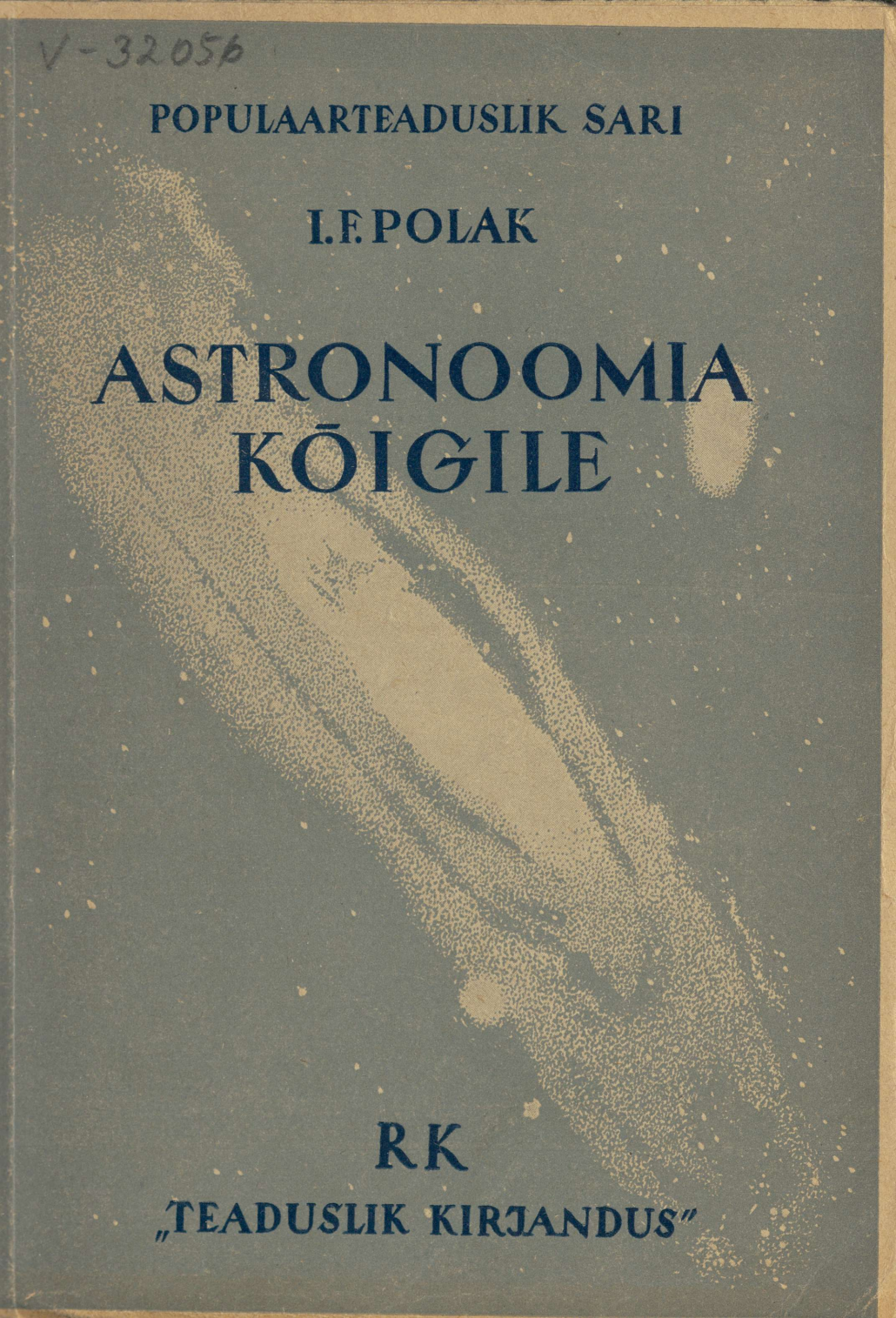
V-32056

POPULAARTEADUSLIK SARI

I. F. POLAK

ASTRONOOMIA KÕIGILE



RK
„TEADUSLIK KIRJANDUS"

V-32056

I. F. POLAK

ASTRONOOMIA KÕIGILE

RK „TEADUSLIK KIRJANDUS“
TARTU, 1948

Tõlgitud teose järgi: И. Ф. Полак, Общедоступная астрономия. Государственное Издательство Технико-теоретической Литературы, Москва/Ленинград, 1944.

Tõlkinud J. Mõttus.



Tartu R. Ülikooli
Teaduslikule Raamatukogule
Tartus, 31. juulil 1959. a.

I peatükk.

Sissejuhatus.

Taevas ja inimene.

Inimese pilgule avanevate lõpmatult mitmesuguste looduse vaatepiltide keskel on üks võrratult grandioossem kui kõik ülejäänud. See vaatepilt on tume tähtedega ülekülvatud õine taevas. Oleks liiga tagasihoidlikult öeldud, et heledad täpid selles kaunis taevamustris on kauged maailmad, sarnased Maale. Tegelikult on nad veel palju suuremad. Iga täpp — täht — on kauge hiiglaslik päike. Igaüks neist, nagu meie Päikegi, võib olla keskuseks tervele planeetide perele, mis on sarnased meie maakerale, ja tume taevafoon vilkuvate tähtede vahel on maailmaruum, millel pole lõppu.

Niisuguste mõtetega vaatleb tähistaevast kaasaegne inimene, kellele teadus on avanud helendavate taevakehade loomuse. Seepärast teda see vaatepilt nii kaasakiskuvalt huvitabki. Kuid taevas on tõmmanud inimeste tähelepanu endale juba palju varem, kui tekkis ükskõik milline teadus, ja isegi enne niinimetatud ajaloolist aega, veel neil aegadel, kui inimene ei mõtelnud maailmaehitise lõpmatusest ja kujutles taevast kindla võlvi näol, mis asetseb otsekohe pilvede taga.

Kõikide aegade mõtlevatele inimestele oli taevas niihästi ilusaks vaatepildiks kui ka mõistatuseks. Taevas avatles inimest mõtlema, taevas oli kõik arusaamatu, s. o. täiesti erinev sellest, mida inimene nägi enda ümber Maa peal. Erinevus seisneb juba selles, et taevakehad on kõik helendavad, aga maised — tumedad, mittehelendavad. Selleks, et maine ese helendaks, tuleks ta näiteks põlema süüdata, s. o. hävitada. Seejuures aga taeva valguskehad otsekui põleksid, kuid ei põle ära, ei hävine, järelikult omavad mingisuguseid imelikke omadusi. Nad on justkui igavesed — kõige kaugematest aegadest saadik, milledest on veel säilinud pärimusi, pole nad muutunud. Samal ajal aga Maa peal kõik hävineb, kõik on surev.

Kuid iseäranis silmatorkavalt erinevad taevakehad maistest oma liikumise poolest. Võtame näiteks kas või selle liikumise, mille tulemusena taevakehad tõusevad ja loojuvad ja päev vaheldub ööga. See liikumine toimub juba lugematute inimpõlvede kestel ja mitte ükskes ilma vähimagi seisakuta, vaid ka ilma väikseimagi kiirenduseta või aeglustumiseta, absoluutselt ühtlaselt ja muutumatult. Et aga Maa peal inimene niisuguseid liikumisi polnud märganud, siis tegi ta sellest järelduse, et taevakehade liikumine on samuti igavene ja samuti imeväärne kui taevakehad ise ja et neil ei ole maiste kehade liikumisega midagi ühist.

Niiviisi tekkis järk-järgult kõigil rahvastel nende kultuurse elu algastmel veendumus, et taevakehad omavad mingisugust imeväärset üleloomulikku olemust. Arvati näiteks, et taevakehad on jumalused, kes juhivad Maa elu. Nii tekkisid need vanaaegsed usundid, millede kohaselt taevakehi, esmajoones Päikest ja Kuud

kummardati kui jumalaid. Teiste usundite järgi peeti „taevast" üldiselt ainult jumalate asukohaks ja ka taevakehadele omistati imeväärseid omadusi, näiteks mõju inimeste saatusele. Sellest arenes omaette väärteadus astroloogia, mis õpetas, et taevakehade seisu järgi võib ennustada tulevikku, ja mis andis isegi „reeglid" niisugusteks ennustusteks.

Astronoomia tekkimine praktilise elu vajadustest.

Kuid mitte üksnes teadmishimuliste tarkade kaemustest ega ka astroloogilisest ebausust ei kasvanud välja suur teadus — astronoomia. See tekkis praktilistest vajadustest: taevast oli tarvis tähele panna juba esimestest kultuuriastmetest alates. Seepärast tekkis astronoomia esimesena enne kõiki teadusi. Jääaja inimeste koobaselamute seintel leitakse sageli nende poolt väljatöötatud mammutiluu tükkidel tähtkujude, peamiselt Suure Vankri (e. Suure Karu) kujutusi. Pole kahtlust, et juba tol kaugel ajastul, kümned tuhanded aastad tagasi, eristasid inimesed tähtkujusid ja õppisid nende järgi leidma teed tundmatus maastikus. Hiljem, kui arenes karjakasvatus ja põllumajandus, pidi inimene õppima aegsasti ette arvestama aastaaegade vahetust, ja ta pani tähele, et aastaaegade muutumine oli seotud kindlate tähtkujude ilmumisega. Nii näiteks 5000—6000 aastat enne meie ajaarvamist panid egiptuse preestrid tähele, et Niiluse üleujutus, mis reguleerib kogu maa majanduslikku elu, saabus peatselt pärast seda, kui idas hommikuse koidu kiirtes esimest korda pärast kahekuulist mittenähtavust ilmus uuesti Siirius, kõige heledam täht taevas. Seda avastust oskasid preestrid muidugi kasutada oma huvides. Pannes tähele Siiriuse ilmumist,

teatasid nad pidulikult rahvale suure jõe heategeva üleujutuse lähedusest, ja selle ettekuulutuse täidumine ümbritses neid masside silmis inimeste aupaistega, kes on saladuslikus ühenduses jumalatega. „Vajadus välja arvutada Niiluse üleujutuse perioodid lõi egiptuse täheteaduse, ühes sellega aga ka preestrite kui põllunduse juhtide kasti" [1].

Kultuuri arenemisega sai astronoomia üha tarvilikumaks. Tekkis vajadus täpse aja arvestuse järele, ja astronoomid leiutasid kellad, kalendri, päevade ja aastate arvutamise reeglid. Kaubanduse arenemine vajas abinõusid leida teed isegi ulgumerel, ja astronoomid lõid sel eesmärgil reeglid geograafiliste laiuste ja pikkuste täpseks kindlaksmääramiseks. Seepärast tekkiski astronoomia enne kõiki teisi teadusi ja omandas ühtlasi ka neist kõigist varem riikliku tähtsuse. Mitte ainult egiptlastel, vaid ka babüloonlastel, hiinlastel ja hindudel tekkisid juba igivanal ajal astronoomid-eriteadlased, kes olid kohustatud regulaarselt jälgima ja isegi ennustama taevanähtusi. Nad uurisid taevast muidugi palja silmaga, peaaegu ilma ühegi instrumendita — parimal juhul mõõtsid nurki mingisuguste kohmakate riistadega, mis sarnanesid suure puust sirkliga. Seejuures tegid esimesed astronoomid vajalikke arvutusi samuti kõige algelisemate vahenditega. Kuid aja jooksul lõid needsamad inimkonna esimesed teadlased astronoomia vajadusteks alged veel ühele teadusele — matemaatikale. Seda formuleerib Engels selgesti „Looduse dialektikas" nii: „Astronoomia võib areneda ainult

[1] K. Marx ja Fr. Engels, Teosed, XVII köide, lk. 562 (vene keeles).

matemaatika abil. Järelikult tuli tegelda ka viimasega" [1].

