

ELAV TEADUS 57

MAAILMARUUM
JA TÄHED



Ринсера нозу

ELAV TEADUS № 57
EESTI KIRJANDUSE SELTSI
POPULAARTEADUSLIK SEERIA
ILMUB 12 NUMBRIT AASTAS
TARTUS 15. SEPTEMBRIL 1936. № 9

MAAILMARUUM JA TÄHED

A. KIPPER

TARTU ÜLIKOOLI TÄHETORNI VANEM ASSISTENT

MAAILMARUUM JA TÄHED

SISSEJUHATUS ASTRONOOMIASSE

EESTI KIRJANDUSE SELTS
TARTU, 1936

TOIMETUS: A. ANNIST — TEGEV TOIMETAJA,
D. PALGI — VASTUTAV TOIMETAJA, J. KÖPP, J. LANG,
J. ROOS, P. TARVEL, F. TUGLAS, J. ULUOTS

TOIMETUSE AADRESS: EESTI KIRJANDUSE SELTS, TARTU

2



101563



Käsikirja läbi lugenud prof. D. Rootsmäe.

I. Maailmaruumi tunnetamise arengust.

Reaalteaduste väärtus seisneb selles, et nad annavad meile kogemusi ja teadmusi, mille abil on võimalik tõsta inimese elu mugavusi ja otstarbekust, vähendada primitiivsust ja saamatust. Kuid on ekslik seejuures arvata, nagu näeks puhas teadus oma uuringute eesmärgi ainult uuritava eseme praktilises rakenduses. See on õieti rakendusteaduste asi, mis kasutavad puhta teaduse uurimistulemusi looduse aheldamiseks inimese teenistusse. P u h a s t e a d u s katsub haarata välist maailma tervikuna, nii nagu see on, ilma küsimata, mis on selles praktilist, mis mitte. Ja õppinud tunnetama teda ümbritsevat loodust, võib inimene ses orienteeruda ja leida sealt seda, mis on ta otsekoheks hüveks tarvilik. Teaduslik uurimine ise võib jääda uurijale ikkagi teatud naudinguks, teatud ilma otsekohe praktilise väärtuseta „mänguks“. Arvatavasti jõudiski alginimene oma esimese leiutiseni mänguga. Lennutades näiteks ülekeevast jõust või muidu mängulustist kivi või kopsides seda vastu teist, õppis ta tundma selle omadusi ja alles jõudnud niikaugemale, tuli mõttele seda rakendada relvana. Painutatud puuks ja juhuslikult kätte sattunud puutükk olid suurepärased mänguasjad, kuni neist kujunes vibu ja nool. See mäng, mis primitiivse inimese juures oli alateadlik, lapselik toiming, on arenenud praegusaja inimesel teaduslikuks uurimiseks, ja tänu sel-

lele suurte inimeste mängule on tsivilisatsioon ja kultuur arenenud nii kaugele, nagu ta praegu on.

Vist juba väga algelisel kultuuriastmel seisev inimene pani tähele, et looduses toimuvad keerulised nähtused on tihti tingitud lihtsamaist, mis korruga mitmesuguseis kombinatsioonides ja tugevuses kutsuvad esile väga palju keerulisi ilminguid. Ta õppis neid seletama, s. o. neid taandama lihtsamaile. Looduse tunnetamine muutub kergemaks, kui suure hulga nähtuste haaramiseks piisab võrdlemisi väikesearvulisest lihtsamate nähtuste, looduse aduste tundmisest. Eriti ülevaatlikuks muutus aga asi siis, kui inimsugu loogika arenedes saavutas oma valdusse teadusele asendamatu tööriista — matemaatika. Kompaktne matemaatiline valem sisaldab tihti eneses enam kui suured köited kirjeldusi, rääkimata valemi paindlikkusest ja võimalusest arvutada sündmuste käiku kuitahes kaugele minevikku või tulevikku. Kuid varsti selgus ka, et ainult osa loodusest laseb end haarata matemaatiliste valemite süsteemiga. Hulk nähtusi on nii keerulised, et igasugune analüüs osutub võimatuks. Me võime neid ainult kirjeldada ja süstematiseerida väliste tunnuste järgi, teadmata neid tingivaid põhjusi. Nii jaguneb loodusteadus täpseks ja kirjeldavaks loodusteaduseks. Täpne teadus, mille alla kuuluvad alajaotistena füüsika, keemia, astronoomia, geodeesia, geofüüsika, meteoroloogia ja matemaatika, katsub vaatleva mõõtmise ja sellele järgneva loogilis-matemaatilise mõtlemise teel tungida loodussaladustesse. Kauga aega püsisid nimetatud teadusalad üksteisest lahus, ilma tungimata teise valdkonda. Nüüd on aga olukord põhjalikult muutunud; praegu ei saa tõmmata teravaid piirjooni ei astronoomia ega füüsika, ei meteoroloogia ega geofüüsika vahele ja isegi bioloogilised teadused kasutavad tihti

matemaatilisi uurimisviise. See teravate piirjoonte kadumine on tingitud teaduse arenemisest, mis täites üksikute teadusharude vahelisi lünki püüab selle poole, et haarata kogu loodust võimalikult väikese arvu loodusseadustega. Praegu ei ole mõeldav astronoomia ilma füüsika ja keemiata; niisamuti kasutavad füüsikud astronoomiliste mõõtmiste tulemusi. Kui lugeja käesolevas raamatus tihti satub arutlustele, mis oma iseloomult kuuluksid tema arvates enam füüsika kui astronoomia valdkonda, siis veendub ta, kui lähedalt käsikäes töötavad üksikud teadusalad välise maailma tunnetamisel.

Esimesed sammud maailmaruumi tunnetamiseks olid väga rasked. Et Maa vabalt, toetumata millelegi, hõljub ruumis, et ta vastaspoolkeral asuvad inimesed ei ripu pea allapoole, vaid tunnevad end niisamuti nagu meiega, et „ülal“ ja „all“ on mõisted, mil on mõtet üksnes Maakera suhtes, ja et mitte taevas tervikuna me ümber ei tiirle, vaid et tähtede tõus ja loojumine on tingitud Maa pöörlemisest — kõik need oletused vajasisid otsest, käegakatsutavat tõestust. Olgugi et juba enne Kristust elanud, hiljem unustusse jäänud kreeka filosoofide õpetuse kohaselt Maa pidi olema kerakujuline, läks mööda ligemale poolteist aastatuhat, enne kui Kolumbus ja Magalhães oma reisidega tõestasid kreeklaste väite vastuvaidlematu kehtivuse¹⁾.

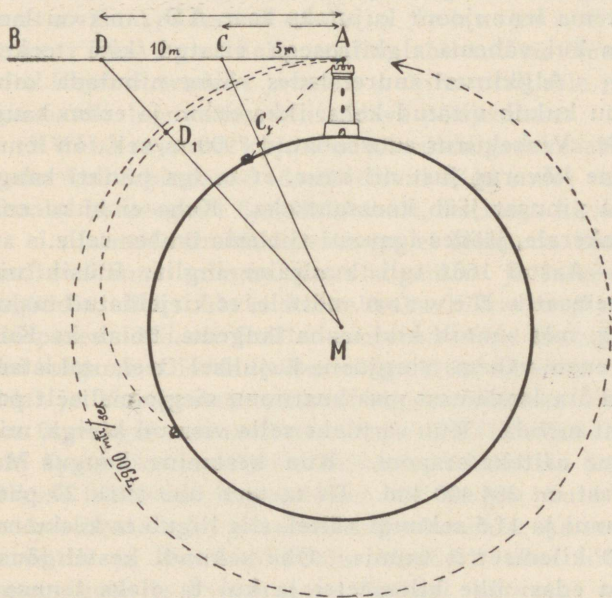
Sõidud ümber maailma olid küllaldaselt veenvad tõestused Maa kerakujulisuse kohta. Kui aga Kopernikus tuli oma revolutsioonilise teooriaga, puudusid temal selle tõestamiseks küllalt tõhusad argumendid. Sest hüpotees, mille järgi Maa oma telje ümber pöö-

¹⁾ Vrd. W. D u r a n t, Lood filosoofia ajaloost I („El. Teadus“ nr. 56) ja A. P i g a f e t t a, Esimene teekond ümber maailma („El. Teadus“ nr. 3).

reldes ühe aasta kestel teeb tiiru paigalseisva Päikese ümber, mis on ühtlasi ka planeetide orbiitide tsentrumiks, erines endisest, Ptolemaios'e teooriast, mille järgi Maa on maailma keskkohaks, ainult oma lihtsuse poolest. Sama nähtuse teissugune geomeetiline kirjeldamisviis ei lisanud tegelikult midagi juurde, jättes seletamata mingi üldisema ning loomulikuma seaduse alusel, miks Päike on planeetidesüsteemi keskkohaks. Ei olnud need ainult usulised põhjused, mis sundisid suurema osa selleaegseid teadlasi uutele ideedele vastu töötama, vaid Kopernikuse teooria sisemise põhjendatuse puudus, mis teda oleks tõstnud kõrgemale Ptolemaiose maailmasüsteemist; suur lihtsus ei olnud veel küllaldaseks aluseks vanast maailmavaatest loobumiseks. Ptolemaios ja Kopernikus opereerisid tegelikult samade andmete ja meetoditega ja skolastiline vaidlus poleks asja kunagi otsustanud kummagi kasuks. Heliotsentrilise (päikeskeskse) maailmavaate võiduleviimiseks oli tarvis uusi astronoomilisi ja füüsikalisi tõsiasju. Ja neid muretses viimane suurim Ptolemaiose õpetuse pooldaja astronoom Tycho de Brahe oma selle aja kohta võrratult täpsete vaatlustega, millest hiljem Kepler tuletas oma nime järgi kutsutavad kolm planeetide liikumist korraldavat seadust. Kuna Kepler ainult uduselt aimas jõude, mis sunnivad planeete liikuma ümber Päikese, suutis Newton tungida probleemi sügavusse ja näha tungis, mis sunnib õuna maha kukkuma ja visatud kivi õhus kaart kujundama, seda põhjust, mis sunnib ka Kuud liikuma ümber Maa ja planeete ümber Päikese. Newton näitas me otsesele katsele kättesaadavate mehaanika seaduste universaalset iseloomu ja andis Kopernikuse maailmavaatele loomuliku ning lihtsa põhjenduse.

II. Gravitatsiooniseadus.

Kui visata mingi raske keha teatavas sihis, liigub see algul edasi peaaegu sirgjooneliselt, kaldub aga viimasest varsti kõrvale ja moodustab kukkudes maa poole kõvera nn. lennujoone. Mida suurem on heitekiirus, seda lamedam on horisontaalse viske korral lennujoon ja seda kaugemale lendab keha. Seda igale inimesele igapäevaseist kogemustest teada olevat tõsiasi selgitab esitatud joonis. Olgu KL Maakera pind



ja M selle keskkohat, mille poole kukuvad kõik maapinna lähedal lahti lastud kehad. Visatagu tornist A kivi horisontaalses sihis AB kiirusega 5 meetrit sekundis. Kui raskustung ei mõjuks, lendaks kivi esimese

sekundi kestel edasi 5 m, olles sekundi lõpul punktis C ($AC = 5$ m). Raskustungi mõjul aga langevad kõik lahtilastud kehad esimese sekundi vältel Maakera keskkoha poole 4,90 m, nii et keha viskest saadud kiiruse kui ka raskuskiirenduse koosmõjul asub esimese sekundi möödumisel punktis C_1 . Et raskustung mõjub pidevalt igal ajamomendil, on tegelikuks kivi lennujooneks kaar AC_1 . Kui visata samast tornist teine kivi kiirusega 10 m/sek., siis jõuaks see ilma raskuskiirenduseta punkti D, langeks aga raskustungi mõjul Maakera poole pikkuse DD_1 võrra = 4,90 m, nii et tema lennujoont kujutaks kaar AD_1 , mis on lame-dam kui vähema algkiirusega visatud kivi teekond AC_1 . Algkiirust suurendades võime nihutada kohta, kuhu kukub visatud keha, ikka enam ja enam kaugemale. Viskekiirus suurendatud 7900 m/sek., on lennujoone kõverus just nii suur, et ta iga punkti kaugus Maa pinnast jääb konstantseks. Keha ei kuku enam Maakerale, jäädes igavesti tiirlema ümber selle.

Aastal 1665 tuli kuulsaim inglise füüsik ning matemaatik Newton mõttele, et kirjeldatud raskustung, mis sunnib kivi maha langema, hoiab ka Kuud ta enam-vähem ringjoone-kujulisel teel, takistades teda ära lendamast maailmaruumi sirgjooneliselt puutumat mööda. Kuu sarnleks selle visatud kiviga, mille tõime näiteks eespool. Kuu keskmine kaugus Maakerast on 384 400 km. Et ta teeb ühe tiiru 27 päeva 4 tunni ja 11,5 sekundi vältel, siis liigub ta keskmiselt 3600 kilomeetrit tunnis. Ühe sekundi kestel jõuaks Kuu edasi ühe kilomeetri ja kui ta oleks lennanud sirgjooneliselt, oleks ta Maakerast kaugenenu-d 0,0013 meetrit. Et püsida edasi ringjoone-kujulisel orbiidil, peab Kuu langema Maa poole esitatud pikkuse võrra. See on aga palju vähem, kui kehad esimese sekundi kestel kukuvad Maa pinnal. Nii oletas Newton, et

raskustungi suurus kahaneb analoogiliselt valgustugevusega võrdeliselt kauguse ruuduga. Kuu on Maakera keskkohast umbes 60,27 korda kaugemal kui Maakera pind. Vastavalt peaks selles kauguses raskustung olema $60,27 \cdot 60,27 = 3632$ korda väiksem, nii nagu see tegelikult ka on ($4,90 : 3632 = 0,0013$). Esitatud kaalutlused viisid Newtoni kuulsale kogumaailmse gravitatsiooniseaduse sõnastusele: kõik kehad tõmbavad üksteist külge tungiga, mis on võrdeline nende kehade massiga ja vastuvõrdeline kehasid lahutava kauguse ruuduga. Selle seaduse abil tuletas Newton kolm Kepleri seadust ja andis heliotsentrilisele maailmavaatele loomuliku, arusaadava põhjenduse.

XVII-l sajandil kujunenud, selleaegset maailmavaadet ümberhindavad ideed leidsid väga suurt vastuseismist kaasaegselt õpetlaskonnalt, eriti aga kirikult, kes ei suutnud rahulduda vaatega, et Maakera, kus oli sündinud suur inimese pattulangemise ja lunastuse tragöödia, oleks üheks kõrvaliseks liikmeks planeetide peres. Nii oli Galilei sunnitud oma tõekspidamisi salgama, Giordano Bruno kaotama oma elu tuleriidal ja Kopernikus pääses tagakiusamisest ainult oma õigeaegse surma tõttu. Kuni XVIII sajandi lõpuni õpetas kuulus Pariisi ülikool, et Maakera ümber Päikese liikumise hüpotees on küll mugav, kuid sellest hoolimata vale, ja noore ning edumeelse Ameerika Harwardi ja Yale'i ülikoolis käsiteldi alles hiljuti Kopernikuse ja Ptolemaiiose õpetusi kõrvuti, nagu oleksid nad võrdselt tõenäosed. Konservatiivne vaim takistas vanasti, takistab nüüd ja arvatavasti ka tulevikus teaduse arengut.

III. Päikessüsteem.

Asudes kirjeldama kosmilist ruumi ja seal asetsevaid kehasid, algame vaatlust meile kõige lähemast ümbrusest, päikessüsteemist, mis oli üldjoontes tuttav juba antiikrahvaile, olgugi „Maakera süsteemina“. Päikessüsteemi planeetide pere, tiireldes ellipseid mööda ümber keskkeha Päikese, mis oma massilt ületab kõiki planeete korraga 755-kordselt, jaguneb kahte rühma: Päikese läheduses kauguse järjekorras asuvad neli väikest planeeti — Merkuur, Veenus, Maa, Mars ja kaudendest kaugemal neli suuremat — Jupiter, Saturn, Uran, Neptun ja kõige kaugemal alles 1931. a. avastatud Pluto. Marsi ja Jupiteri tee vahel tiirleb hulk väikesi kehakesi, nn. asteroide, millest suurim on Ceres, üle 800 kilomeetri ulatuva läbimõõduga, kuna vähemad on ainult paarkümmend kilomeetrit läbimõõdus.

1. Päike.

Planeetidesüsteemi tsentraalkehana on Päike ühtlasi elustavaks taevakehaks, millelt planeedid saavad valgust ja mis võimaldab elu olemasolu Maakeral ja võib-olla ka teistel planeetidesüsteemi liikmeil. Et Päike on valguse ja soojuse allikas, igasuguse elu võimaldaja, on antud talle rahvaste mütoloogias aukoht. Teda kujutellakse liikuva ning sigitava olendina, teda on hakatud jumalustama ja ohvritega austama.

Päike on tuliselt hõõguv gaaskera, mille pinnatemperatuur on 5900° , keskkoha temperatuur aga umbes miljon kraadi üle absoluutse nullpunkti. Päikese helendavat pinda nimetatakse fotosfääriks, mille peal on keskmiselt 500 km paksuselt, koosnedes madala rõhu all olevaist gaasidest, nn. ümberpöö-

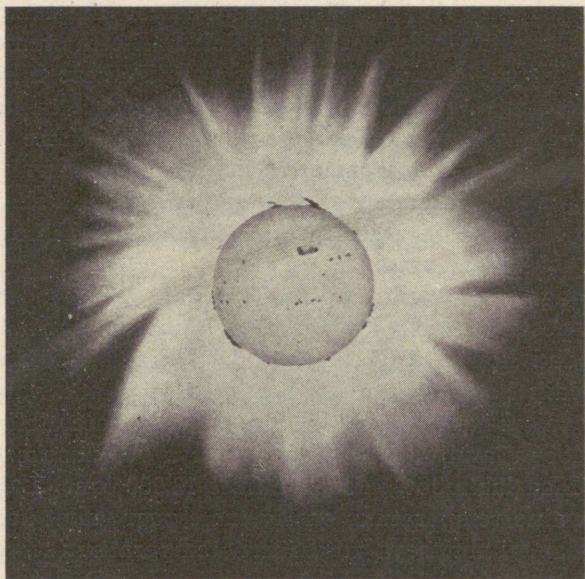
r a v k i h t. Überpöörava kihi temperatuur on madalam fotosfääri temperatuurist, mistõttu tekivad Päikese pidevas spektrumis ¹⁾ tumedad Fraunhofer'i jooned. Überpöörava kihi peal on veel vähema tihedusega, päikesevarjutuse ajal iseloomustavalt värviliselt helkiv kromosfäär, mis koosneb peamiselt ioniseeritud kaltsiumist ja vesinikust. Kromosfääri peal on ainult päikesevarjutuse ajal nähtav kroon. Aine, millest koosneb kroon, on äärmiselt kerge, ta rõhumine on ainult 10^{-16} Atm ²⁾ ja ta hajub pidevalt ümbritsevasse ruumi. Vaadates Päikest läbi tahmase klaasi paistab otsekohe silma heleda ketta tumenemine äärtel. Nähtus on põhjustatud Päikese kihtide temperatuuri kasvuga keskkoha poole. Ketta keskkohal on vaatejoon kihtidega risti; me näeme seal kuumemaid ning heledamaid kihte kui ketta serval, kus vaatejoon, moodustades nendega teravat nurka, ei ulatu sügavale ja seetõttu on nähtavad ainult külmemad fotosfääri osad.

Sageli ilmuvad Päikese heledale kettale, mida tihti peetakse määrdumatus ja puhtuse sümboliks, tumedad kohad, Päikese laigud. Normaalselt arenenud laik koosneb tumedast keskosast — nn. varjust ja seda piiravast poolvarjust. Suuremate laikude läbimõõt ulatub üle 50 000 km. Olgu võrdluseks toodud Maa läbimõõt, mis on ainult 13 000 km. Laigus oleva aine temperatuur on ligemale paar tuhat kraadi madalam ümbritseva fotosfääri temperatuurist, millest on tingitud ka ta väiksem heledus. Päikese laikude ilmunisel on nende arvus ja suurus selgesti märgata väljakujunenud üheteistkümne-aastast perioodi. Suurte ning sagedate laikude ilmunisel teki-

¹⁾ Vt. „Tähtede spektrum“, lk. 58 jj.

²⁾ S. o. $\frac{1}{10\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}$ 760 millimeetri kõrguse elavhõbeda-samba rõhust ruutsentimeetrilisele pinnale.

vad Maakeral meteroloogilised muutused koos Maa magnetismi häirete ja virmaliste ilmumisega. Päikese laigud ilmuvad tavaliselt rühmiti ja nendega kaasas käivad alati nn. faklid ehk loidud, mis on vastandina laikudele heledamad kohad fotosfääris. Arvatakse, et on laigud Päikese atmosfääri laskuvate gaasivoolude kohad, mis sarnlevad Maakera õhkkonna anti-tsükloonidega. Faklid oleksid sel juhul tsükloonidega sarnlevad moodustised.



Päikese ketas laikude ja protuberantsidega. Päikest piirab ainult päikesevarjutuse ajal nähtav kroon.

Päikesevarjutuse ajal kui ka eriliselt ehitatud spektroskoobiga võib Päikese serval näha aine väljapurskeid fotosfääri pinnast, nn. protuberantse

ehk lõkkeid, mille arenemise kiirus on tihti kohutavalt suur. Need on tõelised plahvatused Päikese pinnas. Oma iseloomult jagunevad protuberantsid metallilisteks ehk eruptiivseiks ja gaasilisteks ehk pilvetaolisteks. Viimased on esimestega võrreldes harilikult vähem aktiivsed ja püsivad kauemini.

Päikese pöörlemisperiood, nagu seda määratakse laikude liikumise, nende ilmumise ja kadumise järgi serva taha, on 25 päeva, kusjuures ekvaatorilised osad liiguvad kiiremini. See tõsiasi on kinnituseks teoreetilistele oletustele Päikese aine gaasilise oleku kohta.

Spektroskoopilised uurimised, mille iseloomu selgitame lähemalt kinnistähti käsitlevas peatükis, tõendavad, et Päike koosneb samust aineist kui Maagi. Seal leidub rauda, vaske, tina, naatriumi, kaltsiumi, vesinikku jne. Ainult mõnede väheste elementide nagu osmiumi, radiumi jne. olemasolu pole senini suudetud kindlaks teha. Kindlasti leidub aga ka neid elemente Päikesel, ainult mingi iseäralise olukorra tõttu puuduvad nad ümberpööravas kihis, kus sünnivad spektraaljooned.

Et saada niisama tugevat valgust, nagu seda annab Päike, peaksime süütama 10^{27} küünalt, mis vastab väljakiiratud energiale 10^{25} meeterkilogrammi sekundis. See vastaks energiale, mille saaksime, kui põletaksime igas sekundis vähemalt 10^{16} tonni kivisütt. Kui Päike koosneks ainult söest, suudaks ta seda põletades kiirata praeguse intensiivsusega ainult 3000 aastat, see on vähem kui ajaloolise aja kestus. On selge, et energia-tagavarad nii ohtraks pillamiseks peavad peituma mujal. Moodsa füüsika seisukohast ei tehta vahet energia ja massi vahel, nähes neis kahes ainult sama nähtuse kaht väljendumisvormi, kaht palet. Üks hernetera-suurune kivisöetükike täielikult lõpuni

põletatuna suudaks üht liitrit vett soojendada ainult paari kraadi võrra. Sama söetükike muudetuna energiaks suudaks aga viia suurimaidki ookeaniaurikuid Euroopast Ameerikasse ja tagasi. Näib olevat tõenäone, et Päike saab oma energia oma aine lagunemisest, sest muidu poleks seletatav nii suur kiirgamine nagu praegune, mis on kestnud lakkamata intensiivsusega vähemalt Maakera eluea, $2 \cdot 10^9$ (s. o. 2 000 000 000) aasta kestel. Arvutades väljakiiratud energia ümber massiks leiaksime, et Päike peaks igas sekundis kaotama oma ainest 4 miljonit tonni. Maa-ilmal kõige veerikkamat koske Niagarat igas sekundis läbiv veehulk moodustab ainult $\frac{1}{600}$ osa eelnimetatud ainest. Olgugi et Päike kaotab energiat kiirates oma ainet, on see kaotus ikkagi väike võrreldes ta kogumassiga. Alles 10^{13} aasta pärast oleks ta mass taandunud poolele, ja see aeg on kaugelt suurem Maakera elueast.

Päikese kaugus Maast on 149 500 000 kilomeetrit, missugust pikkust tarvitatakse astronoomias mõõduühikuks. Ta näiv läbimõõt on $31' 59''$, mis vastab lineaarselt 1 391 000 kilomeetrile. Maa ühes ta ümber Kuu tee kahekordse raadiusega tiirleva kaaslasega mahuks peaaegu Päikese sisse. Kuna Maakera keskmine tihedus on 5,5 korda suurem kui veel, moodustab Päikese tihedus ainult 1,4-kordset vee tihedust. See on aga ikkagi veel palju suurem gaaside tihedusest, mida leiame Maakeral. Päikest moodustavad gaasid peavad seepärast olema väga suure rõhu all, s. t. tugevasti kokku surutud.

2. Merkuur.

Päikesele lähim planeet Merkuur oli tuntud juba antiikrahvaile, hoolimata raskeist vaatlustingimustest.

Et ta asub Päikesest ainult 0,4 astronoomilise ühiku kaugusel, eemaldub ta näiliselt viimasest üksnes 23 kraadi ehk ligemale 43 Päikese läbimõõdu võrra. Olles nähtav ainult veidi aega pärast Päikese loojumist



Fantaasiapilt Merkuurilt. Niisugusena paistaks Merkuuri maastik sealsele vaatlejale. Atmosfääri puudumisest tingituna on näha ümber suure Päikese ketta ka kroon. Õhu ja vee puudumise tõttu on kõik pinnavormid säilitanud oma esialgse terava välimuse. Merkuuri pinda lõhestavad laiad ning sügavad praod, mis osalt on tekkinud tektoonilistest muutustest, osalt aga Päikese kõrvetava kuumuse tagajärjel.

õhtuti või enne tõusu hommikuti, peab olema õnnelik juhused, et meie laiustes näha seda haruldast planeeti, mille kohta räägitakse, et Kopernikus pole näinud teda kordagi oma elus. Kreeklaste mütoloogia järgi oli Merkuur (*Hermes*, roomlaste *Mercurius*) jumalate kiire käskjalg, truu tihti ka Päikesena kujutatud valgusjumala Apolloni sõber. Nende sõprus on tõesti nii suur, et Merkuur kunagi ei lähe kaugele Päikesest, pöörates kiiresti tagasi, kui ta pisutki on jõudnud eemale.

Koidu või eha valgus ja madal seis, mistõttu õhu virvendus mõjub äärmiselt segavalt, ei võimalda isegi suuremate pikksilmadega saavutada vaatlusi, millest võiks järeldada palju Merkuuri füüsikaliste omaduste kohta. Näib olevat tõenäoline, et tal on tardunud kõva koor analoogiliselt Maa või veel parem — Kuuga. Fotomeetristest ja spektroskoopilistest vaatlustest järeldatakse nii õhu kui ka vee täielikku puudumist planeedil. Rida asjaolusid näib rääkivat selle poolt, et Merkuur hoiab alati üht külge Päikese poole, tehes ühe pöörde ümber telje sama ajaga, 88 päeva kestel, mille jooksul ta kulgeb oma orbiidi ümber Päikese. Kui see nii on, siis peab varjupoolne külg olema kohutavalt külm, igatahes külmem kui -150° C, kuna päikesepoolses osas valitseks kuumus, kus sulab tina. Atmosfääri ja vee täielik puudumine, kohutav kuumus ja külmus kõrvuti loovad olukorra, kus arvatavasti ükski elusolend ei suuda eksisteerida. Merkuur on elutu kõrb, mille kõrväl maapealsed soolakõrved on kõige kosutavamad oasid.

3. Veenus.

Merkuurile Päikesest kauguse järjekorras järgnev planeet Veenus on heledaim kõigist taevakehadest

peale Päikese ja Kuu. Oma suurima heleduse korral ta heidab märgatavaid varje ja on nähtav teadlikule vaatlejale ilma optiliste abinõudeta isegi päeval. Nagu Merkuuri, nii ka Veenuse tee on Maa orbiidi sees ja seepärast näib see planeet liikuvat kord ühele, kord teisele poole Päikest, paistes vastavalt kas eha- või koidutähena ja näidates niisamuti nagu Kuugi faase. Antiikrahvad, kes ei teadnud, et mõlemal korral on tegemist ühe ning sama taevakehaga, tarvitasid tihti



Ülesvõtteid Veenusest mitmesuguseis faasides. Mida kaugemal on meist planeet, seda suurem osa ta kettast näib olevat valgustatud, kuid seda väiksem on ta näiv läbimõõt.

kummalgi puhul eri nime. Nii hüüdsid kreeklased ehatähte ta ilu ja säravuse tõttu *Aphrodite*'ks, kes ilu ja armastuse jumalannana oli kauneim kõigist jumalaist. Koidutäht aga kandis nime *Phosphoros*, s. o.

valgusekandja, -tooja. Roomlastel olid sama tähendusega vastavad nimed *Venus* ja *Lucifer*.

Et Veenuse kaugus Päikesest on 0,7 astronoomilist ühikut, eemaldub ta võrreldes Merkuuriga Päikesest küllalt kaugele ja on hästi vaadeldav. Kuid hoolimata headest vaatlustingimustest ei ole Veenuse pinnal näha isegi niipalju üksikasju, et oleks võimalik määrata nende järgi ta rotatsiooni (pöörlemist). Nähtavasti on Veenus kaetud väga tiheda pilvekihiga, mis takistab nägemast ta pinda. Üksikud harva nähtavad laigud Veenuse kettal on tingitud lihtsalt pilvede korrapäratusest ja nad muutuvad kiiresti, kiiremini kui et neist saaks midagi järeldada planeedi pöörlemise kohta.

