Fāzes, Mēness **70, 91, 92**
 — Merkura **101**
 — Veneras **53, 105**
 Fluktuācija, blīvuma **201**
 Fotoelektronu daudzķāršotājs **24**
 Fotometrija **61**
 Fotometri **24, 61, 62**
 Fotosfēra **148, 160, 161**
 Frekvence **21, 215, 216**
 Fuko svārstis **85**

Galadlaiks **9, 10, 11, 85**
 Gads, astronomiskais **11, 19**
 — gaismas **6**
 — galaktiskais **181**
 — garais **19**
 — kalendārais **19**
 Gaisma, pelnu **92**
 — redzamā **21, 147, 155**
 Galaktika **6, 179—181, 189, 203**
 galaktika, aktīvā **189, 190, 191**
 — eliptiskā **188, 190, 191**
 — lēcveida **188**
 — mijiedarbojošā **191**
 — neregulārā **188, 189, 190**
 — Seiferta **190, 191, 195**
 — spirālveida **179, 188, 189, 190, 191**
 galaktikas **6, 65, 187—191**
 Galaktikas halo **179, 180, 183, 185**
 — kodols **180**
 galaktiku grupa **192, 193, 194, 195**
 — klasifikācija **65, 188**
 — kodoli **189, 190, 191**
 — sadursme **191**
 — siena **195**
 Galvenā secība **158, 172, 173**
 Gamma kvants **29, 147**
 — starojums **21, 22, 28, 147**
 Globula **184**
 Granula **148**
 Gravitācija, Mēness **14, 84, 90**
 — Saules **14, 80, 84, 101, 147**
 Gravitācijas kolaps **174, 177, 178**

— lēca 196
 — maneivs **40**, 123
 — nestabilitāte 201
 — rādiuss **177**, 219
 Gredzeni, Neptūna 128, **129**
 — planētu 79
 — Urāna 125, 126
 Gredzens, Jupitera 118
 — Saturna 56, **120—122**, 123
 Geocentrisms **46**, 47—49
 Ģeogrāfiskā paralēle 8
 Ģeogrāfiskais garums **8**, 17, 55, 56
 — meridiāns 8
 — platumš **8**, 17, 213
 Ģeoids 83
 Habla konstante **192**, 197, 198, 218
 Heliakālais lēkts 43
 Heliocentrisms 50
 Hercšprunga—Rasela diagramma **64**, 158
 Horizonts **7**, 68, 210
 Hromosfēra 148, **149**, 151, 161
 — Saules 94, 95
 Interferometrs, optiskais 156
 Izkširtspēja **23**, 28, 29, 213
 Izmēri, zvaigžņu **156**, 157, 158, **217**
 Jaunmēness 84, **91**, 92, 93
 Jonosfēra **85**, 86
 — Jupitera 117
 — Veneras 105
 — Zemes 152
 Josla, asteroidu 112
 — — ārējā 113, **132**
 — laika **15**, **16**
 — radiācijas **87**, 118, 121
 Joslas laiks **15**, **16**, 211
 Joslas, radiācijas, Neptūna 128
 — — Urāna 125
 Jupitera saime 134
 Jupiters 4, 79, 115—119
 Kalendārs, astronomiskais 74
 — Gregora **19**, 71
 — Jūlija **19**, 70, 71
 — Mēness **18**, 70
 — Mēness—Saules **18**, **19**, 42, 44
 — Saules **19**, 43, 70
 Karte, zvaigžņu 56, **209**, 210, 211
 Kasīni sprauga 122
 Katalogs, zvaigžņu 44, 47, 49, 51, **61**, 210
 Kiloparseks 179
 Klimats **85**, 89—91, 152
 — Marsa 109
 Kodolreakciju zona **147**, 148
 Kodoltermiskā reakcija 64, **147**, **159**, 173, 174, 200
 Kolimatorteleskops 29
 Koma **135**, 137
 Komēta 5; **133—137**
 — ilgperioda **134**, 135, 138