Käesoleva sissejuhatuse järgnevas osas anname lühikese ülevaate taevanähtustest, mida võib jälgida varustamata silmaga, nagu tegid seda muistsed astronoomid. Me puudutame ka maailma tõelikku ehitust, kuna see üldjoontes oli välja selgitatud just nende lihtsate vaatluste alusel veel enne pikksilma (teleskoobi) leiutamist.

Tähed ja tähtkujud.

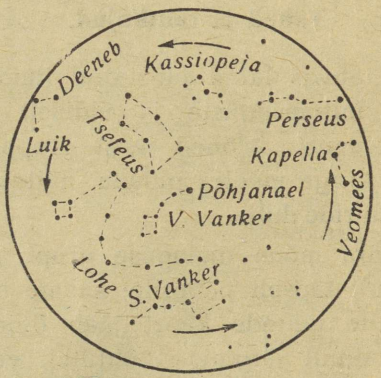
Tähed on taevas laiali puistatud ilma mingisuguse korrata, väga mitmesuguste ja üldiselt täiesti korrapäratute gruppidena. Mõned neist gruppidest omavad kuju, mida on kerge meeles pidada, näiteks lihtsat geomeetriliste figuuride kuju.

Märgime ära mõne niisuguse grupi ja joonistame selle võimalikult täpselt paberile; saame selle taevaosa kaardi. Säärane tähtede kaart jääb õigeks pikemaks ajaks. Mitte ainult järgmistel õhtutel, vaid ka pärast kümneid aastaid näeme oma tähegruppi niisugusena, nagu me selle joonistasime esmakordselt. Ükski täht ei lähe kaduma, ükski ei nihku omalt kohalt. Ainult kogu tähegrupp ei osutu alati sellel taevapoolel, kus me teda varem nägime, või teinekord me üldse ei leia teda, ta võib kaduda silmapiiri taha — loojuda, nii kui lähevad looja Päike ja Kuu.

Tähtede tõus ja loojumine toimub nii, nagu oleksid nad liikumatult kinnitatud hiiglasliku kõva võlvi sise-

[1] K. Marx ja Fr. Engels, Teosed, XIV köide, lk. 438 (vene keeles).

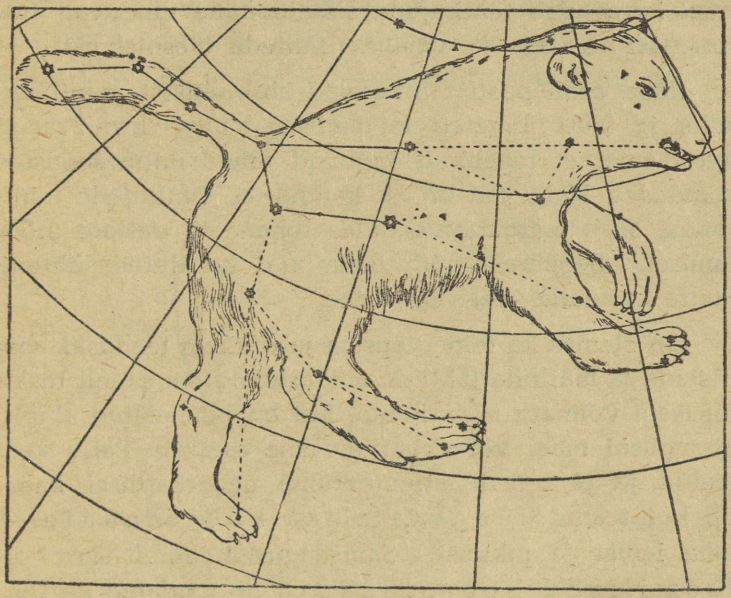
misele pinnale, mis omab kera e. sfääri kuju ja pöörleb kogu aja meie ümber suunaga idast läände. Seda pöörlemist nimetatakse ööpäevaseks pöörlemiseks, sest sfäär teeb ühe pöörde ööpäeva kestel. Kogu sfääri me loomulikult korraga ei näe, vaid näeme ainult selle ühte poolt, ühte poolkera. Teine poolkera on meie eest kaetud Maa läbipaistmatu kehaga, mis on otsekui sfääri keskel ja ei sega sugugi tema pöörlemist.



Joon. 1. Tähtkujud taeva põhjapooluse ümbruses.

Vaadeldes taevast aastatuhandete vältel, eristasid inimesed algul mõned rohkem tähelepandavad tähegrupid, vähehaaval siirdudes aga ka järelejäänud tähtede juurde. Juba igivanal ajal oli taevas jaotatud mitmekümneks osaks. Igas osas eristati mingisugune silmatorkav tähtedest koosnev figuur ja iga osa sai eri nimetuse. Neid osi, milledeks inimesed jaotasid tähistaeva, et kergem oleks selles orienteeruda, nimetatakse tähtkujudeks (joon. 1).

Muistsete vaatlejate naiivne fantaasia nägi tähtkujude pildis kujutusi tuntud esemetest, inimestest, loomadest, muistendite ja pärimuste kangelasi. Need kummalised nimetused, mida tähtkujud praegu kannavad, tekkisid kaks-kolm tuhat aastat tagasi Babülonis ja



Joon. 2. Tähtkuju Suur Vanker (Suur Karu) vanaaegsel kaardil.

muistses Kreekas. Paljud neist nimetustest näivad meile mõistetamatuna eriti sellepärast, et tähtkuju figuur harilikult sugugi ei ole sarnane selle esemega, mille nimega teda nimetatakse (vaata joon. 2), ja mõnede nimede tekkimine on isegi hoopis ununenud. Heledamad tähed igas tähtkujus märgitakse kreeka tähtedega, näiteks Põhja-

naela nimetatakse teisiti Väikese Vankri (Väikese Karu) α-ks (alfaks), Siiriust — Suure Peni α-ks.

Juba ammu on koostatud tähtede kaardid, mis mitmeti sarnlevad maapinna kaartidega. Nendel kaartidel etendavad riikide osa tähtkujud ja tähed märgitakse tärnikestega või ringikestega nagu linnad maakaartidel. Sel viisil kergendab tähtkujude sissetoomine tunduvalt tutvunemist taevaga ja vajalike tähtede ülesotsimist.

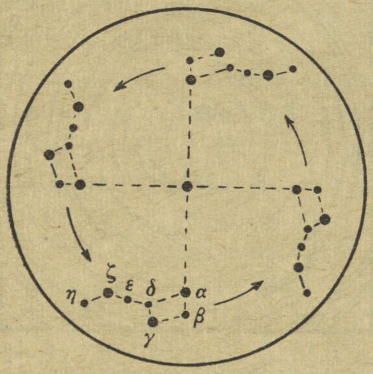
Kaua aega peeti tähtkujusid absoluutselt muutumatuiks ja tähti nimetati kinnistähtedeks. Praegu aga teame, et tegelikult liiguvad tähed mitmesugustes suundades. Kuid nad on nii kaugel, et tähtkujude muutumine saab märgatavaks alles tuhandete aastate möödumisel. Seepärast võib meie ajal koostatud tähtede kaarte kasutada veel väga kaua.

On olemas ka teine, täpsem ja rohkem teaduslik viis eristada ja märkida tähti. Maakaartidelgi on sageli raske või isegi võimatu leida kohta, kui on juhendatud ainult missugusel maal või vabariigis see asetseb. Palju kergemini ja täpsemalt orienteerume geograafilisel kaardil, kui teame geograafilisi koordinaate — koha laiust ja pikkust. Samasugused, ainult astronoomilised koordinaadid on näidatud ka tähtede kaardil. Iga tähe asukoht on määratav kahe arvuga δ (delta) ja α (alfa), mis täiel määral vastavad geograafilisele laiusele ja pikkusele.

Maa ja taeva pöörlemine.

Praegu on kõigile teada, et taevasfääri pöörlemine idast läände on näilik nähtus. Tegelikult ei pöörle mitte

taevasfäär, vaid pöörleb meie maakera läänest itta. Maakeral on kaks diametraalselt vastastikku asetsevat liikumatut punkti, mida nimetatakse põhja- ja lõuna-poolusteks (-nabadeks). Võrdsele kaugusele maakera mõlemast poolusest tõmmatakse kujutletav ring — maakera ekvaator. Sirgjoont, mis läbib Maa tsentri ja mõlemad poolused, nimetatakse maakera teljeks. Maa pöörlemist meie ei tunne; vastupidi, meile näib, et taevasfäär koos taevakehadega pöörleb



Joon. 3. Suure Vankri ööpäevane liikumine ümber Põhjanaela.

vastupidises suunas. Et taevasfääri pöörlemine on ainult Maa pöörlemise vastupeegeldus, siis leiame taevasfääril kõike seda, mis on iseloomulik maakera pöörlemisele. Nii leiame taevasfääril kaks diametraalselt vastastikku asetsevat liikumatut punkti — taeva poolused, põhja- ja lõunapooluse, nimetatud ka maailma poolusteks. Sirgjoont, mis läbib mõlemad poolused, nimetatakse maailma teljeks. Meile, muuseas öeldud, on nähtav ainult taevasfääri põhjapoolus. Pooluse kohal ei ole mingit tähte, kuid üks küllalt hele täht asetseb

üsna pooluse lähedal ja teda nimetataksegi sellepärast Põhjanaelaks. Teda on kerge leida ilusa tähtkuju Suure Vankri (Suure Karu) järgi, nagu seda näitab joonis 3.

Põhjanael ise kuulub teise, nimelt Väikese Vankri (Väikese Karu) tähtkujusse. Ükskõik millal me ka ei vaataks põhjapoolsesse taevasse, näeme ikka Põhjanaela samal kohal, nagu nägime teda esimene kord. Ta näib



Joon. 4. Fotoülesvõte taevasfääri põhjapooluse piirkonnast valgustamisajaga 4 tundi. Selle aja jooksul joonistas iga täht fotoplaadile seda suurema kaare, mida kaugemal ta asetses poolusest.

palja silmaga vaadatuna täiesti paigalseisvana ja näitab põhjasuunda täpsemalt kui kompass. Teised tähed tiirlevad kogu aja ümber Põhjanaela — õigemini ümber pooluse (joon. 4).

Põhjanael nihkub märgatavalt ainult sel juhul, kui me ise tublisti liigume kas põhja või lõuna poole. Kui satume Maa põhjapoolusele (laius 90^0), siis osutub taeva põhjapoolus täpselt pea kohal — s e n i i d i s, s. o. taevavõlvi kõrgeimas punktis. Vaatlejal, kes viibib Maa

lõunapoolusel, on pea kohal taeva lõunapoolus, mis aga pole märgistatud ei mingisuguse heleda tähega.

Mõlema pooluse vahele tõmmatakse mööda taevasfääri kujuteldav ring — taeva ekvaator, mis jagab taevasfääri kaheks poolkeraks, põhja- ja lõunapoolkeraks, — täpselt niisama, nagu maakera ekvaator jaotab Maa kahte võrdsesse ossa. Ei ole raske kujutleda, et ekvaatori (laius 0^0) elanikel läheb taeva ekvaator täpselt üle nende peade, läbi seniidi, idast läände, kuna maailma poolused on vaatepiiril, põhjapoolus — põhjas, lõunapoolus — lõunas.