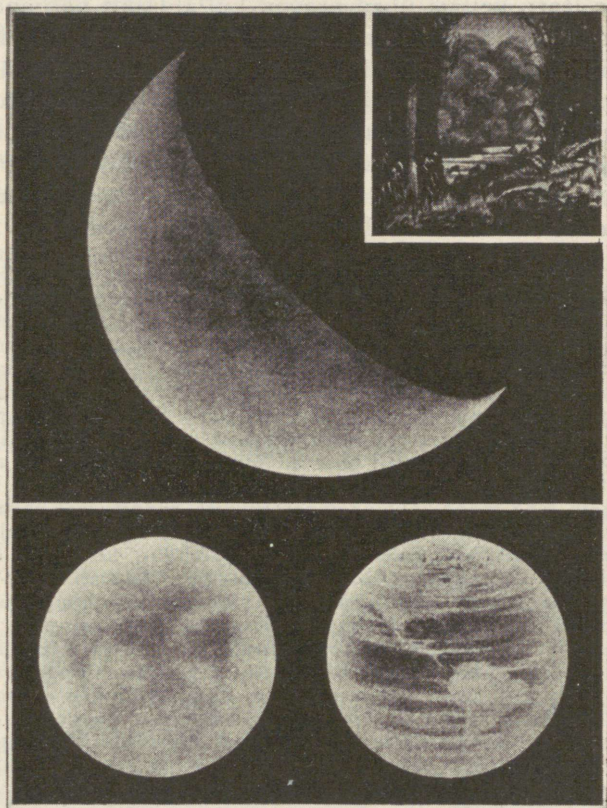
Et Veenust piirab tihe atmosfäär, järgneb juba 1761. a. tehtud vaatlustest. Nimetatud ajal asus planeet oma teekonnal täpselt Maa ja Päikese vahel, nii et vaatlejale paistis Veenuse tume kettake libisevat üle Päikese ketta. Olles aga nähtav musta täpina Päikese helendaval pinnal, oli Veenuse tume kettake piiratud valge oreooliga, mis oli tingitud Veenuse atmosfääris tekkivast kiirte murdumisest. Merkuuri möödaminekute korral Päikesest, mida juhtub palju sagedamini, pole näha vähimaidki tundemärke, mis võimaldaksid oletada atmosfääri olemasolu sellel planeedil. Et Veenus asub Päikesele lähemal kui Maa, on talle langeva intensiivsema valguse tõttu ta pinnatemperatuur kõrgem. Teoreetilised arvutused annavad Veenuse temperatuuriks $+47^{\circ}$ C, mida sellekohased mõõtmised äärmiselt tundlikkude riistadega näivad tõendavat. Rikkalik pilvitus lubab oletada väga niisket kliimat, mis koos kõrge temperatuuriga loob seal triiphoonega sarnlevaid tingimusi.

Nagu eespool tähendasime, on Veenuse pöörlemisvältuse määramine seotud praeguse vaatlustehnika

seisukohast võib-olla isegi äravõitmatute raskustega ja seetõttu on arvamused Veenuse rotatsiooniaja suhtes väga lahkuminevad. On moodustunud kaks teadlaste leeri, kellest ühed peavad küllaldaselt põhjendatuks lugeda Veenuse rotatsiooniaega võrdseks ta tiirlemisvältuse, 225 päevaga, kuna teised jälle on leidnud tõendeid võrdlemisi kiire, umbes Maa pöörlemisvältuse piirides toimuva rotatsiooni kohta. Esimese vaate kohaselt oleks Veenuse üks külg pööratud alati Päikese poole, teise vaate kohaselt sarnleks öö-päeva vaheldus Veenusel üldjoontes Maa öö-päevaga.

Esitatud andmeil võiksime saada ligikaudse kujutluse Veenusel valitsevaist olukorrist. Oletades Veenuse öö-päeva pikkuseks mitte väga suuri ajavahemikke, ei teki ka järske muutusi öö-päeva temperatuuride vahel. Viimast tasandab ka rikkalik pilvitus, mis keskpäeval varjab ta pinda Päikese kõrvetava kuumuse eest, öösiti aga hoiab seda jahtumast. Arvatavasti suudab ainult väike osa Päikese kiirtest tungida läbi pilvekihist; suurem osa valgusest neeldub atmosfääris, mille soojenedes tekivad tõusvad õhuvoolud, põjustades alalist äikesvihma. Et temperatuur on Veenusel keskmiselt 30° kõrgem Maa troopikavöö temperatuurist, sünnib seal kaljude murenemine palju kiiremini. Sellele seltsib veel alaline vihm, mis, kiskudes kaasa murenemisprodukte, ummistab kiiresti jõed ja ujutades üle ümbruskonna tekitab pori- ja rämpsulagendikke. Atmosfääri rikkalik süsihappegaasi-sisaldus on soodus lopsaka taimestiku tekkimiseks, kui arvestada, et Veenuse polaarsed osad on märksa külmemad kui ekvaatorilised. Aga viimaseiski valitsev temperatuur +50°C ei ole veel liiga kõrge elu võimaldamiseks. Sooja, niiske kliima mõjul on taimede elutegevus Veenuse peal väga kiire. Arvatavasti kasvavad need lühikese ajaga hiigelsuureks, murtakse tormide ja üleujutustega maha, uhetakse veega madalamaisse kohtadesse, kus nad täidavad orge, jõesänge ja merepõhju ja kiiresti kattuvad liiva ja poriga. Teine osa surnud taimestikust aga mädaneb, moodustades haisevaid soid, millel kasvavad uued lopsakad taimed. Veenuse kliima tuletab meelde Maakeral valitsenud kivisöe- või veel varemaid ajastuid. Kui me eespool Merkuuri puhul tähendasime, et Maa kõige hirmsamad kõrved oleksid Merkuuril kosutavaimaiks oasideks, siis võime Veenuse kõrveid kujutella kümme korda lopsakamana kui Amazonase jõe troopilisi soid.

Oletades aga, et Veenus oma pöörlemisel pöörab alati ühe ning sama külje Päikese poole, s. o. kui teatud kohal Veenusel Päike püsiks vaatlejale alati ühel ning samal kohal



Veenuse sirp, nii nagu see paistab suures pikksilmas. All Veenus ja Maa, nii nagu nad paistavad väljapoole maailmaruumi. Kuna Veenus on kaetud tiheda pilvelooriga, on Maa pilvitus märksa väiksem, võimaldades näha ka pinna detaile. Ülal fantaasiapilt Veenuselt. Veenuse troopilises kliimas kasvavad analoogiliselt Maa kivisöe-ajastuga hiigelsõnajalad.

taevas horisondi suhtes, oleksid kliimatilised tingimused elu olemasoluks palju ebasoodsamad kui kirjeldatud juhul. Siis valitseks Veenuse alati valgustatud küljel pilvekihi tasandavast mõjust hoolimata temperatuur, mis poleks palju madalam kui $+100^{\circ}$ C. Varjus esineks aga alaline jää, kus temperatuur oleks alla -100° C. Päikesest valgustatud küljel tekiksid kiiresti tõusvad õhuvoolud, mille asemele varjupoolsest küljest voolaks külm õhk. Seal valitseks alaline tuul, analoogiline maiste passaatidega. Et aga temperatuurivahed oleksid kuni 10 korda suuremad kui Maakeral ekvaatori ja pooluse vahel, oleks vastavalt sellele õhu liikumine intensiivsem. Veenusel valitseks seega kogu aja ühesihiline orkaan. Alalised õhuvoolud aitaksid tasandada temperatuurivahesid valgustatud ja varjupoolsete Veenuse osade vahel, nii et arvatavasti valguse ja varju piiril, s. o. kohal, kus Päike on horisondil, peaks leiduma paarisaja-kilomeetrilise laiusega vöö, kus võib-olla tingimused oleksid elule enam-vähem soodsad. Alalise ühesihilise tormi tõttu, millele seltsib veel peaaegu pidev vihm, ei areneks aga sealgi kõrgekasvulist taimestikku. Arvatavasti võiks seal esineda madal, küngaste ja kivide vahele pugunud, maisi vetikaid või samalt meenutav vegetatsioon. Seda eluvõimaldavat vööd piiraks ühelt poolt igavene jää, teiselt poolt kestev kuumus. Ainult paaripäevase teekonna kestel võiks läbida kliimavööid polaarseist jääväljust kuni troopilise kuumuseni.

Oleme kirjeldanud Veenusel valitsevaid tingimusi kahe oletuse kohaselt ta rotatsiooniaja suhtes. Tõenäoselt on tegelik olukord nende kahe juhuse vaheline, s. o. Veenuse pöörlemisaeg ei ole küll lühike, kuid ikkagi lühem kui ta tiirlemisaeg, nii et üksikud planeedi osad on kord Päikese poole ja kord varjus. Vastasel korral kuhjuks kõik vesi varjuküljele, kus moodustuksid suured jäämäed, ja päikesepoolne külg muutuks kõrveks. Et aga Veenus on vaatlusandmete järgi kaetud ühtlaselt pilvedega, ei saa tehtud oletus paika pidada. Igal juhul on Veenus kliimatiliste tingimuste poolest võrreldes teiste planeetidega kõige enam sarnlev Maaga.

4. Maakerä kuu.

Veenusele järgnev planeet Päikese süsteemis on Maa oma kaasläse Kuuga. Olles Maakerast 384 400 km eemal, on Kuu meile kõige lähemaks taevakehaks, mille pind on kõige detailsemalt läbi uuritud. Suurtes pikksilmades võib heade vaatlustingimuste korral näha Kuu pinnal punktikujulisena esemeid, mille läbimõõt on kõigest 30 meetrit. Tallinna-suurune linn oleks iga tahes selgesti märgatav väikese laiguna.

Olles heledaimaks objektiks taevas Päikese järel ja valgustades öid nõrga, salapärase valgusega, on Kuu enam kui ükski muu taevakeha köitnud inimese fantaasiat, eriti veel oma faaside reeglipärase esinemisega. Kuu kultus on kõrgele arenenud mail, mis asetsedes troopikavöös on alati Päikese kõrvetava kuumuse käes. Seal nähakse Kuud maheda öö kuninganna, kes annab vastandina hävitavale ning närtsitava Päikesele karastavat jahedust. Seejuures on huvitav märkida, et Kuu austamine on vanem ja et alles hiljem, kui jõuti teadmisele, et Päike on kõige elu alus, hakati jumaldama viimast. Kuid ikkagi jäi Kuule ta aukoht tasakaalu ja tarkuse sümbolina. Ajaarvamine oma algelisel kujul rajati Kuu faaside vaatlustele. Alles hiljem kohandati kalender Päikesega ja Kuu jäi usuliste pühade aja määramise aluseks.

Kuu on 3480-kilomeetrilise läbimõõduga kera, mis umbes Maa 60-kordse raadiuse kaugusel teeb 27 päeva 4 tunni ja 11,5 sekundi kestel täistiiru ümber Maa, pöörates alati ainult üht külge viimase poole, mistõttu pöörlemis- ja tiirlemisaeg on võrdsed. Liikudes ümber Maa tasapinnas, mis ligikaudu ühtib planeetide orbii- tide tasapinnaga, näitab Kuu kõigile tuntud faase. Kui Kuu on lähedal Päikest ja Maad ühendavale joonele (noorkuu ajal), näeme ainult kitsast valgustatud osa

Kuust, sirbikest. Suurem osa kettast on tume. Tähelepanelikul vaatlemisel on, eriti kevadel õhtuti, nähtav ka Kuu Päikesest valgustamatu osa nõrgas valguses. See nn. tuhkvalgus on tingitud Maa valgusest, mis peegeldub Maalt Kuule. Kui Kuu oma liikumisel jõuab seisu, kus nurk Kuu-Maa-Päike on 90° ; näeme, et pool tast on valgustatud, teine pool aga pime. See on nn. esimene veerand. Edasiliikumisel kasvab vaatlejale nähtav valgustatud osa, kuni ta paisatab üleni heleda kettana, nn. täiskuuna. Edaspidisel liikumisel korduvad faasid ümberpööratud järjestuses. Mõni päev enne noorkuud, nn. viimase veerandi ja noorkuu vahel, on näha jällegi kitsas sirbike — vana-kuu. Ka nüüd on nähtav tuhkvalgus, eriti hästi sügiseti peale keskööd.

Me näeme varustamata silmaga Kuu pinda paremini kui suurtes teleskoopides ka kõige lähemaid planeete. Maakera kaaslasel on nähtavad tumedad laigud, „mered“, mida piiravad heledamad osad, „kontinendid“. Varem ajal, enne teleskoobi leiutamist, arvati tumedaid lagendikke olevat veega täidetud, mispärast on ajalooliselt jäänudki püsima need nimetused, olgugi et suure tõenäosusega võib väita vee täielikku puudumist Kuu pinnal. Varustamata silmaga nähtavad tumedad kohad on suured lagendikud, mida piiravad teravatipulised kurdmäed. Kogu Kuu pind — lagendikud-„mered“ kui ka „kontinendid“ — on kaetud iseloomustavate rõngasmägedega, nn. kraatritega. Tihti võib kraatri keskel näha väikest järsku mäekest, mis terava tipuna tõuseb tasasest rõngasmäe põhjast. Kraatrite läbimõõdud ulatuvad paarisajast kilomeetrist kuni pikksilmas vaevalt märgatava suuruseni. Tihti on suurema kraatri keskel rida vähemaid ja kohati on üksikud rõngasmäed kuhjunud üksteise külge nii tihedasti, et nende esialgne rõngataoline

kuju on läinud kaduma. Ümber merede, s. o. suurte enam-vähem tasaste, kuid kohati terrassikujuliste lagendike on kuhjunud Maakeral leiduvaid kaljusid meenutavaid mäeahelikke, mille kõrgus (seda võib määrata nende poolt heidetud varju pikkuse järgi) ulatub viie ja rohkem kilomeetrini. Kuu pinda lõhestavad kohati sügavad praod, mis, läbides suuri alasid, on tihti laiemad kümnest kilomeetrist. Iseloomustavad on ka eriti täiskuu ajal nähtavad mõnest kraatrist kiirtekujuliselt väljuvad paelad.

Kuu, olles kosmogoonilises minevikus vedelas olekus, pidi oma väiksema massi tõttu jahtuma märksa kiiremini kui Maa. Jahtumisprotsessiga tekivad õhuke kooruke tõmbus kortsu, sünnitades lagendikke piiravaid mägesid. Sellega kaasnevad maavärisemised ja intensiivne vulkaaniline tegevus rebisid mitmes kohas praod Kuu õhukesse pinda, millest välja voolav vedel magma ujutas üle lagendikud, moodustades jahtumisel terrassilisi „meresid“. Kuu rõngasmägesid võib pidada selle intensiivse vulkaanilise tegevuse ajal sündinud kraatreiks; kuid näib olevat tõenäone ka see hüpotees, mille järgi viimased on Kuu vedelasse pinda kukkunud meteoride jäljed. Kui visata vedelasse savisse kivi, siis tekib Kuu kraatriga täiesti analoogiline rõngasmäeke, isegi keskel väikese kõrgendikuga.

Kirjeldatud Kuu jahtumisprotsessi vältel pidi teda ümbritsema ka atmosfäär, sest vulkaanilise tegevuse kestel alati eraldub palju gaase. Arvestades, et Kuu mass on peaaegu 80 korda väiksem Maa omast, on seal kehad palju kergemad. Oma väikese külgetõmbejõu tõttu ei suutnud ta hoida kinni gaase enese ümber, lastes neid hajuda maailmaruumi. Et Kuul puudub õhk ja vesi, ei toimu seal kaljude murenemine, mis neid näiteks Maakeral tasandab ja orge täidab, vaid

kõik Kuu pinnavormid on säilitanud oma esialgse kuju.

Atmosfääri puudumine Kuul selgub tõsiasjast, et tal puudub nii koidu- kui ka hämarikunähtus. Mägede varjud, niisamuti öö ja päeva piirjoon on Kuul teravad nagu tušiga joonistatud. Tihti juhtub, et Kuu oma teekonnal katab mõnd tähte. Enne kattumismomenti paisatab täht Kuu ääre lähedal ja vaatleja silma tulevad kiired puudutavad peaaegu Kuu pinda. Kui Kuul oleks atmosfäär, peaks see murdma tähelt tulevaid kiiri ja niisamuti osa valgusest neelama, mistõttu täht oma heleduses nõrgeneks. Tegelikult aga kaob täht järsku Kuu serva taha ja ilmub sealt niisamuti korraga, ilma vähemagi neeldumis- või murdumisnähtuseta.

Kuule asetatud vaatleja võiks seal esinevat fantastilist loodust kirjeldada umbes järgnevalt:

Kaljud ja mäed on säilitanud oma esialgse terava kuju. Taimestiku puudumine annab maastikule karmi, mahajäetud välimuse. Kõik mineraalid esinevad puhtas, määrdumata värvuses; ei liiv, savi ega muld ole rikkunud nende välimust. Laiad, sügavad praod, mille põhjas valitseb pilkane pimedus, läbivad maastikku. Atmosfääri täieliku puudumise tõttu on kauged mäetipud niisama hästi nähtavad kui lähedasedki. Samal põhjusel on päeval taevast pime ja tähed on nähtavad üsna Päikese läheduses. Et puudub kaitsev atmosfäär, valitseb Kuul päeva ajal, mille kestus on 354 tundi, tappev kuumus. Päikese loojudes ei järgne eha, pimedus tuleb järsku. Niisama kiiresti toimub ka pinna jahtumine, nii et Kuu pika öö kestel temperatuur langeb peaaegu absoluutse nullini (s. o. $-273,2^{\circ}$ C). Päikese näiv läbimõõt Kuult vaadatuna on niisama suur kui Maaltki. Tähtkujud ja planeedid säilitavad varustamata silmaga vaadates oma endise asendi. Maa näiv läbimõõt Kuult vaadatuna on aga 13 korda suurem Kuu näivast läbimõödust Maakeralt nähtuna. Kuna tähed ja Päike aeglaselt üle taevavõlvi liiguvad, ei võta Maa näivast ööpäevases liikumisest osa, püsi-des peaaegu liikumatult ühel ning samal kohal horisondi suhtes. Vaatleja, kes asuks Kuul ketta keskkohal, näeks Maad alaliselt seniidis (s. o. pea kohal) ja ilma astronoomiliste abinõudeta poleks tal võimalik määrata väikesi edasi-tagasi toimuvaid nn. libratsioonliikumisi. Kuult vaadatuna

näitab Maakera niisamasuguseid faase kui Kuu Maa pealt nähtuna, ainult vastupidiselt järjestatult. Maa valgustatud osa näib olevat piiratud kitsa valgustaraga, mis on tingitud Maa atmosfäärist. Samal põhjusel ei ole valgustatud ja valgustamata osa eraldusjoon terav; mõlemaid lahutab võrdlemisi lai hämarikuvöö. Selgesti on nähtavad kontinendid ja ookeanid ja poolusi piiravad jääväljad. Mandrite mäeahelikud eralduvad selgesti rohtlate legendikest ja kohati on näha pilvi, mis loorina varjavad Maad. Ookeanide pinnalt peegeldub Päike heleda punktina ja [arvatavasti] ööpoolisel küljel võib näha ka vaevalt helendavaid punktikesi, suurlinnade tulesid. Pikksilma abiks võttes on näha juba rohkem üksikasju. Võib selgesti jälgida jõgesid, suuremaid järvi, suurlinna. Soodsail tingimustel oleksid märgatavad ka suuremad ookeaniaurikud.

Nagu eespool tähendasime, pöörab Kuu alati ühe ning sama külje Maa poole, nii et ta teine külg jääb meile nägematuks. Võib arvata, et seal valitsevad niisamasugused kliimatilised tingimused nagu kirjeldatud nähtaval küljel. Aga ei puudu ka hüpoteese, olgugi ebatõenäoseid, kuid huvitavaid, mis väidavad, et Kuu vastaspoolel olevat õhku ja vett, mis sinna on paisatud tsentrifugaaltungi tõttu. Niisugusel korral oleks seal võimalik ka elu ja isegi intelligentsete olevuste olemasolu.

Olgugi et see hüpotees on äärmiselt ebatõenäone, katsume siiski kirjeldada seda fantastilist maailma, milles elaksid sealsed astronoomid. Me saame nii piltlikult esitada neid raskusi, mis esinevad peaaegu igal sammul maailmaruumi ehituse uurimisel, raskusi, mis on tingitud just vaatleja asukohast ja selle eriliikumistest tekkivaist üldiste looduseaduste moonutamisest. Ja et tavaliselt peetakse vaatleja asukohta eesõigustatult paigalseisvaks, siis on saavutatud pilt maailmaruumi ehitusest kunstlikult keeruline ja seal tekkivate lünkade täitmine antakse ohjeldamatu fantaasia hoolde. Alles pikkamööda suudetakse vabaneda oma vaatluskoha eesõigustusest, analüüsida nähtusi ja seletada neid üldisemalt. Mida lihtsamad on vaatleja asukoha liikumised üldisemas süsteemis, seda vähem keerulised on seal sündivad nähtused ja seda kiiremini jõutakse üldisemate looduseaduste tunnetamisele. Maakeral asuv vaatleja võtab osa ainult tiirlemisest ümber Päikese, kuna Kuul asuv astronoom peab tegema lisaks sellele veel ringteekonna ümber Maa.

Kuu Maa poolt ära pööratud küljel asetseval vaatelejal puuduks võimalus otseselt tõestada tõika, et pind, millel ta asub, on ümmargune: ta ei saa kunagi teha reisi ümber oma „maailma“, sest Kuu maapoolsel küljel puudub igasuguse elu eeldus — õhk ja vesi. Kuu elanikud kujutleksid maailma oasina piiritus kõrves. Nad võiksid ehk astronoomilis-geodeetiliste mõõtmiste abil jõuda selgusele, et nende elukoht asub kumeral, kilbitaolisel mäel, kuid oletada seda osaks kerast nad vaevalt julgeksid. Taevas näib neile pöörlevat ümber vaateleja ja planeetide teede seletamiseks peaksid nad appi võtma veel keerulisema süsteemi, kui seda oli Ptolemaiose oma, sest Kuu teekonna iseärasused peegelduvad kõik planeetide liikumises. Isegi Päikese aastane teekond, mis Maalt vaadatuna on suurring, mida mööda Päike liigub enam-vähem ühtlaselt läänest itta, oleks Kuu vaatelejale võrratult keerulisem. Et Kuu aasta võrdub ühtlasi ta päevaga, teiselt poolt aga Kuu ühes Maaga liigub ümber Päikese tasapinnas, mis ei ühti täpselt Kuu pöörlemistasapinnaga, moodustades viimasega 5°-list nurka, siis on Päikese teekond igal Kuu aastal erinev. Kui veel arvestada Maa ja Kuu liikumise ebaühtlust, tingituna nende kehade elliptilisest liikumisest, siis võib kujutella, kui raske on hüpoteetilistel Kuu astronoomidel orienteeruda ses segaduses. Kui aga ikkagi keegi tuleks väitega, et Kuu on ümmargune ja liigub ümber tsentraalkeha, mis omakorda liigub ümber Päikese, siis leiaks see algul palju vähem uskujaid kui Kopernikuse õpetus Maakeral ja seda sel lihtsal põhjusel, et Kuu elanikud kunagi ei saa näha Maad. Nad võiksid Kuu tiirlemist lugeda niisamuti ta pöörlemiseks ümber telje. Alles väga täpsed, muuseas ka gravimeetriselised ¹⁾ mõõtmised reedaksid neile Maakera olemasolu ja seda väga pikkade ning keerukate arvutuste järel. Peab eeldama väga suurt intelligentsust ja teravmeelsust, et Kuu teadlased jõuaksid samale maailmaruumi-kujutlusele nagu meie, ja ikkagi paistaks see neile olevat kuidagi ebaloomulik. Nad on palju raskemas seisundis kui Maa õpetlased ja vaevalt jõuaksid viimastele järele.

5. Marss.

Maakerale järgneb Päikese ümber tiirlevate planeetide süsteemis palju kõneainet andnud Marss oma kahe kuuga. Punaka, veidi sünge valgusega, mis paremail juhtudel ületab heledaimate kinnistähtede näivat

1) G r a v i m e e t r i a — raskustungi mõõtmine.

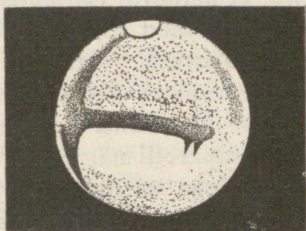
heledust, sümboliseeris Marss antiikrahvail sõja- ning õnnetusjumalat. 1877. a. avastatud Marsi kuud *Phobos* ja *Deimos* — Hirm ja Ahastus — on ristitud Homeros'e lugulauludes sõjajumala *Ares*'e (roomlaste *Mars*) vankrit vedavate hobuste, ta alatiste kaaslaste järgi.

Olles Päikesest ümmarguselt 230 miljonit kilomeetrit või 1,5 astronoomilist ühikut eemal, kulgeb Marss oma tee ümber Päikese 687 päevaga, see on vähema aja kui kahe aasta jooksul. Ta läbimõõt on 6800 km, seega umbes pool Maa läbimõödust, ja mass $\frac{1}{9}$ Maa massist. Mõlemad Marsi kuud on nõrgad, ainult suurtes pikksilmades nähtavad tähekesed, mille läbimõõt on umbes 10—40 kilomeetri piirides. Planeedile lähem kuu Phobos teeb tiiru ümber Marsi 7 tunni 39 minuti kestel, seega ligemale kolm korda kiiremini Marsi pöörlemisest oma telje ümber ($24\frac{1}{2}$ tundi). Et kõik planeedid, niisamuti ka nende kuud liiguvad ümber keskkeha läänest itta, siis tekib Marsil omapärane nähtus. Phobose kiire tiirlemise tõttu tõuseb see taeva-keha Marsilt vaadatuna läänes ja loojub itta. See on ainuke endasarnane juhtum planeetidesüsteemi liikmete peres.

Juhtides pikksilma Marsile näeb juba kogematu vaatelejagi, vastandina Veenusele, kus tihe pilvekiht takistab nägemast planeedi pinda, üksikasju nagu valget polaarmütsikest ja punakal põhjal asetsevat tumerohest laiku, nn. *Syrtis Major*'it. Marsi pinnakujundite liikumise järgi on määratud täpselt ta pöörlemis-aeg 24 tundi 37 minutit 22,6 sekundit. Et Marsi telg, analoogiliselt Maa teljega, on oma ekliptika¹⁾ suhtes kallutatud, valitsevad ta pinnal aastaajad, aga nad on peaaegu kaks korda nii pikad kui Maakeral. Ka on Marsi

1) E k l i p t i k a — suurring taevaskeral, mida mööda toimub Päikese näiv liikumine; teiste sõnadega — tasapind, kus liigub Maa, teatud planeedilt vaadates aga planeet.

talv palju külmem ja suvi niisamuti jahedam kui Maakeral, sest asudes Päikesest 1,7 korda kaugemal kui viimane saab ta pinnäühik ainult $\frac{1}{3}$ sellest energiast, mis langeb Maa vastavale pinnäühikule. Aastaaegade vaheldust võib vaadelda polaarmütsikese, s. o. arvata-vate jää- ja lumelagendike muutumises. Kui vastaval Marsi poolkeral valitseb talv, on polaarmütsike selgesti nähtav. Kevade tulekuga väheneb jääpiirkond, muutudes suvel peaaegu nägematuks, ja kasvab endise suuruseni järgneval talvel.



Mars nähtuna Tartu tähetorni reflektoris 1924. aastal. Planeedi ketta ülemises osas näha polaarmütsike.

Kogenud vaatleja võib Marsi pinnal näha muidki üksikasju. 1877. ja 1894. aastal, millal Marss oli tulnud oma teekonnal Maale õige lähedale, uuris Schiaparelli planeeti ta kaardi koostamiseks. Ta andis üksikuile moodustistele nimed ja lõi vastavad tehnilised oskusõnad Marsi pinnakujundeile. Nii nimetas ta tumerohelisi alasid planeedi pinnal meredeks ja punakaspruune laike kontinentideks. Muidugi ei tarvitse mõelda, et need laigud on seepärast tõelised veekogud: nad võivad olla ka taimkatte-piirkonnad, kuna kontinentideks nimetatud kohad võiksid olla kõrved. Edasi leidis Schiaparelli Marsi pinna kaardistamisel, et planeedi ookerkollaseid mandrilisi alasid läbivad teravad kitsad, enamasti sirged viirud, ja nimetas neid kana-

leiks. Selgus ka, et juba varemad vaatlejad olid neist mõningat tajunud. Marsi järgneva opositsiooni puhul, s. o. ajal, millal ta on kõige lähemal Maale, nägi Schiaparelli oma imestuseks, et mõned kanalid olid kahe-
nenud, muutudes ühest tervikust teineteisega rööbiti jooksvaiks tumedate viirude paariks. Veel iseäralikum oli aga avastus, et need kanalid tihti kadusid, teisel jälle ilmusid, kusjuures nende ilmumine ja kadumine näitas paralleelsust aastaajaga.