— īsperioda **134**, 135, 138
 Kometopauze 136, **137**
 Komētu novērojumi 44, 55, 68, 71, 74, 133
 — sabrukšana **138**, 139
 Konfigurācija 81
 Konjunkcija **81**, 102, 104, 108
 Kontaktsistēma 168
 Konvektīvā zona **147**, 148, 159, 160
 Koordinātas, ekvatoriālās 12, **13**, 14, 210—212
 — horizontālās **12**, 13, 210, 211
 — zvaigžņu 12, **13**, 57
 Kopa, galaktiku **193**, **194**, 195
 — zvaigžņu lodveida 64, **182**, **183**
 — — valējā **182**, 183
 Korona **181**, 194
 Kosmodroms 37
 Kosmoloģija 197
 Kosmonautikas vēsture 31—34
 Kosmonauts 33, 34, 37—39
 Kosmoplāns 34, 36, 37
 Kosmosa kuģis 32—34, **38**, 100
 Krāteri, Marsa 109
 — Mēness 54, **97**, 98, 99
 — Merkura 103
 — Veneras 107
 Krāteris, meteorīta 142
 "Krēslas aplis" 104
 Kromlehs 41
 Kulminācija, apakšējā **12**, 13, 213
 — augšējā **12**, 13, 210, 211, 213
 — Saules **15**, 221, 222
 Kustība, diennakts, Saules 9, **10**, 15, 68
 — — spīdekļu **7—9**, 12, 68, 207
 — Galaktikas 193
 — īpatnējā 57, **162**, 164, 217, 218
 — reaktīvā **30**, **219**
 — orbitālā, Jupitera 115
 — — Marsa 108
 — — Merkura 101
 — — Mēness 44, 90, **91**, **92**, 93
 — — Neptūna **127**, 130
 — — planētu **79**, 80, 81
 — — Plūtona 130
 — — Saturna 120
 — — Veneras 104
 — — Zemes **11**, 50, 57, 90
 — — zvaigžņu 162, 163
 Kvadrants 48, **49**, 51, 55
 Kvantā enerģija 216
 Kvazārs 6, **195**, 196, 197, 203
 Lādiņa saites matrica 24
 Laiks, Austrumeiropas 17
 — pasaules **17**, 77
 — — koordinētais 18
 — vasaras **17**, 209
 — ziemas **17**, 209
 — vietējais 15, 16, 209
 — zvaigžņu 18
 Laika dienests **74**, 75, 77
 — vienādojums **15**, 222, 223
 Lāzera tālmērs **77**, **78**
 Lāzerlokācija, ZMP **77**, 78

Librācija **92**, 98
 Librācijas punkts 112
 Lidojums, starpplanētu **31**, 32, 74
 — starpzvaigžņu 205, **206**
 — suborbitālais 32
 Lielā opozīcija **108**, 109, 213
 Lielais Sprādziens 66, **199**, 202
 Likumi, Keplera 52, 57, **80—82**, 214, 215
 Likums, impulsa nezūdamības 30, 219
 — Habla 65, **192**, 218
 — Vispasaules gravitācijas 56, 82
 Litosfēras plātne 83
 Līdzsvars, termodinamiskais 200
 — zvaigžņu **147**, 173, 174
 Lokālā galaktiku grupa 192, 193
 Magnētiskā deklinācija **86**, 87
 — vētra **87**, 90, 152, 153
 Magnetosfēra 87
 — Jupitera 118
 — Merkura 102
 — Neptūna 128
 — Saturna 121
 — Urāna 125
 — Zemes 87
 Magnētiskais lauks, Galaktikas 187
 — — Jupitera **117**, 118
 — — Marsa 109
 — — Merkura 102
 — — neitronu zvaigznes 176
 — — Neptūna 128
 — — Saturna 121
 — — Saules 148, 150, **151**
 — — starpplanētu **136**, 137
 — — Urāna 125
 — — Zemes **86**, 87, 91
 Maiņzvaigzne 60, **169—171**
 — aptumsuma **167**, **168**, 169
 — eruptīvā 169, **170**, **171**
 — fizikālā 169
 — neregulārā 170
 — pulsējošā **169**, 170, 174
 — pusregulārā 169, **170**
 Maiņzvaigžņu spožuma maiņas periods 168, **169**, 170
 Marsa kanāli 108
 — polu cepures 56, 109
 — putekļu vētra 109
 Marss 4, 79, **108—111**
 Masa, zvaigžņu **157**, **167**, 217
 — slēptā **194**, 199
 Maskons 99
 Megaparseks 192
 Mēnesis **19**, 71
 — sideriskais **91**, 92
 — sinodiskais 18, 70, 91, 92
 Mēness 82, 91, **96—99**
 — augošs 92
 — dilstošs 92
 — ekspedīcija 33, **99**, 100
 — ekvators 92
 — ēna 93, **94**
 — jūras **96**, 97, 99
 — kalni 97