Osutub, et on olemas üldine väga lihtne reegel: kus me Maa peal ka ei asetseks, maailma pooluse leiame alati horisondi kohal selles kõrguses, mis võrdub koha geograafilise laiusega. Näiteks Krasnodaris, mille laius on 45^0, asetseb taeva põhjapoolus (järelikult ka Põhjanael, mis on selle lähedal) täpselt võrdsel nurkkaugusel niihästi horisondist kui ka seniidist. Leningradis (laius 60^0) asetseb aga Põhjanael kaks korda lähemal seniidile kui horisondile. Selle reegli põhjal merimehed ulgumerel ja lendurid kaugeil öistel lendudel määravadki kindlaks geograafilise laiuse.

Astronoomilised koordinaadid.

Taeva ekvaatorist põhja või lõuna poole mõõdetakse astronoomilist „laiust" δ, samuti kui geograafilist laiust mõõdetakse maakera ekvaatorist. Ainult nimetust „laius" astronoomilise koordinaadi puhul ei tarvitata, vaid selle asemel öeldakse kääne ehk deklinatsioon. Täht, mis asetseb täpselt taeva ekvaatoril, omab käänet 0^0 (null kraadi). Täht, mis asetseb just keskel ekvaatori

ja põhjapooluse vahel, omab *põhjakäänet* 45^0. Maale kõige lähemal asetsev täht Tsentauruse alfa (α Centauri; meil nähtamatu) omab *lõunakäänet* 60^0.

Astronoomiline pikkus α kannab ebasobivat ja vähe arusaadavat nimetust: *otsetõus*. Mõõdetakse teda nagu geograafilistki pikkust — piki ekvaatorit, läänest itta.

Toome näiteid. Heledaim täht kogu taevas — Siirius — omab otsetõusu umbes 100^0, aga täheparv Plejaadid (rahvasuus ka „Sõel") — umbes 55^0. Kujutleme, et Siirius asetseb täpselt lõunas, s. o. oma ööpäevase teekonna kõrgeimas punktis (*meridiaanis*, nii kui Päikegi keskpäeval). Samal ajal Plejaadid, millede α on 45^0 võrra väiksem, läbisid juba 3 tunni eest meridiaani ja kalduvad nüüd läände. Astronoom ütleb, et Plejaadidel võrdub sel momendil *tunninurk* 3 tunniga (või 45^0-ga, kuna iga taevakeha läbib tunni jooksul $\frac{1}{24}$ osa ringist, s. o. 15^0).

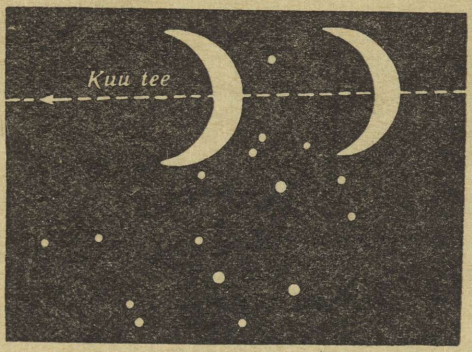
Omaliikumisega taevakehad.

Taevakaartidel on märgitud tuhanded palja silmaga nähtavad tähed ja sajad tuhanded teleskoobilised tähed, mis on nähtavad ainult teleskoobi abil. Kuid ühelgi tähtede kaardil ei leia me just kõige heledamaid ja märgatavamaid taevakehi. Nendel pole mitte üksnes Kuud ja Päikest, vaid ka viit väga heledat taevakeha, mida nimetatakse *planeetideks*.

Ja just need seitse taevakeha köitsid eriliselt esimeste taeva vaatlejate tähelepanu, seejuures mitte ainult oma heleduse tõttu. Näis täiesti mõistatuslikuna nende

liikumine, mille tundmaõppimine oli kaua aega kogu astronoomia peaülesandeks.

Tõepoolest näis vanaaegsetele täheteadlastele kindlana, et need taevakehad on kuidagi seoses taevavõlviga, mis on üle külvatud tähtedega. Kõige lihtsam oli mõelda, et need ühes teiste tähtedega asetsevad mingisuguse kristalse sfääri pinnal: nad võtavad ju osa öö-



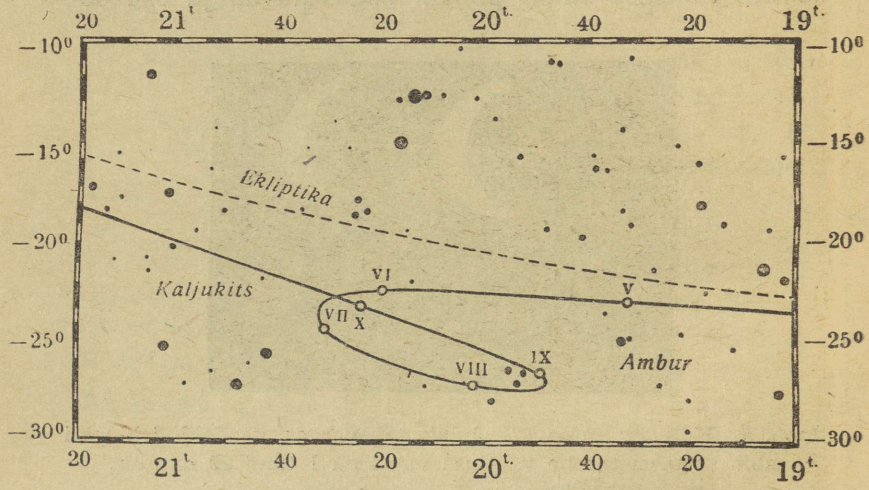
Joon. 5. Kuu liikumine Plejaadide täheparves, vaadeldud binokli abil. Vaheaeg kahe vaatluse vahel on 1 tund 20 minutit.

päevasest taevavõlvi pöörlemisest, tõusevad ja loojuvad nagu tähedki. Kuid mingisugusel arusaadamatul viisil liiguvad nad seda pöörlevat sfääri mööda, siirdudes ühest tähtkujust teise.

Kõige kergem on seda teist, niinimetatud omaliikumist tähele panna Kuu puhul (joon. 5): igal järgneval õhtul seisab noorkuu sirp tähtede vahel tunduvalt kaugemal idas kui eelõhtul. See oli arvatavasti esimene astronoomiline avastus, mida tegi inimene. Päike nihkub samuti iga päev itta, kuid tunduvalt aeglasemalt kui

Kuu, ja seda liikumist on palju raskem tähele panna, sest Päikese paistes ei ole tähed nähtavad.

Kõige imelikumana näis muistsetele astronoomidele planeetide omaliikumine. Suurema osa ajast on see suunatud i t t a nagu Kuul ja Päikesel (joon. 6, asend V ja VI). Kuid aeg-ajalt igaüks planeetidest peatub, muu-



Joon. 6. Planeedi Marsi liikumine tähtede keskel 1939. a. aprillist oktoobrini. Rooma numbrid märgivad kuu esimesi päevi. Araabia numbrid kaardi külgedel võimaldavad lugeda otsetõusu tunde ja minuteid ja käände kraade.

tub otsekui kinnistäheks ja algab siis liikumist tagasi l ä ä n d e (asend VII ja VIII).

Pärast mõnd nädalat või kuud kestnud v a s t u p i d i liikumist peatub planeet jällegi ja alustab oma p ä r i p i d i liikumist itta (asend IX ja X). Mõne kuu järel saabub uus seisak ja planeet hakkab jälle joonistama silmust juba uues taevaosas.

Zodiaak ja ekliptika.

Juba igivanal ajal pandi tähele, et need „ekslevad taevakehad" oma rännakuil tähistaevas otsekui peavad kinni kindlast teest. Näit. Suure Vankri ega Suure Peni tähtkujudesse ei läinud oma rännakul kunagi ükski planeet. Taevasfääril on lai ringtee, mis embab rõngana kogu taevast, ja ainult selle vöötme piirides võib näha Kuud ja planeete. Seda vöödet nimetatakse Zodiaagiks, s. o. loomaringiks. Tähed, mis asetsevad Zodiaagi sees, on juba muinasajast alates jaotatud kaheteistkümneks tähtkujuks, mida nimetatakse Zodiaagi märkideks. Zodiaagi vöötme keskel leiame joone, mida nimetatakse ekliptikaks (joon. 6) ja mida mööda liigub Päike taevasfääris aasta (mitte ööpäeva) jooksul. See joon on ring, nagu taeva ekvaatorgi. Kuid ekvaatoriga ta kokku ei lange, vaid ristub temaga kahes punktis $23\frac{1}{2}^0$-se nurga all. Neist kahest punktist nimetatakse üht — kevadpööripäeva punktiks, teist — sügispööripäeva punktiks (ehk lühendatult kevad- ja sügispunktiks).

Tutvumine tähtsamate Zodiaagi tähtkujudega on niisama tähtis kui tutvumine Põhjanaela ja Suure Vankriga. Esitame nende tähtkujude nimestiku. Iga nimetuse kõrvale on paigutatud kuu nimetus, millal Päike jõuab sellesse tähtkujusse.

Kalad — märts
Jäär — aprill
Sõnn — mai
Kaksikud — juuni
Vähk — juuli
Lõvi — august
Neitsi — september
Kaalud — oktoober
Skorpion — november
Ambur — detsember
Kaljukits — jaanuar
Veevalaja — veebruar

Kui tuletame meelde, missugustel kuudel on päev võrdne ööga, siis on selle tabeli järgi kerge kindlaks määrata, et kevadpööripäeva punkt asetseb Kalade tähtkujus ja sügispööripäeva punkt Neitsi tähtkujus.

Need Zodiaagi tähtkujud, millede keskel teataval ajal asetseb Päike, on kättesaadamatud vaatlusteks. Umberpöördult, tähtkujud Zodiaagi vastaspoolel on eriti hästi nähtavad. Nii näiteks juunis, kui Päike asetseb Kaksikute tähtkujus, s. o. kõige kõrgemas punktis ekvaatorist põhja pool, võime imetleda lõuna tähtkujusid Skorpioni ja Amburit. Vastupidi, Zodiaagi põhja tähtkujud — Sõnn ja Kaksikud — on eriti hästi nähtavad talvel.

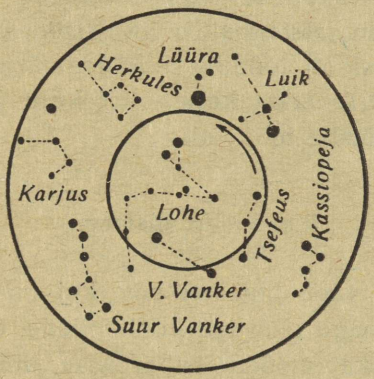
Maailma pooluste liikumine ehk pretsessioon.

Muistsed täheteadlased ei võinud märgata üksikute tähtede asukoha muutumist ja pidasid neid liikumatult kinnitatuiks taevasfäärile. Kuid nad avastasid k o g u taevasfääri tähelepanuväärse liikumise, mis näis neile veel mõistatuslikumana kui planeetide „vastupidised" liikumised.