Schiaparelli vaatlusi jätkas hiljem Pickering, kes tegi tähelepaneku, et kanalite ristlemis- ja hargnemiskohtades esinevad väikesed tumedad täpid, mida oli näinud ka juba Schiaparelli. Neid täppe, sõlmpunkte Marsi kanalivõrgus, nimetas Pickering lihtsuse pärast järvedeks, et püsida kooskõlas Schiaparelli terminoloogiaga. Kuna Schiaparelli nägi „meredes“ kui mitte just maiste ookeanidega sarnlevaid veekogusid, siis vähemasti suuri soid, kus veekihi erisugune sügavus eri aastaajul toob esile värvusvarjundite muutuse, loobus Pickering ja teine suur Marsi-uuriija P. Lowell merede-teooriast. Põhjust seks andsid vaatlused, mille järgi mõned kanalid esinevad ka tumedal foonil, olles seega kanaleiks meredes. Seepärast tekkis kahtlus, kas Marsi kanalid ja ookeanid üldse sisaldavad vett. Lowelli järgi pole tumedad laigud Marsi pinnal mitte veekogud, vaid alad, mis on kaetud taimestikuga; niisamuti pole heledad kohad mitte ainult maismaad, vaid taimestikuvaesed kõrved. Meredega sarnlevad laiad veekogud puuduvad Marsil täiesti. Ta pinda katavad taimestiku piirkonnas üksikud järved, mis, täitudes kevadel polaarpiirkonnas sulavast lumest, kuivavad ära sügisel. Järvedest toidavad end kanalid ja nende sõlmpunktid. Kuid kanalid oma nähtavuses pole vesi, vaid taimedega kaetud maa-alad tõelise veejuhtme kallastel, niisamuti on ka „järved“ kui kanalite lõike-

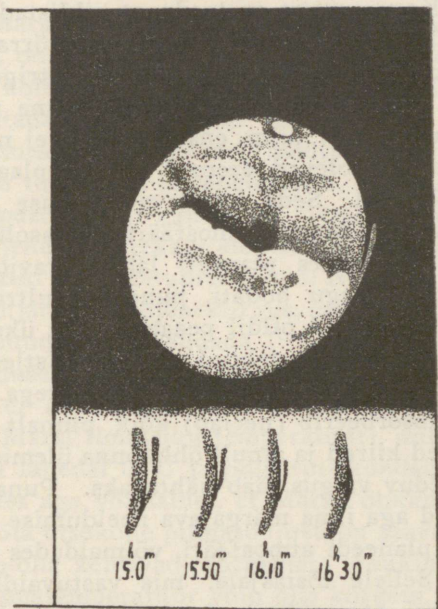
kohtade laiendid oasid Marsi mandri kõrves. Et kanalivõrk oma geomeetriliselt täpse korrapärasusega ei või tekkinud olla juhuslikult, oletas Lowell intelligentsete olevuste olemasolu Marsil, kes kasutades polaarpiirkonnas sulava lume vett juhivad selle üle planeedi pinna, et niisutada Marsi kõrvetaolist kuiva kliimat ja arendada eluks tarvilikku taimestikku. Suuremad kultuurpiirkonnad paistavad meile meredena, vähemad järvedena.

Schiaparelli ja ta järglaste teooria, mis tekitas sensatsioon, vaibumata täiesti isegi veel praegu, kutsumus välja terava kriitika. Nähtavasti on arvustajail õigus, et selle teooria pooldajad on näinud Marsil rohkem, kui seal tegelikult näha on. Iseäralik on veel see, et kanalite nähtavus on parem väikeste pikksilmadega. Tabavalt ütles kuulus vaatleja Barnard Yerksi tähetorni pikksilma olevat liiga suure ja valgustugeva Marsi kanalite nägemiseks. Barnard arvas olevat küllalt veenvaid põhjusi selleks, et lugeda Marsi kanaleid vaatleja silmapetteks, mis tekib inimese silma omadusest näha nähtavuse piiril olevaid korrapäratuid laiike korrapärase geomeetriliste kujunditena. Huvitavad on vastavad katsed, mida tegi Maunder kooliõpilastega, lastes neid ära joonistada Marsi kaarte, millel kanalid olid asendatud kõverjoonte ja korrapäratute punktide ja laigukeste kogumiga. Lapsed, kes katse otstarbest, niisamuti ka Marsi uurimistest midagi ei teadnud, muidu aga häiks vaatlejaiks osutusid, joonistasid kaardid õieti järele, niipea kui need olid küllalt lähedal vähimagi üksikasja tajumiseks. Need lapsed aga, kellest Marsi kaardid olid paigutatud nii kaugele, et üksikasjad hakkasid kaduma või olid nähtavad üksnes suure pingutusega, joonistasid seal esinevad kõverjooned ja laigud sirgete teravate joontena. Niisamasuguseid katseid tegi ka Kühl, kes Marsi kanalite sele-

tamiseks paigutas hallile papile üksikuid meresid meenutavaid laike, mille vahele oli korrapäratult külvatud musti punkte. Teatud kaugusest vaadatuna tuletas niisugune pilt meelde Marssi, millel meresid ühendasid sirged korrapärased kanalid. Tehtud katsete ja kaalutluste alusel kaldub suurem osa moodsaid teadlasi arvamusele, et kogu planeedi pind on kaetud nähtavuse piiril olevate peente üksikasjadega, mida aga psühholoogilistel põhjustel nähakse kanalite, merede ja kontinentidena. Sama laikusid ühendav omadus, kuigi mitte nii suurel määral, arvatakse olevat ka fotoplaadil, olgugi et viimane peaks olema inimese silmast palju objektiivsem.

Kuna uurijate arvamused teatud määral erinevad kontinentide, merede ja kanalite seletamises, ollakse ühes arvamuses vee ja õhkkonna olemasolust Marsil, olgugi palju vähesemal määral kui Maakeral. Seda oletust kinnitab rida tõiku, mis on saavutatud Marsi vaatlemisega aastate kestel. Nii vaatlesid 1922. a. vennad Slipher'id planeedil valget laiku, mis muutes veidi oma asukohta, mõne päeva pärast lagunes ja hiljem kadus. Niisamuti on mainimisväärt Schiaparelli sellisarnased Marsi pilvituse vaatlused. Nii märkas ta ajal, millal Marsi põhja-poolkeral valitses talv, polaarmütsikesest hargnevaid peeni niite, mis kaldudes vähe läände ulatusid kaugele lõunasse. Arvatavasti olid need tuulest kantud pilveribad, mis Marsi rotatsioonist tekkivate, maiste passaatidega sarnlevate tuulte tõttu kalduvad oma esialgsest põhja-lõuna sihist läände. Polaarmütsike, millest hargnevad pilveribad, pole tõenäoselt muud midagi kui alaline pilvitus nabade ümber. See oletus näib olevat loomulikum, sest et polaarmütsikesed suvel peaaegu täiesti kaovad. Maakeral näiteks ei sula polaarjo jää kunagi niipalju, et maailmaruumis asetsev vaateleja märkaks selle vähe-

nemist või koguni kadumist; ja pole tõenäone, et Marsil, mis asub 1,7 korda kaugemal Päikesest, jää sulamine oleks intensiivsem. Kõige enam võiks polaar-



Mars 27. okt. 1924 van Biesbroeck'i järgi. Tähelepanuväärne on paremal serval kujutatud isemoodi „saba“. Allpool on esitatud detailsemalt selle „saba“ muutumine ajaga. Arvatavasti oli „saba“-nähtus põhjustatud kõrgeist pilvist, mis hommikul Päikesest valgustatuna paistsid silma, kuna Marsi enese pind oli veel varjus.

mütsike olla vahest süsihappegaasi-härmatise kord, mis katab pinda valgena. Vee ja õhu olemasolu Marsil tõendavad ka spektroskoopilised uurimised hiigelpikksilmadega Ameerikas. Kuid nende määr ei ulatu üle 10% Maa atmosfääri tihedusest ega veesisaldusest.

1924. aastal, millal Marss oma teekonnal tuli Maakerale lähemale kui tavaliste opositsioonide puhul, olles viimasest eemal 54 miljonit kilomeetrit, leidis atmosfääri olemasolu sellel huvitaval planeedil uusi kinnitusi. Kogemustest on teada, et pildistades udust maastikku läbi punase filtri tuleb pilt võrratult selgem kui ilma filtrita või isegi sinise filtriga. Pildi teravus on punases valguses fotograafituna nii suur, et udu korral, millal silm enam midagi ei näe, kilomeetreid kaugel olevad esemed on fotoplaadil veel selgesti nähtavad. Seda huvitavat valguse omadust rakendas Wright Marsi atmosfääri olemasolu tõestamiseks, fotograafides planeeti läbi ultravioletse ja punase filtri. Nagu oodati, puudusid ultravioletse filtriga fotograafitud pildil peaaegu kõik üksikasjad, kuna punase filtriga tehtud fotod võistlesid oma detailirohkusega isegi parimate joonistega. Marsi atmosfäär absorbeerib (neelab) kõik pinnalt tulevad ultravioletsed kiired ja ainult õhkkonna ülemistes kihtides peegelduv valgus jääb nähtavaks. Punased kiired tungivad aga ilma märgatava neeldumise ja hajumiseta läbi planeedi atmosfääri, võimaldades näha ka ta pinda. Sellele tõsiasjale, mis vastuvaidlematult tõestab Marsi atmosfääri olemasolu, lisandub veel avastus, et planeedi ketas fotograafituna punaseis kiirtes on läbimõõdult väiksem kui samaaegselt sinise filtriga tehtud piltidel, millest tuletub otsekohe Marsi atmosfääri ulatus. Vastavate mõõtmiste järgi on viimane 190 km kõrge. Et raskustung Marsil on $\frac{3}{8}$ vastavast suurusest Maakeral, siis sama atmosfäär Maakera ümber ulatuks 70 kilomeetri kõrgusele, mis on ligikaudu ka Maakera tõelise atmosfääri ulatus. Mõlemad polaarmütsikesed olid violetseis kiirtes tehtud ülesvõtteil palju laiema ulatusega ja selgemad kui punase filtriga piltidel, millest järeldub nende Marsi

maismaa pinnaga võrreldes suur relatiivne kõrgus. Nad on arvatavasti, nagu juba eespool tähendasime, peentest jääkristallidest koosnevad atmosfääri moodustised.

Et Marss asub 1,7 korda Päikesest kaugemal kui Maakeral, on soojushulk, mis ta iga pinnauhik saab, peaaegu kolm korda väiksem. On püütud teoreetiliselt arvutada seal valitsevat temperatuuri, kuid alles hiljuti õnnestus seda otseselt mõõta. Õnnestus valmistada väga tundlikku termoelementi, s. o. kokkujoode tud jõhvpeent traati kahest eri metallist, milles joote koha soojenemisel tekkiv elektrivool võimaldab mõõta väga väikesi temperatuurivahesid. Nii näiteks on mõõ detav Põhjvanaela soojusekiirus, mis ühe miljoni aasta jooksul suudaks soojendada 1° C võrra üht grammi vett, eeldusel, et soojust kiirguse ega juhtimuse läbi kaduma ei lähe. Nii tundliku aparaadiga töötades mõõdeti Marsi ilmastiku temperatuuri, milleks osutus ekvaatori lähedal 0° C ja polaarpiirkondades —70° C. Arvestades aga võimalust, et Marsi õhkkond ei lase meid mõõta otsekohe pinnasoojust, on saavutatud and med võib-olla kehtivad kõrgemate õhukihtiide kohta. Marsi pinnatemperatuur võib olla kõrgem, kuid mitte väga palju, ulatudes ekvaatori juures kuni +5° C. Kui võrrelda kirjeldatud Marsi kliimaatilisi tingimusi Maa kliimaga, võiksime leida siit sarnasust kõige enam külma ning kuiva Gobi kõrvega, selle vahega, et Marsil on õhku ja vett kuni viis korda vähem kui ses kõige õudsemas maises kõrves. Elusolevuste olemasolu selle kõrve oasides, arvestades elu suurt kohanemisvõimet, on ju mõeldav, kuid võrreldes seda maise eluga peab see olema väga vilets ja kidur. Minevikus, millal Päike andis rohkem soojust ja kui õhk ja vesi polnud suut nud veel hõreneda Marsil, võis seal olla lopsakas elu. Võiksime nimetada Marssi elu kandmise seisukohast

vanaks, väljasurevaks, Maakera keskeas ja Veenust nooruse esimestes aastates olevaks planeediks.

6. Asteroidid.

Väljaspool Marsi ja seespool järgmise planeedi Jupiteri teed tiirleb rida vähemaid kehakesi, asteroide, millest suurim, Ceres, leiti 1801. a. ja Pallas üks aasta hiljem. Kuni tänaseni on tuntud asteroidide arv kasvanud üle 1100, kuid kindlasti on neid rohkem, sest et iga aasta leitakse mitu planeediket, millest aga suurem osa läheb jälle kaduma. Kui väikesed on asteroidid võrreldes teiste planeetidega, selgub sellestki, et peaaegu ühelgi neist pole võimalik näha läbimõõtu. Isegi suurimais pikksilmades paistavad nad punktina ja nende rändtähe-iseloom selgub alles liikumisest kinnistähtede suhtes. Ainult neli suuremat, Ceres, Pallas, Vesta ja Juno, on otseselt mõõdetavate dimensioonidega. Vähemate asteroidide läbimõõdud on vahest paarikümne kilomeetri piirides ja on kahtlane, kas neil üldse on kera kuju. On võimalik, et asteroidid on korrapäratud kivitükid, — oletus, mida fotomeetriselised vaatlused näivad tõendavat. Et Marsi ja Jupiteri tee vahel on lünk, kus planeetide teede teatud korrapärasust oletades peaks tiirlema planeet, kuid mida asendab asteroidide parv, siis ei ole ebatõenäone hüpotees, mille järgi asteroidid on enne seal tiirelnud ning teadmatuil põhjustel purunenud planeedi tükid.

7. Jupiter.

Ühtlase, majesteetlikult rahuliku valgusega Jupiter, mis teeb 12 aastaga tiiru ümber Päikese, liikudes aeglaselt, ruttamata tähtede keskel, oli antiikrahvaile kuninglikkuse ja väarikuse sümboliks. Kreeklased ja roomlased nimetasid teda oma peajumala nimega ja

paljudel loodusrahvail oli Jupiter Päikese, Kuu ja Veenuse kõrval tähtsaimaks jumaluseks.

Jupiteri kaugus Päikesest on 5,2 astronoomilist ühikut, ta mass 317 Maa massi, tihedus aga ainult $\frac{1}{4}$ Maa tihedusest või ligikaudu võrdne, nagu Päikeselgi, vee tihedusega. Kiire pöörlemisaja tõttu, tehes täispöörde 9 tunni 55 minuti kestel, on Jupiter tsentrifugaaltungist mõjutatuna muutunud lapikuks, polaarse (s. o. nabast nabani) läbimõõduga 132 000 kilomeetrit ja ekvatoriaalse läbimõõduga 143 000 kilomeetrit.

Juba väikeses pikksilmas pakub Jupiteri vaatlemine suurepäraselt pilti. Võrdlemisi suure ketta ümber,



Jupiter Tartu tähetorni 20-sentimeetrilises refraktoris 1929. a. Pildil näha Jupiterile iseloomustavad planeedi ekvaatoriga paralleelsed triibud ja laigud.

millel on näha pruunikaid ja rohekaid paralleelseid triipe ja laiuke, tiirleb neli heledamat kuud. Need kuud olid esimesed objektid, mida Galilei nägi 1610. a. parajasti leiutatud pikksilmaga. Olles just terava silma nägemispiiril, pole nad tajutavad ainult lähedas naabruses asetseva heleda Jupiteri tõttu. Peale nelja heleda

on Jupiteril veel viis nõrgemat kaaslast, mis on nähtavad ainult suurtes pikksilmades.

Iseloomustavaks on Jupiterile ta pinnal nähtavad tumepruunid ekvaatoriga paralleelsed triibud, mis muutuvad tihti üksikute laikude jadaks, vaheldudes võrdlemisi kiiresti oma kujus. Tumedate triipude vahel on heledamad kollakad, kohati isegi roheliste kalduvad vööd, mida nende kuju tõttu võiks pidada Jupiteri tihedal atmosfääril ujuvaiks kõrgemaiks pilvedeks. Tumedate laikude kohal näeme sügavamale atmosfääri sisse, kus on madalad pilved ja planeedi pinna lähedane udu. Tihti on märgata kestvate punaste laikude tekkimist, millest tähelepanevaim on 1878. a. ilmunud väga pika kestusega moodustis, mille jälgi võib märgata veel praegugi. Arvatavasti oli see suur vulkaaniline plahvatus Jupiteril, mis, paisates üles määratuid gaasipilvi, püsib aktiivsena aastakümneid. Et Päike soojendab Jupiteri ligemale 27 korda vähem kui Maad, peaks selle planeedi teoreetiline temperatuur olema -150°C piirides. Selles temperatuuris vesi ja süsihape on muutunud kõvaks ja paljud gaasid vedeldunud. Võiks arvata, et Jupiteri pilved ei koosne veeaurust, vaid vedelaks muutunud lämmastiku ja hapniku udust, missugust protsessi soodustab ka suur õhurõhk, tingituna Jupiteri pinnal valitsevast suurest raskuskiirendusest. Seda oletust näivad kinnitavat ka termoelemendiga toimetatud mõõtmised, mis annavad Jupiteri pinnatemperatuuriks -150°C .

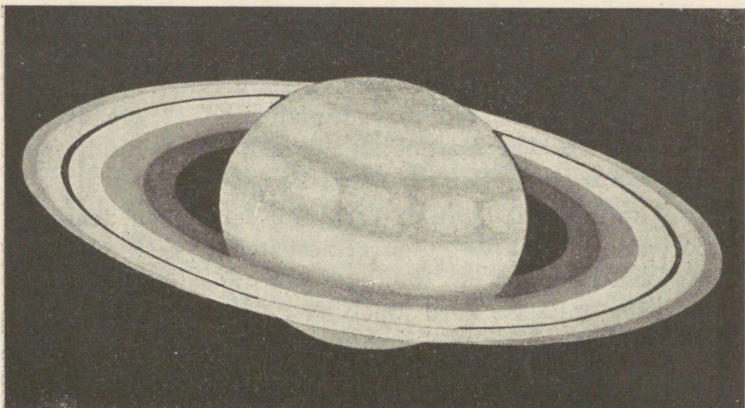
Teiselt poolt näib aga olevat tõenäone, et Jupiter on veel vedelas või isegi gaasilises olekus, sest et ta oma suure massi tõttu pole veel suutnud jahtuda. Ta polaarsed osad pöörlevad analoogiliselt Päikesega aeglasemalt kui ekvaatorilised ja ta tihedus on liiga väike selleks, et olla Maakeraga sarnlevalt jahtunud olekus. Termoelemendiga mõõtmistest tuletatud madal tempe-

ratuur seletub tiheda pilvelooriga, mille ülemised kihid on külmad, kuid mis ei lase mõõta Jupiteri pinnatemperatuuri, neelates sealt tulevaid soojuskiiri. Jupiteri atmosfääris toimuvad elavad muutused ei ole esile kutsutud Päikese kiirgusest, mis selleks on kindlasti liiga nõrk, vaid planeedi enese soojusest.

Jupiter oma arvuka kaaslaste-perega on teatud mõttes miniatuurne planeetidesüsteem keskkehaga, mis oma arengus on jõudnud jahtumisstaadiumi, — olukorda, millesse kord jõuab ka Päike. Jupiteri kolmas ja neljas kuu, millest kummagi läbimõõt on 5200 kilomeetri piirides, on suuremad kui planeet Merkuur. Et Päikese kiirgus ei suuda temperatuuri tõsta üle -150°C , siis võtab Jupiter Päikese osa enesele. Kuudele võrratult lähema asendi tõttu on mõeldav, et ta võrdlemisi sooja ahjana võiks hoida temperatuuri märksa kõrgemal mainitud piirist.

8. Saturn.

Planeetidesüsteemis Jupiterile järgnev planeet Saturn on eelmisest ainult veidi vähem. Ta kaugus Päikesest on 9,5 astronoomilist ühikut ja seetõttu saab ta peaaegu 100 korda vähem valgust kui Maa. Saturni tiirlemisaeg on $29\frac{1}{2}$ aastat ja rotatsiooniperiood 10 tundi 14 minutit. Kiire pöörlemise tõttu ta on muutunud Jupiteri-taoliselt lapikuks, polaarse läbimõõduga 109 000 kilomeetrit ja ekvaatorilise läbimõõduga 121 000 kilomeetrit. Saturni tihedus on 0,64 vee tihedust. Planeet ujuks järelikult vee pinnal, kui vastava suurusega ookean tõeliselt eksisteeriks. Kõik teised planeedid ja Päike vajuksid põhja. Oma pinnaehituselt sarnleb Saturn täielikult Jupiteriga, olles arvatavasti gaasilises olekus.



S a t u r n oma rõngassüsteemiga, mis on üksikute tumedate viirudega jaotatud mitmeks. Sisemine rõngas on nii hõre, et tast paistab läbi planeedi pind.

Saturnil on 10 kuud, neist suurim, Titaan, on läbimõeldult võrdne Merkuuriga. Huvitavaim ja omapäraseim Saturni kaaslaste peres on ta rõngassüsteem, mis tumedate vahedega lahutatult piirab planeeti mitmekordse võruna. Rõnga sisemine osa on nii hõre, et tast paistab läbi Saturni pind. Rõnga väline läbimõõt on 277 000 km, ta paksus aga ei ole suurem 20 kilomeetrist. Kõige õhemast siidpaberist 28-sentimeetrilise läbimõõduga rõngas annaks oma proportsioonidega kujutelma Saturni rõngast. Nagu spektroskoopilised ja fotomeetrilised vaatlused selgitavad, kujutab Saturni rõngas väikeste kivikeste parve, mis miniatuursete kuudena ümber planeedi tiireldes asuvad üksteisele nii lähedal, et valgus neist ei suuda läbi tungida. Ainult rõnga sisemises osas on kivikeste vahemaa suurem ja seepärast paistabki sealt Saturni pind läbi. Kogu see huvitav rõngassüsteem on arvatavasti tekkinud Saturnile lähima kaaslaste purunemi-

sest, nii nagu asteroidid tekkisid arvatavasti Marsi ja Jupiteri vahel oleva planeedi tükkidest. Saturni rõngas on aga palju tihedam Päikest ümbritsevate asteroidide rõngast.

9. Uran.

Saturni peeti aastasadu Päikese süsteemi kaugemaks planeediks, kuid 1781. a. tehtud sensatsiooniline avastus lükkas planeetidesüsteemi piirid palju kaugemale. 13. märtsil mainitud aastal uuris William Herschel, Inglismaal elav, kuid Hannoveris sündinud muusikamees, taevast endatehtud pikksilmaga. Herschel oli jõudnud arvamusse, et täielikuks arusaamiseks muusikateooriast on tarvilik süveneda algebrasse, geomeetriasse ja teistesse reaalteadustesse. Õpingud viisid Herscheli optika valdkonda ja ta tegeles üksikasjaliselt pikksilmade teooriaga. Seejärel kui Herschel ühe vähema riistaga oli vaadanud taeva laotust, tekkis tal soov muretseda endale suurem. Hindu järele pärides osutus aga uue pikksilma muretsemine ostu teel üle jõu käivaks, ja energiline noormees otsustas ehitada selle enesele ise. Nii sai tagasihoidlikust muusikust selle aja suurim ning silmapaistvaim optik ja täheteadlane, kelle tööd Linnutee struktuuri alal on põhjapaneva tähtsusega. Noorel muusikul oli kombeks pärast tunde või kontserte koju rutata ja ülejäänud osa ööst pühendada taeva vaatlemisele. Harilikult aitas teda seejuures õde Caroline, kes kõik hoolega paberile märkis, mida vend vaatles. Tähendatud 13. märtsi ööl, millal Herschel vaatlusteks kasutas 16-sentimeetrilist endavalmistatud reflektorit, sattus ta Kaksikute tähtkujus erilisele tähele, mis köitis vaatleja tähelepanu. Kuna kõik kinnistähed ka suurimais pikksilmades hoolimata igasugusest suurendusest

paistavad punktina, näis üks täht vaateväljas Herschelile kettakujulisena. Ta võttis tarvitusele suurema suurenduse, ja ketaski suurenes. Tekkis otsekohe kahtlus, kas pole tegemist mingi tundmatu planeediga. Korrates mõne päeva järel vaatlust võis Herschel kindlaks teha, et tähelepandud objekt oli kinnistähedete suhtes liikunud. Sellega oli avastatud uus planeet Uran.

Uran on 19,2 korda Päikesest kaugemal kui Maa ja ta teeb tiiru ümber tsentraalkeha 84 aastaga. Ta läbimõõt on 51 000 kilomeetrit, mass 15 Maa massi. Uranil on neli väikest kuud, mis on nähtavad ainult suurtes pikksilmades. Planeet ise sarnleb Jupiteri ja Saturniga, olles nagu needki gaasilises olekus.

10. Neptuun.

Paari kuu hoolsa vaatlemise järel saadi Uurani liikumise kohta koguda andmeid, mis võimaldasid välja arvutada ta tee ja ennustada ta asukohta tulevaiks momentideks. Kuid mõningate aastate möödumisel selgus, et planeet ei liigu täpselt ettearvutatud orbiiti mööda, kaldudes viimasest kõrvale rohkem, kui vaatlusvead seda oleksid lubanud. Uurani tee uuesti-arvutamine õiendatud andmeil ei parandanud olukorda; mõne aja pärast kasvasid hälbed jälle suureks. Et tekkinud kõrvalekaldeid kuidagi ei saadud panna vigade arvele, oletati, et mingi tundmatu planeet väljaspool Uurani teed oma külgetõmbejõuga häirib selle liikumist. Kaks noort astronoomi-matemaatikut, Adams Inglismaal ja Leverrier Prantsusmaal, ilma teineteise ettevõttest teadmata, asusid — hoolimata kolleegide skeptilisest suhtumisest asjasse — arvutama nägematut häirijat. Ülesanne oli raske, kuid mõlemad lahendasid selle, ja saksa astronoom Galle

leidis planeedi 23. septembril 1846. aastal ettearvutatud kohal. Vähem kui kaks aastat hiljem avastati ka uue planeedi Neptuuni kaaslane. Neptuun on 30,1 korda Päikesest kaugemal kui Maa, tehes täistiiru ümber Päikese 165 aastaga, nii et avastamismomendist saadik ta on teinud vaevalt poole oma ringteekon-nast. Ta läbimõõt on 54 000 kilomeetrit ja mass 17 Maa massi. Neptuuni pinnamoodustiste vaatlemine on ta suure kauguse tõttu raske. Arvatavasti valitsevad seal niisamasugused tingimused nagu teistelgi suurtel planeetidel — Jupiteril, Saturnil ja Uranil.

11. Pluto.

Me planeetidesüsteemi praegu teada viimase liikme Pluto avastamislugu sarnleb väga Neptuuni omaga. Neptuuni kõrvalekaldumistest ettearvutatud orbiidilt P. Lowell, nii nagu seda tegid Leverrier ja Adams, arvutas tundmatu planeedi asukoha. Kuid alles 15 aastat hiljem, pärast Lowelli surma, leiti planeet Pluto põhjaliku, kuid vaevalise otsimise järel täpselt sel kohal, kus ta arvutuste järgi pidi olema. Otsimist raskendas planeedi väga nõrk valgus. Ainult kõige suuremais pikksilmades on ta märgatav vaevu nähtava punktikesena. Pluto kaugus Päikesest on 40,0 astronoomilist ühikut. Ta mass võrdub ligikaudu Maa massiga; tiheduse ja läbimõõdu kohta ei saa midagi kindlat öelda, sest liiga suure kauguse tõttu mõõtmised on äärmiselt ebatäpsed. Võib oletada ainult, et ta läbimõõt on Maa läbimõõdu suurune. Et Pluto iga ruutühik saab 1600 korda vähem valgust kui Maakeral, siis valitseb ta peal kuni -230° C ulatuv temperatuur. Vesi ja süsihappegaas on muutunud ses temperatuuris ammugi kõvaks. Merede aset täidavad vedela hapniku ja lämmastiku ookeanid, kuna hõre atmosfäär võib

koosneda ainult vesinikust. Selles külmas, hämaras maailmas puuduvad peaaegu igasugused tuuled. Pöögelsiledalt seisavad lämmastiku-ookeanid oma kallaste vahel ja ükski elusolevus ega taim ei elusta maastikku.

12. Komeedid ja lendtähed.

Tihti täiesti ootamata ilmub taevavõlvile algul ainult teleskoobis märgatav, hiljem aga ka varustamata silmaga nähtav udutaoline laik, mis kiiresti kasvades muutub seda heledamaks, mida lähemale ta jõuab Päikesele. Ilmub lehvikusarnane Päikesest eemale pööratud saba, mis varemail ajal põhjustas ebausklikku hirmu, sest et komeetides nähti sõdade, katkude ja teiste õnnetuste ennustajat. Enamik komeete, tihti ka sabatähtedeks nimetatud, ilmub ainult korra Päikese lähedusse, saavutades küllaldase heleduse, et hiljem koonuslõiget, tavaliselt parabooli mööda tagasipööramatult kaduda maailmaruumi. Võrdlemisi väike osa neist, nn. perioodilised komeedid, liiguvad pikergusi ellipseid mööda, tulles aeg-ajalt jälle tagasi Päikese lähedusse. Tuntuim neist on Halley komeet, mille ilmumist võib jälgida kroonikute kirjelduste järgi kaks tuhat aastat tagasi. Viimast korda oli ta nähtav 1910. aastal ja ilmub uuesti 1986. aastal. Teadaolevate perioodiliste komeetide arv ulatub 30-ni, kuid kindlasti on nende hulk suurem, sest paljude sabatähtede tee on niivõrd pikergune ellips ja nende tiirlemisperiood vastavalt niivõrd pikk, et võimalik pole kindlaks teha, kas komeet on perioodiline või mitte.

Keskmise suurusega, varustamata silmaga nähtava komeedi pea, s. o. heledama tähesarnase osa läbimõõt on keskmiselt 200 000 kilomeetri piirides, ületades Maakera läbimõõtu kuni kolmkümmend korda, kuna

saba pikkus ulatub 100 miljoni kilomeetrini, olles seega natuke vähem kui Päikese ja Maa vaheline kaugus. Suurtest mõõdetest hoolimata on komeedi mass väga väike, igatahes vähem kui kõige pisemail asteroididel, sest ükski neist pole suutnud oma külgetõmbega, mis teatavasti on võrdeline massiga, mingit märgatavat mõju avaldada planeetide liikumisse. Küll on aga



Halley komeet 1910. a.

planeetide mõjul komeetide teekonnad muutunud nii-võrd palju, et sagedasti mitteperioodiline komeet on muutunud perioodiliseks ja ümberpöörduks. Suure ruumilise ulatuse tõttu peab komeedi aine olema erakordselt hõre, missugune väide leiab kinnitust tõsi-asjast, et tähed sattudes komeedi pea taha paistavad sellest läbi ilma heleduse vähimagi muutuseta. Komeedi saba, mis oma suuruse ja hiilgusega imponeerib, on aga veelgi hõredam. Juhtudel, millal Maa oma teekonnal on sattunud komeedi sabasse, pole märgatud vähimaidki meteoroloogilisi muutusi.