- kontinenti **96, 97, 99**
- krāsa **96, 98**
- pusēna **93, 94**
- Mēnesstrīce **98**
- Menhirs **41**
- Merkurs **4, 79, 80, 101—103**
- Metagalaktika **197, 200, 203**
- Meteorīts **60, 140—142**
- akmens **140, 141, 142**
- dzelzs **140, 141, 142**
- dzelzs—akmens **140, 141**
- Meteoroids **138, 139, 140**
- Meteoroīdu spiets **139**
- Meteors **46, 91, 138, 139**
- sporādiskais **139**
- Meteoru lietus **60, 139, 140**
- plūsma **44, 60, 61, 139**
- Mezosfēra **85, 86**
- Miglājs **5, 182, 184—186**
- atstarojošais **184, 186**
- difūzais **184**
- emisijas **184, 186**
- planetārais **173, 184, 185, 186**
- supernovas **174, 176, 185, 186**
- tumšais **184, 186, 189**
- Miglāju ķīmiskais sastāvs **184, 185, 186**
- Mikrometeorīts **99, 102, 139**
- Milzis, dzeltenais **158**
- sarkanais **158, 160, 173, 185, 188**
- Mirīda **169, 170**
- Modelis, novas **171**
- zvaigžņu **147, 159, 160**
- Modeļi, Visuma **65**
- Montējums, azimutālais **24**
- ekvatoriālais **24**
- teleskopa **24**
- Nadīrs 7, 12**
- Nedēja **19**
- Neidentificēts lidojošais objekts **206**
- Neitrīno **30, 147, 174, 175, 194**
- reliktais **200**
- Neptūns **79, 127—129**
- Nesējraķete **32, 33, 34**
- Nogulumieži **146**
- Nova **46, 62, 171, 175**
- atkārtotā **171**
- Nutācija **58**
- Objektīva diametrs 23**
- Objektīvs **23, 220, 221**
- ahromatiskais **58, 220**
- Observatorija, astronomiskā **25, 44, 45, 55, 63**
- orbitālā **25, 28, 37**
- Okulārs **24, 220, 221**
- Opozīcija **81, 116, 124, 214**
- Optika, aktīvā **24**
- adaptīvā **24**
- Orbīta **31, 79, 80**
- eliptiskā **31, 32, 80, 134**
- ģeostacionārā **37, 38, 89, 214**
- hiperboliskā **32, 80, 134**
- paraboliskā **32, 80, 134, 219**
- polārā **38**
- riņķveida **31, 32, 219**
- Orbītas, mazo planētu **112, 113**
- komētu **57, 134, 135**
- Orbītas fokuss **80**
- korekcija **36, 40**
- lielā pusass **80, 82, 214, 215**
- Orta mākonis **66, 134**
- Ozona slānis **89, 90**
- Paisums 57, 84, 90**
- Palielinājums **53, 221**
- Panspermija **204**
- Papildpakāpe **34, 36**
- Paralakse **51, 154, 216, 217, 218**
- Paralakses noteikšana **56, 61**
- Parseks **6, 154**
- Pasaules ass **7, 11, 13**
- Pasāžinstrumenti **55, 76, 77**
- Pārmilzis, baltais **158**
- dzeltenais **158**
- sarkanais **157, 158, 170**
- Pārslodze **38**
- Pavadonis, mākslīgais **40, 99, 106**
- Zemes (ZMP) **32, 34, 37, 77, 78**
- — — — dabas resursu izpētes **37**
- — — — ģeodēziskais **37**
- — — — meteoroloģiskais **33, 37**
- — — — militārais **33, 37, 38**
- — — — navigācijas **33, 37**
- — — — sakaru **33, 37**
- neredzamais **163, 164**
- Plūtona **130, 131, 132**
- Pavadoņi, galaktiku **191, 192, 193**
- Jupitera **53, 116, 118, 119**
- Neptūna **128, 129**
- planētu **79, 145**
- Saturna **56, 122, 123**
- Urāna **125, 126**
- Perigejs **31, 91, 94, 215**
- Perihēlijs **31, 80**
- Periods, dubultzvaigznes
 apriņķošanas **166, 167, 168**
- sinodiskais **81, 124, 214**
- pulsāra starojuma **176, 177**
- Perturbācija **57, 60**
- Piena Ceļš **5, 53, 179**
- Pilnmēness **84, 91, 92, 93, 97**
- Planēta, ārējā **81, 108**
- iekšējā **81, 101**
- mazā **5, 112—115, 132**
- milzu **79, 144**
- Zemes grupas **79, 143, 144**
- Planētas **4, 5, 43, 164**
- bīstamās mazās **113**
- Plankums, Saules **44, 53, 148, 151**
- Plazma **137**
- Plūtons **79, 80, 130—132**
- Polārblāzma **87, 90, 152, 153**
- Populācija, zvaigžņu **65, 180**
- Pora **148**
- Precesija **14, 47**
- Pirmārais minimums **167, 168**
- Principi, antropais **204**
- Protozvaigzne **172, 173**
- Protuberance **62, 150, 151**
- Pulkstenis, Saules **15, 70, 221—223**
- — — ekvatoriālais **221—222**
- — — horizontālais **222, 223**
- Pulsārs **143, 176, 177, 186**
- Pundurgalaktika **188**
- Punduris, baltais **157, 158, 160, 173, 185**
- brūnais **172**
- dzeltenais **158, 171, 188**
- sarkanais **157, 158, 171, 188**
- Pundurnova **171**
- Pundurzvaigzne **158, 161, 171, 180**
- Punkts, pavasara **9, 12, 14**
- rudens **9, 12**
- vasaras saulgriežu **9**
- ziemas saulgriežu **9**
- Pusēna, Mēness **93, 94**
- Zemes **93, 95, 96**
- Putekļu kamols **143, 144**
- Radiants 139**
- Radioastronomija **66**
- Radiogalaktika **190**
- Radiointerferometrs **27, 28, 76**
- Radiolokācija **106, 107**
- Radiometrs **27**
- Radiostarojuma avots **118, 176, 180, 186, 190**
- Radiostarojums, kosmiskais **66**
- Saules **76**
- Radioteleskops **27, 28, 66, 76, 205**
- Radioviļņi **21, 27, 28, 86, 205**
- Raķešdzinējs **31, 34, 36, 74**
- cietās degvielas **32**
- šķidrās degvielas **32, 34**
- Raķete, vienpakāpes **31**
- daudzpakāpju **31**
- Redzamība, Jupitera **116**
- komētu **133**
- Marsa **108**
- mazo planētu **112**
- Merkura **101, 102**
- Neptūna **127**
- Plūtona **130**
- Saturna **120**
- spīdekļu **210, 211**
- Urāna **124**
- Veneras **104, 105**
- zvaigznāju **10, 207, 210**
- Redzamības horizonts **197**
- Redzes lauks **23, 205**
- Reflektors **22, 23, 55, 58, 63, 66**
- Refrakcija **88, 210, 211**
- Refraktors **22, 23, 55, 58, 63, 220**
- Regmaglipti **141**
- Regolīts **98**
- Rektascensija **13, 14, 210, 211**
- Reliktstarojums **66, 201, 216**
- Reljefs, Marsa **109, 110**
- Veneras **106**
- Rentgenpulsārs **177**
- Rentgenstarojuma avots **176—178, 183**