Kandume mõttes tagasi Egiptuse püramiidide ehitamise ajajärku, s. o. tagasi üle 5000 a. enne meie ajaarvamist. Meie ei märkaks tähtkujudes mingisuguseid muutusi ja leiaksime ilma vaevata Põhjanaela nagu praegugi Suure Vankri järgi. Kuid meie imestuseks osutub, et Põhjanael ei seisa paigal, vaid joonistab ööpäeva jooksul kaunis suure ringi. Liikumatuks täheks, seega „Põhjanaelaks" tuleks meil pidada sel kaugel ajajärgul teist tähte, niinimetatud Lohe α-t (alfat), mis asetseb meie Põhjanaelast 17°-sel nurkkaugusel (joon. 7). Niisiis n i h -

k u b aja jooksul tähtede suhtes maailma poolus ja ühes temaga järelikult ka taeva ekvaator, ja telg, mille ümber pöörleb taevasfäär, otsekui läbiks järjest uusi punkte sellel sfääril.

Kuid tähistaeva pöörlemine ümber Põhjanaela on ju näilik nähtus. Pöörleb tegelikult meie Maa nagu määratu vurr ümber oma telje, mis on suunatud Põhjanaela poole. Igaüks, kes lapsepõlves pani pöörlema vurri, teab,



Joon. 7. Maailma pooluse liikumine mööda tähtkujusid pretsessiooni tagajärjel. Poolus liigub väiksemat ringi mööda sihis, mis on näidatud noolega. Nüüdisaegne Põhjanael asetseb ringi alumise punkti läheduses, täht Veega — kõrgeima punkti läheduses.

et harva läks korda vurri pöörlema panna selliselt, et tema telg oleks seisnud täiesti liikumatult. Vähimastki tõukest oli küllalt, et vurri ülemine ots (tema poolus) hakkaks joonistama aeglasi ringe. Samasugust ringi joonistab meie Maa telgki. Seepärast ka maailma poolus, s. o. tähistaevakera punkt, mille poole see telg näitab, liigub taevasfääril ringi mööda, kuid äärmiselt aeglaselt meie aja mõõtude järgi: üks pööre kestab umbes 26 000

aastat. Seda maakera telje suuna muutumist nimetatakse pretsessiooniks.

Pretsessiooni tagajärjel on mitmed tähed järjekorras „põhjatähtedeks". 13 000 aasta pärast nihkub pooluse praegune asend 47° võrra ja „põhjanaelaks" (-täheks) saab siis Veega (Lüüra tähtkujus), kõige heledam täht põhja poolkeral (joon. 7). Samuti läbib ka taeva ekvaator sel ajajärgul hoopis teisi tähtkujusid kui meie päevil, kuid ekliptika ja Zodiaak ei muutu.

Pretsessioon seletati alles XVII sajandil Newton'i poolt. Pretsessioon toimub selle tagajärjel, et Maa ei oma täiesti korrapärast kerataolist kuju ja on Kuu ja Päikese külgetõmbe mõju all.

Planeetide süsteem.

Kõik näib väga lihtsana siis, kui on teada, milles seisneb asi. Praegu teab iga kooliõpilane, et mitte Päike ei liigu ekliptikat mööda ümber Maa, vaid Maa liigub ümber Päikese aasta jooksul. Planeedid ei asetse sugugi „kinnistähtede sfääril" (millist sfääri tegelikult üldse ei olegi), vaid tähtedest hoopis lähemal, mitmesugusel kaugusel meist. Planeedid tiirlevad ümber Päikese nagu Maagi, mitte aga ümber Maa. Planeetide teekonnad on väga korrapärased, mingisuguseid seisakuid ja vastupidi liikumist neil ei ole. Meie poolt nähtavad silmused, mida planeedid joonistavad taevasfääril, tekivad ainult sellest, et meie Maa on ka üks planeetidest. Maa liikumine ümber Päikese ei põhjusta üksnes Päikese näivat aastaliikumist, vaid ka seda, et planeetide liikumine näib meile väga keerulisena. Kui võiksime jälgida planeetide

liikumist Päikeselt, siis paistaks nende liikumine meile palju lihtsamana.

Et avastada tõelist maailmaehitise pilti, oli inimkonnal tarvis teha tuhandeid aastaid pingerikast tööd. Selle aja jooksul leiutati astronoomilised instrumendid ja toimetati nendega rohkearvulisi vaatlusi, loodi geomeetria ja mehhaanika põhialused ja lõppeks — mis kõige tähtsam — hajutati usundlikkude väljamõeldiste uim, mis pidurdas teaduse arengut. Tähtsamaid momente sellel arenguteel valgustatakse järgnevais peatükkides.

II peatükk.

Astronoomilised instrumendid ja vaatlused.

Mis on astronoomiline vaatlus?

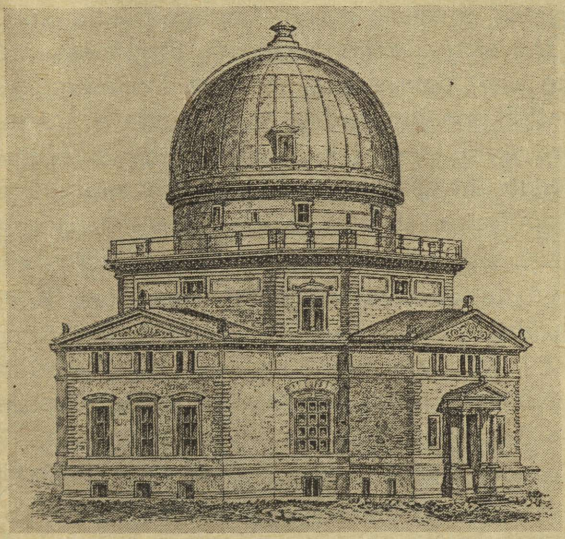
Sõnade puhul „astronoomiline vaatlus" tekib kogenematul lugejal kindlasti kujutlus kõrgest majakataolisest tornist, hiigla teleskoobiga selle tipus. Teleskoobi juures valvab ööd läbi astronoom. Silma teleskoobilt pööramata jälgib ta taevakehi, „vaatleb" neid, kuni teeb mingi avastuse. Päeval ta loomulikult magab. Ja tõesti — mis jääkski tal päeval teha, kui pole näha tähti?

Kogu see kujutluslik pilt on kaugel tegelikkusest.

Algame kas või sellest, et astronoomilisi instrumente ei püütagi enam asetada kõrgetesse tornidesse. Nüüdisaja observatooriumi torn ei sarnle vanaaegse kindluse valvetorniga, vaid ennem sõjalaeva lahingutorniga, mis kaitseb kahurimeeskonda ja kahurit vaenlase tule eest. Samasugust tähtsust, kuid vähem ohtliku vaenlase — ilmastiku — eest omab astronoomiline torn (joon. 8); seepärast tehakse tema ülemine osa ka pöörlev, muidugi palju kergem kui ristleja soomustorn. See asjaolu võimaldab teadagi suurendada astronoomilise torni mõõtmeid, nii et astronoomilise „kahuri" toru ei tarvitse ulatuda kunagi

luugist välja, ja kui vaatlemist ei toimetata, suletakse luuk.

Edasi, kuigi igasuguse astronoomilise instrumendi vajalikuks osaks on siiamaani teleskoop, s. o. pikksilm, ei ole ta väga sageli sugugi uurimisriista peamiseks osaks. Koguni sõna „teleskoop" ei tarvitata enam palju,



Joon. 8. Teleskoobi torn.

vähemalt täheteadlaste endi keskel. Muuseas ei nimeta ka nõukogude astronoom kunagi oma instrumenti selliselt, nii nagu ei nimeta meie punaarmeelane oma vintovkat enam „püssiks".

Kaugeltki mitte igal astronoomilisel instrumendil ei leia me pikksilma tema täielises koosseisus, nagu seda kirjeldatakse füüsikaõpikuis. Alati on kohal ainult pea-

osa pikksilmast — klaasist objektiiv, millega pikksilm on pööratud taeva poole. Kuid pikksilma teises otsas, mida nimetatakse okulaarseks (silmaotsaks), leidub üha harvemini inimese-vaatleja elusat silma, varustatuna luubiga — okulaariga. Üha sagedamini asendatakse inimese silm fotoplaadiga, nii et astronoomiline pikksilm muutub, õigust öelda, fotoaparaadiks.

Lõppeks ei seisne astronoomiline vaatlemine sugugi lihtsalt taevakehade jälgimises ja astronoom (vähemalt vaatluste ajal) pole sugugi sarnane inimesega, kes lihtsalt imetleb maailmaehitise grandioossust. Astronoom on laboratoorne töötaja, kes oma peene ja keerulise riista abil mõõdab üht või teist suurust, sagedamini mingisugust nurka. Mõõtmise tulemusena saadakse mõned arvud, mis märgitakse üles siinsamas instrumendi juures.

Et vaatlus omaks teaduslikku väärtust, tuleb seda teostada ülima täpsusega, niipalju kui võimaldavad seda teha riist ja vaatleja. Seepärast saabub iga vaatluse protsessis moment, millal tuleb teha midagi „võimalikult hästi", s. o. maksimaalse tähelepanu ja hoolega.

Astronoomi võib sagedamini kui mõnd teist laboratoorset töötajat võrrelda vooltootmise töölisega. Tõepoolest, füüsikalist või keemilist katset saab selle ebaõnnestumise juhul korrata samal viisil kui esimesel korral või katset teostada isegi soodsamail tingimustel. Võib näiteks võtta analüüsi jaoks suurem hulk ainet. Korrata aga astronoomilist s ü n d m u s t me ei saa. Võime korrata ainult v a a t l u s t, kui toimub uus astronoomiline sündmus, mis on täpselt sarnane esimesega. Kuid niisuguseid sündmusi, õigust öelda, ei olegi. Näiteks päikesevarjutus 1945. a. on mitmes suhtes erinev varjutusest 1941. a. Päikese laigud pole homme enam need, mis olid täna.

Isegi ükskõik milline nõndanimetatud „kinnistäht" on juba mõne päeva pärast ära nihkunud oma tänasest kohast. „Kõik voolab, kõik muutub".

Peale astronoomiliste vaatluste kordumatuse on veel üks põhjus, mis teeb astronoomi töö pingeliseks, milline asjaolu on tundmatu laboratoorsele töötajale: see on ilmastik — kapriisne, muutlik parasvööndi ilmastik, mis on vaatleja peavaenlaseks. Vastupidiselt laialt levinenud arvamusele ei tegele astronoomid ilmastiku ennustamisega: sellega tegelevad meteoroloogid, kes viimasel ajal on sellel alal saavutanud suuri tulemusi. Kuid astronoom on huvitatud ilmastikust palju suuremal määral kui ükski teine uurija, kuna vaadelda ükskõik millise astronoomilise instrumendiga võib ainult selge taeva puhul. Ilmastiku muutlikkus ajab segi järjekindlalt kõik astronoomilise töö plaanid ja püstitab nõude, et kasutataks peaaegu igal minutil selget taevast, et midagi ei lükataks edasi „homsele päevale".

Kujutleme nüüd, et kõik läks soodsalt. Vajalikul momendil nägi vaatleja tähte oma instrumendi vaateväljal, teostas mõõtmised ja tegi vajalikke märkmeid. Kas võib arvata, et astronoomi eesmärk on saavutatud, et vaatluse puhul ülesmärgitud arvud on vastus teda huvitavale ülesandele? Kahjuks pole see peaaegu kunagi nii.