Kuna komeedi saba koosneb hõredast gaasist ja võib-olla äärmiselt peenest tolmust, mis Päikese kiirgusrõhu tagajärjel paisatakse eemale komeedi peast, koosneb komeedi tihedam osa, pea, tõenäoselt üksikuist väikestest kivitükikestest, mis on eraldatud üksteisest suure vahemaaga ja täidavad hõredalt ruumala, mis on kuni 10 000 ja enam kordi suurem Maa mahust. Tagasihoidliku hinnangu järgi tuleb siin iga kuupkilomeetri peale ligemale 3 grammi ainet. Lähenedes Päikesele soojenevad komeedi pead moodustavad kivitükid ja eritavad kasvava kuumuse tõttu gaase, mis kiirgusrõhu tagajärjel paisatakse komeedi sappa. Et komeedi pea ei koosne ühest kompaktselt kehast, vaid moodustab üksikute kivikeste parve, järgneb ka tõsiasi, et paljud neist on lagunenud osadeks, muutudes mitmeks vähemaks komeediks. Tihti on purunemine olnud nii põhjalik, et komeet on kadunud nähtavuse piirist ja tasta on järele jäänud üksikute kivikeste laialipaisatud kogumik, mis liigub väikeste komeetidena ümber Päikese.

Pimedail selgeil ööl süttib järsku taevas tähesarnane objekt, läbides kiiresti sekundi murdosade vältel mõnikümmend kraadi, ja kustub, jättes mõnikord enese järele üürikeseks nõrgalt helendava jälje. See on l e n d t ä h t ehk m e t e o o r. Juba ammu pöörati lendtähtedele tähelepanu ja püüti luua sellele nähtusele teaduslikku seletust. Esialgse vaate kohaselt arvati olevat siin tegemist puhtmeteoroloogilise nähtusega ega suudetud seda siduda kosmiliste ilmingutega. Hiljem, möödunud sajandi teisel poolel, tuntud itaalia täheteadlane Schiaparelli, kelle töid Marsi uurimise alal juba mainisime, suutis näidata lendtähtede kosmilist päritolu ja leida seletuse aeg-ajalt ilmuvaile tähesadudele, sidudes neid komeetidega. Kinnistähede- ja planeetidevaheline ruum ei ole täiesti tühi;

seal leidub, olgugi väga hõredalt, üksikuid „tolmu-terakesi“ ja suuremaid raua- ja kivosakesi. Sattudes Maa teele ja puutudes kokku õhkkonnaga süttivad nad suurest kiirusest tekkinud hõõrumisest atmosfääris ja ilmuvad vaatlejale esimesed lendtähtedena ja teised, suuremad bolliididena. Enamik sellest nn. kosmilisest tolmust on jagatud juhuslikult ruumis, osa aga on kuhjunud parvedeks, mis, liikudes koonuslõiget mööda ümber Päikese, võivad omada kinist teed ja seega ilmuda perioodiliselt ühele ning samale kohale Päikese suhtes. Tavaliselt moodustab selle tolmutpilve tsentrumit mingi tihedam massikoondis, mis ilmub maapealsele vaatlejale komeedina. Parve tekkimist võib kujutella kui komeedi tuuma lagunemist, kusjuures üksikud peakeha ümbritsevad osakesed aja jooksul viimasest kaugenevad, moodustades piki komeedi teed pikerguse tolmutpilve, milles iga osake liigub enam-vähem sama teed mööda ümber Päikese kui komeetki. Sattudes niisugusesse parve püüab Maakera kõik oma teel olevad tolmutkübemed kinni, mis ilmuvad vaatlejale lendtähtedena. Et kometaarse päritoluga meteorid liiguvad paralleelseid teid mööda ruumis, siis näivad nad vaatlejale ilmutvat perspektiivi tõttu ühest punktist, nn. radiandist. Mitte-kometaarse päritoluga meteoride liikumissuund on aga enam-vähem juhuslik. Suuremad tähesajud on olnud 1799., 1833. ja 1866. aastal. Viimane efektne tähesadu oli 9. okt. 1933, millal Tartu tähetorni vaatlejate hinnangu järgi tunnis ilmus enam kui 20 000 lendtähte. Nimetatud tähesaju põhjustas perioodiline komeet Giacobini-Zinner, mille orbiiti Maakera läbis 9. oktoobri õhtul, olles komeedist eemal 1 miljon kilomeetrit. Meteoriparve ulatust piki teed mõlemale poole komeeti võib aga tuntud lendtähtede-astronoomi Denning'i järgi arvestada 6 miljoni kilo-

meetrini, nii et Maakera läbis parve võrdlemisi kesk-
koha lähedalt. 9. oktoobri tähesaju kohta on tuletatud
rida huvitavaid andmeid, mis on iseloomustavad tähe-
sadudele üldse. Antud vaatluskohas kogu tähesaju
kestel 60°-lise läbimõõduga taeva-alal ilmunud lend-
tähtede üldarvu võib hinnata umbes 40 000-le. Oleta-
des, et lendtähtede süttimiskõrgus on 100 kilomeetrit
maapinnast, tuleks arvestada õhualaks, mis lendtähti
kinni püüdis, ümmarguselt 10 000 ruutkilomeetrit.
Lugedes iga lendtähe massiks 1 milligrammi, mis on
kindlasti ülempiiriks, saaksime kogu massina, mis
langes 10 000 ruutkilomeetrile, umbes 40 kilogrammi
ehk kogu Maakerale keskmiselt 400 tonni. Muidugi
ei jõudnud arvatavasti ükski lendtäht maapinnani,
haihtudes enne õhus. Teades tähesaju vältust ja me-
teooriparve liikumise kiirust Maakera suhtes, mis-
sugused andmed on arvutatavad taevamehaanika vale-
mite abil, võime leida ruumala, millest Maa püüdis
kinni lendtähti. Jättes arvestamata Maa külgetõmbe
leiaksime, et vaatelejale nähtavad lendtähed on paigu-
tatud $4 \cdot 10^9$ kuupkilomeetrisse või et keskmiselt iga
 10^5 kuupkilomeetri peale tuleb üks meteoorkübemeke.
See vastaks kuubile, mille kül on 35 kilomeetrit. Siit
on näha, kui hõre siiski kosmiline tolmutõlv on maiste
tihedustega võrreldes, kus kõige puhtamaski õhus iga
kuupmeetri peale tuleb rohkem tolmu kui ainult üks
terake. Meteooriparv on aga seejuures veel tolmu-
tihendis planeetidevahelises ruumis. Et keskmiselt
60°-lise läbimõõduga taeva-alal normaalselt ilmub 20
või veel vähem lendtähti tunnis 20 000 vastu tähesaju
ajal, siis on lendtähtede sagedus planeetidevahelises
ruumis meteooriparvest 1000 korda hõredam. Iga
kuubi peale, mille serv on 350 kilomeetrit, tuleks ühe
milligrammi raskune meteoorkübemeke.

IV. Kinnistähtede taevas.

Täiesti selgel kuuta ööl, eemal linnatuledest on taevas varustamata silmale näha peaaegu 3000 tähte. Linnas, kus tänav-valgustus, niisamuti ka alaline suits ja udu segavalt mõjuvad, ja kuuvalgeil ööl taandub see arv 1500-le. Tavalise teatriikiikriga vaadeldes tõuseb nähtavate tähtede arv juba 100 000-ni ja suurimad pikksilmad Ameerikas näitavad neid üle 100 miljoni.

Juba pealiskaudsel vaatlemisel selgub tähtede suhtelise asendi muutumatus; kogu taevas näib tervikuna võtvat osa öö-päevasest liikumisest. Sellest tingituna nimetatakse tähti ka kinnistähtedeks, et neid eraldada planeetidest ehk rändtähtedest, mis kuuludes Päikese süsteemi oma asendit ümbritsevate tähtede suhtes taevavõlvil muudavad. Nagu eespool nägime, ei ulatu planeetide arv üle 1100, asteroidid kaasa arvatud, ja varustamata silmaga on neist nähtavad ainult viis. Juhuslikult valitud täht taevas osutub rõhuvas enamuses ikka kinnistähteks.

Tähed jagatakse näiva heleduse järgi nn. tähesuurustesse. Esimesse tähesuurusse kuulub paarkümme heledamat tähte, teise tähesuurusse arvatakse tähed, mille heledus on eelmistest 2,5 korda nõrgem, kolmandasse need, mis on teise tähesuuruse tähtedest 2,5 korda nõrgemad, jne. Tähesuuruste skaalat võib pikendada ka heledamate objektide suunas. Nii räägitakse 0-, —1., —2. jne. tähesuurustest. Näitena võiks tuua heledaimat kinnistähte Siiriust, mille heledus on —1,4, Veenust, mille heledus on kõige soodsamal juhul —4, ja Päikest, mille see on —27. Nõrgimad tähed, mis on fotograafitavad suurimate pikksilmadega Ameerikas, on 21. tähesuurusest.

Teisel sajandil p. Kr. järeldas Aleksandria astro-

noom Ptolemaios kinnistähtede relatiivsest liikumatus-
sest, et Maakera seisab tähtede universumis paigal.
Maa liikudes peaksid ka tähed näiliselt liikuma, vas-
tassuunas Maa liikumisele, ja seda enam, mida lähemal
nad asuvad. Kinnistähtede relatiivne liikumatus oli
üheks mõjuvamaks vastuväiteks heliotsentrilise maa-
ilmaehituse teooriale, ja Kopernikus pidi oletama
kinnistähtede kaugusi niivõrd suureks, et Maa liiku-
misest tekkiv tähtede näilik liikumine jääb märkama-
tuks. Sajandeid püüdsid täheteadlased mõõta seda
nihkumist ehk parallaxsi. Mõõtmisriistade täp-
suse kasvades leiti küll tähtede aberratsioon¹⁾,
avastati liikumisi kaksiktähtede süsteemides ja mõõ-
deti isegi omaliikumisi, kuid kinnistähtede kauguse
mõõtmine ei tahtnud ikka veel õnnestuda. Lõpuks
1840. a. saavutati suur eesmärk, kui Bessel Königs-
bergis, Struve Tartus ja Henderson Kaplinnas mõõtsid
igäüks eraldi tähtede 61 *Cygni*, α *Lyrae* ja α *Centauri*
parallaxsi. Olgugi et riistad ja selleaegsed mõõtmised
oma täpsuselt kaugele maha jäävad praegusest, tähendab
aasta 1840 siiski tähtsat etappi, millal astronoomi-
line uurimine viidi planeetidesüsteemi piiridest välja
kinnistähtede valdkonda.

1) **A b e r r a t s i o o n** — valguse hälbimus, Maa liiku-
mise tõttu tähtedelt tuleva valguse suhtes esinev näiv täh-
tede asukoha muutus taevavõlvil. Seistes vertikaalselt maha
sadava vihma käes peame hoidma vihmavarju otse pea kohal,
et mitte märjaks saada. Liikudes aga sama vihma käes
peame vihmavarju kallutama liikumise suunas — seda enam,
mida kiiremini liigume. Analoogiline on nähtus valguse
juures. Ka siin peame pikksilma kallutama Maa liikumise
suunas, et valgus satuks me silma. Aberratsioon on suurem
kui parallax ja on kõigil tähtedel ühesugune.

V. Kosmiliste kauguste mõõtmisest.

Kuidas toimub kauguste mõõtmine, mis meid planeetidesüsteemist välja viib? Esimene samm seisneb kohase, paarikilomeetrilise pikkusega nn. baasi mõõtmises maapinnal. Mõõtmine toimub mõõtlindiga, võimalikult täpselt. Nii mõõdetud baasile, võttes seda üheks küljeks, ehitatakse mingi kolmnurk, mille nurgade mõõtmise abil arvutatakse välja ka teised küljed. Külgedele konstrueeritakse uued kolmnurgad, arvutatakse nende küljed jne. Nii kaetakse teatud kitsas maariba kolmnurgade võrguga ja leitakse trigonomeetriliste valemite abil arvutades ükskõik missuguse kahe kolmnurga tipu vaheline kaugus. Nii võib kirjeldatud meetodi ehk, nagu seda tavaliselt nimetatakse, *triangulatsiooni* abil paarikilomeetrisest baasist lähtudes mõõta täpselt punktide kaugust, mille vahemaa ulatub sadadesse kilomeetrisse. Teades nimetatud punktide geograafilisi koordinaate, mis saadakse kätte astronoomiliste mõõtmiste kaudu, võib arvutada Maa suuruse. Selgub, et Maa pole täpselt ümmargune. Ta on analoogiliselt Jupiteri ja Saturniga poolustest kokku litsunud. Hayford'i järgi on Maa ekvaatoriline raadius 6378,388 kilomeetrit ja polaarne raadius 6356,609 kilomeetrit.

Leidnud Maa suuruse, on järgmiseks sammuks mõõta päikessüsteemi kaugusi. Me jätkame oma triangulatsiooni väljaspool Maad. Baasiks on nüüd Maakera läbimõõt ja baasi mõlemast otsast mõõdame nurgad mingi taevakeha, näiteks Päikese suhtes. Nii saame jällegi kolmnurga, millest on teada nurgad ja üks külge; trigonomeetriliste valemite abil võime leida teised küljed ja seega ka kauguse. Kuna trianguleerimisel Maa peal kolmnurgad valitakse nii, et ükski nurk ei oleks liiga väike, ei saa seda teha kosmi-

lise triangulatsiooni puhul. Nurk, mis asub tipuga mõõdetava objekti juures ja mida kutsutakse horisontaalparallaksiks, kui baasiks on Maakera läbimõõt, on väike. Mõne taevakeha horisontaalparallaksi teadmine annab lihtsa trigonomeetrilise seose abil otsekohe selle taevakeha kauguse. Kirjelatud meetodi abil on mõõdetud Päikese-Maa vahelist kaugust. Pariisi konverentsi otsuse kohaselt loetakse kõige tõenäosemaks Päikese-Maa vaheliseks kauguseks 149 450 000 kilomeetrit, vastav horisontaalparallaks on $8'',80$ (s. o. 8,80 kaaresekundit). Pluto, Päikese süsteemi kaugeima liikme horisontaalparallaks on $0'',22$ ja lähima kinnistähe α *Centauri* oma $0'',000003$. Nii väikest nurka, isegi kui see oleks tuhat korda suurem, pole enam võimalik mõõta. Seega võime Maakera läbimõõtu kolmnurk-mõõtmisel baasiks võttes mõõta kaugusi ainult Päikese süsteemi ulatuses. Kaugemale minnes peame valima suurema baasi.

Liikudes Maaga ümber Päikese, on vaateleja kohast, kus ta oli pool aasta tagasi, eemal 300 000 000 kilomeetrit (Maa tee kahekordse raadiuse võrra). Võttes baasiks selle pikkuse ja mõõtes teatud momendil ja pool aastat hiljem nurki täht-vaateleja-Päike, saame kätte tähe 2-kordse aastaparallaksi ja kauguse. Hoolimata asjaolust, et baas, millega mõõdame kinnistähtede kaugusi, on 25 000 korda suurem kui baas, mille abil toimetatakse mõõtmisi planeetidesüsteemis, on aastaparallaksid palju vähemad horisontaalparallaksidest. Lähima kinnistähe α *Centauri* aastaparallaks on $0'',76$, mis vastab kaugusele 40 biljonit kilomeetrit. Et nii suure arvu kujutlemine sünnitab raskusi, antakse stellaarastronomias kaugused harilikult suuremais ühikuis, nn. valgusaastais. Valgus läbib igas sekundis 300 000 kilomeetrit. Ühekordseks liikumiseks ümber Maakera tarvitab ta ainult $1/7$ sekundit ja Päi-

keselt Maani jõuab ta 8 minuti jooksul. Kaugust, mille valgus läbib ühe aasta jooksul, nimetatakse valgusaastaks. Kõige lähem kinnistäht, mainitud α *Centauri*, on meist 4,27 valgusaastat eemal.

On raske selliseid kaugusi kujutella. Valgus levib niisama kiiresti nagu raadiolaine, sest mõlemad on oma iseloomult elektromagnetilised võnkumised. Raadiolaine kiirus on keskmiselt miljon korda suurem kui helil. Kõneleja hääl Tallinna ringhäälingu studios tarvitab rohkem aega mikrofonini jõudmiseks kui raadiolaine Varssavisse levimiseks. Kontsert, mis antakse Tartus, on kuuldav Tallinna raadiokuulajale kaks kümnendikku sekundit varem kui saalis istuvale publikule. Ja see nii kiiresti leviv raadiolaine jõuaks lähima kinnistähe α *Centauri*'ni alles 4,27 aasta pärast.

Kirjeldatud meetodi abil võib kinnistähedte kaugusi mõõta kuni 500 valgusaasta kauguseni. Kaugeemale minnes muutub parallaks niivõrd väikeseks, et harilikud mõõtmisvead seda täiesti katavad, muutes kauguse arvutamise illusoorseks. Peame suuremate ruumalade haaramiseks tegema baasi veelgi pikemaks. Nagu tähestatistilistest uurimistest selgub, liigub Päike ühes teda ümbritsevate planeetidega tähtedevahelises ruumis 20-kilomeetrilise kiirusega sekundis Herkulese tähtkuju poole põhjataevas. See tähendab aga, et Päike on praegusel hetkel eemal sellest kohast, kus ta asub aasta pärast, Maa tee kahekordse läbimõõdu võrra. Päikese liikumine, mis seniste kogemuste kohaselt sünnib ühtlaselt ja sirgjooneliselt, peab peegelduma ka tähtede näivas liikumises, niisamuti nagu Maa aastanegi liikumine, ja see näiv nihkumine peab seda suurem olema, mida lähemal on täht. Soodsal juhul, s. o. kui täht asetseb taevas 90° eemal kohast, kuhu liigub Päike, nn. a p e k s i s t, nihkub täht Päikese liikumise tõttu iga aasta nelja aastaparallaksi

võrra. Vastandina eelmisele meetodile tuleb sirgjoonelise ühtlase liikumise tõttu siin abiks aeg, mis baasi iga aasta suurendab nelja astronoomilise ühiku võrra. Kümne aastaga on niisugune täht, mille aastaparallaks on $0'',01$, nihkunud $0'',4$, või teisiti öeldes — me kaugusemõõtmisele kättesaadavaks muutunud kera raadius on suurenenud 40-kordselt ja suureneb aastast aastasse. Kirjeldatud parallaksi mõõtmise viisi juures tuleb aga teha mõningaid märkusi, mis ta tõhusust natuke vähendavad. Eespool arvestasime niisugust tähte, mis asetseb apeksist 90° eemal, seega kõige soodsamas asendis. Teiste tähtede näiv liikumine, mis ei asu soodsal tsoonil, on vähem, kahanedes võrdeliselt apeksikauguse siinusega. Seetõttu on apeksist 30° kauguse tähe näiv liikumine ainult pool võimalikust suurimast nihkumisest. Päikese liikumisele rajatud tähtede parallaksi ehk nn. sekulaarparallaksi mõõtmise meetod ei võimalda kaugusi leida igas sihis ühesuguse täpsusega. Mainitust hoopis suurem raskus peitub aga tõsiasjas, et ka kõik tähed, niisamuti nagu Päikegi, liiguvad ruumis, mistõttu sekulaarparallaksile lisandub ka tähtede oma liikumine. On aga põhjusi arvata, et tähtede oma liikumine on enam-vähem juhusliku iseloomuga, nii et hulga tähtede keskmise parallaksi arvutamisel ta mõju kaob. Seega on sekulaarparallaks teatud statistilise iseloomuga ja võib, olgugi et ta individuaalsel juhul annab ebaõigeid tulemusi, teatud keskmise võtmisel (kui ainult seejuures hoolitsetakse, et rühm oleks statistiliselt homogeenne) anda täiesti vastuvõetavaid tulemusi. Kaugused, milleni nii jõuame, on 100 kuni 200 korda suuremad kui aastaparallaksi-meetodi abil saavutatavad. Suuremate kauguste mõõtmiseks tuleb tarvitada kaudseid meetodeid, mida esitame hiljem.

Oleme jälginud, kuidas normaalmeetrist lähtudes

mõõdetakse Maakera raadius, kuidas Maakera raadiusest jõutakse edasi Maa orbiidi raadiuse ja päikesüsteemi mõõtmiseni ja sealt kinnistähete kaugusteni. Samm-sammult suurendatakse mõõduühikuid, kuni jõuame valgusaastani, mis on nõnda öelda kosmiliseks meetriks. Kogu maailmaruumi ulatuse mõõtmiseks aga osutub seegi väikeseks.

VI. Astrofüüsikalisi uurimismeetodeid ja mõisteid.

Nagu eespool selgitasime, on kõige lähem kinnistähth meist eemal 4,27 valgusaastat. Vahepeal on tühi ruum, mida valgus läbib ilma vähimagi neeldumiseta. Tähtedevahelised kaugused on kõik mõõdetavad ainult valgusaastais, ja olgugi et näeme taevas tuhandeid tähti, on maailmaruum neist ikkagi tühi. See näib esialgu imelikuna, kuid muutub arusaadavaks, kui kujutleme Päikest ja tähti nööpnõelapea-suurusena. Kui kõik mõõted on vähendatud samas proportsioonis, siis asuvad üksikud tähed üksteisest 65 kilomeetri kaugusel. Ruum, kus iga 65 kilomeetri peale tuleb üks nööpnõelapea-suurune liivatera, on tõesti „tühi“ ega ole niisama hästi kui ei kunagi karta, et kaks niisugust tolmukübet kunagi kokku pörkaksid.

Ainukeseks lülirks tähtede ja vaateleja vahel on valgus. Ja kuigi tähed kiirgavad määratul hulgal energiat, saabub sellest Maakerale suure kauguse tõttu ainult kaduv-väike osa. Heledaimalt kinnistähelt Siiruselt tulev valgus suudab üht grammi vett soojendada ühe kraadi võrra alles 50 000 aasta pärast, ja sellest kaduv-väikesest energiahulgast loeb inimene välja tähe kauguse, massi, temperatuuri, tiheduse, aine koostuse jne. Kõik tähed, mis on nii külmad, et

nad enam küllaldaselt kiirata ei suuda, jäävad enamikus meile teadmatuks. Ainult juhul, kui nad asuvad mingi valgustkiirgava tähe lähikonnas, saame aimu nende olemasolust gravitatsioonitungi kaudu, mida nad avaldavad vaatlustele kättesaadava tähe suhtes. Tumedad tähed aga, mis on eemal teistest tähtedest, jäävad meile igavesti tundmatuks.

1. Tähtede pinnatemperatuur.

Soojendades mingit metalli, näiteks plaatinat, hakkab see algul vaevalt märgatavalt punaselt hõõguma, muutub temperatuuri kasvades heledamaks ja valgemaks ja kiirgab lõpuks veelgi kõrgemate temperatuuride juures sinakat valgust. Fotograafides hõõguvat valgust kord läbi kollase, kord läbi sinise filtri peame temperatuuri tõusul kollastes kiirtes valgustama plaati ikka enam ja enam, et saada seesugust plaadi tumenemist kui siniseis kiirtes. Valgustus-*aegade* teatud funktsioon kannab värvuse-osuti nime ja seda teades võib, rakendades teoreetilise füüsika valemeid, arvutada hõõguva keha temperatuuri. Samal teel määratakse tähtede värvusest nende pinnatemperatuur, mis ulatub keskmiselt 30 000—3000 kraadini.

2. Tähtede spektrum.

Kolmetahulist prisma läbides hõõguva keha valgus teatavasti laguneb eri värvustesse, moodustades nn. spektrumi. Niikaua kui kiirgav keha on tahkes või vedelas olekus, saadab ta välja igasuguse lainepikkusega valgust. Spektrumis esinevad kõik värvused, ta on pidev. On aga kiirgav keha gaasiline, emiteerib ta (saadab välja) ainult teatavaid, sellele gaasile iseloomustava lainepikkusega kiiri, millele vasta-

valt spektrumis esinevad pideva värvilise paela asemel üksikud värvilised jooned. Juhtides valguse läbi gaasi, neelab see sealt ainult selle lainepikkusega kiirgust, mida ta ise suudab emiteerida. Läbi gaasi juhitud valguse spektrumis esinevad sellele gaasile iseloomustavad tumedad jooned. Laboratoorseist katseist ja teoreetilistest arvutustest võib koostada igale elemendile ta joonte nimestiku, mida hiljem võib kasutada mingi tundmatu koosseisuga aine analüüsimiseks, muutes seda gaasiks ja uurides selle spektrumijooni. Edasi selgus, et üks keemiline element võib anda väga mitmesugust joontesüsteemi vastavalt sellele, mis sugustes tingimustes ta valgust kiirgab. Nii erineb näiteks kaltsiumi spektrum saaduna kaarlambi tulest, kus temperatuur on ligi kolm tuhat kraadi, põhjalikult spektrumist, mis saadakse läbi kaltsiumi aurude juhitud elektrisädeme valgusest, kus momentaanne temperatuur on 10 000 kraadi piirides. Nagu aatomi-teoreetilised uurimised tõendavad, on niisugune spektrumite erinevus tingitud temperatuuri tagajärjel sündinud muutusest aatomis, nn. ionisatsioonist ¹⁾

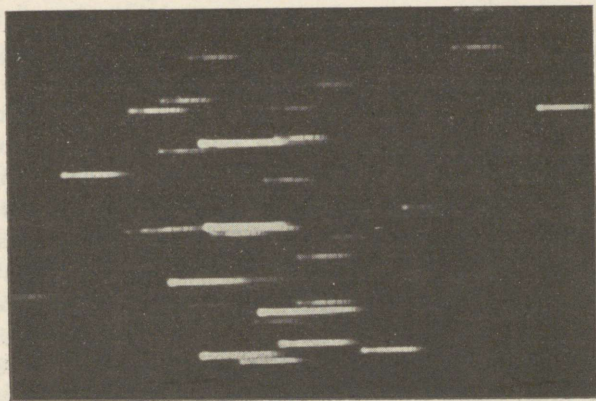
Moodsa füüsika vaatekohalt koosneb aine aatom positiivselt laetud tuumast ja hulgast negatiivseist elektronest, mis tiirlevad kindlaid, kuid väga mitmesuguseid teid mööda ümber tuuma. Mingi elektron võib tiirelda kord tuumale lähemal, kord kaugemal asuval teel. Langeb elektron mingilt kaugemalt teelt lähemale teele, kiirgab aatom valgust, mille lainepikkus on määratud sellega, missuguselt teelt missugusele elektron langes. Vastupidise nähtuse korral, kui elektron tõstetakse lähemalt teelt kaugemale, neelab aatom valgust. Viimase asjaoluga on ka seletatav,

¹⁾ Vt. pikemalt: W. B r a g g, Aine saladused („Elav Teadus“ nr. 32).

miks gaas kiirgab ainult teatavaid lainepikkusi ja miks ta saab neelata ainult niisuguse värvusega valgust, mida ta ise on suuteline kiirgama. Et iga elemendi aatomil on isesugused elektronide teed, siis annab iga element ka isesugust valgust — erisuguse spektrumijoonte süsteemi. Mingi gaasi kiirgamist võib seepärast kujutella järgmiselt. Elektron langeb tuumast kaugemal olevalt teelt lähemale: aatom kiirgab valgust; kokkupõrkel teise aatomiga tõstetakse elektron jälle tagasi endisele teele ja antakse võimalus uueks kiirgamiseks. Nüüd võib aga juhtuda, et üksikute aatomite kokkupõrke energia on nii suur, et lööb ühe või enam elektrone aatomist hoopis välja. Aatom muutub positiivselt laetuks, sest et puudub neutraliseeriv negatiivne elektron, aatom ioniseeritakse. Ioniseeritud aatomis on aga olukord muutunud ühe või mitme elektroni puudumise tõttu teissuguseks, millest tingituna erineb ka ta spektrum neutraalse, purustamata aatomi spektrumist.

Nagu eespool korduvalt on tähendatud, sarnlevad kinnistähed üldjoontes Päikesega. Kuuma kiirgavat fotosfääri piirab jahedam atmosfäär. Fotosfääri valgus, tungides läbi külma gaasi, kaotab neeldumise tagajärjel need kiired, mida kiirgab tähe atmosfäär, ja sest tekivad tumedad jooned fotosfääri pidevas spektrumis. Võrreldes neid jooni Maa peal leitud elementide spektrumijoontega võime otsekohe näha, misuguseist aineist koosneb tähe atmosfäär. Kuulus filosoof Auguste Comte tähendas kord, et inimesed ei suutvat kunagi uurida taevakehade keemilist koosseisu. Me teadmused piirduvat ainult geomeetriliste ja mehaaniliste nähtustega. Nende füüsikalisi ja keemilisi omadusi uurida olevat võimatu ja spekulatsioonid sellel alal positivistliku filosoofia seisukohast mõttetud. Me näeme siin, kui kardetav on öelda „ei

kunagi“. Ajal, millal Comte seda kirjutas (1830—1842), oli spektraalanalüüs alles oma arenemise algul ja kuulus filosoof ei võinud aimatagi, et mitte ainult taevakehade füüsikaliste ja keemiliste omaduste tunnetamine saab selle imeriistaga võimalikuks, vaid et üks element — heelium — leitakse enne Päikesel ja alles siis Maakeral.



Söela tähtede spektrumid, fotograafitud Tartu tähetorni objektiivprismaga. Tähtede spektrumeis on selgesti näha vesiniku absorptsioonjooni.

Kinnistähtede spektrumeid omavahel võrreldes selgub nende järjestatavus ühte pidevasse ritta, kusjuures osutub, et see on ühtlasi ka alaneva temperatuuri järjekord. Secchi' järgi kuuluvad esimesse spektrumitüüpi kõige kuumemad tähed, mille spektrumis domineerivad vesiniku- ja heeliumijooned. Tüüpiliseks esindajaks siin on helevalge Siirius. Teise spektrumitüüpi kuuluvate tähtede spektrumis esineb arvurikkalt metallide ja ioniseeritud ja ioniseerimata kaltsiumi jooni. Siia tüüpi kuulub kollaka

valgusega Päike. Kolmandasse spektrumitüüpi kuuluvad punased tähed ja nende spektrumis on märgata keemiliste ühendite jooni. Neutraalse kaltsiumi jooned on tugevad. Siia kuulub punane täht Aldebaran.