Rentgenstarojums **21, 22, 28**
Rentgenteleskops, slidošās
atstarošanās **29**
Rotācija, galaktikas **64, 180, 181**
— Jupitera **116, 117**
— Marsa **108**
— mazo planētu **115**
— Merkura **101, 102**
— Mēness **91, 92, 98**
— Neptūna **127**
— planētu **79**
— Plūtona **130**
— Saturna **121**
— Saules **147**
— Urāna **124**
— Veneras **105**
— Zemes **18, 84, 85**
— zvaigžņu **161**

Sablīvējums, centrālais **179, 180,**
189
Saplakums **102**
— Jupitera **116**
— Saturna **121**
— Zemes **57**
Sarkanā nobīde **164, 192, 197,**
198, 218
Saross **43, 93**
Satelīttelevīzija **37, 86**
Saturns **4, 79, 120—123**
Saulē **5, 79, 147—150**
— "vidējā" **15**
Saulgrieži **68, 70**
Sākummeridiāns **8, 16**
Scintilāciju skaitītājs **29**
Sekundārais minimums **167, 168**
"Siltumnīcas efekts" **85, 89, 105**
Sistēma, koordinātu, ekliptiskā **43**
— — ekvatoriālā **12, 13**
— — horizontālā **12, 13**
— orientācijas **40**
— Saules **5, 79, 202**
— zvaigžņu vairākkārtīga **4, 165,**
166
Skafandrs **33, 39, 99**
Sikstruktūra, Saturna gredzenu
121, 123
Smaguma spēks **85, 98**
— — Jupitera **117**
— — Marsa **108**
— — mazo planētu **115**
— — Merkura **102**
— — Saturna **121**
Solārkonstante **88**
Spektra klase **155, 156**
Spektrālā klasifikācija **61, 155, 156**
Spektrālanalīze **57, 61**
Spektrāllīnija, aizliegtā **185, 186**
Spektrāllīnijas **149, 155, 161,**
184, 185
— nobīde **164, 166, 217, 218**
Spektrogrāfs **24**
— difrakcijas **24**
— prizmas **24**
Spektrometrija **61**
Spektroskops **61**
Spektrs, nepārtrauktais **149, 155**

— Saules **61, 149**
— zvaigžņu **155, 160, 161**
Spirālzarš **179, 181—183, 189**
Spīdekļi, nenorietošie **7, 8, 207**
— neuzlēcošie **7**
— uzlēcošie—norietošie **7**
Spīkula **149, 151**
Spožums, absolūtais **154, 155, 217**
— meteora **138**
— redzamais **4, 154, 216, 217**
Stacija, orbitālā **33, 34, 39**
— starpplanētu **32—34, 39**
Starjauca **155, 217**
— Saules **155**
— zvaigžņu **155, 158**
Starojuma pārnese zona **147,**
148, 159, 160
— uztvērējs **24, 26**
Starojums, elektromagnētiskais
21, 149, 205
— infrasarkanais **21, 22, 26, 27, 60**
— kosmiskais **29, 91, 151, 153, 187**
— sinhrotroniskais **186, 190**
— ultravioletais **21, 22, 26, 184, 185**
Starpgalaktiku gāze **194**
Starpzvaigžņu vide **172, 174,**
186—187, 202
— vides absorbcija **187, 195**
— — ķīmiskais sastāvs **186, 187**
— — molekulas **146, 187**
— — retinājums **186**
Starta paātrinātājs **34, 36**
Stratosfēra **85, 86**
Supergranula **148**
Superkopa **194**
Supernova **171, 174—176, 185**