Siin ei taha meie öelda ainult seda, et astronoom määrab väga sagedasti selliseid suurusi, milliseid otseselt mõõta on raske, sageli ka täiesti võimatu, näiteks ühe või teise planeedi kaugust. Selle suuruse asemel tuleb mõõta rohkem kättesaadavaid suurusi, nimelt mitmesuguseid nurki (nagu see ongi tavaline astronoomiliste ülesannete enamiku puhul), ja saadud nurkade

järgi arvutada valemite abil välja taevakehade kaugused. Säärane otsitava suuruse väljaarvutamine katsete ja vaatluste põhjal on igale teaduslikule töötajale, mitte ainult astronoomile päris harilik asi.

Kuid astronoom peab ebatavaliselt ettevaatlikult suhtuma vaatluste andmeisse. Ühtegi arvu, mis on märgitud vaatluste tulemusena, ei või ta tunnistada korraga õigeks, ükskõik kui hoolikalt vaatlus teostatigi; ühtegi arvu ei saa ta kasutada enne, kuni pole parandatud vaatlusvead. Need vead on vägagi mitmesugused ja nende peamine allikas seisneb instrumendis: ükskõik kui hoolsalt ja vastupidavalt ka ei oleks tehtud mõõtmisinstrument, ei saa ta olla absoluutselt täpne ja absoluutselt muutumata. Kui astronoom mõõdab nurka metallist ringi abil, mis on jaotatud kraadideks, peab ta meeles pidama, et võimatu on valmistada ringi, kus kraadide jaotuse kriipsud oleksid kõik täpselt ühtlased ja kus keskpunkt asetseks täpselt pöörlemisteljel. Veel näide. Sageli on väga tähtis, et instrumendi pöörlemistelg oleks täpselt horisontaalne. Kuid see on samuti saavutamatu: telg omab alati mingisugust kallakut, harilikult küll õige väikest; aga kui see unustada, võib tekkida tunduv viga mõõtmistesse. Kuigi läheks korda seda saavutada, et telg oleks täpselt horisontaalne, siis mõne aja möödudes on see horisontaalsus ikkagi rikutud, asetsegu instrument kas või kõige kindlamal alusel, näiteks kivist tulpadel.

Niiviisi on astronoomidel tööd ka päeval. Nad peavad t ö ö t l e m a vaatlusi ja esimeses järjekorras parandama vaatlusandmeid instrumentidest tingitud ja muude vigade arvel. See töö on väga komplitseeritud ja võtab tunduvalt rohkem aega kui öiste vaatluste tegemine. Suurtes laboratooriumides tehakse seda tööd regulaarselt

päevast päeva nagu harilikku raamatupidamise tööd. Et see töö suuremalt jaolt ei nõua kõrget kvalifikatsiooni, siis rakendatakse harilikult sellele tööle algavaid astronoome.

Suur hulk üksluist ja väsitavat tööd, mis on seotud vaatluste läbitöötamisega, hirmutab sageli ära noore astronoomi. Kui ta tutvus valmite astronoomiliste tulemustega populaarteaduslikes raamatuis, näis talle astronoomia veetlevana, ülevana; talle tundus, et astronoomias tehakse peaaegu iga päev nagu iseenesest suuri avastusi. Lõppeks astub ta ise töötama sellesse töökotta, kust väljuvad need avastused, ja on otsekohe sunnitud asuma instrumendi telje kalde arvutuse mehhaanilisele tööle või tegema midagi muud sellesarnast. Ta pettub ja satub vastupidisesse äärmusse: astronoomia näib talle kuiva teadusena, kus pidevalt tuleb otsida ja arvestada kõiksugu võimalikke väikesi vaatlusvigu.

See mulje on loomulikult ebaõige. Niinimetatud musta, tehnilist tööd tuleb teha igas teaduseharus, — see on möödapääsematu ja õpetlane ei pea teda kartma. Ainult nokitseva ja üksluise töö hinnaga, väikeste paranduste arvestusega on saadud kõik hiiglaslikud nüüdisaja astronoomilised tulemused.

Nüüd võime vastata küsimusele: mis tähendab olla hea vaatleja? Hea vaatleja on esmajoones inimene, kes tunneb oma instrumenti, kes oskab määrata selle pidevalt muutuvaid vigu ja arvestada neid. Teisiti öeldes, hea vaatleja on selline, kes võib saada täpseid tulemusi ka halva instrumendiga. On soovitatav muidugi, et ta selle juures omaks ka häid füüsilisi omadusi, eriti aga teravat nägemist.

Ometi ei ole viimati mainitu sugugi hea vaatleja peamine omadus, nagu võime näiteks nentida XIX sajandi algul saksa astronoomi B e s s e l'i, ühe kõikide aegade suurima vaatleja puhul. Teda peetakse kaasaegse vaatleva astronoomia loojaks, sest ta hakkas erilist tähelepanu pöörama instrumentide uurimisele ja andis uued meetodid nende vigade väljaarvutamiseks. Pärast teda tõusis astronoomiliste mõõtmiste täpsus järsult. On arusaadav, et tema enda vaatlused paistsid välja tähelepanuväärse täpsusega. Muuseas oli Besselil kummaline defekt: kui ta ühes teiste vaatlejatega jälgis sekundeid lööva kella järgi täpset momenti mõnesugusest silmapilksest sündmusest, siis erinesid alati tema märkmed teiste vaatlejate omadest ligi sekundi võrra (astronoomile on see väga suur eksimus!).

Varem peeti isikuid, kes omasid sellist defekti, kõlbmatuiks astronoomilisele tööle. Kuid Bessel oskas ka selle oma füüsilise puuduse ära kasutada teaduse arendamiseks. Ta näitas, et kui mitu vaatlejat püüavad äärmise täpsusega mõõta üht ja sama suurust (näiteks pikkust joonlauaga), siis on tulemused erinevad: üks saab natuke rohkem kui tarvis ja teine natuke vähem. Ühel on harjumuseks asetada joonlaud omamoodi ja vaadata, teisel on teistsugune harjumus. Niisama on lugu ka kõikide teiste mõõtmistega. Iga vaatleja omab oma i s i k l i k k u viga. Kuid on tähelepanuväärne, et igal vaatlejal muutub see isiklik viga võrdlemisi vähe. Besseli isiklik viga (momendi määramisel kella järgi) oli erakordselt suur, kuid vähemal määral esineb see kõigil vaatlejail. Inimene on niisamuti ebatäiuslik, kui tema poolt valmistatud instrumendid.

Kui oli kord kindlaks tehtud isiklikkude vigade olemasolu, siis oli võimalik võtta tarvitusele abinõud nende vigade mõju kõrvaldamiseks, ja astronoomiliste vaatluste täpsus tõusis. Isiklike vigade avastamist Besseli poolt tuleb pidada seega tähtsaks, kuigi arusaadavalt kaugeltki mitte peamiseks selle suure õpetlase teeneks.

Pikksilm.

Nüüdisaja tehnika saavutab peaaegu iga päev üha uusi võite kauguste ületamisel. Seda võimaldavad lennukite leiutamine ja nende täiendamine, raadio, kaugnägemine jne. Pikksilm kuulub samuti seda liiki leiutiste hulka. Ta oli esimeseks riistaks, mis otsekui imekombel lähendas meile kaugeid asju, ja taevakehade suhtes on ta siiamaani ainukeseks vahendiks hiigla kauguste võitmiseks.

Pikksilm leiutati Hollandis 1608. a. ümber. Tema kasutamisele võtmine on seotud XVII sajandi kahe suurema õpetlase Galilei ja Kepleri nimega.

Galilei kasutas esimesena hollandlaste poolt leiutatud instrumenti taevakehade uurimiseks. Seejuures avaldasid tema poolt tehtud tähelepanuväärsed avastused kaasaegsetele sügavat muljet. Esmakordselt tõestati, et täpne teadus, varustatud tehnikaga, võib tungida maailma ehitusse võrreldamatult sügavamalt, kui selle üle julges unistada kõige elavamgi fantaasia.

Kepleri teened pole väiksemad. Samal ajal kui Galilei tegi oma vaatlusi, hakkas Kepler uurima kiirte käiku kumerates ja nõgusates klaasides, millede kombinatsioonist koosnebki pikksilm. Kepler tuli varsti järeldusele, et see klaaside süsteem, mida kasutavad hollandlastest

optikud ja Galilei astronoomilisteks vaatlusteks, ei ole kõige parem, ja esitas oma erilise astronoomilise pikksilma projekti. Juba 1613. a. valmistati Kepleri poolt projekteeritud pikksilm, mis peatselt peaaegu täiesti tõrjus välja astronoomilisest praktikast hollandi (ehk Galilei) pikksilma. Viimast kasutatakse juba kaua aega ainuüksi binoklite näol, seejuures lihtsate, prismatute binokllitena (prismaline binokkel on põhiliselt Kepleri pikksilm).

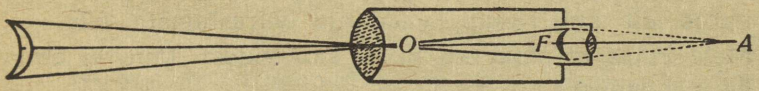
Astronoomiline pikksilm ehk (kuidas teda veel nimetatakse) r e f r a k t o r on mõnikord kuni 20 m pikk. Kogu oma ulatuses on pikksilm seest tühi. Ainult tema mõlemasse otsa on paigutatud kaks klaasi — objektiiv ja okulaar. Praegu valmistatakse kumbki neist omakorda vähemalt kahekordsest klaasist, kuid varemalt kujutas endast üks kui teine lihtsat kahepoolse kumerusega läätse, s. o. läätsekujulist klaasi. Eespoolne lääts, nn. o b j e k t i i v, on võrreldamatult tähtsam kõikidest teistest instrumendi osadest, mis suuremalt jaolt on ainult raamiks ja aluseks kallihinnalisele objektiivile.

Objektiivi ülesanne seisneb selles, et ta kogub temale langevad kiired ühte punkti, ühte nn. f o o k u s e s s e. Võtame hariliku, mitte väga palju suurendava luubi ja laseme sellest läbi päikesekiired. Me leiame kergesti tema fookuse. See on punkt, milles päikesekiired koonduvad väga väikesesse ringikesse, mis on nii hele ja tuline, et meie luup muutub põletusklaasiks. See ringike ongi Päikese kujutis. Niisamasuguse kujutise võib saada ka Kuust, lambist jne. Saadud kujutis on alati tagurpidine — „jalad ülespoole".

Seda kujutist nimetatakse tõeliseks eseme kujutiseks. Nagu ruumi teatavas punktis on olemas Kuu, mil-

lele on suunatud pikksilma objektiiv, nii on teises, täiesti kindlamääralises punktis, objektiivi fookuses, objektiivi poolt joonistatud Kuu kujutis. Seda kujutist nimetatakse mõnikord õhuliseks kujutiseks, sest ta on läbipaistev, kaalutu, mittekombatav; mitmes suhtes on ta sarnane pildiga, mis on joonistatud klaasile eredate helendavate värvidega.

Taevakehade kujutis omab täiesti kindlaid mõõte. Valgel paberil või fotokaamera mattklaasil võib tema diameetrit mõõta joonlauaga.



Joon. 9. Pikksilma tegevus.