3. Hiid ja kääbused.

Teades tähe näivat heledust ja kaugust võib arvutada ta heleduse juhuks, kui ta asuks näiteks 32 valgusaasta kaugusel. Tähe näivat heledust kindlalt kauguselt vaadatuna nimetatakse ta absoluutseks heleduseks. Viimase abil on võimalik võrrelda üksikute tähtede valgustugevust. Koostades diagrammi, kus ühele teljele on kantud tähe absoluutne heledus, teisele ta spektrum, selgub huvitav seaduspärasus. Külmemate spektrumitüüpide juures jagunevad tähed kahte rühma, ühed suure, teised väikese absoluutse heledusega. Vahe rühmade vahel kaob, kui minna kuumemate spektrumitüüpide poole. Absoluutselt heledamasse rühma kuuluvaid tähti kutsutakse hiidudeks, teisi kääbusteks, kriipsutades alla, et viimased on peale absoluutse heleduse veel esimestest väiksemad nii läbimõõdu kui ka massi poolest. Seevastu on aga kääbused tihedamad kui hiidud. Kujutellakse, et täht oma arenemist algab külma hiidtähenä. Kokkutõmbumise protsessis kasvab ta temperatuur, täht areneb kuumemate spektrumitüüpide suunas. Et aga temperatuuri kasvades pind vähenes, kompenseerivad need kaks tegurit teineteisest, ja tähe absoluutne heledus jääb enam-vähem konstantseks. Arenedes jõuab täht Secchi esimesse spektrumitüüpi, kus energia-tagavarad on lõppemas. Ta tõmbub ikka enam ja enam kokku, kuid temperatuur ei suuda enam püsida endisel kõrgusel. Täht areneb jälle külmemate spektrumitüüpide suunas, kuni ta jahtudes kaob

nähtavuse piirkonnast. Selle praegusel ajal väga palju arvustatud arenemisteooria järgi algab täht nooruses punase hiuna ja lõpeb punase kääbusena. Teatud erandit moodustavad nn. valged kääbused, mille spektrumitüüp kuulub Secchi esimesse tüüpi, kuid mis absoluutse heleduse poolest on normaalselt sellesse spektrumitüüpi kuuluvaist tähtedest nõrgemad. Need tähed on väga tihedad ja nende loomus on teatud määral veel mõistatuseks.

4. Tähtede läbimõõt.

Kuna planeedid, välja arvatud asteroidid, paistavad pikksilmas väikese kettakesena, nii et nende läbimõõtu on võimalik otseselt mõõta, jäävad kinnistähed ka kõige võimsamais teleskoopides punktisarnaseks. Täpsemalt rääkides on ka kinnistähel pikksilma vaateväljas teatav läbimõõt olemas, kuid see on tingitud riista optilistest omadustest, mitte aga tõelisest läbimõõdust. Täht näib koosnevat, eriti suurte suuredustega vaadeldes, heledast punktisarnasest südamikust, mida piiravad järjest heleduses kahanevad nn. difraktsioonringikesed. Et pikksilmas nähtaval tähe läbimõõdul ei ole midagi ühist tõelise läbimõõduga, selgub kas või tõsiasiast, et kõik nad paistavad samas riistas ühesuurusena ja kahanevad, kui pikksilma objektiiv võtta suurem. Nii on 15-sentimeetrilise läbimõõduga objektiivi korral kettakese läbimõõt $0'',8$, 40-sentimeetrilise objektiiviga aga $0'',3$. Suurim praegu tuntud täht α *Orionis* paistab maisele vaatlejale läbimõõduga $0'',05$. Et riista optilistest omadustest tingitud difraktsioonkettakese läbimõõt oleks vähem kui mainitud suurus, tuleks valmistada pikksilm objektiivi läbimõõduga 10 meetrit. Niisuguse teleskoobi

ehitamine lähemas tulevikus aga paistab olevat tehni-
selt võimatu.

Juba möödunud sajandi algul juhtis Fizeau tähele-
panu võimalusele mõõta väga väikesi nurki taevavõl-
vil nn. interferentsmeetodi abil, kuid alles hiljuti,
peamiselt Michelson'i ja hiljem Pease'i tööde põhjal,
õnnestus seda rakendada tähtede läbimõõdu uurimi-
seks. Meetod on küllalt täpne, kuid võimaldab toi-
metada mõõtmisi ainult heledamate tähtede puhul.
Nõrgemate tähtede läbimõõtu tuleb aga arvutada
kaudselt. Tähtede värvust kasutades saadakse kätte
nende temperatuur ja teatud füüsikalise seaduse, nn.
Planck'i valemi alusel arvutatakse, kui palju kiirgab
pinna ruutsentimeeter. Teiselt poolt, teades välja-
kiiratud valguse koguhulka, võime arvutada, mitu
ruutsentimeetrit on tähe pindala, ja sellest leida ta
läbimõõdu. Enamikku tähtede läbimõõtu on leitud sel
teel.

5. Tähtede mass.

Üldistatud kolmanda Kepleri seaduse järgi on
kahe tähe tiirlemisaja ruut võrdeline mõlema tähe
massi summa ja neid lahutava kauguse kolmanda astme
korrutisega. Teiselt poolt on tähe kaugus süsteemi
raskus-keskkohast vastuvõrdeline ta massiga. Mõõtes
mingi kaksiktähe korral mõlema komponendi liiku-
mist teiste, paigalseisvate tähtede suhtes saame kätte
nende liikumised massikeskme suhtes ja sellest mõ-
lema tähe massi suhte. Niisamuti leitakse mainitud
kolmanda Kepleri seaduse järgi pöörlemisajast ja täh-
tede omavahelisest kaugusest nende masside summa.
Masside suhte ja summa teadmine võimaldab neid
arvutada eraldi.

Ligikaudse hinnangu järgi on $\frac{1}{3}$ kõigist tähte-
dest kaksiktähed. Ülejäänud $\frac{2}{3}$ tähtede massi ei saa

otseselt arvutada, küll aga on võimalik hinnata seda teoreetilise massi-heleduse seose abil. Eksimisvõimalus niisuguse massimääramise korral ei ole suur, sest tähtede mass kõigub üldiselt väga kitsais piires. Massid, mis on kümme korda suuremad Päikese omast, on haruldased ja niisama vähe esineb ka väikesi masse.

6. Radiaalkiirus.

Kui sõita rongiga mööda vilistavast vedurist, muutub vile toon korraga madalamaks — silmapilgul, millal oleme vilistava veduri kohal, s. o. siis, kui lähenemine muutub kaugenemiseks. Nähtuse seletus on lihtne, kui arvestada, et hää on õhuvirvendus, mida sünnitab vile. Vaatleja lähenedes hääleallikale püüab kõrv kinni ühe sekundi kestel enam laineid kui kaugenedes, sest esimesel korral — liikudes häälele vastu — satuvad kõrva kõik need lained, mis oleksid saabunud paigal seistes, pluss ka need õhuvõnked, mis asuvad ulatusel, mille võrra kõrv edasi liikus. Ja et hääle kõrgus on määratud võnkearvuga, siis sünnib momeendil, millal möödume vilistavast vedurist, järsk vile tooni langus.

Analoogiline on lugu valgusega, mida võib tõlgitseda kui lainetust hüpoteetilises aines — maailmaeetris. Kiirgavale kehale lähenedes püüab silm kinni enam võnkeid kui kaugenedes ja sellest tingituna paisab valgus vaatlejale sinisemana. Nüüd on aga valguse levimiskiirus võrreldes taevakehade kiirusega väga suur ja värvuse muutus niivõrd väike, et seda ei saa näha, küll aga mõõta. Nagu selgitasime, on tähtede spektrumis suur hulk tumedaid jooni. Nende joonte lainepikkused on määratud ainetega, mis neid esile kutsuvad. Liikugu nüüd täht vaatleja poole. Eelneva järgi muutub ta valgus ja seega ka iga spekt-

rumijoon sinisemaks; spektrumijooned nihkuvad sinisele poolele. Võrreldes liikuva tähe spektrumijooni maiste, kuid sama aine spektrumijoontega saame määrata mainitud nihkumist ja arvutada liikumist vaatejoone suunas, nn. radiaalkiirust. Tavaliste tähtede radiaalkiirus on umbes 20 kilomeetrit sekundis.

VII. Tähed ja udukogud.

Selle raamatu eelmistes peatükkides näitasime, et parallaksi võib otseselt mõõta, või nagu ka piltlikult ütlesime, kosmilist ruumi trianguleerida — kuni 10 000 valgusaastani. Katsume järgnevas kirjeldada neid objekte, mis asuvad ruumi selles osas. Me laiendame oma uurimissfääri Päikese süsteemist, mille raadius on 40 valgusminutit, kerale, mille raadius on 10 000 valgusaastat. Kuna me päikessüsteemi kirjeldamisel vaatlesime iga planeeti eraldi, peame kinnistähete ja teiste taeva kaugemate objektide kohta nende suure arvu tõttu rääkima muidugi üldisemalt, kirjeldades ainult teatud ühiste omadustega esemete tüüpilisimat esindajat.

1. α Centauri ¹⁾.

Lõuna-poolkeral nähtav teist suurusjärku täht α Centauri, mis on Päikesele kõige lähemaks kinnistäheks, koosneb kolmest eri tähest ehk komponendist. Nendest kaks, α Centauri A ja α Centauri B, on heledamad, kuna kolmas, kaugemalasuv süsteemi liige *Proxima Centauri* on nõrk täheke. Komponendid A ja B, mis on teineteisest eraldatavad ainult pikksil-

¹⁾ α Centauri — alfa (kr., = a ladina tähestikus, esimene täht tähestikus) Kentauri tähtkujus.

mas, teevad tiiru teineteise ümber 79 aastaga keskmisel kaugusel 23,2 astronoomilist ühikut. *Proxima* on eelmistest 0,18 valgusaastat eemal ja liigub nii aeglaselt, et ta tiirlemisaega pole senini suudetud määrata.

Heledam komponent A on Päikesega sarnlev kinnistäht. Tal on sama värvus ja spektrumitüüp kui Päikeselgi, ta on viimasest 14% raskem ja kiirgab 12% enam energiat. Võrreldes teiste samasse spektrumitüüpi kuuluvate tähtedega selgub *α Centauri A* kuuluvus kääbustähtede hulka — rühm, kuhu kuulub ka meie Päike.

Komponent *α Centauri B* on märksa punakam kui Päike, omades vastavalt pinnatemperatuuri 4400°. Ta mass on peaaegu võrdne Päikese massiga, läbimõõduga $\frac{1}{3}$ vähem, mistõttu ta kuulub niisamuti kääbuste hulka.

Kolmas süsteemi liige *Proxima Centauri* on punane, madala pinnatemperatuuriga täheke. Mass ja tihedus on tundmatud. Teatud määral võiksime *Proxima*'t pidada *α Centauri* süsteemi üheks väga suureks planeediks. Peale *Proxima* võib neid veel olla mitu, ja arvatavasti on igal komponendil olemas peale ühiste planeetide veel eraldi planeetidepere. Kujutleme seda huvitavat pilti, mis avaneb ühel *α Centauri* süsteemi lähemal planeedil asuvale vaatele. Taevas paistab korraga kaks päikest — see, mille süsteemi kuulub mainitud planeet, heledamana, teine pisut nõrgemana. Aasta jooksul kulmineerivad nad kord üheaegselt, siis kaugenevad teineteisest, kuni ühe ülemine kulminatsioon langeb ühte teise alumise kulminatsiooniga, et aasta pärast uuesti korraga meridiaani läbida. Hüpotetilise planeedi elanik võiks päikeste relatiivse asendi järgi määrata aastaega. Kord on tal lakkamatu päev, kui üks päike tõuseb, teine loojub. Valgusvärvingute mäng seejuures on kirjeldamatu.

Meie koit ja eha on kahvatult hallid sellega võrreldes. Ajal, millal mõlemad päikesed on loojas, paistab punane *Proxima*, täites maastikku nõrga valgusega. Kui sel hüpoteetilisel planeedil on õhku ja vett ja kui elu ei ole maailmaruumis mingiks erandjuhuks, valitseb kahe päikese soojendusel seal lopsakas taimestik ja paradiislik kliima.

2. Siirius (*α Canis Majoris*¹).

Heledaim kinnistäht Siirius on meist 9 valgusaastat eemal. Ta valgustugevus on 26 korda suurem kui Päikesel, värvus sinakalt valge ja temperatuur 11 000°. Siiriuse mass on 2,45 Päikese massi ja ta tihedus 0,9 vee tihedusest. Olles 26 korda heledam kui Päike, on ka ta läbimõõt suurem. Ta kuulub tüüpilise esindajana Secchi esimesse spektrumitüüpi.

Et Siirius on heledaim täht taevas, on teda väga palju vaadeldud. Vanad egiptlased määrasid tema järgi Niiluse veetõusu algust ja moodsal ajal kasutatakse teda koos teiste heledamate tähtedega kellaja korrigeerimiseks. Kestva vaatluse tagajärjel selgus aga, et Siirius pole üldse „hea kell“, minnes kord aastate kestel ette, kord jäädes maha. Aastal 1844 leidis Bessel selle kõikumise põhjuse: et Siirius liigub taevas väikest ellipsit mööda, tehes täistiiru 50 aastaga. Loomulik järeldus sellest oli, et heleda tähe kõrval peab asuma tume, nägematu kaaslane, mis mainitud häireid esile kutsub. Vaevalt usuti, et kellelgi õnnestub näha Siiriuse kaaslast, ja oldi rahul Besseli arvutustega. Kuid 18 aastat hiljem avastas Alvan Clark, tuntud optik, juhuslikult selle tähe. Clark, kes tahtis proovida oma töökojas valmistatud suurt ning moodsat

1) *Canis Major* — Suure Peni tähtkuju. Eesti rahvasuus on Siirius tuntud Orjatähe nime all.

pikksilma, juhtis selle Siiriusele kui kauneimale ning heledaimale tähele. Ta oli pettunud, kui heleda Siiriuse kõrval oli näha pisike valguspunktike, mida Clark esialgu pidas oma pikksilma objektiivivi veaks. Kui aga ettevõetud parandused ja ümbertsentreerimised ei kõrvaldanud kiuslikku punkti, oldi veendunud, et siin on tegemist Besseli arvutatud Siiriuse kaaslasega. Avastatud Siirius B leiutamislugu sarnaleb väga planeet Neptuuni omaga.

Siirius B on huvitavaimaid objekte taevas. Olles umbes niisamasuguse spektrumitüübi ja värvuse, järelilikult ka sama temperatuuriga, kiirgab ta vaevalt $\frac{1}{10000}$ sellest energiast, mida saadab välja Siirius A. Ainukeseks seletusvõimaluseks on siin oletada ta maht 125 000 korda vähemaks peatähe mahust. Et aga Siirius B mass on võrdne Päikese massiga, peab ta tihedus olema kohutavalt suur. Täpsemate arvutuste põhjal peaks iga kuupsentimeeter Siirius B-st kaaluma 60 kilogrammi või tikutoosi täis pool tonni.

Siiriuse kaaslane, kuuludes haruldaste valgete kääbuste liiki, pole ainuke valgusnõrk ning suure tihedusega täht, mida praegu tuntakse. Nii leidis Barnard 1916. aastal tähe, mis asukohaga meist ainult kuue valgusaasta kaugusel on 2500 korda nõrgem kui Päike. Niisamuti avastas van Maanen tähe, mis kiirgab 6000, ja Wolf, mis saadab välja 50 000 korda vähem valgust kui Päike. Uurides Barnardi, Wolfi ja van Maaneni tähtede spektrumeid leiti nad kuuluvat Secchi esimesse tüüpi, seega kõik valged kääbused. Värvuse järgi leitud temperatuuride põhjal arvutati nende ruumala. Osutus, et Barnardi täht on tunduvalt suurem kui planeet Jupiter, Wolfi täht umbes planeet Uurani suurune, kuna aga van Maaneni täht on vähem kui Maa. Teades nende tähtede massi massi-heleduse seosest, võib leida tihedust. Selgub, et Barnardi täht

on 100, Wolfi täht tuhandeid ja van Maaneni täht aga 400 000 korda tihedam kui vesi. Olgu võrdluseks toodud, et Maa aine on ainult 5,5 ja Päikese oma 1,4 korda tihedam kui vesi. Üks kuupsentimeeter van Maaneni tähe ainet kaalub 400 kilo või 25 puuda. Seesugust ainet poleks võimalik hoida üheski maises anumal. Igasugusest nõust, niisamuti Maa koorest tungiks ta läbi nagu tinakuulike veest.

Kirjeldatud äärmiselt tihedad tähed on aga võrreldes hiljuti Kuiper'i poolt leitud tähega AG 70° 8247 peaaegu vaakuumid (õhutühjad ruumid). See täht, mille läbimõõt on ainult pool Maa läbimõõtu, kuid mille mass on 3-kordne Päikese mass, peaks olema 36 miljonit korda tihedam kui vesi. Iga Kuiperi tähe üks kuupsentimeeter kaalub seega 36 tonni. Arvestades, et raskuskiirendus selle tähe pinnal on 3,4 miljonit korda suurem kui Maakeral ja ta atmosfääri temperatuur ligemale 100 korda kõrgem Maa õhkkonna temperatuurist, absoluutsest nullpunktist arvatuna, peab atmosfääri tiheduse langus olema 34 000 korda suurem kui Maa õhkkonnas. Vastavalt sellele ulatub Kuiperi tähe atmosfäär üksnes mõne meetri kõrgusele. Seitsmetunnise valgustusajaga 36-tollise Lick'i spektrograafiga saavutatud spektrumi-ülesvõtteist selgub, et selles puuduvad spektrumijooned, mistõttu see taevakeha on esimeseks sellesarnaseks objektiks tähtede seas. Ta temperatuur, mis on 28 000° üle absoluutse nulli, määrati värvuse, mitte aga spektrumijoonte järgi. On teada, et gaas, asudes väga suure rõhu all, emiteerib laiu ning segaseid spektrumijooni ja et rõhu kasvades muutub kogu spektrum pidevaks. Sel põhjusel on tihedate atmosfääridega tähtede spektrumijooned segased, kuid Kuiperi tähel puuduvad nad täiesti. See on tõenduseks erakordselt tiheda atmosfääri olemasolust.

Einstein'i gravitatsiooniteooria järgi kaldub valguskiir, läbides raskusvälja, oma esialgsest sihist kaart moodustades kõrvale, niisamuti nagu teeb seda käest visatud kivi või püssist lastud kuul. Et aga valguse levimise kiirus on väga suur võrreldes tavaliste liikumistega, on mainitud kõrvalekaldumine ka väike. Samal põhjusel on tugevast gravitatsiooniväljast tuleva valguskiire energia väiksem, mistõttu valgus näib olevat punasem või spektrumijooned on nagu kaugeneva liikumisega korral nihutatud pikemate lainepikkuste poole. Päikese juures on raskusväli nõrk, kuid ikkagi on suudetud mõõta seda valguse kõrvalekaldumist, nn. Einsteini efekti. Siirius B korral, kus raskusväli on palju tugevam, peaks efekt olema ligi 30 korda suurem.

Siirius B spektrumijoonte nihkumisi mõõta on väga raske, sest hele Siirius A mõjub äärmiselt segavalt oma valgusega. Kuid ameerika astronoomi Adamsi hoole ja järjekindlusega üle aasta kestnud vaatlused tõendavad vastuvaidlematult Einsteini efekti olemasolu.

Tekib küsimus, kuidas võib maailmaruumis olla aine nii tihedas olekus, nagu ta on valgeis kääbustes. Et koondada ühte kuupsentimeetrisse niipalju ainet, nagu seda on näiteks Siirius B-s, peaksime 50 liitrit vett rõhuma kokku nimetatud mahuni, ja nagu nägime, pole see veel suurim tihedus. Ei või oletada, et materია oleks kokkusurutav lõpmatuseni. Sellel peaks olema piir, sest teatud tihedusest alates puutuvad aine aatomid üksteise külge, ja neid üksteisesse rõhuda, ilma et aatom seejuures puruneks, ei ole praeguse füüsika vaate järgi võimalik. Aatomi läbimõõtu määrab ta välise elektroni orbiit; ainult niikaugemale võime ainet kokku suruda, et ühe aatomi elektronid ei segaks teise aatomi elektronide liikumist. Suuremat aine

kokkusurutavust neil tingimustel elektronid enam ei võimalda, ilma et aatom ise ei puruneks, s. o. ilma et elektronid aatomi tuumast ei eralduks.

Teoreetiliste arvutuste põhjal valitsevad tähtede sisemuses tingimused, mis aine aatomid täielikult ioniseerivad, s. t. elektronide eraldumine tuumast on nii täielik, et aatomist on järele jäänud üksnes südamikud. Seega on aga aatomi mõõted muutunud väga palju kordi väiksemaks ja ainet on võimalik kokku suruda määrani, nagu see esineb valgeis kääbustes. Kuid mis sunnib materiat koonduma nii kolossaalsesse tihedusse, see jääb meile praeguse teaduse seisukohast ikkagi mõistatuseks.

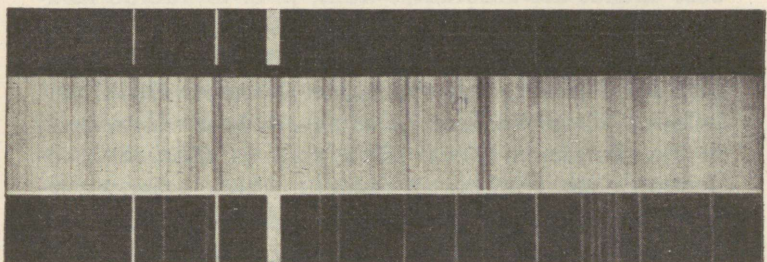
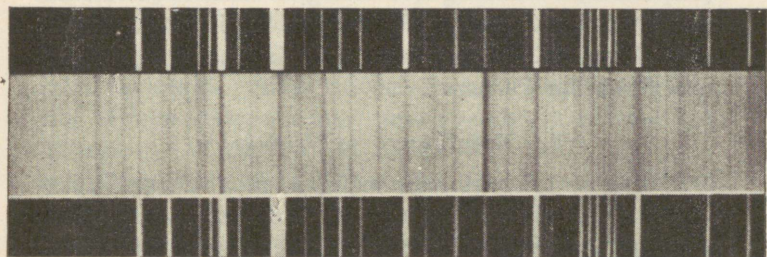
3. Kapella (*α Aurigae*¹⁾).

Esimest suurusjärku kollakas täht Veomehe tähtkujus, Kapella, on meist 30 valgusaastat eemal. Ta spektrum sarnleb Päikese spektrumiga, ta on aga ise viimasest 250 korda heledam, kuuludes hiidtähtede liiki.

Uurides Kapella spektrumi pandi tähele, et selle jooned perioodiliselt muutuvad kahekordseks. Nähtus on lihtsalt seletatav, kui oletada, et Kapella koosneb kahest peaaegu ühesuguse heledusega tähest, mis aga on teineteisele niivõrd lähedal, et neid võimatu on pikksilmas eraldi näha. Liikudes ümber ühise massikeskme tasapinnas, mis ei ole risti vaatesuunaga, läheneb üks ja kaugeneb teine komponent. Nagu eespool on näidatud, nihkuvad tähe kaugenedes jooned punase, lähenedes sinise spektrumiosa poole, nii et Kapella mõlemate komponentide ühises spektrumis momentidel, millal üks tähtedest läheneb, teine kaugeneb, pais-

¹⁾ *Auriga* — Veomehe tähtkuju. Eesti rahvasuus on Kapella tuntud Jõulutähena.

tavad spektrumijooned kahekordsena. Veerandi teekonna järel on komponentide liikumine risti vaatejoonega, mistõttu spektrumijooned on sulanud ühte. Veel veerand ringi edasi, siis läheneb see komponent, mis enne kaugenes, ja kaugeneb see, mis enne lähenes, ja spektrumijooned on läinud jälle lahku. Perioodilisest spektrumijoonte relatiivsest nihkumisest võib, tehes



Spektroskoopilise kaksiktähe spektrum. Ülal ühekordsete, all kahekordsete joontega. Mõlemal spektrumil on kaasas ka võrdlusspektrum maiselt elemendilt (heledad jooned).

hüpoteesi tee kalde kohta, arvutada Kepleri seaduste abil mõlema komponendi massi, omavahelise kauguse jne., hoolimata sellest, et ka suurimais teleskoopides Kapella paistab ainult ühe tähena. Tähed, mille kak-

siktähe-iseloom selgub alles spektroskoobis, kannavad spektroskoopiliste kaksiktähtede nime.

Furhjem Helsingis leidis Kapellast 12 kaareminuti kaugusel 9,5. tähesuurusega kaaslase, mille omaliikumine oma suuruse ja suuna poolest täiesti ühtib Kapella omaliikumisega. On tõenäone, et ta moodustab viimasega füüsilist süsteemi, tiireldes ümber ühise massikeskme. Niisugused nõrgad kaaslased ei näi olevat sugugi haruldased ja nagu nägime, on ka lähimal kinnistähel α Centauri'1 planeedisarnane komponent *Proxima Centauri*.

4. Betelgeuze (α Orionis)¹⁾.

Punane esimest suurusjärku täht Orioni tähtkujus, α Orionis ehk Betelgeuze, on meist üle 350 valgusaasta eemal. Spektroskoopilistest uurimustest järgneb ta punasele värvusele vastav temperatuur, 3000 kraadi üle absoluutse nulli, ja et ta kuulub hiidtähtede rühma. Madala temperatuuri tõttu kiirgab iga ta ruutsentimeeter ligemale 16 korda vähem energiat kui Päikese oma. Et aga α Orionis'e absoluutne heledus ületab Päikese heledust 34 000-kordselt, peab ta pindala olema 2500 korda suurem ja läbimõõt moodustama 500 Päikese läbimõõtu. Meie planeetide-süsteem kuni Marsini mahuks vabalt α Orionis'esse, Maapealsele vaatlejale paistab aga α Orionis'e ketas 0",051-lise nurga all, seega umbes nii suurena nagu kahesendine raha 80 kilomeetri kauguselt. Igas pikkilmas paistab see ikkagi punktina.

Et α Orionis'el puudub kaaslane, ei saa ta massi otseselt arvutada. Massi-heleduse seose järgi võib aga ta massi hinnata 35-kordse Päikese massi suurusks. Kui see õige on, peab α Orionis olema väga

1) Heledaim täht Orioni tähtkujus. Eesti rahvasuus on Orioni tähtkujut tuntud Koodi ja Rehana.

hõre, igatahes 1000 korda hõredam kui Maa atmosfäär. See on tihedus, mis valitseb hästi-evakueeritud (õhust tühjendatud) nn. Geissler'i torudes, ja kui tähte ümbritsev ruum ei oleks veel tühjem, võiksim α Orionis'e ruumala pidada peaaegu absoluutseks vaakuumiks. Meteoorid, mis Siiriuse kaaslaste peale kukkudes puruneksid põrkest vastu äärmiselt tihedat pinda, võivad, langedes Betelgeuzele ja läbides ta veel palju hõredamat atmosfääri, tungida sügavasse tähe sisse, ilma et ümbritsev keskkond palju nende liikumist takistaks. Alles valitsev kõrge temperatuur sunnib lõpuks meteoori muutuma gaasiks ja sulama ühte tãhega.

Olgugi et oleme arvanud Betelgeuze tiheduse tehes hüpoteese ta massi kohta, võib teatud teistelgi põhjustel väita ta aine erakordset hõredust. Oletades, et Betelgeuze tihedus oleks võrdne ühe kümnen-dikuga vee tihedusest, saaksime ta massina neli miljonit Päikese massi. Niisuguse suure taevakeha korral aga oleks eespool Siiriuse kaaslaste puhul selgitatud Einsteini efekt niivõrd suur, et ükski valguskiir ei pääseks tähe pinnalt tulema. Teiseks oleks üldise relatiivsusteooria järgi tähte ümbritseva ruumi kõverus nii suur, et ruum ta ümber oleks suletud; mingi mõeldava füüsikalise abinõuga ei saaks me sealt teateid ja kuidagi ei pääseks me seda tähte ümbritsevasse ruumi. Täht oleks meie suhtes olematu. Et aga me näeme Betelgeuzet niisamuti nagu teisigi tähti ja et miski ei lase oletada, et ta pinnal oleks raskuskiirendus erakordselt suur, siis peame nõustuma ta arvutuste järgi väikese tihedusega.

5. Algol.

Algol ehk β Persei on huvitav seepoolest, et ta nagu palju teisigi tähti muudab perioodiliselt oma

heledust. Iga 2 päeva 20 tunni 48 minuti ja 53,8 sekundi järel laskub ta heledus teisest tähesuurusest kuni 3,3. tähesuuruseni, et siis jälle võrdlemisi kiiresti endise heleduseni tõusta. Kahe suurema miinimumi vahel on veel väike nn. kõrvalmiinimum, mis Algoli juures on märgatav alles väga täpsete mõõtmiste abil, kuid mis teistel seda tüüpi muutlikel tähtedel võib olla kaunis tunduv ja muutub eriti suureks Algoli tüüpi muutlikega sarnlevate β *Lyrae* tüüpi muutlike korral. Spektroskoopilised uurimised näitavad, et Algol on analoogiliselt Kapellaga spektroskoopiline kaksiktäht, mille komponentide tiirlemis-aeg ühtib täpselt heleduse muutuse perioodiga. Sellest võib teha ainult üht järeldust: Algol on kaksiktäht, millest üks komponent on tumedam kui teine ja mis tiireldes teineteise ümber tasapinnas, mis ligikaudu läheb läbi vaateleja asukoha Maa, perioodiliselt katavad teineteist. Kui tumedam kaaslane läheb heledama ette, on tegemist peamiinimumiga, ümberpöörduvalt jälle, kui heledam läheb tumedama ette, on tegemist kõrvalmiinimumiga. Kiiruste kõverast koos heleduse muutuse kõveraga võib tuletada süsteemi massi, tiheduse, komponentide omavahelise kauguse jne., ilma et kunagi suudetaks kumbagi tähte näha pikksilmas eraldi, liiatigi siis veel mõõta. Järgnevas on esitatud Algoli süsteemi kohta mõned arvulised andmed:

heledama komponendi	mass	4,72	Päikese massi
"	raadius	3,12	" raadiust
"	tihedus	0,16	" tihedust
nõrgema	mass	0,95	" massi
"	raadius	3,68	" raadiust
"	tihedus	0,02	" tihedust
komponentidevaheline	kaugus	10 522 000	kilomeetrit = 0,07
astronoomilist ühikut	= 2,5	heledama komponendi	raadiust

Nagu esitatud andmeist nähtub, on komponentidevaheline kaugus võrreldes tähtede läbimõõduga väike,

ja teiste sama tüüpi muutlike juures ei ole see sugugi suurem. β *Lyrae* tüüpi tähtedel puutuvad koguni mõlemate tähtede pinnad kokku. Viimase asjaoluga on ka seletatav, miks Algoli ja β *Lyrae* tüüpi tähed pole nii haruldased: tõenäosus, et kaks teineteisele lähedal tiirlevat tähte antud sihis teineteist kataksid, ei ole väga väike.