Temperatūra, zvaigžņu **155, 156,**
157, 159, 217
Teleskopa kupols **24**
Teleskops **22, 23, 220, 221**
— dāļiņu **30**
— gamma starojuma **28, 29**
— horizontālais Saules **25**
— infrasarkanā starojuma **26**
— katadioptriskais **22, 23**
— kodētās maskas **29**
— neitrino **30**
— optiskais **23**
— rentgenstarojuma **28, 29**
— Saules **24, 25**
— torņa **25**
— ultravioletā starojuma **26**
Telpas liekums **198, 200**
Teorija, inflācijas **200**
— Kopernika **50, 51, 52, 53**
— Ņūtona gravitācijas **57, 60, 65**
— planētu veidošanās **58, 143**
— Ptolemaja **47, 48, 50, 53**
— relativitātes **65, 103, 177,**
196, 198
Terminators **91, 98**
Termosfēra **85, 86**
Trajektorijas korekcija **39**
Triangulācija **71**
Troposfēra **85, 86**
Trajektorija, pārlidojuma **40, 107**

Urāns **79, 124—126, 143**
Uzbūve, Galaktikas **59, 60, 64, 179**
— Jupitera **116, 117**
— komētas **135, 136**
— Marsa **110**
— Mēness **98, 99**
— Merkura **103, 110**
— Neptūna **79, 127—129**
— Plūtona **131, 132**
— Saturna **116, 121**
— Saules **147, 148**
— Urāna **116, 124, 125**
— Veneras **107, 110**
— Visuma **197—199**
— Zemes **82, 83, 110**
— zvaigžņu **64, 159, 160**
Uzliesmojums, Saules **62, 151,**
152, 153

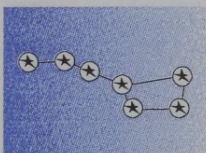
Vainags, Saules **94, 95, 148, 151**
Vakuums **199, 200**
Veidošanās, Galaktikas **180**
— galaktiku **201**
— komētu **144, 145**
— Merkura **103**
— Mēness **99, 145**
— Plūtona **144**
— Saules sistēmas **143—146**
— Zemes **145**
Venera **4, 53, 79, 81, 104—107**
Vējš, Saules **87, 136, 137, 150**
— zvaigžņu **175**
Visuma attīstība **199—201**
— ķīmiskais sastāvs **200**
— lielmēroga struktūra **194, 195,**
203
Visums **53, 197, 199, 203, 204**
Vulkāni, Veneras **106**

Zeme **79—81, 82—91**
Zemes ēna **93, 95, 96**
— forma **83**
— garoza **82, 83, 145**
— kodols **83**
— magnētiskais pols **87**
— mantija **82, 83**
— rotācijas ass **7, 14**
Zenīts **7, 12, 207**
Zodiaka zvaigznāji **5, 9, 42—44, 45**
Zvaigznājs **4, 10, 68**
Zvaigzne, galvenās secības **156,**
158, 159
— Līras RR tipa **169, 170, 180, 183**
— milzu **156, 158, 161, 169**
— neitronu **174, 176, 177, 202**
— oglekļa **76, 160**
— pārmilzu **156, 158, 169, 189**
— Vaļa UV tipa **171**
— Vērša T tipa **171, 173, 183**
Zvaigznes **154, 179**
— Saulei tuvākās **161—165**
Zvaigžņlielums **4, 138, 216**
Zvaigžņu apzīmējumi **4, 51**
— diennakts **18, 85**
— enerģijas avots **64, 147, 159**
— krāsa **4, 155**
— ķīmiskais sastāvs **158, 159**