Nagu teada, on kujutise läbimõõt seda suurem, mida suurem on läätse fookusekaugus, s. o. mida kaugemal asetseb fookus läätsest (joon. 9). Näiteks kumer prilliklaas number 4 (õigemini öeldud, klaas jõuga 4 dioptriat) omab fookusekaugust $\frac{1}{4}$ m; selles kauguses klaasist saamegi kauge eseme kujutise. Päikese või Kuu kujutis niisuguse klaasi fookuses on ainult $2\frac{1}{4}$-mm-se läbimõõduga. Kui võtta tugevamad klaasid, siis on kujutis klaasile lähemal ja tema läbimõõt väheneb veelgi. Vastupidi, nõrgem klaas, näiteks tugevusega 1 dioptria (4 korda suurema fookusekaugusega, s. o. 1 m), annab 1 m kaugusel Päikese kujutise 9-mm-se läbimõõduga, s. o. 4 korda suurema.

Kas on võimalik näha seda tõelist taevakeha kujutist ilma valge ekraanita või mattklaasita — otse õhus? Selgub, et see on täiesti võimalik. Suuname objektiivi,

mille fookusekaugus on 1 m, Kuu poole. Kuu terava kujutise saame valgel paberitükil, oletame, punktis *B*. Võtame paberi ära ja asetame silma kujutise taha, kiire *OF* teele. Me näeme objektiivi foonil Kuu ümberpöördud kujutist.

Kui suur on see kujutis? Ons see väiksem või suurem harilikust Kuust, mida näeme üheaegselt teise silmaga? Iga ese esineb meile seda suuremana, mida lähemal ta on. Asetame silma algul kaugusele, mis täpselt võrdub objektiivi fookusekaugusega *OF* punktis *A*. Sellest punktist on Kuu kujutis nähtav täpselt sellesama nurga all kui Kuugi, vaadatud varustamata silmaga. Meie klaas ei anna sel juhul suurendust, kuid ei anna ka vähendust.

Kuid 1 m kaugusel on juba raske hästi näha niisugust väikest eset, nagu on Kuu kujutis, mis käesoleval korral omab 9-mm-st läbimõõtu. Lähendame silma fookusele. Kuu ümberpöördud kujutis hakkab kasvama ja saab algul kaks, seejärel kolm korda suuremaks kui harilik Kuu. Viimaks, kui lähendame silma kujutisele nn. selgelt nägemise kaugusele, s. o. hariliku lugemise kaugusele, näeme ümberpöördud Kuud eriti suurelt ja selgelt. Inimestel, kes pole lühinägijad ega ka väga kaugele nägijad, on selgelt nägemise kaugus umbes 25 cm, mis moodustab umbes veerandi meie objektiivi fookusekaugusest. Järelikult näeme ümberpöördud Kuud 4 korda suurema nurga all kui harilikku. Meie instrument, mis koosneb ainult ühest klaasist — objektiivist, annab 4-kordse suurenduse (ehk „lähenduse").

Et saada tugevamat suurendust, tuleb silm lähendada veel rohkem taevakeha õhulisele kujutisele. Aga kui katsume seda teha, muutub taevakeha kujutis üha

ebamäärasemaks, ja meil tuleb toimida nii, nagu ikka toimitakse väikeste esemete vaatlemisel: panna silma ette suurendusklaas ehk luup. Seda luupi nimetatakse okulaariks.

Oletame, et meie luup omab fookusekaugust 5 cm. Niikaugele kujutisest asetatakse luup, ja ligikaudu niisama kaugel on ka silm, mis on asetatud peaaegu vastu luupi. Kuid 5 cm kauguselt on kujutis nähtav nurga all, mis on 20 korda suurem kui 1 m (s. o. 100 cm) kauguselt, ja meie pikksilm, mis koosneb nüüd objektiivist ja okulaarist, annab 20-kordse suurenduse:

$$100 \text{ cm} : 5 \text{ cm} = 20.$$

Nii saame astronoomilise pikksilma peareegli: pikksilma suurendus on võrdne objektiivi fookusekaugusega, jagatud okulaari fookusekaugusega. Nii mitu korda suurendab pikksilm ka Kuu, Päikese ja planeetide nähtavat ehk nurkläbimõõtu, kuid mitte tähtede oma. Sellest, kuidas on lood tähtedega, kõneleme edaspidi.

Kui Moskva observatooriumi külastatakse ekskursantide poolt, tekib sageli järgmine kõnelus:

„Mitu korda lähendab teie suur teleskoop?"

„See oleneb okulaarist. Meil on terve kogum okulaare mitmesuguste fookusekaugustega. Vahetades neid saame mitmesuguseid suurendusi."

„Kuid teie teleskoobi pikkus on 6½ meetrit. Tähendab, kui te võtate tugeva okulaari fookusega pool sentimeetrit, võite planeeti lähendada 1300 korda, ja kui võtate fookuse 1 millimeeter, siis isegi 6500 korda."

„Ei. Kõige tugevam meie okulaaridest annab tõesti suurenduse 1300 korda, kuid me ei kasuta seda peaaegu kunagi, vaid töötame suurendusega mitte üle 500—600 korra."

„Aga kui siiski vaadelda Marssi tugevaima suurendusega, mida me siis näeme?"

„Planeedi ketas on tõesti suur, kuid väga tuhm, ilma terava piirjooneta, vikerkaareliselt ääristatud. Kettal endal näeme vähem üksikasju kui nõrgema suurenduse puhul."

Asi seisneb selles, et suurendusklaas — okulaar — suurendab ainult planeedi kujutist, mida annab objektiiv. Kui see kujutis on iseendast juba mitte täiesti rahuldav, siis võib ta luubiga vaadatuna muutuda veelgi halvemaks, sest suurenduse puhul esinevad need puudused eriti teravalt. Vaatleme, millised omadused peavad olema sellel kujutisel, et võiksime teha vaatlusi tugevate suurenduste korral.

1. Taevakeha kujutis peab olema suur. Siis võib taevakeha vaadelda nõrkade, mitte tugevate okulaaridega, milledel on rida puudusi. Järelikult peab objektiiv omama suurt fookusekaugust, pikksilm olgu pikk.

2. Taevakeha kujutis peab olema küllaldaselt hele. Selleks võetagu objektiiv suure läbimõõduga ehk, nagu öeldakse, suure avaga; pikksilm ei pea olema mitte üksnes pikk, vaid ka lai.

Taevakehadelt langeb kiiri Maa pinnale kui vihma; neid võib pidada paralleelseiks. Sellest paralleelsete kiirte voost püüab kinni meie silm ainult pisikese kimbukese, mille läbimõõt vastab meie silmatera läbimõõdule. Kuid pikksilma pääseb valgusekiiri seda rohkem, mida laiem on pikksilma ava. Kogu selle laia kiirtekimbu kogub objektiiv kitsaks joaks, mis langeb läbi okulaari vaatleja silma (kui jätta arvestamata peegeldusest ja pikksilma klaaside valguseneelamisest tingitud väheldast kadu). Võib ütelda, et pikksilma abil saab vaatleja täh-

tedelt valgust peaaegu nii mitu korda rohkem kui ilma pikksilmata, kui mitu korda objektiivi pindala on suurem silmatera pindalast. Tähtede heledus suureneb niisama palju kordi ja pikksilm näitab meile tähti, mida pole võimalik näha palja silmaga. Mida suurem on pikksilma ava, seda rohkem tähti me tema abil näeme.

3. Taevakeha kujutis objektiivi fookuses peab olema võimalikult selge. Ainult sel juhul võime okulaari abil vaadelda taevakehade niisuguseid üksikasju, mis ilma okulaarita pole nähtavad. Vaadelda aga okulaari abil halba kujutist pole mõtet, nagu pole mõtet vaadelda luubi kaudu päevapilti, mis on trükitud ajalehes.

Esimeste pikksilmade objektiivid koosnesid ainult ühest kumerast läätsest. Nad andsid väga ebaselgeid kujutisi, ja rohkem kui saja aasta jooksul ei läinud korda parandada seda viga. Newton avastas XVII sajandi lõpul vanaaegsete objektiivide halbade omaduste peapõhjused, kuid temale näis, et neid on võimatu kõrvaldada. Need seisnevad nähtuses, mida praegu nimetatakse kromaatiliseks aberratsiooniks, s. o. kiirte värviliseks kõrvalekaldumiseks.

Newtonile kuulub tähtis avastus, nimelt et Päikese ja tähtede värvitu, valgena paistev valgus koosneb tegelikult mitmevärvilistest kiirtest. Kumer lääts ei kogu ühte punkti, ühte fookusesse mitte kõiki kiiri, vaid ainult mõnda värvi kiiri, näiteks kollaseid. Ülejäänud kiiri kogub ta sellesse fookusesse halvemini (nad kogunevad teistesse fookustesse). Seepärast kui pikksilma okulaar on seatud kollaste kiirte järgi, siis valge täht pole niisuguses pikksilmas näha mitte valge, vaid erekollase südamikuga ja vikerkaare-värviliste äärtega ümmarguse

laigukesena. Kujutis on ilus, kuid ei kõlba täpsete vaatluste tegemiseks.

Alles XVIII sajandil leiutati Inglismaal meetod, kuidas kõrvaldada kromaatilist aberratsiooni. Kiiri koguv kumer lääts ühendatakse nõgusa läätsega, mis avaldab vastupidist mõju, s. o. hajutab kiired. Seda lisaläätse ei valmistata mitte harilikust klaasist (kroonklaasist), vaid erilisest raskemast klaasist, niinimetatud flintklaasist. Selle nõguslääts juurdelisamine hävitab peaaegu täielikult kumera pealääts kromaatilise aberratsiooni. Objektiiv, mis on koostatud nendest kahest klaasist, jääb



Joon. 10. Akromaatiline objektiiv.

kogujaks, ainult tema fookusekaugus muutub suuremaks, kui see oli üksiku kumerläätse puhul (joon. 10).

Niisuguseid kahekordseid objektiive nimetatakse akromaatilisteks, s. o. mittevärvivaiks. Neid kasutatakse nüüd kõikides vaatlusinstrumentides, alates binoklitest ja pikksilmadest kuni suurima teleskoobini. Õpetlik on selle leiutamise ajalugu. Esimese akromaatilise objektiivi valmistas inglane Moor Hall juba 1733. a. Veerand aastasada hoidis ta oma leiutist saladuses, kuigi sellel oli määratu tähtsus laevanduses ja sõjaasjanduses. Alles 1758. a., kui Londoni optik Dollond avaldas oma „uue viisi objektiivide valmistamiseks mitut sorti klaaside liitmise teel", tahtis Hall päästa, mis päästa võiks, kuid oli juba hilja. Dollond, kes varem

avaldas oma leiutise, sai patendi pikksilmade valmistamiseks ja ühes sellega — kõik materiaalsed kasud, samuti leiutaja kuulsuse. Kaua aega nimetati akromaatilisi pikksilmi, eriti merimeeste poolt, lihtsalt „dollonditeks".

Nüüdisaegne refraktor.

Astronoomiline pikksilm sai oma praeguse kuju juba XIX sajandi algul, kusjuures võlgneme tänu peamiselt tuntud saksa optikule Fraunhofer'ile (sellelesamale Fraunhoferile, kes avastas tumedad jooned Päikese spektris). Jutt on refraktorist, s. o. pikksilmast klaasobjektiiviga, mis koosneb kahest ja mõnikord ka kolmest läätsest. Objektiivi fookusekaugus, olles ligilähedaselt võrdne pikksilma toru pikkusega, on 10—20 korda suurem tema avast.

Pikksilmal on terve komplekt okulaare. Kõige tugevam ning samal ajal kõige väiksem neist annab suurenduse, mis on ligikaudu 2—3 korda suurem objektiivi ava millimeetrite arvust. Näiteks pikksilm avaga 100 mm (neljatolline pikksilm) võib suurendada kõige rohkem 300 korda.