Et tähed asuvad teineteisele lähedal, siis vastastikuse külgetõmbe tagajärjel nende pinnal esineb väga kontrastselt tõusu ja mõõna nähtus. Kummalgi tähel on kohtades, kus teine täht on seniidis (lagipunktis) või nadiiris (jalgpunktis, kera vastaspoolel), tõus, neist kohtadest 90° eemal aga mõõn. Tähed on pikergused ellipsoidid, pikema teljega teineteise poole. Kui tähed pöörlevad oma telje ümber kiiremini süsteemi tiirlemisajast, siis peab tõusu- ja mõõnalaine liikuma üle tähe pinna, sest täht pöörab alati eri külje teise poole. Sellest tekkiv hõõrumine aga aeglustab pöörlemist, nii et lõpuks jõuab kätte olukord, kus mõlemad tähed hoiavad alati üht ning sama külge teineteise poole, tiireldes sama perioodiga nagu pöörlevad.

Pöörlegu mingi gaaskera ümber telje, mis on risti vaatejoonega, ja olgu ta meist niisuguses kauguses, et ta näiv läbimõõt on taandunud üheks punktiks. Need gaaskera osad, mis pöörlemise tõttu meist kaugenevad, põhjustavad spektrumijoonte nihkumist punase poole, osad aga, mis lähenevad, nihutavad spektrumijooni sinise poole. Gaaskera ketta keskoht, mis liigub risti vaatejoonega, ei põhjusta mingisugust joonte nihkumist. Et aga gaaskera asub meist nii kaugel, et pole võimalik vaadelda ta ketta üksikuid osi, siis satuvad spektroskoopi kera lähenevaist, paigalseisvaist ja kaugenevaist punktidest tulevad kiired, mistõttu osa spektrumijoonest nihkub sinise, teine punase poole, kuna osa jääb paigale. Spektrumijoon muutub laiaks. Teades spektrumijooneteoreetilist kuju võib mainitud muutustest arvutada tähe pöörlemisaja. Kujutleme nüüd, et kõnealusel gaaskeral kaetakse suurem osa nähtavast kettast kinni ja jäetakse lahti ainult kitsas äärmine riba, mis näiteks pöörlemise tõttu meist kaugeneb. Tagajärjeks on see, et spektrumis

spektrumijooned nihkuvad punasele poolele — võrreldes asendiga, kus nad olid katmata ketta korral. Niisugusel juhul saame spektroskoobi abil määrata gaaskera pöörlemist. Kirjeldatud juhus esineb Algoli tüüpi muutlike juures, kus üks täht teist kattes natuke enne täielise varjutuse algust ja pärast selle lõppu jätab vabaks ääre, mis pöörlemise tõttu meile läheneb või kaugeneb. Nii on mõõdetud Algoli pöörlemisaega ja leitud, et see on (mõõtmisvea piirides) ühtiv sama süsteemi tiirlemisperioodiga, nii nagu seda teoreetiliste arutluste alusel loomulikuks on peetud.

Et mõlemad komponendid asuvad teineteisele õige lähedal ja nad alati hoiavad üht ning sama külge teineteise poole, soojendavad mõlemad tähed teineteist, mis pärast kummalgi üks külg on kuumem ja kiirgab enam valgust kui teine. Olles asendis, kus tähti ühendav sirge on risti vaatejoonega, näeksime tähele küllalt lähedal viibides mõlemal komponendil poolt ketast heledamana teisest poolest, kusjuures nõrgemal tähel on nähe kontrastsem. Süsteemi tiireldes muutub ühe komponendi faas kasvavalt ja teise oma kahanevalt, kuni varjutuse algul oleks üks tähtedest pööratud Maa poole heledama, teine aga tumedama küljega. On arusaadav, et seletatu põhjal peab, kui arvestada veel, et mõlemad tähed on elliptilised, süsteemi summaarne heledus muutuma ka miinimumide vahel. Eriti on see kontrastne, kui mõlemad tähed asuvad teineteisele lähedal, sest et siis vastastikune soojendus ja tähtede elliptilisus on suurem. Viimane on β *Lyrae* tüüpi tähtede juhtum, kus komponendid puutuvad isegi pinnaga teineteise külge, ja on tähti, mille kohta võib oletada, et komponendid pole üldse teineteisest eraldunud, moodustades üht pikergust, keskelt natuke kokkunõõritud tähte. Ei saa niisugusest juhust mööduda, ilma et ei tekiks hüpotees, nagu oleks siin tegemist kaksiktähe sünniprotsessiga.

6. δ Cephei.

Kuna kirjeldatud Algoli ja β Lyrae tüüpi muutlike seletamine õnnestub kaksiktähe-hüpoteesi alusel ja näib olevat kindel, et sellega on tabatud kaunis lähedalt tõde, on nn. δ Cephei tüüpi muutlike, või nagu neid lihtsamalt nimetatakse, tsefeiidide valguse muutumine palju mõistatuslikum. Nimetatud muutlike tüüpiline esindaja δ Cephei muudab 5,5 päeva jooksul oma heledust, laskudes maksimumist kuni miinimumini 4 päeva kestel, et 1,5 päeva pärast jälle maksimumini jõuda. Periood on väga korrapärane ja heleduse muutumisega seltsib ka värvuse, spektrumitüübi ja radiaalkiiruse muutumine, niisamuti väga korrapäraselt. Seletada tsefeiidide kaksiktähtedena, analoogiliselt Algoli ja β Lyrae tüüpi muutlikega, ei õnnestu. Seletus, mille järgi tsefeiidid on β Lyrae taolised muutlikud, kus mõlemad tähed on veel moodustumisel, nii et kogu täht on pirnikujulise välimusega, mille pöörlemisest tekibki heleduse ja radiaalkiiruse muutus, sisaldab eneses palju vasturääkivusi ega suuda küllalt rahuldavalt seletada kõiki nähtusi. Tõenäosem on nn. pulsatsioonihüpotees. Selle teooria järgi on täht mingil välisel või ka sisemisel põhjusel viidud tasakaalust välja, nii et ta on hakanud paisuma. Paisumisel aga kahaneb ta temperatuur, millega kaasuvalt väheneb ka kiirgusrõhk, mis tähe tasakaalus mängib tähtsat osa. Täht ei suuda enam suurena püsida ja hakkab kokku tõmbuma. Inertsuse tõttu ta läheb aga tasakaalu-seisundist üle ja tõmbub kokku niipalju, et tekkivast temperatuuri tõusust kiirgusrõhk ta uuesti laiali ajab, kust protsess uuesti korduma hakkab. Täht paisub ja tõmbub kokku, või nagu seda nimetatakse, pulsib. Pole raske näha sellega kaasuvat heleduse, radiaalkiiruse, spektrumitüübi jne. muutumist. See

hüpotees on praeguse teaduse seisukohast kõige tõenäosem, olgugi et ka temas leidub palju nõrku kohti.

Eriti huvitav on tsefeiidide juures seos perioodi ja absoluutse heleduse vahel. Selle seose abil võib, teades tsefeidi perioodi ja sellest järgnevat absoluutset heledust, arvutada näiva heleduse abil ta kauguse. See kauguse määramise viis on üks täpsemaid ja ta tõhusus ei ole piiratud, nii nagu näiteks aasta- ja sekulaarparallaksi puhul, objekti kaugusega. Kui ainult saame mõõta perioodi, leiame otsekohe ka kauguse. Peatume natuke selle juures, kuidas avastati ja arvutati see viljakas seos.

Tsefeide leidub peaaegu taeva igas osas, kuid eriti palju on neid taeva lõuna-poolkeral asetsevas nn. Magalhães'i pilves, s. o. sadadest tuhandeist üksikliikmeist koosnevas tähtede koondises. Uurides nimetatud täheparve järjekindlate ülesvõtete seeriat leiti, et tsefeiidid Magalhães'i pilves on näilikult seda heledamad, mida pikem on nende periood. Et Magalhães'i pilves leiduvad tähed praktiliselt asuvad kõik meist võrdses kauguses, siis peab seos ka tegelikult valitsema perioodi ja heleduse vahel, sest kõigilt nimetatud tähtedelt tulev valgus on kauguse tõttu nõrgenenud ühes ning samas proportsioonis. Et leitud seost kasutada tähtede kauguse mõõtmiseks, peame teadma Magalhães'i pilve kaugust kas kilomeetreis või suuremais ühikuis, valgusaastais. Tegelikult on aga mainitud tähekoondise trigonomeetrilise parallaksi leidmine ta suure kauguse tõttu võimatu. Õnneks aga on rida tsefeidide Päikesele võrdlemisi lähedal, nii et nende parallaksi määramine osutus võimalikuks ka teisel teel. Nagu juba eespool esitasime, muudavad tähed Päikese liikumise ja omaliikumise tõttu oma asendit taevavõlvil ja seda enam, mida lähemal nad meile asuvad. Shapley'l, kes teostas vastavaid uurimisi, oli kasutada

11 tsefeidi omaliikumine. Jagades iga omaliikumise kahte komponenti, millest üks oli Päikese liikumisele vastupidine, teine sellega risti, selgus, et viimane on üldiselt väike ja täiesti juhusliku iseloomuga. Arvestades tähendatut võib tsefeiidide liikumist seletada lihtsalt Päikese liikumise vastupeegeldusena. Analoogiline nähtus esineb sõites rongiga läbi metsa, kus puud näivad liikuvat vastassuunas rongi liikumisele. Teades Päikese liikumise kiirust, mis on arvatav samade tähtede radiaalkiirusest, võib leida tähe kaugust valgusaastais. Rakendades toodud statistilist uurimisviisi leidis Shapley perioodi-heleduse seose jaoks ka kaugus-skaala, avades ühtlasi võimaluse arvutada ka neid kaugusi, kuhu ei ulatu enam trigonomeetrilise parallaksi mõõtmise meetod.

Peale perioodi-heleduse seose on tsefeiidide juures kehtiv ka perioodi-tiheduse relatsioon, nii et tiheduse ruudu ja perioodi korrutis on kõikidel tsefeiididel üks ning sama konstant. Selle seose abil, millel on teoreetilistes arutlustes suur tähtsus, võib arvutada ka tsefeiidide tihedust. Selgub, et kõik nad on väikese tihedusega hiidtähed.

7. Mira Ceti.

Peale tsefeiidide, mille periood ulatub päeva murdosadest kuni kümnete päevadeni, on olemas teisi sama iseloomuga, kuid heleduse korrapäratuma muutusega nn. pikaperioodilisi muutujaid, mille tüüpiliseks esindajaks on *Mira Ceti*. Selle huvitava tähe leidjaks oli friisi vaimulik Fabricius. 12. augustil 1596 vaatles ta teist suurusjärku tähte *Cetus*'e ehk Vaala tähtkujus, mis enne sealt oli puudunud. Kaks kuud hiljem oli täht jälle kadunud, et mõne aja pärast uuesti ilmuda taevavõlvile. Et enne 1596. aastat ei tuntud ühtki muutlikku tähte, siis oli see uudiseks, ja nii andis Fabricius sellele iseäralisele objektile nimeks *Mira Ceti*, s. t. „imelik täht Vaala tähtkujus“. Hiljem

langesid Fabriciuse sellekohased vaatlused unustusse, kuni alles 200 aastat hiljem hakati teatud tähtede heleduse muutumisele tähelepanu pöörama. Kõik tüübid kokku arvatud, ulatub praegu tuntud muutlike tähtede arv üle 7000.

Mira Ceti heledus kõigub üheteistkümne-kuuse perioodiga teisest tähesuurusest kuni üheksanda tähesuuruseni. *Mira* spektrum, kuuludes Secchi kolmandasse tüüpi, muutub tugevasti perioodi kestel, kusjuures mõned absorptsioonjooned, eriti aga vesinikule kuuluvad, muutuvad emissioonjoonteks. Üksikute elementide järgi määratud radiaalkiirused tõendavad, et tähe atmosfääris toimuvad tormilised liikumised.

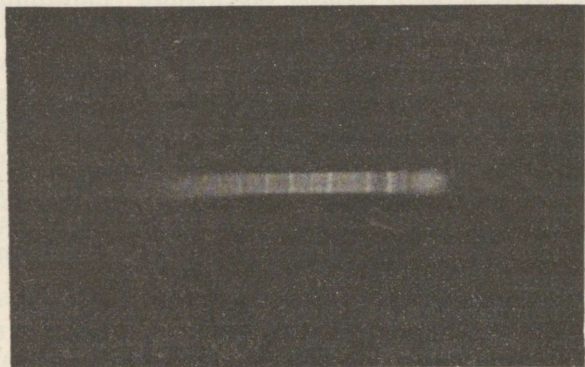
Heleduse muutus *Mira Ceti* juures peitub arvatavasti niisamuti nagu tsefeiididelgi radiaalses pulsatsioonis, kuid lisaks seltsivad veel paljud teised tegurid, näiteks keemiliste ühendite tekkimine atmosfääris, mis tiheda loorina tähe pinda kattes hoiavad tagasi sealt kiirgavat valgust, tehes seetõttu heleduse muutumise korrapäratuks. Ka *Mira Ceti* taoliste tähtede juures näib kehtivat, olgugi mitte nii täpselt nagu tsefeiidide puhul, tiheduse-perioodi seos ja on olemas sugemeid ka heleduse-perioodi seoseks.

Mira Ceti läbimõõt osutub arvutamisel suurusjärguliselt võrdseks Betelgeuze läbimõõduga, tihedus aga isegi väiksemaks. 1923. aastal, millal *Mira Ceti* oli miinimumis, leiti ta kõrval, ainult ühe kaaresekundi kaugusel, nõrk täheke, mis omades sama omaliikumist kuulub *Mira*'ga ühte füüsilisse süsteemi. Et kaaslase avastamisest on möödunud liiga vähe aastaid, pole suudetud mõõta tiirlemisaega ega arvutada sellest ta massi. Mõned asjaolud, eriti aga ta värvus, lubavad oletada, et siin on meil jällegi tegemist äärmiselt tiheda valge kääbusega. Kui see nii on, siis on loodus küll tahtnud nalja teha, paigutades kõrvuti kaks tähte,

millest ühe aine on nii hõre, et tuhandeid kantmeetreid kaalub ainult ühe kilogrammi, kuna teise tähe kuupsentimeetri-suuruse tüki raskust tuleb kaaluda kümnete tonnidega.

8. Uued tähed.

Tihti süttib taevas, kohal, kus enne polnud varustamata silmaga näha midagi, põlema täht, mis mõnikord võib oma heleduselt ületada Veenust ja olla nähtav isegi päeval. Enne fotoplaadi tarvituselevõttu oli uus täht ehk *nova* suureks harulduseks, nüüd aga, kus taevast süstemaatiliselt jälgitakse, fotograafides seda igal selgel ööl, ei kuulu uute tähtede avastamine enam nii suurte harulduste hulka. Keskmiselt leitakse paari aasta kohta üks uus täht, kuid harilikult on need nõr-



Nova Herkulis'e spektrum, fotograafitud Tartu tähetorni objektiivprismaga. Spektrumis on näha tumedaid neeldumis- ja heledaid emissioonjooni.

gad, varustamata silmale nägematud. Heledad *nova*'d on ikkagi haruldased. Nagu vanu fotoplaate järele vaadates selgub, on iga uus täht olnud enne süttimist

nõrk täheke, nii et tegelikult on *nova* ilmumine nõrga, peaaegu kustunud tähe uuestisüttimine. Nii oli *Nova Herculis* enne ilmumist 14. novembril 1934 tehtud ülesvõttele ainult 15 tähesuurust hele ja mõne päeva või isegi tunni kestel pidi ta heledus kasvama 13,5 tähesuuruse võrra, seega umbes 250 000 korda tugevamaks. Otsekohe pärast avastamist tehtud spektroskoopilised mõõtmised andsid tähe paisumiskiiruseks 1000 kilomeetrit sekundis. Selle järele suurenes ta läbimõõt 24 tunni jooksul 170 miljonit kilomeetrit ehk rohkem kui Päikese-Maa vaheline kaugus. *Nova* juhul näib olevat tegemist kohutava plahvatusega. Teisiti ei saa nimetada seda protsessi, kus nii kiiresti vabanevad tohutud energiahulgad.

Pärast heleduse järsku kasvu püsib uus täht konstantsena ja hakkab siis valguse kõikudes nõrgenema. Sellega käib kaasas spektrumi muutumine. Süttimisel on tavaliselt näha pidev tagapõhi, mida läbivad tumedad absorptsioonjooned ja mõned üksikud heledamad emissioonjooned. Tähe heleduse nõrgenemisel läheb ka spektrumi tagapõhi nõrgemaks, heledad jooned muutuvad domineerivaks ja kui *nova* arenemine on jõudnud lõpuni, s. o. kui ta heledus jääb konstantseks, on spektrum muutunud nn. planetaarsete udude spektrumi sarnaseks. Täht on muutunud udukoguks.

Missugused on põhjused, mis sunnivad tähte nii kiiresti ja nii määratul hulgal kiirgama valgust, ei ole veel täiesti selge. Ühelt poolt arvatakse, et iga täht oma arenemiskäigul jõuab kord seisundisse, kus mingil võib-olla tühisel välisel põhjusel, näit. hiigelmeteoori langemisel tähesse, tas aine hakkab kiiresti muutuma energiaks. Tekkiva suure kuumuse ja kiirgusrõhu tagajärjel paisatakse tähe aine laiali. Suur kiirgamine kestab niikaua, kuni on ära tarvitatud

aktiivse aine tagavarad, või kuni tingimused aine lagunemiseks on muutunud ebasoodsaks, näiteks rõhk tähe sisemuses on paisumise tõttu muutunud liiga väikeseks. Täht tõmbub siis uuesti kokku, jäädes püsima nn. pärast-*nova*-aegsesse seisundisse. Esitatud vaate järgi on *nova*-staadium iga normaalselt areneva tähe üks faas, ja ka Päike peaks kord jõudma sellesse seisundisse. Kujutleme ainult, missugune katastroof järgneks sellele! Paari tunni kestel kasvab Päikese kiirgus 200 000 korda suuremaks. Ainult mõne minuti jooksul on kadunud elu ja Maa pind on muutunud sulavate mineraalide mereks. Päikese läbimõõt kasvab kiiresti; 24 tunni pärast ta ulatub juba Maani ja paari nädala järel Jupiterini. Siis jääb arvatavasti paisumine seisma. Päike tõmbub uuesti kokku, kuid mitte palju. Kõik lähemad planeedid on sulanud Päikese hõõguvas kehas, on liitunud temaga. Süsteemi kaugeimal liikmel Plutol aga valitseks siis umbes niisamasugune temperatuur, nagu see on praegu Maakeral.

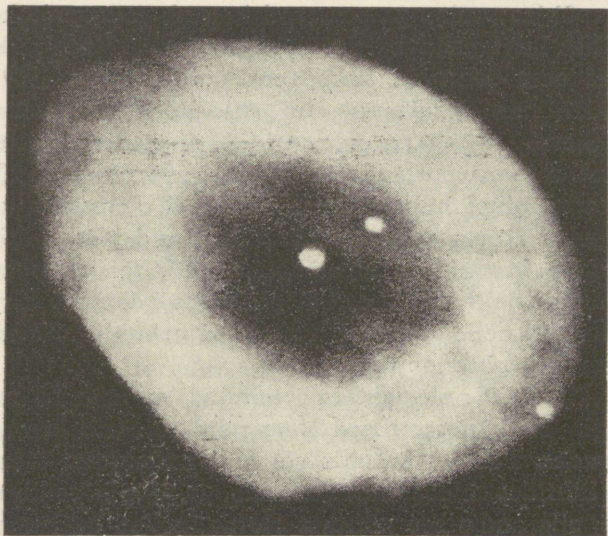
Teiselt poolt on aga esitatud väga tõenäoseid hüpoteese, mille järgi uued tähed kuuluvad eriliste muutlike tähtede, nn. U *Geminorum*'i rühma, selle vahega, et nende periood on tavaliste muutlike perioodiga võrreldes väga suur. U *Geminorum*'i tüüpi muutlikud tähed püsivad konstantses heleduses, et siis teatavate korrapäratute ajavahemike järel järsku heleduses tõusta ja hiljem pärast lühiajalist kõikumist jälle endisse heledusse laskuda. Seejuures selgub, et mida suurem on heleduse kasv, seda pikem on järgnev vahemik heleduse uue tõusuni. Vaatlusandmeist saadavate empiiriliste valemite abil võib arvutada seni ilmunud uute tähtede perioodi. Viimane osutus nii suureks, et ajaloolisel ajal ei ole ükski *nova* suutnud teiskordselt ilmuda. Mitmesuguseil kaalutlustel võib

jõuda veendumusele, et hariliku tähe eluiga ühest *nova*-seisundist teiseni — oletades, et iga täht jõuab kord sesse staadiumi, — on 10^9 aastat. Vastavalt sellele peaks ta *nova*'ks muutudes kasvama heleduses 18 tähesuuruse võrra. Niisugune suur tõus on aga ebatõenäone ja seda pole ka kunagi vaadeldud. *Nova*-seisukord oleks ikkagi erandjuhuks tähtede seas.

9. Planetaarsed udud.

Mitte väga kaugel heledast tähest Veegast asub Lüüra tähtkujus huvitav objekt. Väheema suurendusega pikksilmas paistab ta roheka kettana, tuletades meelde planeeti, suurema suurenduse korral aga näib koosnevat eri heledusega pidevalt üksteise sisse sulavaist kontsentrilistest keradest, mille tsentrumit moodustab valge udune täht. Objekte, mille tüüpiliseks esindajaks on kirjeldatud Lüüra rõngasudu ja mille koguarv ulatub 130—150 üksikliikmeni, hüütakse nende planeedisarnase pildi tõttu planetaarseiks uduks. Nende näiv läbimõõt ulatub ühelt poolt kuni ühe kaareminutini, teiselt poolt aga nii väikeste suurusteni, mis ka kõige suuremais pikksilmis paistavad punktina ja mille udu-iseloom selgub alles spektroskoobis. Planetaarsete udude olulisemaks osaks näib olevat tsentraaltäht, mille eksistentsi 70-st läbiuuritud objektist 55 puhul võis kindlaks teha, kuna ülejäänuil selle olemasolu võis aimata. Kõik nad on, nii nagu spektroskoopilised uurimised tõendavad, väga kuumad tähed (isegi üle $40\,000^\circ$), mis emiteerivad suurema protsendi oma valgusest ultravioletse kiirgusena, mistõttu nad silmale paistavad nõrgemana kui fotoplaadile. Mõõdetud parallakside järgi on lähimate planetaarsete udude kaugus 300 ja 1000 valgusaasta vahel, millest järgneb nende ruumiline ulatus, mis on üle 1000 korra suurem Päikese süsteemi ulatu-

sest. Niisamuti selgub tsentraaltähe väike, kolmandasse spektrumitüüpi kuuluvate kääbustähtedega sarnlev absoluutne heledus. Et aga kuumad tähed, välja arvatud valged kääbused, väljaspool planetaarseid udusid on kõik suure absoluutse heledusega ja et ei ole näha põhjusi, miks nad planetaarseis ududes peak-



Planetaarne udu Lüüra tähtkujus.

sid olema teisiti ehitatud, siis tuleb oletada, et nende valgus on nõrgenenud ümbritseva valgustneelava uduaine tõttu. Mitmeist andmeist, eriti aga mõõdetud pöörlemisest võib hinnata planetaarsete udude massi. Selgub, et see ei ületa Päikese süsteemi massi rohkem kui kümnekordselt. Arvestades aga nende dimensioone, peab oletama udu materia väga suurt hõredust, pealegi kui kaaluv osa ainekond on koondunud veel tsentraaltähesse. Tihedaimad kohad peavad olema

vähemalt miljon korda hõredamad kui Maa atmosfäär. Udu välistes osades on temperatuur igatahes väga madal, sest muidu hajuks gaas ümbritsevasse veel hõredamalt ainega täidetud ruumi.

Planetaarsete udude spektrum koosneb üksikuist peamiselt heeliumile, vesinikule, hapnikule ja lämmastikule kuuluvaist heledaist joontest ja nõrgast tagapõhjust, mis aga enamasti kuulub tsentraaltähele. Erilist huvi pakuvad aga spektrumi rohelises ja kollases osas esinevad kaks spektrumijoont λ 4957 ja λ 5007, mis ei lasknud end kuidagi identifitseerida Maakeral leiduvate elementide spektrumijoontega. Enne aatomiteooria moodsat arengut oldi sunnitud oletama mingi hüpoteetilise elemendi olemasolu udukogudes. Niisamasuguseid selgitamatuid jooni leiti ka Päikese kroonis ja virmalistes. Olgugi et polnud võimalik neid hüpoteetilisi elemente lähemalt kirjeldada, anti neile vastavad nimetused nebuulium, koroonium ja geokoroonium.

Mainitud elementide otsimine ei andnud tagajärgi. Et hüpoteetilised elemendid esinesid kas udukogudes, Päikese kroonis või Maa atmosfääri ülemistes kihtides, üldse seal, kus aine on väga hõredas olekus, siis andis see põhjust oletuseks, et selgitamata spektrumijoonte olemasolu ei ole tingitud hüpoteetilisest elementidest, vaid meile juba tuntud ainete erilisest seisundist, mis on tingitud seal valitsevast väga väikesest tihedusest. Seda oletust näib kinnitavat ka tõsiasi, et elementide perioodiline süsteem ei anna mingit võimalust paigutada sinna mainitud elemente. Hiljem aatomiteooria arenguga avanes tõepoolest võimalus tehtud oletuse tõestamiseks.

Aega, mille kestel mingi aatomi elektronid püsivad oma teedel, nimetatakse aatomi elueaks. Tavaliselt on see väga väike, olles 10^{-7} sekundi piirides. See

tähendab, et selle aja jooksul aatom kiirgab korra valgust. Udukogude spektrumeid uurides näitas Bowen, et kõik aatomite seisundid ei ole ühesuguse elueaga. Nn. metastabiilsete aatomite eluiga on märksa suurem, ulatudes isegi sekunditeni. Gaaside tavalise tiheduse juures, nagu see esineb kinnistähete atmosfääri alumistes kihtides, on üksikute gaasiosakeste kokkupõrked nii sagedased, et iga 10^{-8} sekundi järel teatud aatom põrkab kokku teisega. Et aga normaalse elueaga aatom juba iga 10^{-7} sekundi järel kiirgab, siis on kahe aatomi kokkupõrke vahel ikkagi veel selleks aega küllalt, et osa aatomeid kaotaks energiat valguse näol. Metastabiilse, suure elueaga aatomi korral põrkab aga antud aatom teisega kokku alati enne kiirgamise toimumist ja energia kulutatakse gaasiosakeste liikumise suurendamiseks. Olgugi et teoreetiliselt ka metastabiilne aatom annab spektrumijooni, ei ole eelneva põhjal tavaliste tiheduste korral võimalik neid vaadelda. Seepärast nimetatakse metastabiilse aatomi spektrumijooni ka keelatud joonteks, sest arvati, et mingi looduseaduse põhjal nende ilmumine on keelatud.

Udukogus valitseb hoopis teissugune olukord kui kinnistähete atmosfääris. Siin on aine laboratoorsel teel saavutamatus hõredas olekus, nii et aeg kahe gaasiosakese kokkupõrke vahel on küllalt suur selleks, et ka metastabiilne aatom saaks kiirata. Vastavalt sellele esinevad ka spektrumis niisugused jooned, mida maistes tingimustes pole võimalik vaadelda. Esitatud arutluse abil läks Bowenil korda näidata, et mõlemad nebuuliumijooned, λ 4957 ja λ 5007, kuuluvad ioniseeritud hapniku metastabiilsele aatomile, ja ühtlasi tõestada planetaarsete udude erakordset hõredust.

10. Orioni udu.

Orioni tähtkujus veidi allpool kolme reastikku asetsevat tähte esineb juba varustamata silmale märgatav udune laik. Pikksilmas vaadatuna muutub ta



Kaootiline udumass Orioni tähtkujus. korrapäratuks, helendavat pilve meenutavaks uduks, mis äärte poole nõrgenedes täidab kogu Orioni tähtkuju. Spektroskoopiliste uurimiste tulemusena võib

väita, et Orioni udu koosneb äärmiselt hõredast gaasist, mis teda ümbritsevate ja ta sees asetsevate tähtede valgusest on aetud hõõguma. Kohati, kus tähti pole läheduses või kus muudel põhjustel helendamine on takistatud, on udu tume, kattes tagaolevaid tähti. Tihti aga koosneb niisugune tume udu ka üksikuist äärmiselt pisikestest tolmu- ja gaasipõhjustest, millel kohati peegeldub tähtede valgus. Väga kontrastselt on see märgatav täht ζ *Orionis*'e läheduses. Helendavaid ja tumedaid gaasikui ka meteoritolmu pilvi leidub peaaegu taeva igas osas, eriti sagedasti aga Linnutee vöös.