SATURS



| | |
|---|----|
| 1. IEVADS | 3 |
| 1.1. Astronomijas priekšmets. Zvaigžņotā debess | 3 |
| 1.2. Debess spīdekļu kustība | 7 |
| 1.3. Astronomiskās koordinātu sistēmas. Precesija | 11 |
| 1.4. Laika skaitīšana. Kalendārs | 15 |
| 1.5. Optiskie teleskopi un starojuma uztvērēji | 21 |
| 1.6. Radioteleskopi un kosmiskie teleskopi | 26 |
| 1.7. Kosmisko lidojumu principi un vēsture | 30 |
| 1.8. Kosmiskie lidaparāti | 34 |



| | |
|---|----|
| 2. ASTRONOMIJAS ATTĪSTĪBA | 41 |
| 2.1. Astronomija senatnē | 41 |
| 2.2. Astronomija Senajā Grieķijā un Arābijā | 46 |
| 2.3. Astronomijas atdzimšana Eiropā.
Ievērojamāko astronomu idejas | 50 |
| 2.4. Teleskopu ēra | 55 |
| 2.5. Modernās astronomijas sākums un attīstība | 59 |
| 2.6. Astronomija 20. gadsimtā | 64 |
| 2.7. Astronomijas vēsture Latvijā | 68 |
| 2.8. Astronomija Latvijā 20. gadsimtā | 74 |



| | |
|--|-----|
| 3. SAULES SISTĒMA | 79 |
| 3.1. Saules sistēmas uzbūve. Planētu kustība | 79 |
| 3.2. Zeme kā planēta | 82 |
| 3.3. Zeme, cilvēks un kosmos | 88 |
| 3.4. Mēness kustība. Aptumsumi | 91 |
| 3.5. Mēness uzbūve un izpēte | 96 |
| 3.6. Merkurs | 101 |
| 3.7. Venera | 104 |
| 3.8. Marss | 108 |
| 3.9. Mazās planētas | 112 |
| 3.10. Jupiters | 115 |
| 3.11. Saturns | 120 |
| 3.12. Urāns | 124 |
| 3.13. Neptūns | 127 |
| 3.14. Saules sistēmas ārējā daļa | 130 |
| 3.15. Komētas | 133 |
| 3.16. Meteori un meteorīti | 138 |
| 3.17. Saules sistēmas veidošanās | 143 |



| | |
|---|-----|
| 4. ZVAIGZNES | 147 |
| 4.1. Saule | 147 |
| 4.2. Saules aktivitāte | 151 |
| 4.3. Zvaigžņu raksturlielumi | 154 |
| 4.4. Zvaigžņu iedalījums un uzbūve | 158 |
| 4.5. Zvaigžņu izvietojums un kustība | 161 |
| 4.6. Dubultzvaigznes | 165 |
| 4.7. Maiņzvaigznes | 169 |
| 4.8. Zvaigžņu evolūcija | 172 |
| 4.9. Supernovas, neitronu zvaigznes, melnie caurumi | 175 |



| | |
|---|-----|
| 5. GALAKTIKAS UN VISUMS | 179 |
| 5.1. Galaktika | 179 |
| 5.2. Zvaigžņu kopas | 182 |
| 5.3. Miglāji un starpzvaigžņu vide | 184 |
| 5.4. Galaktiku iedalījums un uzbūve | 187 |
| 5.5. Galaktiku kopas un kvazāri | 192 |
| 5.6. Visuma uzbūve | 197 |
| 5.7. Visuma pagātne un nākotne | 199 |
| 5.8. Cilvēks un Visums | 202 |



| | |
|---|-----|
| 6. PRAKTISKĀ ASTRONOMIJA | 207 |
| 6.1. Orientēšanās pie debess. Zvaigžņu kartes | 207 |
| 6.2. Vingrinājumi ar zvaigžņu kartēm | 210 |
| 6.3. Astronomijas uzdevumi
(Spīdekļu koordinātas un kustības likumi) | 213 |
| 6.4. Astronomijas uzdevumi
(Zvaigžņu un galaktiku raksturlielumi) | 216 |
| 6.5. Vienkārša teleskopa un Saules pulksteņa izgatavošana .. | 220 |



| | |
|-----------------------|-----|
| ATBILDES | 224 |
|-----------------------|-----|



| | |
|-------------------------------------|-----|
| ALFABĒTISKAIS RĀDĪTĀJS | 243 |
|-------------------------------------|-----|

Ilgonis Vilks

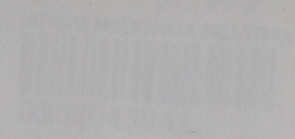
ASTRONOMIJA VIDUSSKOLAI

Redaktore M. Ozoliņa
Māksl. redaktore A. Lubgāne
Tehn. redaktore L. Vasiļevska
Korektore I. Bekmane

Apgāds "Zvaigzne ABC", SIA, K. Valdemāra 105, Rīgā, LV-1013
Reģistrācijas nr. 2-1060. Red. nr. E-270.