Kõige tugevamaid okulaare kasutatakse õige harva, sest nad omavad rida puudusi. Üks tähtsamaist puudustest on valguse nõrkus tugevate suurenduste korral. Kui vaatleme planeeti ühe ja sama pikksilmaga, tarvitades järjest tugevamaid okulaare, siis on valgusehulk, mida saadab planeet, kogu selle aja niisama suur. Seejuures aga tugevamate suurenduste puhul planeedi ketas suureneb ja üks ning seesama valgusehulk jaotatakse järjest suuremale pinnale. Suurendamisel 500 korda on planeedi kujutise läbimõõt 5 korda suurem kui suurenda-

mise puhul 100 korda ja pindala on isegi 25 korda suurem. Kuid suurem kujutis on projekteeritud sama valgusehulgaga kui väiksem, mispärast iga kujutise punkt helendab 25 korda tuhmimalt kui nõrgema okulaari puhul.

On veel üks põhjus, mis raskendab vaatlusi tugevate suurenduste korral. Selleks põhjuseks on meie Maad ümbritseva õhuookeani igavene liikumine. Atmosfäärilised lainetused on sageli märgatavad isegi varustamata silmaga: kuumal päeval näeme, kuidas õhk voolab vaatepiiril, külmadel öödel imetleme tähtede vilkumist. Pikksilmaga vaadeldes ei paku see meeldiv vaatepilt astronoomile mingisugust lõbu: tähtede kujutised kord tantsivad, kord muutuvad korrapäraste ketaste asemel tulekeelte sarnasteks, mida hõljutab tuul; planeetide piirjoontele tekib lainetavaid säkke ja laigud nende ketastel muutuvad kord segasteks värisevateks varjudeks, kord kaovad üldse. On loomulik, et kõiki neid taevakehade kujutiste moonutusi suurendab pikksilm nii mitu korda, kui mitu korda suurendab ta taevakehi endid. Seepärast on vaatlused tugeva suurendusega võimalikud ainult atmosfääri erakordselt vaikse seisundi puhul.

Neil ja veel teistelgi põhjustel ei „lähenda" meie aja suuremadki pikksilmad taevakehi sugugi mitte nii tugevasti, kui seda harilikult arvatakse. Iga nüüdisaegne refraktor-hiiglane võib suurendada 2—3 tuhat korda ja veel rohkemgi. Kuid harilikult kasutatakse suurendust alla 1000 korra, nii et isegi meile kõige lähema taevakeha — Kuu — pind on nähtav paremal juhul sarnaselt, nagu vaatleksime teda palja silmaga 400 km kauguselt.

Ainult ühes astronoomia valdkonnas rakendatakse mõnikord suurendust üle 1000 korra, nimelt kaksiktäh-

tede vaatlemisel. Vaadelda üksiktähte tugevasti suurendades ei ole palju mõtet, sest pikksilm suurendab küll planeetide nähtavaid mõõtmeid, kuid mitte tähtede omi (nende määratu kauguse tagajärjel). Nii tugeva kui ka nõrga pikksilma abil vaadatuna esineb täht väikese heleda kettakesena, mis on mõnikord ümbritsetud heledate rõngastega. Kõige selle loob pikksilm. Muide ei ole tähe ketta läbimõõt kuidagi seotud tähtede tegelike mõõtmetega, vaid oleneb ainult pikksilma objektiivist. Mida parem ja suurem on objektiiv, seda väiksemaks osutub tähe kettake. Kuid on juhtumeid, et täht osutub kaksiktäheks, kahest tähest koosnevaks, mis on väga lähedased teineteisele, nii et nõrga suurenduse puhul liituvad nad üheks täpiks. Kui aga asetada pikksilma näiteks kolm korda tugevam okulaar, siis suurendab see kolmekordselt tähtede omavahelist kaugust. Seepärast võib juhtuda, et tähed enam ei liitu ja me näeme eraldi kaht heledat täppi. Sel viisil on avastatud väga palju kaksiktähti.

Astronoomilise pikksilma ekvatoriaalne seadeldis.

Peaaegu kuni XIX sajandi alguseni oli teleskoopidega vaadeldes raskusi, milledest nüüdisaja astronoomidel pole aimugi. Pikksilmad olid tol ajal üldiselt halvemad, seejuures praegustest tunduvalt pikemad, kuna aga tehnika oli algastmel. Kui oli tarvis juhtida pikksilm vajalikule taevakehale ja hoida teda sellel pikemat aega, oli see väga raske ülesanne.

Mida tugevam on pikksilma suurendus, seda väiksem on taevasfääri piirkond, mis tema abil korraga on nähtav. 200-kordse suurenduse puhul on vaatevälja läbi-

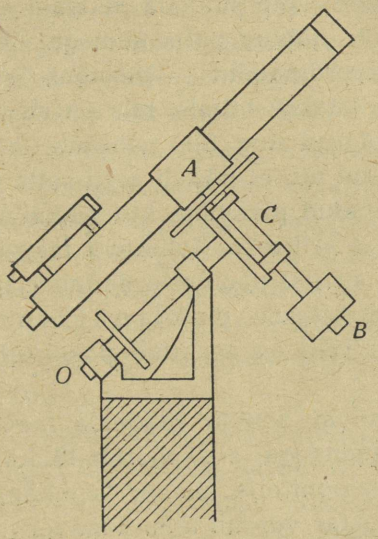
mõõt umbes 10′, s. o. ligikaudu kolmandik Kuu ketta läbimõõdust; 1000-kordse suurenduse puhul on see veel 5 korda väiksem. Sihtida tähele niisuguse kitsa vaateväljaga ei ole kerge. Kuid oletame, et lõppeks läks korda tabada meid huvitavat taevakeha. Kuid me võime vaadelda teda ainult väga lühikest aega, sest Maa ööpäevase pöörlemise tagajärjel liiguvad kõik taevakehad, ja pikksilm suurendab liikumise kiirust seda rohkem, mida tugevam on ta suurendus. Tugeva pikksilmaga näeme, kuidas taevakeha jookseb vahel mõne sekundi jooksul üle vaatevälja ja kaob varem, kui pikksilm lakkab värisemast pärast parajasse asendisse seadmist.

Need raskused annavad endid tugevasti tunda siis, kui pikksilm on varustatud hariliku seadeldisega vertikaalsel kolmjalal. Säärase seadeldise puhul on pikksilmal kaks liikumist: 1) teda võib seada igasuguse nurga all horisondist kuni seniidini (lagipunktini); sealjuures pikksilm pöörleb horisontaalse telje ümber; 2) pikksilma on võimalik seada iga soovitava maailmakaare poole — idasse, lõunasse jne.; selleks on tarvis pikksilma pöörata vertikaalse telje ümber.

Kujutleme endale, et niiviisi ülesseatud pikksilmaga paneme tähele mingit taevakeha idapoolses taevas, näiteks ülestõusnud Päikest. Taevakeha sel ajal tõuseb ja liigub vasakult paremale poole. Et ta ei kaoks vaateväljalt, peame kogu aja pöörama pikksilma kahe telje ümber: tõstma tema objektiiviga varustatud otsa vertikaalses tasapinnas ja pöörama teda kella osuti suunas horisontaalselt. See ei ole sugugi mugav. Kuid kõik ebamugavused kaovad, kui seadeldist kallutada nii, et vertikaalne telg oleks rööbiti maailma teljega; siis teine telg, mis varem oli horisontaalne, asetub taeva ekvaatori tasa-

pinda. Seepärast nimetataksegi niisugust seadeldist ekvatoriaalseks ja kogu instrumenti — ekvatoriaaliks.

Selle seadeldise peatelge nimetatakse polaartelgjeks ja ta omab kallakut, mis vastab koha laiusele (joon. 11). Pulkovo observatooriumi ekvatoriaalil on see $59^0 46'$, s. o. ta on lähemal vertikaalsele suunale kui horisontaalsele; Taškenti observatooriumis on kallak



Joon. 11. Pikksilma ekvatoriaalne seadeldis. *OC* — polaartelg, *AB* — deklinatsiooni telg.

kõigest $41^0 20'$, nii et seal on ta — vastupidi — lähemal horisontaalsele suunale. Kui vaadata piki polaartelge taevasfäärile, siis näeme alati Põhjanaela.

Sel viisil pöörleb kogu instrument sama telje ümber, mille ümber pöörleb ööpäeva jooksul taevavõlv. Seepärast kui suunata pikksilm mingisugusele tähele ja üht-

laselt pöörata instrumenti idast läände polaartelje ümber sama kiirusega, millega pöörleb taevavõlv, siis jääb taevakeha kogu aja otsekui paigalpüsivaks pikksilma vaateväljal. Seda pöörlemist teostatakse tugeva kellamehhanismi abil.

Ekvatoriaalne seadeldis ei hoia üksnes taevakehi vaateväljal, vaid kergendab ka suurel määral pikksilma juhtimist nendele: võib suunata pikksilma koguni taevakehale, mis pole nähtav palja silmaga. On tarvis ainult teada tema koordinaadid — otsetõus ja kääne. Selle eesmärgiga asetatakse teljele, mis on risti polaarteljega, kraadideks jaotatud ring. See pöördub ühes pikksilmaga ja on üles seatud nii, et näitab alati selle punkti käänet, millele on suunatud pikksilm; kui pikksilm on suunatud ekvaatorile, siis erilise mitteliikuva märgi vastu asetub ringijaotus 0^0; suunal poolusele näitab märk jaotust 90^0. Seda telge nimetatakse deklinatsiooniteljeks. Niisamasugune ring on asetatud polaarteljele ja näitab tunninurki.

Kui astronoom soovib vaadelda taevakeha tuntud otsetõusu ja käändega, siis pöörab ta kõigepealt pikksilma deklinatsioonitelje ümber senikaua, kuni ringi jaotus märgi vastas võrdub tähe käändega. Seejärel vaatab ta erilisele astronoomilisele kellale, mis näitab nn. täheaega, ja lahutab viimasest tähe otsetõusu. Saadakse taevakeha tunninurk. Jääb üle pöörata ekvatoriaali polaartelje ümber selle tunninurga võrra ja taevakeha ilmub pikksilma vaateväljale.

Peegelteleskoobid ehk reflektorid.

Astronoomilise tehnika ajaloos on olnud mitu korda perioode, millal refraktori edasine arendamine on põr-

ganud vastu ülesaamatuid raskusi. Siis meenutati teist liiki teleskoope, nn. peegelteleskoope ehk reflektoreid, ja asuti intensiivselt neid ehitama. Üks niisugune periood oli XVIII sajandil, teist elame üle praegusel ajal.

Reflektor erineb refraktorist selle poolest, et objektiivi osa etendab temas nõgus peegel. Taevakeha kiired, mis langevad peeglile, kogutakse pärast tagasipeegeldumist fookusesse, mis asetseb ligikaudu peegli ja tema nõgusa pinna geomeetrilise keskpunkti vahemaa keskkohas. Taevakeha kujutis saadakse tegelik ja vastupidine, täpselt niisama kui kumera läätse puhul.

Töötades reflektoriga tekib niisamasugune takistus kui igasugusel vaatlusel peegliga: et näha peegelduva taevakeha kujutist, peab vaatleja asetuma peegli ette seljaga taevakeha poole ja varjama vähemalt osa valgust, mis langeb peeglile. Seetõttu on tarvis kasutada mingit abinõu, näiteks teist väiksemat peeglit, mis kallutaks kõrvale kiired, mis peegelduvad peapeeglist, ja juhtida need okulaari.