VIII. Ainest tähtedevahelises ruumis.

Hoolimata tehnilistest edusammudest õhupumpade valmistamise alal ollakse ikkagi tõelise vaakuumi saavutamiseks väga kaugel. Enne kui vaakumnõu tühjaks pumbatakse, on sealse õhu aatomite koguarv avaldatav numbriga, mille nullide arv on 20. Põhjalik tühjaspumpamine tähendab aatomite arvu vähendamist viie kuni seitsme numbrikoha võrra, s. o. esialgselt õhust on sinna jäänud ainult üks kümnemiljonid, kuid sellest hoolimata on aatomeid seal veel määratu hulk. Eespool kirjeldatud hiidtähed Betelgeuze ja Mira Ceti on enam kui 1000 korda hõredamad õhust. Me võiksime, kui tähte ei ümbritseks veel suurem tühjus, nimetada seda juba küllalt suureks vaakuumiks. Tänapäev pole raske saavutada nii tühja ruumi, kuid endistel aegadel oli hiidtähtede tihedus tehniliselt raskesti saavutatavaks tühjaks ruumiks. Planetaarsed ja gaasunud on veel hõredamad. Me võiksime nimetada ruumi, kus iga kahe aatomi vahe on üks kümmen-

dik millimeetrit, laboratoorsest seisukohast lähtudes ehtsaks vaakuumiks, mis on tehnikas unistatud eesmärgiks. Udukogudes on see saavutatud ja isegi ületatud.

Planetaarseil, eriti aga gaasududel ei ole teravaid piirjooni: nende aine hajub pidevalt ümbritsevasse ruumi. Võib oletada, et tiheduse vähenemine muutub aeglasemaks kaugusega udugogust ja et enne kui jõuame ühest udust välja, satume juba teise. Teisiti öeldud, kogu tähtedevaheline ruum ei ole ainetühi selle sõna kõige otsekohesemas ning valjemas mõttes. A. S. Eddington'i hinnangu järgi tuleb kohas, mis on küllalt eemal ududest ja tähtedest, iga ühe kuupsentimeetri peale üks aine aatom. See jääb täiesti meie teha, kas me ruumi, kus iga sentimeetri peale tuleb üks aatom, nimetame tühjaks või mitte. Igatahes on see aga veel küllalt suur tihedus võrreldes ruumiga, mis asub kaugel tähtedesüsteemidest.

Olgugi et maiste tihedustega võrreldes isegi tähtedevahelistest tihedusest tuhandeid kordi tihedamad udugogud on veel täielised vaakuumid, läbib valguskiir tähtedevahelisi suuri kaugusi arvestades ikkagi küllaldaselt ainet selleks, et analoogiliselt tähtede atmosfääriga spektrumis ilmuksid tumedad jooned. Kuna tähtede atmosfääri jooned on tähtede liikumise tõttu nihutatud punasele või violetsele poolele seejärgi, kas täht meile läheneb või kaugeneb, on interstellaarse (tähtedevahelise) aine spektrumijooned jäänud oma kohale. Eriti tähelepanuväärne on mainitud tõik spektroskoopiliste kaksiktähtede korral, kus spektrumijooned perioodiliselt liiguvad punasele või violetsele poolele, tähtedevahelisest ainest tingitud, peamiselt ioniseeritud naatriumi ja kaltsiumi jooned püsivad aga paigal, sest et neid tekitav meedium ei võta osa komponentide liikumisest. Interstellaarse kalt-

siumi ja naatriumi jooni võib märgata peaaegu taeva igas osas ja seega veenduda tõsiasjas, et tähtedevaheline ruum pole sugugi tühi selle sõna kõige valjemas mõttes. Tähtedesüsteem näib ujuvat ookeanis — mitte tühja ruumi ookeanis, mitte ka ookeanis hüpoteetilisest eestrist, vaid ookeanis, millel on niipalju massi, et iga kuupsentimeetri peale tuleb üks aatom.

Nüüd tekib aga huvitav küsimus: miks on aine aatomid väljaspool tähti, eemal kõrgest temperatuurist, ioniseeritud? Näib esialgu olevat loomulik, et aine, mis on paigutatud tingimustesse, mis valitsevad eemal tähtedest, ei ole sunnitud kaotama elektrone ega seetõttu muutuma positiivselt laetud iooniks. Klassilise valgusteooria seisukohast oleks tõepoolest raske seletada interstellaarse aine ionisatsiooni. Moodsa füüsika seletuse järgi sünnib valguse edasiandmine üksikute, olgugi väikeste, kuid lõplikkude osade kaupa, nn. kvantidena. Valguse nõrgenedes kauguse ruuduga ei vähene mitte kvandi energia, vaid tõenäosus, et kvant satub mingile esemele ja seega tajutavaks muutub. Valgus, mis ioniseerib aatomit, on suuteline tegema seda ka veel miljoni- ja enamkordse nõrgendamise korral; ta teeb aga seda miljon korda harvemini. Teisiti väljendatuna: nõrgenenud valguslaine korral peab aatom kauemini ootama, kuni mingi kvant temale sattudes ta ioniseerib. Kui ta aga ioniseeritakse, siis sünnib see sama jõuga, kui oleks see sündinud ka nõrgenemata valguse korral. Valguse lainetus erineb seepoolest väga palju veepinna lainetusest. Vee laine, mis algul küllalt võimas on paati kummutama, suudab nõrgenedes seda vaevalt kiikuma panna. Ennem sarnleb valgus kahurist lastud mürsuga, mille tabavus kahaneb kaugusega. Lähemale ruutmeetrilisele märgile satub palju enam laske kui kaugemale; kui aga tabamus sünnib, siis toimub lõhke-

mine ühesuguse jõuga, hoolimata kaugusest, kus see sünnib.

Maailmaruumis, kus tähtedelt tulev valgus on väga nõrk, on tõenäosus, et valguskvant satub aatomile, väga väike; kuid veel väiksem on tõenäosus, et ioon satub kokku vaba elektroniga, mis temaga ühineb moodustaks neutraalse aatomi. Suurem osa ainest interstellaarses (tähtedevahelises) ruumis peaks seetõttu olema ioniseeritud, kooskõlas spektroskoobi abil saavutatud vaatlusandmetega.

Tavaliselt kujutellakse maailmaruumi väga külmana. On täiesti õige, et termomeeter näitaks eemal tähtedest, interstellaarses ruumis kõigest 3° üle absoluutse nulli. Tahkeil kehadel, niisamuti ka difuusseil (hajuvail, laialivalguvail) aineil isegi väga hõredas olekus, paigutatuna tähtedevahelisse ruumi, oleks kindlasti see temperatuur. Et aga gaasi temperatuur on määratud ta osakeste kineetilise energiaga, olles seda kõrgem, mida kiiremini liiguvad gaasi aatomid, peab interstellaarne aine olema nii kuum nagu nende tähtede pinnatemperatuur, mis saadavad kiirgust ruumi. Valguse kvandilise iseloomu tõttu saab iga tähtedevahelises ruumis asuv aatom kiirgusega nii suure energia, et ta ioniseeritakse või pannakse nii kiiresti liikuma, et gaasi temperatuur oleks umbes $15\,000^{\circ}$ ümber. Kõrgest temperatuurist hoolimata ei suuda aga tähtedevahelises ruumis esinev aine soojendada ühtki enda sees asuvat keha kõrgemale 3° absoluutsest nullist, sest olles äärmiselt hõre, on mass ja seega soojushulk, mis asub teatud ruumiühikus, äärmiselt väike. Interstellaarne aine on korraga äärmiselt kuum ja kohutavalt külm.

IX. Linnutee kui tähtedesüsteem.

1. Vanemad uurimised tähtedesüsteemi struktuuri kohta.

Eelnevas vaatlesime nende tähtede ja udukogude individuaalseid omadusi, mis asuvad meile lähemal 10 000 valgusaasta piirist, ilma et oleksime tähelepanu pööranud nende asetusele ruumis, nende liikumisele ja omavahelistele suhetele. Me ei pööranud tähelepanu tähtede kogusummale ja käsitlesime teemat, ilma et oleksime seletanud, kas tähed on paigutatud ruumis ilma mingi seaduspärasuseta või moodustavad nad korrapäraseid kogumeid — tähtedesüsteeme. Soovides tundma õppida ka tähtedesüsteemi ehitust — tähtede ühiskonda, kus iga indiviid on ainult osakeseks tuhandete ja miljonite teiste endasarnaste seas, vaatleme XVIII ja XIX sajandi kestel tehtud uurimisi Linnutee ehituse kohta.

Selgeil kuuta õil näeme, eriti hästi aga sügisel, õrna helendavat korrapäratut udust linikut, mis suur-ringina poolitab taeva kaheks poolkeraks. See on Linnutee, mis varustamata silmale näib olevat udune vöö, kuid mis pikksilmas laguneb tuhandeiks ja miljooneiks tähtedeks. Kui tähed ühtlaselt, ilma mingi kor-rata asetseksid laialipaisatuna ruumis, näeksime neid enam-vähem ühesugusel arvul taeva igas osas, ja kui meist kaugenedes isegi lõpmatuseni tähtede hulk ruumiühiku kohta jääks enam-vähem konstantseks, peaks taevas selle lõpmatu hulga tähtede koguvalgu-sest tingituna paistma heledana nagu Päikese ketas. Et aga öine taevas on peaaegu pime ja et taeva teatud osad on tihedamalt tähtedega ilustatud, peame järeldama, et tähtede arv ei ole lõpmatu suur ja et nende paigutuses valitseb kindel korrapärasus, et nad moodustavad süsteemi. Selle süsteemi struktuuri uurimi-

sele asus William Herschel XVIII sajandi lõpul ja ta poeg sir John Herschel jätkas tööd lõuna-poolkeral.

Me saame Herscheli töödest paremini aru, kui kujutleme tähtede heledusi võrdsena. Niisugusel korral on tähtede näivate suuruste vahe tingitud ainult nende kaugusest ja teades esimest võime arvutada viimast. Loendades tähtede arvu igas suurusjärgus leiame, et nende arv kasvab kiiresti, kui minna nõrgemate tähtede poole, sest me haarme iga kord ikka suuremaid ja suuremaid ruumalasi. Herschel leidis aga, et teatud tähesuurusest alates tähtede arv suurusjärgu kasvades ei kasva nii kiiresti, nagu peaks järeldama siis, kui ruum oleks ühtlaselt täidetud tähtedega, ja et teatud piirist alates isegi algab tähtede arvu langedamine. Seejuures selgus, et Linnutee vöös algab mainitud kahanemine, s.o. kauguse kasvuga, palju hiljem kui ta poolustel. Neist vaatlusandmeist järeldas Herschel, et Linnutee on lame, kettakujuline tähtede pilv, mille suurim läbimõõt on 10 000 valgusaastat, paksus aga $\frac{1}{6}$ sellest. Iga täht, mis paistab heledamana, on üldiselt ka lähemal, olgugi et tähtede tegelik heledus kõigub väga laiades piirides. Heledamad tähed on jaotatud taevavõlvil näilikult enam-vähem ühtlaselt, sest et nad asuvad lähedal ja seetõttu süsteemi lapikus ei tule veel ilmsiks. Kujutleme kera läbimõõduga 500 valgusaastat ümber Linnutee keskkoha, kus Herscheli uurimiste järgi asub Päike. Selle raadiusega kera sees ei tule Linnutee lapikus veel ilmsiks. Nõrgemad tähed, asudes väljaspool mainitud kera, näivad Linnutee lameda kuju tõttu koonduvat ikka enam ja enam ühte vöösse ja väga kauged ning nõrgad tähed sulavad kokku üheks uduseks paelaks. Herscheli uurimisi jätkas hiljem täpsemate meetoditega Kapteyn, kes jõudis kvalitatiivselt samadele tulemustele. Alles tähtede dünaamika uurimisel selgus, et tegelik

tähtedesüsteem on palju suurem, kui seda on Herschel-Kapteyni Linnutee, mis on ainult osake suurest tõelisest Linnutee süsteemist, kus Päike ei asu enam tsentrumi lähedal.

2. Kerasparved.

Et Linnutee süsteem on tegelikult suurem, kui seda on Herschel-Kapteyni universum, mis on õieti



Kerasparv Herkulese tähtkujus. Tähtede arv ses parves on suurem 100 000-st ja ta on meist 80 000 valgusaastat eemal. Üks sentimeeter sel pildil on umbes 30 valgusaastat.

lähemate tähtede kogumik, järgneb nn. kerasparvede kaugustest. Herkulese tähtkujus tähtede ζ ja η vahel

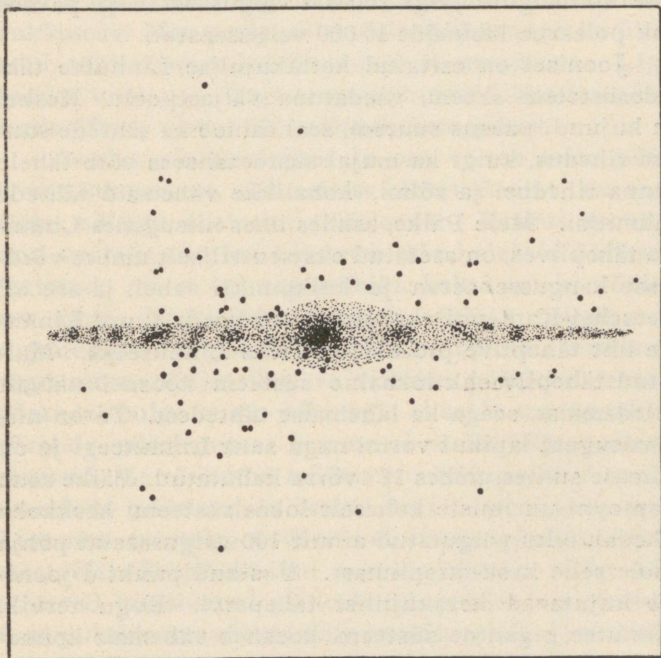
asub terava silma nägemispiiril udune täht, mis pikksilmas küllaldase suurenduse korral muutub nõrkade tähtede kuhjaks, mis keskkohas on nii tihe, et üksikud tähed ühte sulavad, moodustades helendavat laiku. See on nn. kerasparv, sadadest tuhandeist üksikliikmeist koosnev korrapärane keskkoha poole tihenev tähtede kogumik. Tuntud kerasparvede arv ulatub üle saja ja kõik nad asuvad enamikus taeva lõuna-poolkeral, mille keskkohas on Linnutee täherikkaim osa — *Sagittarius*'e ehk Amburi tähtkuju. Seejuures on iseäralik, et Linnutee vöös eneses puuduvad kerasparved täielikult, missugune asjaolu on nähtavasti tingitud seal leiduvaist tumedaist ududest, mis pimedal pilvena katavad nende taga olevaid tähti ja kerasparvi. Amburi tähtkujust 180° eemal oleval taeva-poolkeral esineb neid ainult üksikult. Näib, nagu asuks Päike ja Kapteyni Linnutee ekstsentriliselt suurema kerasparvede süsteemi sees.

Et paljudes kerasparvedes leidub suurel arvul tsefeide, siis on võimalik määrata nende kaugust perioodi-heleduse seose abil. Shapley järgi on kõige lähem kerasparv, ω *Centauri*, meist eemal 22 000 valgusaastat ja kõige kaugem 220 000 valgusaastat. Kapteyni Linnutee läbimõõt moodustab ainult väikest osa kerasparvede süsteemi läbimõödust. Pikkus 220 000 valgusaastat ei suuda meile veel mingit kujutlust anda sellest määratust kaugusest, mis meid lahutab kaugeimast kerasparvest. Me saame sellest võib-olla paremini aru, kui kujutleme, et valgus, mida nüüd näeme pikksilmas, algas oma teekonda kerasparvest juba enne, kui ürginimene ilmus Maakerale; läbi inimsoo lapsepõlve, eel-ajalooliste aegade, tsivilisatsiooni koidu ja ajaloolise aja on tulnud valgus ja alles nüüd on see jõudnud kohale. See nii suur kerasparvede süsteem moodustab arvatavasti tõelise Linnutee luus-

tikku, mille üheks osaks on Herschel-Kapteyni universum.

3. Linnutee süsteem.

Olgugi et küsimuse ümber on väga palju vaieldud, näib nüüdisaja teaduse seisukohast olevat tõenäone, et ruumala, mida haarab kerašparvede süsteem, langeb ühte Linnutee süsteemiga. Herschel ja Kap-



Linnutee tähtedesüsteemi skeem.

teyn tegid klassilise eksimuse, paigutades tähtedesüsteemi tsentrumi Päikese lähedusse, nii nagu 2000 aastat tagasi Ptolemaios luges Maakera planeetidesüsteemi keskohaks. Terve rida tõsiasi ju viitab sellele,

et massiivsed tähepilved Amburi tähtkujus, missuguses suunas asub teatavasti ka kerasparvede süsteemi tsentrum, moodustavad ühtlasi ka Linnutee keskkoha. Kerasparved asuvad Linnutee süsteemi piiridel ja osalt neist kaugemal, olles sellele suureks lisandiks. Nii kerakujulistel täheparvedel kui ka Linnutee tähtedesüsteemil on ühine keskpunkt ja nad moodustavad ühist dünaamilist tervikut, mille läbimõõt on moodstate hinnangute järgi 200 000 valgusaastat ja paksus ehk polaarne läbimõõt 10 000 valgusaastat.

Joonisel on esitatud kettakujulise Linnutee tähtedesüsteemi skeem, vaadatuna väljastpoolt. Keskel on kujundi paksus suurem, seal esineb ka tähtede suurim tihedus, kuigi ka mujal süsteemi sees võib tähele panna tihedusi ja sõlmi, kohalikke vähemaid tähtede rühmitisi. Meie Päike, asudes ühes niisuguses Linnutee tähepilves, on asetatud ekstsentriliselt umbes võrdsesse kaugusse serva ja keskpunkti vahel, ja see oli Herschel-Kapteyni eksimus, et nad seda suure Linnutee üht tähepilve pidasid tõeliseks Linnuteeks. Mainitud tähepilv ehk lokaalne süsteem koosneb näivalt heledamaist, seega ka lähemaist tähtedest. Ta on niisamasugust lapikut vormi nagu suur Linnuteegi ja on viimase suhtes umbes 12° võrra kallutatud. Päike asub Kapteyni uurimiste kohaselt lokaalsüsteemi keskkoha lähedal, olles paigutatud ainult 100 valgusaastat põhja poole selle kesk-tasapinnast. Üksikud punktid joonisel kujutavad kerakujulisi täheparvi. Kogu tervik, Linnutee gigantne süsteem, koosneb vähemalt kolmekümnest miljonist tähest. Et aga Linnutees esineb ka rohkesti udulist materiat, mis varjab enda taga olevaid tähti ja mille tõttu näiteks kerasparved näilikult puuduvad Linnutee vöös, siis võib kogumassi hinnata võrdseks 250 miljardi Päikese massiga.

Nagu mainitud, on Linnutee kettakujuline tähtede

kogumik. Ta ei saaks aga niisugusena püsida, kui tähed tas paigal seisaksid, sest gravitatsioonitungi tagajärjel kukuksid nad kõik keskkoha poole ja süsteem langeks kokku üheks tihedaks massikogumiks oma praeguse keskkoha ümber. 1913. aastal juhtis kuulsaim prantsuse matemaatik Henri Poincaré tähelepanu sellele, et Linnutee võib pääseda kokkulangemis-
saatusest, kui ta on roteeruv (pöörlev) seisukorras. Täpselt nii, nagu Kuu liikumine teda takistab kukkumast Maa peale, nii hoiaks pöörlemine ka üksikuid tähti langemast Linnutee tsentrumisse. Ligi-
kaudse hinnangu järgi arvas Poincaré Linnutee pöörlemisvältuse olevat 500 miljoni aasta piires.

Asudes süsteemi sees ja osa võttes selle pöörlevast liikumisest, näib esiotsa olevat küsitav, kas suudame näidata süsteemi pöörlemist. Raskus muutub eriti suureks siis, kui Linnutee tähed oleksid ühtlaselt jaotatud, nii et iga ruumiühiku kohta tuleks võrdne arv tähti. Nagu matemaatiline analüüs näitab, see-
sugune täheparv pöörleks ümber keskpunkti tervikuna nagu ratas. Kujutelles, et viibime pöörleval tantsu-
põrandal hulga teiste isikutega, ei saaks me veenduda põranda pöörlemises, kui me ei näeks väljaspoolseid esemeid. Me võiksime, mõõtes tsentrifugaalseid tunge, veenduda pöörlemises ümber teatud tsentrumi, kuid Linnutee rotatsiooni tõestusel ei saa rakendada seda meetodit. Seepärast kui tähtedesüsteem oleks üles ehitatud kirjeldatud põhimõtteil, poleks meil lootust tuua puhtkinemaatilisel (liikumisõpetuslikul) teel tähtede liikumiste vaatlustel põhinevaid tõestusi süsteemi üldrotatsiooni kohta.

Õnneks ei ole aga Linnutee tihedus ühtlane, vaid see kasvab keskkoha poole ja võib oletada, et isegi massi rõhuvaim osa on koondunud tsentrumi lähedale. Niisugusel korral, nagu jällegi näitab matemaatiline

analüüs, liiguvad keskohale lähemad tähed kiiremini kui kaugemad. Linnutee süsteem teatud määral sarnleb Päikese süsteemiga, milles planeedid, liikudes ümber keskkeha Kepleri seaduste kohaselt, omavad seda suuremat lineaarset kiirust, mida lähemal nad on Päikesele. Nii peaks Päike jooksuma ette neist tähtedest, mille kaugus tsentrumist on suurem, ja jääma maha neist, mis on tema ja tsentrumi vahel. Teisiti väljendatuna: lugedes Päikest paigalseisvaks, peaksid sise- mised Linnutee osad liikuma ühele poole, väljaspool- sed aga teisele poole. Täpne tähtede omaliikumiste ja radiaalkiiruste analüüs on näidanud, et Linnutee tõe- poollest roteerub kirjeldatud viisil, rotatsiooni kesk- kohaga 37 000 valgusaastat Päikesest eemal Amburi tähtkujus, kus Shapley järgi on ka kera- sparvede süs- teemi tsentrum. Päikese lähim ümbrus teeb täis- pöörde 230 miljoni aastaga ja selle koha pöörlemisest tingitud lineaarne kiirus on 320 kilomeetrit sekundis.

Teatavasti esinevad eriti varasemate spektrumi- tüüpidega kaksiktähtede spektrumis kaltsiumi- ja naatriumijooned, mis ei võta osa komponentide liiku- misest tingitud spektrumijoonte nihkumisest. Need jooned kuuluvad, nagu eelmistes peatükkides näita- sime, interstellaarsele ainele. Uuemad uurimised näi- tavad, et Linnutee pöörlemise mõju on nii tähtede kui ka kaltsiumi- ja naatriumpilvede juures ühesugune. Sellest järgneb, et tähtede kui ka hõreda gaasipilve kiirus teatud kohas on enam-vähem võrdne, erinedes antud tähe juures ainult väikese juhusliku suuruse võrra. Võimatu on seejuures kujutella, et tähed ja kaltsiumipilved mõjuksid vastastikku üksteisesse, vaid seisukorda tuleb vaadelda nõnda, et mõlemad on liiku- misest üksteisest täiesti olenematud ja alistuvad üksnes Linnutee kogu-külgetõmbele. Linnutee on tervik, on suur üksus kosmilises ruumis.

X. Spiraaludud.

Me kirjeldasime Linnuteed kui lamedat roteeruvat ketast, kuid oma asendi tõttu selle süsteemi sees, ei taju me otseselt ta kuju. Me võime ainult kaudsel teel luua talt enam-vähem tõelise kujutluse. Tekib küsimus, kas ei ole maailmaruumis teisi Linnuteega sarnlevaid süsteeme, mida me võiksime näha väljastpoolt ja nii leida tõestust esitatud väiteile. Juba Herschel juhtis tähelepanu sellele, et suured ketta- või ellipsikujulised spiraalse struktuuriga udukogud võiksid olla Linnuteega sarnlevad tähtedesüsteemid, milles aga üksikud tähed suure kauguse tõttu sulavad üheks uduseks laiguks. Et Herscheli päevil polnud võimalik määrata nende udude kaugust ega dimensioone, arvutati selliseid mõtteid kui huvitavaid, kuid vähe tõenäoseid spekulatsioone. Hiljem aga, kui leiutati spektroskoop, selgus et spiraaludud peaksid **tõepoolest** koosnema tähtedest, sest nende spektrum on pidev, mõnede, peamiselt tugevate kaltsiumi-neeldumisjoontega, kuna gaasudud peaksid andma joonspektrumit väga nõrga tagapõhjaga. Kuid otsesid tõestusi anti Herscheli geniaalsele hüpoteesile alles 2,5-meetrilise läbimõõduga pikksilmaga Ameerikas, lahutades lähemad ja suuremad spiraaludud üksikuiks tähtedeks, nii nagu 300 aasta eest Galilei primitiivne pikksilm näitas Linnutee tähelist struktuuri. Spiraaludude tähtede seas leiti suur hulk tsefeide, mille abil võidi arvutada nende udude kaugust. Lähim spiraaludu M 33 asub meist eemal 850 000 valgusaastat ja järgmine suur Andromeda udu 900 000 valgusaastat. Need arvud näitavad, et spiraaludud on tõesti moodustised väljaspool Linnutee süsteemi piire.

Spiraaludude analoogiat Linnuteega suurendab veel tõik, et nad kõik roteeruvad ümber telje kiiru-

sega, mis on hästi mõõdetav spektroskoobi abil. Teades rotatsiooniga ja spiraaludude mõõteid võib arvutada nende massi. Osutub, et see on üldiselt vähem Linnutee massist.



Spiraaludu Jahipenide tähtkujus, meist kaks miljonit valgusaastat eemal. Et saada paremat kujutlust ta suurusest, mõtleme pilti suurendatuna Euroopa-suuruseks. Siis oleks Maa-suurune keha sel pildil nähtav tugevaimate mikroskoopidega.

Hiigelpikksilmades nähtavate spiraaludude koguarvu hinnatakse kahele miljonile. Üldiselt on nad

jagunenud ruumis ühtlaselt, keskmiselt kahe miljoni valgusaastase vahemaaga. Hubble'i hinnangu järgi on kõige kaugemad tähtedesüsteemid, mis on veel nähtavad praeguste suurimate pikksilmadega, meist 140 miljonit valgusaastat eemal. Sellest piirist kaugemale pole suudetud enam tungida. Kui aga valmib Ameerikas praegu ehitatav viiemeetriline pikksilm, suureneb loodetavasti vaatlustele kättesaadava ruumi ulatus 300 miljoni valgusaastani.

Linnutee läbimõõt 200 000 valgusaastat on suur küllalt, et olla kujutlematu. Me räägime nüüd aga kaugustest, mis on suuremad sellest enam kui 600 korda. Valgus, mis sekundis läbib 300 000 kilomeetrit, algas rännakut kaugeimalt spiraaludult juba enne, kui tekkis elu Maakeral. Ta reisi kestel ilmusid esimesed taimed ja loomad, võitlesid ja arenesid kuni inimeseni, kes, valmistanud pikksilma, püüab kinni kaua teel olnud valguse. Me selgitasime, et tähtedevaheline ruum on täidetud väga hõreda gaasiga, mis suudab suurte kauguste korral spektrumis esile kutsuda neeldumisjooni. Me nägime, et interstellaarse aine tihedus on nii väike, et iga kuupsentimeetri peale tuleb üks aatom. Spiraaludude-vaheline ruum peab aga olema ainega asustatud veel harvemini, sest seniajani pole suudetud seal kindlaks teha vähimatki neelumist. Kui seal leidukski ainet, siis peab see olema tähtedevahelise ainega võrreldes niipalju kordi hõredam, nagu viimane on seda tähtedest. Võiksime arvata, et seal tuleb üks aatom kuupkilomeetri peale, ja kas seda nimetada veel gaasiks või lihtsalt tühjaks ruumiks, on küsimus. Arvatavasti on kohasem jääda viimase juurde.

XI. Maailmaruumi lõplikkusest.

Me nägime, et praegu suurim vaadeldud kaugus ulatub 140 miljoni valgusaastani ja et pikksilma valgustugevuse suurenedes loodetakse näha veel kaugemale. Tekib küsimus, kui kaugele võib nii minna. Kas ruumi ulatus ja temas esinevate kehade arv on lõpmatu suur või mitte? Esitatud küsimus näib olevat mõttetu. Ruum ei saa olla piiratud millegagi, mis ei ole ruum. Me või õieti me fantaasia küsiks, mis on selle piiri taga. Ja olgugi raske kujutella ruumi lõpmatu suurena, veelgi raskem on kujutella teda piiratud millegagi. Kuid see esimesel pilgul paistev mõtetus kaob sügavamal uurimisel. Mõisted „piiritu“ ja „lõplik“ ei ole teineteisele vasturääkivad ja nad võivad esineda koos; me võime kujutella ka ruumi, mis on küll piirita, kuid lõplik. Et seda väidet selgemini esitada, kujutleme olendeid, kes tajuksid ruumist üksnes pikkust ja laiust. Nad saaksid liikuda ainult mingil pinnal ja neil puuduks kujutlus kehade paksusest või kõrgusest. Näiteks nelja sirgega piiratud pinnaosa oleks neile kinniseks kambriks, nii nagu meile seda on kuue tahuga piiratud ruumiosa. Kujutleme esmalt, et need hüpoteetilised olendid elavad tasapinnal. Liikudes edasi sirget joont mööda nad kaugeneksid ikka enam ja enam oma lähtekohast, ja nii võiks liikumine kesta lõpmatuseni, ilma et nad jõuaksid piirile, kus lõpeks nende ruum. Tasapinnal elavate hüpoteetiliste olendite ruum oleks lõpmatu suur. Kujutleme nüüd vastandiks kirjeldatud tasapinna-olendele kahemõõte-elanikke, kes asuksid kera pinnal. Kaugenedes oma lähtekohast need hüpoteetilised reisijad jõuaksid kord jälle tagasi, ilma et nad kunagi oleksid põrganud vastu piiri, mis ei ole ruum. Nende maailm on piiritu, kuid lõplik, sest nad võivad mõõta, mitu ruut-mõõduühikut

on nende ruum suur. Analoogiline on olukord kolmemõõtelises ruumis. Me võime siingi konstrueerida igasuguseid ruume, mis oleksid piirita, kuid lõplikud. Selleks võiks olla näiteks neljamõõteline kera, mille „pinnaks“ oleks meie kolmemõõteline ruum. Matemaatiliselt pole raske selle kera omaduste uurimine ja see sarnleb täiesti keraga, mida me kirjeldasime hüpoteetiliste kahemõõte-olendite juures. Asudes selle neljamõõtelise kera „pinnal“ ja liikudes edasi sirges joones me jõuaksime pärast küllalt pika tee läbimist uuesti lähtekohta tagasi, ilma kunagi jõudmata ruumi ääreni. Ruum oleks piirita, kuid lõplik. Nii võime konstrueerida igasuguseid mõeldavaid ruume ja uurida nende omadusi. Missugune neist aga on reaalne, see tähendab, milles on loodusseadused kõige lihtsamad ja loomulikumad, seda peab selgitama vaatlus.