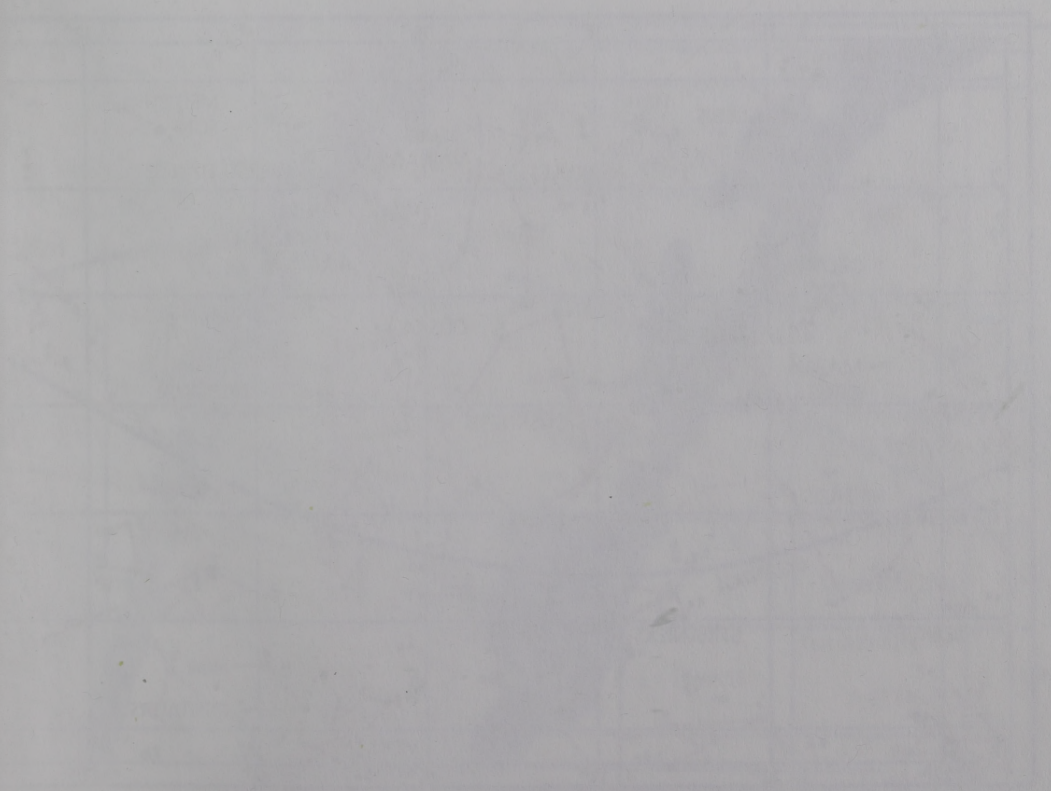
V/U "Poligrāfists", K. Valdemāra 6, Rīgā, LV-1050. Pasūt. nr. 463.

Krāsainā ielime – A/S "Preses nams" tipogrāfija, Balasta dambī 3, Rīgā, LV-1081



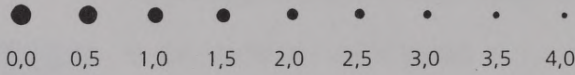
000000

| DATE | TIME | LOCATION | STATUS |
|----------|-------|----------|--------|
| 10/10/10 | 10:00 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:05 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:10 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:15 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:20 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:25 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:30 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:35 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:40 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:45 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:50 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 10:55 | 101 | OK |
| 10/10/10 | 11:00 | 101 | OK |



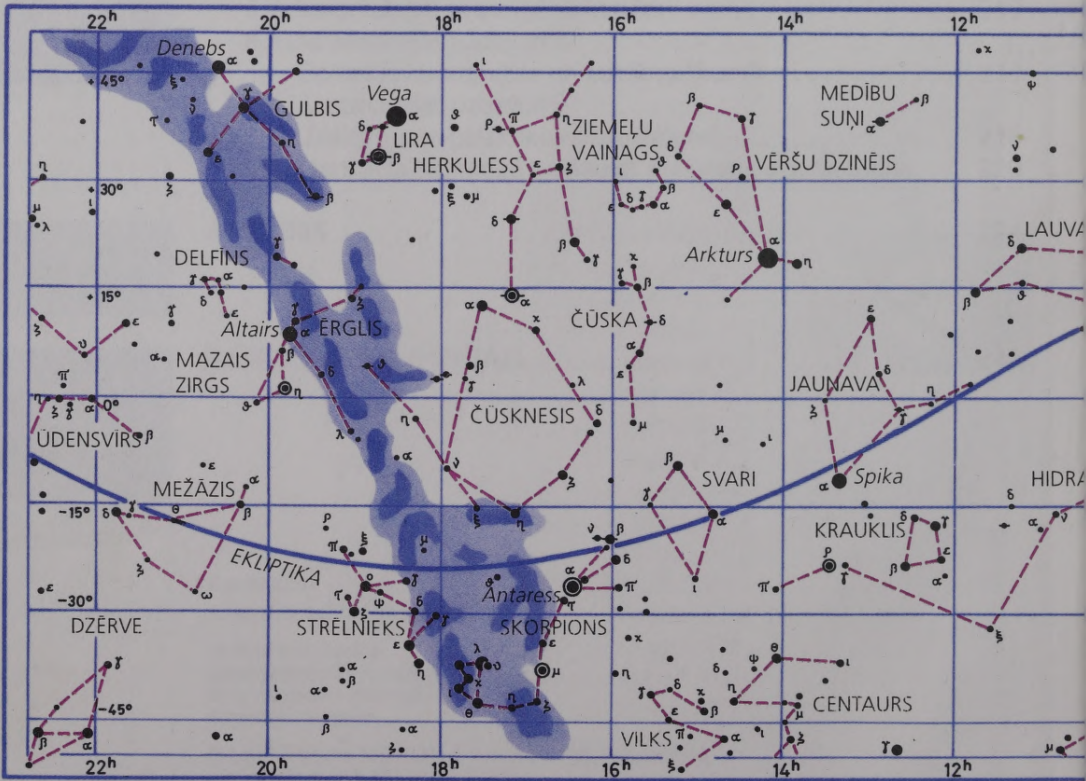
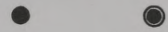
DEBESS EKV

ZVAIGŽŅLIELUMI



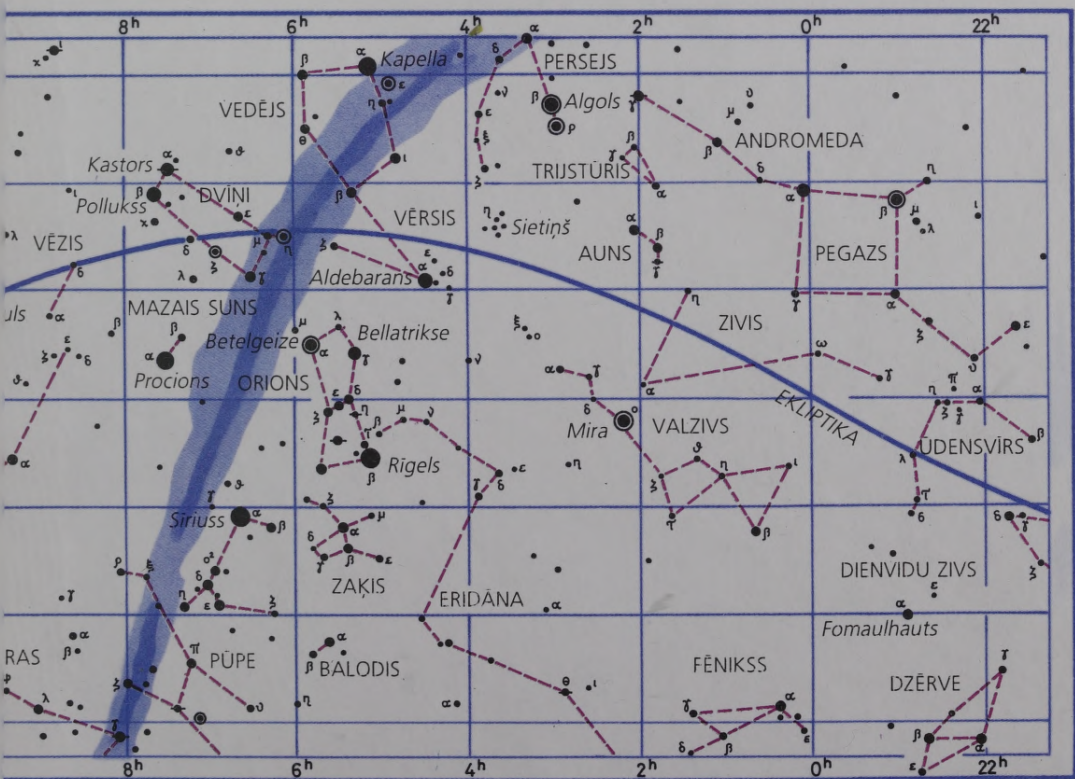
DUBULT-ZVAIGZNE

MAIŅ-ZVAIGZNE





IĀLĀ JOSLA



96-5
L
21



Ilgonis Vilks - dzimis 1960.gadā, Rīgā.
Ar astronomiju aizrāvēs kopš 14 gadu
vecuma. Mācījies Franču licejā, pabeidzis
Latvijas universitātes Fizikas un
matemātikas fakultāti. Strādājis par
fizikas un astronomijas skolotāju Rīgas
47. vidusskolā. Patlaban strādā LU
Astronomiskajā observatorijā. Organizē
skolēnu astronomijas olimpiādes, publicē
populārzinātniskus rakstus par zvaigznēm.
Interesējas arī par datoriem un fotogrāfēšanu.
Šo grāmatu rakstījis divus gadus.



ZVAIGZNE ABC

ISBN 9984-04-208-1