Ruumiõpetus — geomeetria, mis eeldab ruumi olevat lõpmatu, kannab eukleidilise geomeetria nime. (Täpsemalt rääkides on ka teisi mõeldavaid ruume, mis annavad selle ulatuse lõpmatu suurena. Eukleiidiline geomeetria on määratud nn. Eukleides'e postulaadiga paralleeljoonte kohta. See on tavaline koolides õpetatav geomeetria.) Me kogemused igapäevases elus, niisamuti küllalt täpsed mõõtmised on otsesele tajumisele kättesaadavas piiratud ruumiosas kooskõlas eukleidilise geomeetria teoreemiga. See kooskõla ei jäta meid maha ka tähtedevahelises ruumis ja isegi Linnutee ja kõige lähemate spiraaludude piirkonnas on eukleidiline geomeetria lihtsaim ruumi kirjeldamise moodus. Kuni miljoni valgusaasta kauguseni on ruum me vaatlustäpsuse piirides eukleiidiline, nii nagu on maapind paarikilomeetrilise raadiusega ringis vaateleja ümber lihtsamate mõõtmisriistade täpsuse piirides tasane (mitte kera). Edasi sellest rajast ilmnevad aga nähtused, mida ei saa mahutada

eukleidilise geomeetria raamidesse, kui soovime loodusseadustel säilitada nende lihtsat, loomulikku kuju. Suurte kosmiliste kauguste puhul me peame võtma eukleidilise geomeetria kehtivuse revideerimisele.

Olgugi et spiraaludud suuremas enamikus on väga nõrgad, nii et raske on fotograafida udukogu ennast, liiatigi ta spektrumit, õnnestus Ameerikas hiigelpikk-silmadega valgustusaegadega, mis ulatusid kuni 60 tunnini, mõõta spiraaludude radiaalkiirust. Selgus, et ekstragalaktilised (väljaspool Linnuteed asuvad) udud eemalduvad kõik meist kiirusega, mis on otsevärde-line kaugusega. Kui mõni udu on meist eemal miljon valgusaastat, ta põgenemiskiirus on 160 kilomeetrit sekundis, ja 150 miljoni valgusaasta kaugusel teeks see välja üle 20 000 kilomeetri sekundis. Kui mõõdetud punanihkumised on tingitud kaugete spiraaludude radiaalsest kiirusest, hajub maailm paisuva seebimullina laiali.

See iseäralik tulemus, mis end kuidagi ei lase sele-tada klassilise mehaanika ega geomeetria seisukohast, muutub arusaadavaks, kui maailmaruumi mõelda lõp-likuna selles mõttes, nagu selgitasime eespool.

Üldise relatiivsusteooria seisukohast on ruumi omadused tingitud tas asetsevaist massidest. Valgus-kiir, mis realiseerides sirget joont liigub edasi kõige lühemat teed, paindub raskusväljas oma esialgsest sihist kõrvale, teeb kõvera eukleidilises ruumis. Relatiivsusteooria näeb gravitatsiooniväljas ruumis asetse-vate masside esilekutsutud ruumi-kõverust, milles kõik kehad püüavad liikuda lühimat teed, nn. geodee-tilist joont mööda. Nii on Päikese ümber ta massist tingituna ruum niisuguse omadusega, et planeedid, liikudes lühimaid teid mööda, mis ses ruumis täidavad sirgete aset, liiguvad samale ruumile kohaldatud eu-kleidilise geomeetria järgi ellipseid mööda. See relati-

vistlik ruum on puhtmatemaatiline, võib-olla isegi formaalne, kuid tähtis on see, et ta kirjeldab täpselt ka nähtusi, mis sünnivad meist kaugel, ja sisaldab eneses klassilise Newtoni mehaanika valemeid erijuhtudena. Seejuures on see ruum kinnine. Mingilgi mõeldaval füüsikalisel teel ei saa me tast „välja“ ega saa ka teateid „väljastpoolt“. Ta on piirita, kuid lõplik selles mõttes, nagu seletasime eespool neljadimensioonilise kera näite korral.

Einsteini esialgse teooria järgi on maailmaruumi suurus määratud tas asetsevate masside koguhulgaga. Mida enam on seal ainet, seda väiksem on ka ruumi ulatus ja ümberpöörduvalt, nii et maailmaruumi suuruse määramine on taandunud probleemile, kui suur on seal aine hulk. Oletades, et aine on ühtlaselt hajutatud, hindab Hubble maailmaruumi keskmiseks ainetiheduseks teleskoopidele kättesaadavas osas $1,5 \cdot 10^{-31}$ grammi kuupsentimeetri peale. Oletades, et see jääb kehtivaks ka ruumi väljaspool pikksilmade nägemisulatus olevale osale, võib arvutada aega, mis kulub selleks, et valgus jõuaks tagasi oma lähtekohta. Esitatud andmeil selgub, et selleks kulub 500 000 miljonit aastat, nii et 140 miljonit valgusaastat, mis on enam-vähem kättesaadav vaatlustele, moodustab sellest ainult üsna väikest osa. Tohutud ruumalad ootavad alles uurimist. Praegusaja astronoomia on antiikaegse geograafi seisukorras, kes reisides lähimate saarte vahel ainult aimas Maa kerakujulisust ja seda isegi mõõta katsus, saades üksnes ligikaudse ettekujutuse, kunagi aga ei unistanudki kord teha reisi ümber Maa. Me ei või ka praegusaja astronoomilt rohkem nõuda kui ainult ligikaudset hinnangut maailmaruumi suuruse kohta.

Kuid relatiivsusteooria ei evi ainult nii kitsapiirilist rakendust, mis viiks ainult Einsteini maailma-

ruumini. Hollandi õpetlane de Sitter, lähtudes eeldusest, et aine ja ruumi vahekord pole määratud üheselt, vaid et sellele on jäetud teatud vabadusi, mis on kitsendatud Einsteini teorias, jõudis niisamuti lõpliku maailmaruumi teoriani, kuid selle vahega, et de Sitteri universum ei ole stabiilne, paisudes laiali. Belgia õpetlane Lemaître näitas, et Einsteini ja de Sitteri vaated ei ole teineteisega vastuolus, nagu see esimesel pilgul paistab. Einsteini ruum tähendab ainult maailma alg- või erilist seisundit, mis sellest välja viiduna muutub de Sitteri ruumiks. Eddington arvutas de Sitteri universumi jaoks teatud eeldustel ta esialgse ümbermõõdu, mis on umbes 75 000 miljonit valgusaastat. See algstaadium vastaks Einsteini maailmale, mis nüüd oma arengu faasis on paisunud 120 000 miljoni valgusaastani. Maailm läheneks pidevalt eukleidiilisele ruumile.

Kõik need teooriad põhinevad enam-vähem hüpoteetilistel oletustel, kuid nende ühine alus, maailmaruumi lõplikkus, näib olevat reaalne. Arvutatud mõõdet võivad olla enam kui 100% valed, ja me ei võigi nõuda suuremat täpsust, sest mõõtmised piirduvad kogu universumiga võrreldes ainult ruumi kaduv-väikese osaga. Olgugi et lähemas tulevikus ei avane võimalust näha valgust, mis on teinud ringi ümber maailma, ja et võib-olla ei saa me seda kunagi näha, kuid loodetavasti tulevikus vaatlusriistade täienedes suudetakse rohkem tunnetada maailmaruumi, ja arvatavasti mõtlevad tulevased põlvned universumi lõplikkusest niisama hõlpsasti, nagu mõtleme meie Maakera ümberikkusest.

XII. Elu võimalikkusest teistel taevakehadel.

Kujutus, et ka teistel taevakehadel peale Maa või vähemalt osal neist on elusolevusi, elu üldse, tekkis Kopernikuse õpetuse paratamatu järelalusena. Elu peaks olema igal pool, kus leidub seks vähegi soodsaid võimalusi. Probleem on väga põnev ja väärrib tõelist ning laialdast tähelepanu.

Teemat lähemalt käsitledes peame aga asuma seisukohale, et selle probleemi suhtes pole võimalik anda eksaktset lahendust ja et teadusliku arutluse käik on sunnitud piirduma üksnes elu võimalikkuse uurimisega teistel tähtedel, andmata kategoorilist vastust. Seejuures põrkame veel raskele küsimusele: mida me üldse nimetame eluks ja kas on võimalik teha vahet elava ja surnud aine vahel? Kasvav roheline puu koosneb suuremalt jaolt surnud rakkudest, ja isegi looma keha sisaldab, kuigi vähemal määral, elutuid osi karvade ja sarvolluse näol. Elu kandjaks nii taime- kui ka loomariigis on nn. protoplasma. Keemiliselt koosneb protoplasma kuni 85% veest ja ülejäänud osa moodustavad enamuses nn. valkühendid. Koosnedes süsinikust, vesinikust, hapnikust, lämmastikust, on valgud niivõrd keerulise molekuliehitusega, et seni ajani pole suudetud valmistada neid laboratoorselt. Veesisalduse järgi võivad protoplasma füüsikalised omadused varieeruda peaaegu vedelast olekust tahke keha olekuni. Olles elu kandjaks, on protoplasma äärmiselt tundlik väliste mõjude suhtes, nii et asudes selle juurde keemiliste meetoditega surmame ta otsekohe. Mida laboratooriumis uurida saame, on elusolevuse surnud keha, ja sellest midagi elu kohta järeldada või tabada selle sügavamast olemusest pole võimalik. Vihjatakse tihti, et elu on vormide kujunemine, kasvamine, püüe täiuslikkusele. Seejuures on materia

ainult elu kandjaks. Nii nagu küünlal jääb leek põlemise kestel väliselt ikka samaks, kuna ta ometi juurde-voolava gaasi ja hapniku ja äravoolava süsihappegaasi, veeauru ja suitsu vahelduse tõttu aineliselt alati muutub, nii sarnleb ka elu mingisuguse organiseeritud põlemisprotsessiga¹⁾. On seatud üles tingimused, mille peaks vastama teatud nähtuste-kompleks, et seda võiks nimetada eluks. Roux' järgi on selleks vaja vähemalt kümme järgnevat tingimust: 1—5) iseseisvat resorptsiooni (imendumist), assimilatsiooni, dissimilatsiooni, ekskretsiooni (eritumist), regeneratsiooni (uudumist), 6) kasvu, 7) iseseisvat või reflektorset liikumisvõimet, 8) automaatset poolitumist, 9) pärivust, 10) võimet ise ilma välise abita reguleerida eluprotsesse.

Need kümme tingimust ei defineeri veel elu, kuid kirjeldavad seda juba küllalt hästi.

Nagu eespool mainisime, koosneb elu kandev protoplasma peamiselt süsinikust, vesinikust ja hapnikust — ja peaaegu kõik keemilised ühendid, mis tekiavad eluprotsessi kestel või on selle kandjaks, sisaldavad sütt. Süsi annab vesiniku ja hapnikuga määratul hulgal erisuguseid ning eri omadustega ühendeid. Näib olevat seepärast arusaadav, miks süsi on elava materia põhiaineks: söe suur ühendite hulk võimaldab määratud hulka kombinatsioone püsivate ja korduvate keemiliste protsesside tekkimiseks, mida nimetame eluks. Viimast asjaolu soodustab ka tõik, et söe lihtsamad ühendid hapniku ja vesinikuga on gaasid, mistõttu on võimalik elule möödapääsmatu assimilatsioon ja dissimilatsioon.

Teine söega sarnleb ja niisamuti palju ühendeid andev element on siliitsium (räni), kuid maistes tingi-

1) Vt. pikemalt: Mis on elu? „Elav Teadus“ nr. 44.

mustes ei saa ta elu kandjaks olla põhjusel, et kõik ta ühendid on tavalistes temperatuurides tahkes olekus. Võib arvata, et temperatuuri puhul, milles siliitsiumoksid (kvarts) on gaasilises olekus, ta annab niisama rohkesti erinevate omadustega vedelaid ja tahkeid ühendeid nagu süsigi. On mõeldav, et kohases temperatuuris võivad siliitsiumühendid moodustada kombinatsioone, mida võiksime samastada eluga. See siliitsiumi-elu, nagu nimetas kuulus astrofüüsik Scheiner, saaks eksisteerida ainult kuumas keskkonnas, näiteks külmemate kinnistähete atmosfääris või veel jahtumata planeetide, näiteks Jupiteri pinnal.

Oleme võtnud elu üldisemas mõttes ja püüdnud haarata selle eeldusi. Kui tavaliselt räägitakse elust, siis kujutellakse teda aga seesugusena, nagu ta esineb Maakeral, s. o. söe-eluna. Vaatame siis, missugused tingimused peaksid valitsema taevakehal, et seal oleks võimalik elu selles mõttes.

Elusolevuste kohanemisvõime on väga suur. Suures kõrguses maapinnast, kus temperatuur ja rõhk on väga madal, kohtame veel elu. Polaar-jääväljadel ja kõrbede kuumuses, kuskil ei puudu ta. Kuid ei või väita, et elu võimalikkusel pole piire. Võime fikseerida näiteks temperatuurirajad, millega elu kujud on piiratud. Juba 40—45° C juures kaotavad loomade ja taimede rakud võimet elufunktsioone jätkata ja madalamad bakterid ei suuda elada, kui temperatuur kehtvalt ületab 80—90° C. Teiselt poolt on piir null kraadi ümber, kus kõrgemate organismide elu lõpeb. Mida madalam on temperatuur, seda aeglasemalt toimuvad elufunktsioonid. See asjaolu selgitab ka, miks kõrge mail loomad kehatemperatuur on väga lähedal sellele normile, mille juures valk (munavalge-aine) tardub. Loodus on läinud äärmuseni, et saavutada võimalikult häid tulemusi. Madalamate elusolevuste, eriti aga bak-

terite spooride (eoste) vastupanu külmale on tihti väga suur. Olgugi et aktiivsest elust hapniku vedeldumistemperatuuri juures ei saa rääkida, säilib mõnede bakterite spooridel võime uuesti elustuda, kui tingimused soodsaks muutuvad. Kokkuvõtlikult võime öelda, et temperatuurivahemik, milles võib esineda elu, on 300°. Aktiivse elu jaoks on aga rajad palju kitsamad.

Temperatuuri kõrval on teiseks tähtsamaks elutingimuseks valgus, sest selle mõjul toimub süsiniku assimilatsioon — taimede tähtsaimaid elufunktsioone. Ja et taimestik on loomariigi eksistentsile möödapääsmatult tarvilik, võime piirduda minimaaltingimuste ülesseadmisel nende tingimustega, mis on vajalikud taimekasvu jaoks. Rootsi astronoom Lundmark peab tarvilikuks eriti seitset järgmist tingimust: 1) tähel või planeedil, mille eluvõimalusi me uurime, peab olema kindel kamar nagu Maakeralgi; 2) ta pinnal peab esinema vett vedelas olekus; 3) ta peab ümbritsetud olema atmosfääriga; 4) ta pinnatemperatuur võib kõikuda ainult teatud kitsais piires; 5) tal peab olema paraja tugevusega valgusallikas; 6) ta kindel maakamar peab sisaldama teatud toitaineid; 7) taeva-kehal peavad väga pika aja kestel valitsema muutmatult samad looduslikud tingimused.

Mõne aja eest oleks vältimatu tingimusena mainituile juurde lisatud veel hapniku esinemine — hädavajalikuna orgaanilise elu edenemiseks. Kuid 1887. a. Winogradski avastas nn. väävelbakterid, kes eluenergia ammutamiseks lõhuvad väävliühendeid, vastandina tavalistele organismidele, kes energiat saavad hapniku ja söeühendite ühinemisest. Üks teine liik niisuguseid eriliste elutingimustega baktereid on nn. rauabakterid.

Selle raamatu päikessüsteemi käsitlevas osas oleme vaadelnud ka planeetidel valitsevaid tingimusi elu võimalikkuse seisukohast. Me nägime, et siin saavad tõeliselt arvesse tulla ainult Veenus ja Marss. Kinnistähtedel me planeete ei näe. Me võime ainult oletada nende olemasolu ja loota, et mõnel neist on elule kohaseid tingimusi. Nüüd tekib aga iseenesest küsimus, kuidas ilmub teatud planeedile elu — kas iseenesest, või tuuakse see väljastpoolt sisse. Maistest kogemustest on teada, et elu saab tekkida ainult elust. Oletused, nagu sünniksüd madalamad olevused otsekohe mudast, osutusid Pasteur'i uurimiste põhjal valeks. Elu näib olevat igavene, eksisteerimas maailmas samaväärselt nagu materia, mille sünnist ja algusest me midagi ei tea. Arrhenius'e arvates kantakse elu idud, mis olles väga väikesed ja kuivad kannatavad ehk välja maailmaruumi külmust, valgusrõhuga ühelt taevakehalt teisele.

Teiselt poolt väidetakse, et elu võib tekkida soodsais tingimustes iseenesest — elutust materias. Üleminek elutust ainest elavaks organismiks on pidev, ilma teravate piirjoonteta. Füüsika ega keemia pole veel arenenud niikaugele, et suudetak kunstlikult valmistada valke; kuid kas ei peetud mitte väga ammu tagasi orgaanilisi aineid või vähemalt põhimisi neist sündivaiks ainult elavais organismes? Võib-olla ei suudeta valke valmistada sünteetiliselt ka kaugemas tulevikus, kuid see ei tähenda, et nad ei saa sündida surnud ainest. Tõenäoselt on valkude sünteetiliseks sünniprotsessiks tarvis pikki ajastuid ja on lootusetu katsuda saavutada seda mõne tunni kestel laboratooriumis. Oletades elu tekkivaks ainult elust, sarnleksime loodusrahvastega, kes väga vähe tunnevad tuleloomust. Nad oskaksid küll tuld kustutada, kuid seda iseenesest, ilma teise tule abita süüdata nad ei suu-

daks. Primitiivsed inimesed mõtleksid kindlasti tule olevat igavese, mis saab sündida ainult tulest.

Muidugi ei saa elu tekkimist elutust ainest kujutella nii, nagu tegi seda Aristoteles, kelle järgi madalamad olendid on sündinud otsekohe mudast. Kõige madalamad meile tuntud bakterid on algava eluga võrreldes palju täielikumad kui inimene bakteritega võrreldes. Me võime kujutella soojas ürgmeres tekkivaid keemilisi ühendeid, mis olles sündinud soodustavad selle protsessi edasikestmist (analoogia tulega). Kasvades võis see keemiliste ühendite tombuke raskuse või muu mehaanilise põhjuse tõttu poolituda, tekitades seega mitu protsessi keskust. Paljud neist hävisid, paljud arenesid ebasoodsas suunas ja kadusid. Jäid ainult need, mis olid võimelised kestma, milles protsessid juhuslikult arenesid soodsas suunas. Kindlasti ei suutnud elu tekkida esimesel soodsalgi juhul. Ta hävis ja algas uuesti, hävis ja tekkis, kuni võib-olla mitme tuhande katse järel juhuslikult jäi püsima. Väliste tingimuste soodsal muutusel arenes sellest primitiivsest keemilisest protsessist elu. Kindlasti on taevakehi, millel elu arenemine ei suutnud jõuda kaugele, hävides enne, kui suutis end kindlustada väliste surmavate mõjude vastu. Taevakeha jäi elutuks, olgugi et tingimused võib-olla olid soodsad kõrgemini arenenud elu jaoks. Kui aga oletada, et Linnutees on enam kui 100 miljonit tähte, millest mõnel ikkagi on elule soodsate tingimustega planeete, siis võib ikkagi arvata, et elu ei piirdu meie Maakeraga. Elu vormid võivad olla enamikus palju madalamad kui meil, kus arvatavasti äärmiselt soodaste arenemistingimuste tõttu on kujunenud inimene, kuid ikkagi on see meile nagu lohutuseks, meile, kes me kardame olla üksinda maailmaruumis. Võib-olla pole terves Linnutee süsteemis ühtki teist planeeti, kus leiduks inime-

sega sarnlevaid intelligentseid olevusi, kuid arvestame, et maailmaruumi tuntud osas tähtedesüsteemide arv ületab kaht miljonit. Ja kui iga tuhande tähtedesüsteemi kohta tuleb ainult üks, mille üksikliikmete miljardilisest koguarvust ühe liikme planeedil leiduks intelligentseid olevusi, siis oleks ikkagi küllalt Maakeraga sarnlevaid planeete meile tuntud maailmaruumis. Need üksikud maailmaruumi kultuuri- saarekesed aga oleksid eraldatud üksteisest miljonite valgusaastate kaugusega ja vist kunagi ei saaks kosmilised naabrid astuda üksteisega ühendusse. Kuid kui näha looduses teatud tendentsi, teatud püüet moodustada ikka täiuslikumaid vorme, — võib-olla siis, kui elu on arenenud niikaugemale, et ta kannab mõistust, mis inimese mõistusest on määratult suurem, siis haarab vaim ka neid kaugusi. Maine elu võib hävida, saavutamata kunagi looduse eesmärki, võivad hävida ja sündida teised elud, kuid elu ise ehk pääseb ikkagi läbi igasuguste takistuste ja areneb edasi täiuslikumate vormide suunas. Meile jääb aga siis vähemalt oletuslik lootus, et me pole päris üksi, vaid et igavene areng, mis on „loonud“ inimese, jätkub ka veel üle praeguse inimese ja mujalgi kui meie väikesel Maakeral. Kui seda kosmose seaduspärasust ja arengutendentsi nimetada jumalaks, siis on see küll üsna erakordselt soosinud just meid, kuid — selle arengu kõrgeim tipp ega võimalus ei tarvitse siiski olla ainult meis.

K a a n e p i l d i l on kujutatud spiraaludu Kolmnurga tähtkujust, mis paistab küljelt ja meenutab Linnutee kuju (vrd. joonis lk. 99).

Kirjandust.

Eestikeelseid teoseid:

1. „Tähetorni Kalendri“ lisad.
2. *Strömgren, E.* Astronoomilised miniatüürid.
3. *Öpik, E.* Päike.
4. *Nernst, W.* Maailm uemate uurimiste valgusel.
5. *Kahn, F.* Linnutee.
6. *Hallimäe, R.* Astronoomilised vaatlused.

Võõrkeelseid teoseid:

7. *Arrhenius, Sv.* Vaerldarnas utveckling. Stockholm 1924.
Saksakeelne tõlge:
I osa — Erde und Weltall. Leipzig 1926.
II osa — Sternwelt. Leipzig 1931.
8. *Henseling, R.* Astronomie für alle. Berlin.
9. *Henseling, R.* Der neu entdeckte Himmel. Berlin 1930.
10. *Jeans, J.* The Universe around us. Cambridge 1930.
Saksak. t.: Sterne, Welten und Atome.
11. *Jeans, J.* The Mysterious Universe. Cambridge 1931.
Saksak. t.: Der Weltraum und seine Rätsel.
12. *Bürgel, B.* Aus fernen Welten. Leipzig.
13. *Lundmark, K.* Das Leben auf anderen Sternen. Leipzig 1930.
14. *Henseling, R.* Welteninsel. Berlin 1929.
15. *Kienle, H.* Unendlichkeit. Potsdam.
16. *Eddington, A. S.* Sterne u. Atome. Berlin 1928.

Populaarseid ajakirju:

1. Die Sterne. (Verlag Johan Ambrosius Barth, Leipzig, Salomonstrasse 18 B.)
2. Die Himmelswelt. (Ferd. Dümmlers Verlag, Berlin.)
3. Das Weltall. (Verlag der Treptow-Sternwarte, Berlin-Treptow.)
4. Popular Astronomy. (Goodsell Observ. of Carleton College, Northfield, Minnesota, U. S. A.)
5. L'Astronomie (Librairie Gauthier-Villars, 55, Quai des Grand-Augustin.)

Märgatud trükivigu:

lk.	rida	trükitud	peab olema
72	7 ü.	aatomist ¹	'aatomeist
84	9 ü.	Selle järele	Seega
96	17 ü.	Heschel	Herschel
102	1 ü.	keskohale	keskkohale
105	7 a.	neelumist	neeldumist

	Lk.
I. Maailmaruumi tunnetamise arengust	5
II. Gravitatsiooniseadus	9
III. Päikessüsteem	12
1. Päike	12
2. Merkuur	16
3. Veenus	18
4. Maakera kuu	24
5. Marss	29
6. Asteroidid	38
7. Jupiter	38
8. Saturn	41
9. Uran	43
10. Neptuun	44
11. Pluto	45
12. Komeetid ja lendtähed	46
IV. Kinnistähede taevas	51
V. Kosmiliste kauguste mõõtmisest	53
VI. Astrofüüsikalisi uurimismeetodeid ja mõisteid	57
1. Tähtede pinnatemperatuur	58
2. Tähtede spektrum	58
3. Hiiud ja kääbused	62
4. Tähtede läbimõõt	63
5. Tähtede mass.	64
6. Radiaalkiirus	65
VII. Tähed ja udukogud	66
1. α Centauri	66
2. Siirius	68
3. Kapella	72
4. Betelgeuze	74
5. Algol	75
6. δ Cephei	79
7. Mira Ceti	81
8. Uued tähed	83
9. Planetaarsed udud	86
10. Orioni udu	90
VIII. Ainek tähtedevahelises ruumis	91
IX. Linnutee kui tähtedesüsteem	95
1. Vanemad uurimised tähtedesüsteemi struktuuri kohta	95
2. Kerasparved	97
3. Linnutee süsteem	99
X. Spiraaludud	103
XI. Maailmaruumi lõplikkusest	106
XII. Elu võimalikkusest teistel taevakehadel	111
Kirjandust	118

ELAV TEADUS NR. 1—57.

- Nr. 1. Suur maailmasõda.
" 2. Uued teed tervisele.
" 3. Esimene teekond tümber maailma.
" 4. Otstarbekohane ja ilus kodu.
" 5. Vana-maailma hukkumine.
" 6. Moodne töötehnika ja majanduskriis.
" 7. Okultism ja teadus.
" 8. Sissejuhatus poliitikasse I.
" 9. Jeesuse elu ja õpetus.
" 10. Energia.
" 11. Nüüdne maailmapoliitika ja Eesti.
" 12. Eesti rahvausundi maailma-vaade.
" 13. Kehaehitus ja iseloom.
" 14. Tehnika võidukäik I.
" 15. Elu ja inimese põlvnemine.
" 16. Eesti kroonika 1932.
" 17. Parlamentarism ja Eesti Põhiseadus.
" 18. Iluaiad ja kodu ümbruse kaunistus.
" 19. Lapsepõlv ja iseloom.
" 20. Rõivastuskunst ja mood.
" 21. Enesearendus ja edasi-õppimine.
" 22. Itaalia renessanss.
" 23. Sissejuhatus kunstivooludesse.
" 24. Romantika ja realism.
" 25. Lühike eesti kirjanduslugu.
" 26. Erakonnad Eestis.
" 27. Uni ja unenäod. Loomade mõtlemine.
- Nr.28. Eesti kroonika 1933.
" 29. Kaugenägemine, pilditelegraaf ja kaugekino.
" 30. Raamat ja tema sõbrad.
" 31. Alateadvus ja psühhoanalüüs.
" 32. Aine saladused. (Aatomite ehitus.)
" 33. Uued teed toitluses.
" 34. Elekter igapäevases elus.
" 35. Aur, tuli ja vesi. (Jõumasinad.)
" 36. Mis on „hing“?
" 37. Uuem eesti kunst.
" 38. Nõukogude Vene.
" 39. Eesti kroonika 1934.
" 40. Prantsusmaa ja Euroopa.
" 41. Vana-Eesti rahvakultuur.
" 42. Meie metsloomad.
" 43. Tõutervishoid ja rahva tulevik.
" 44. Mis on elu?
" 45. Maailma usundid.
" 46. Mis on „vaim“?
" 47. Meie koduloomad.
" 48. Poliitilised peavoolud.
" 49. Lühike eesti ajakirjanduse ajalugu.
" 50. Eesti kroonika 1935.
" 51. Lüh. eesti raamatu ajalugu.
" 52. Inglesed ja nende iseloom.
" 53. Sport ja kehaline kasvatus.
" 54. Eesti ühiskond.
" 55. Eesti rahvakunst.
" 56. Lood filosoofia ajaloost I.
" 57. Maailmaruum ja tähed.

SOODUSTATUD TELLIMISTINGIMUSED.

12 eri raamatut Kr. 9.—, 6 eri raamatut Kr. 5.—, 3 eri raamatut Kr. 2.75, 1 raamat Kr. 1.—. 12 eri raamatu hinda Kr. 9.— võib tasuda osakaupa: Kr. 3.50, 2.50, 2.—, 1.—.

Kõide: ilukõide 12 raamatut Kr. 5.—, 6 raamatut Kr. 2.50, 1 raamat Kr. —.50, rahvaraamatukogu-kõide Kr. —.40 iga raamat.

EESTI KIRJANDUSE SELTS TARTUS.

7963

2/10/5

HIND 1 KROON