Reflektori peeglid valmistati varemalt metallist ja nimelt vase ja inglistina segust. Seepärast olid need väga rasked. Praegu tehakse neid ainult paksust klaaskettast, mille ühele poolele lihvitakse paraboolitaoline sügavik. Sügaviku pind poleeritakse hoolikalt ja kaetakse seejärel valge metalli õhukese korraga, mis hästi peegeldab valgust. Algul kasutati selleks hõbedat, nüüd aga suures enamikus alumiiniumi.

Reflektorid ei ole nii mugavad kasutamisel kui refraktorid ja on vähe kõlvulised täpseks taevakeha asukoha mõõtmiseks. Kuid seevastu on reflektorit tunduvalt kergem ehitada; on kerge anda talle niisugused mõõtmed, et ta saab koguda määratu palju valgust ja näitab

suure hulga taevakehi, mis on kättesaadamatud harilikule refraktorile.

1766. a. William Herschel, muusikaõpetaja väikeses Inglise linnakeses, tundis huvi astronoomiliste vaatluste vastu. Et tal puudus võimalus osta pikksilma, siis otsustas ta selle valmistada ise. Ja muusikant hakkas tööst vabal ajal tegema katseid metallisulamitega ja lihvima peegleid. Tulemused olid imetletavad: mõne aasta pärast ehitas Herschel oma venna kaasabil niisuguste mõõtmetega reflektoreid, milliseid tolle ajani veel ükski polnud teinud. Tema kuulus 1789. a. lõpetatud „neljakümnejalane" reflektor, mille peegli läbimõõt oli üle meetri, jäi mitme aastakümne jooksul tugevaimaks pikksilmaks maailmas. Oma peegelpikksilmade abil tegi Herschel palju avastusi, mida kaua aega ei saanud kontrollida teised astronoomid. Esimesed sammud Linnutee ehituse selgitamisel, sajad kaksiktähed, mis tiirlevad teineteise ümber, tuhanded mõistatuslikud udukogud — need olid Herscheli vaatluste tulemused. Teda peetakse õigusega nüüdisaja stellaarastronoomia rajajaks, s. o. teaduse rajajaks, mis käsitleb Linnutee tähesüsteemi ehitust.

Midagi sarnast toimub ka meie päevil. XX sajandi alguseks selgus, et edaspidine refraktorite mõõtmete ja tugevuse suurendamine on nähtavasti võimatu. Kuid taevakehade füüsika vajadused nõudsid üha valgusjõulisemaid teleskoope. Hakati uuesti ehitama hiigelreflektoreid, loomulikult täiuslikumaid kui Herscheli ajal: klaasist, lühifookuselisi (võrreldes nende läbimõõduga; ava ja fookuse kauguse suhe mitte alla $^1/_5$) ja, mis kõige tähtsam, kohandatud peaaegu eranditult päevapildistamiseks, mitte aga silmaga vaatlemiseks. Nende reflektoritega tehtud päevapildid laiendasid tunduvalt meile kätte-

saadava maailma piire. Tänu neile on meil olnud võimalik uurida niihästi meie Linnutee ehitust kui ka teisi loendamatuid linnuteid, mis sarnanevad meie omaga ja mida nimetatakse spiraalseteks udukogudeks.

Meie aja suurimad teleskoobid.

Alles XIX sajandi 30-ndaist aastaist hakkasid saksa optikud, Fraunhoferi õpilased ja tema töö jätkajad, ehitama refraktoreid, mis jõu poolest ja käsitsemise hõlpsuselt ületasid Herscheli hiigelteleskoope. Selle ajajärgu instrumentidest tuleb märkida oma suuruselt teist Pulkovo observatooriumi[1] refraktorit, nn. 15-tollist (38-cm-se avaga) refraktorit, mis üle saja aasta seisis peahoone keskmises tornis. Omal ajal oli ta tugevaimaks pikksilmaks maailmas, kuid viimaseil aastail omas enam kui tagasihoidlikku kohta[2].

Saksa optikute kooli edu ületati tunduvalt juba 60-ndates aastates ameerika optiku Alvan Clark'i poolt, kelle tagasihoidlikust töökojast väljusid suurimad refraktorid, mis praeguse ajani on ehitatud.

Clark'i elulugu on veelgi omapärasem Herscheli eluloost. Paljude aastate jooksul ei olnud ta sugugi huvitatud astronoomiast ega tehnikast ja tal ei olnud aimugi oma erakordsetest tehnilistest vaimuannetest. Õppinud maalikunstnikuks, omas ta küllaldast sissetulekut kui kunstnik-portretist. Oma linnakeses oli ta tuntud peale

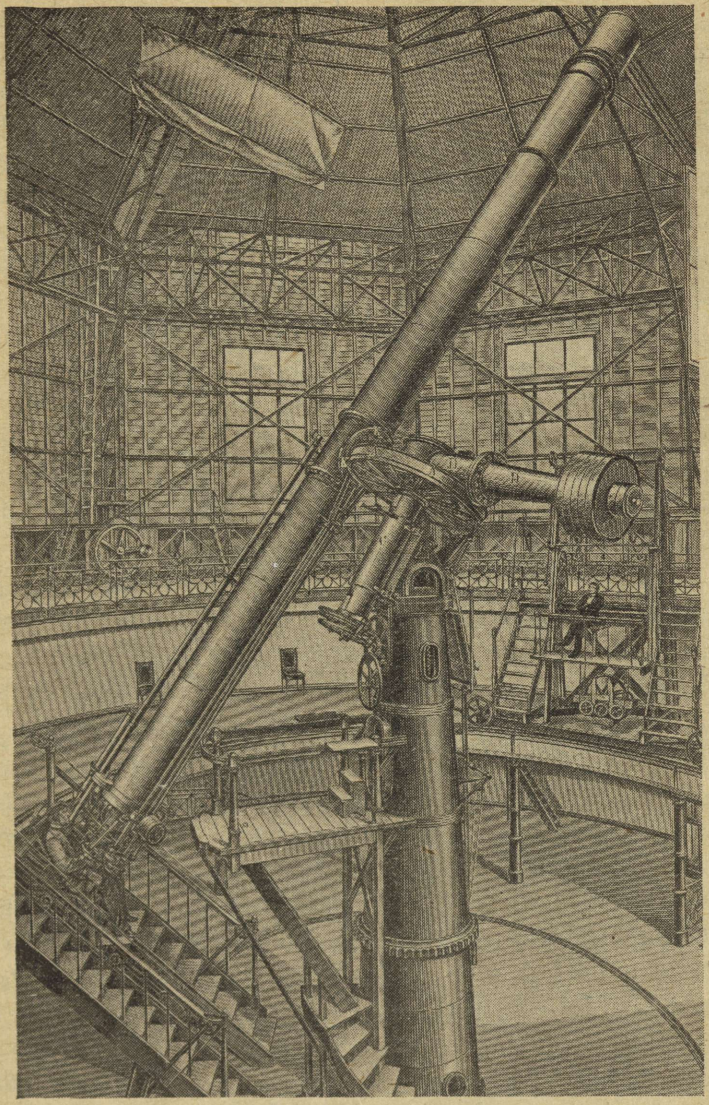
---

[1] 1941. a. muudeti Pulkovo observatoorium varemeiks Leningradi ründavate saksa fašistlike metslaste kahurväe tulega.

[2] Tartu Tähetornis on säilinud 9-tolline Fraunhoferi refraktor, mis oli enne Pulkovo refraktori ehitamist suurimaks maailmas. (Toimetus.)

selle veel parema laskurina ja parema piljardimängijana. Ta oli juba viiekümnendates aastates, kui ta poeg tõi koolist koju murdunud vaskse kellukese tükid ja ütles, et tahab nendest valmistada peegelpikksilma „nagu Herschel". Isa huvitus sellest ja hakkas abistama poega tema katsetes ja — „samast päevast peale ei maalinud enam ühtegi portreed" (nagu väidavad ta eluloo-kirjeldajad). Peeglist loobus ta peatselt, võttes endale palju raskema ülesande — valmistada klaasist objektiive. Asi läks nii hästi, et varsti sisustas Clark väikese töökoja astronoomiliste objektiivide valmistamiseks. Töökojas töötasid peale tema enda veel kaks tema poega. Firma „Clark ja Pojad" refraktorite ülihead omadused tõmbasid lõppeks endale astronoomide tähelepanu. 1862. a. ehitas Clark Chicago observatooriumile instrumendi avaga 47 cm, mis oli suurem Pulkovo omast. See refraktor sai otsekohe kuulsaks, kui Clark, proovides seda veel enne objektiivi lõplikku viimistlemist, avastas Siiriuse kaaslase, mille olemasolu oli ennustatud Besseli poolt, kuid polnud tolle ajani veel nähtud ühegi inimsilma poolt.

Suurendades järk-järgult oma objektiivide mõõtmeid, ehitas Clark'ide töökoda 30-tollise (76 cm) refraktori Pulkovo observatooriumile 1885. a. (joon. 12) ja kaks tähelepanuväärset refraktorit Ameerika observatooriumidele: Lick'i observatooriumile Kalifornias ja Yerkes'i observatooriumile Chicago lähedal, esimene — avaga 91 cm, teine — isegi üle meetri (40 tolli). Need kaks instrumenti, milledest esimene lõpetati 1888. a. ja teine 1896. a. (juba pärast A. Clark vanema surma), jäävad siiani maailma suurimateks refraktoriteks.



Joon. 12. Pulkovo observatooriumi suur refraktor.

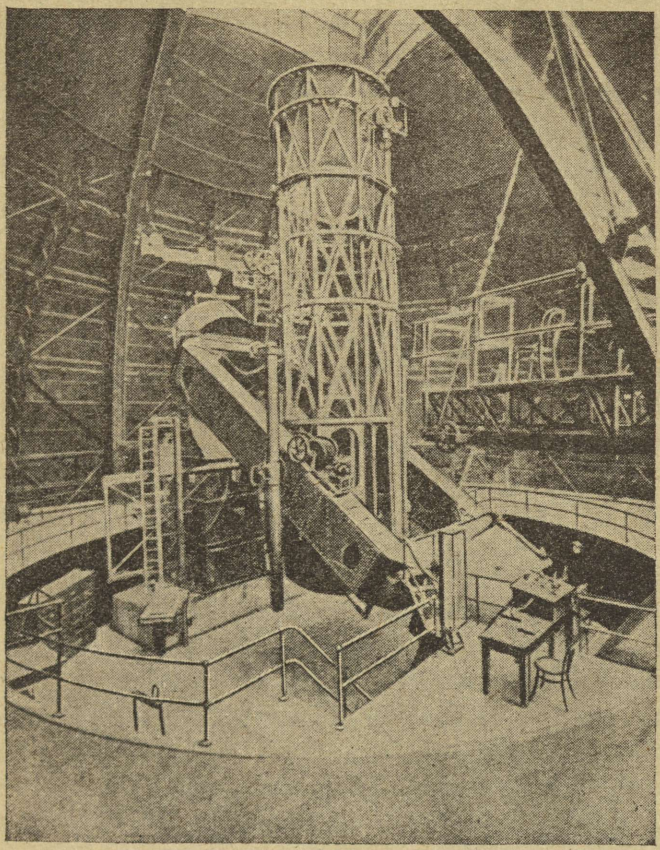
Viimane instrument — Yerkes'i neljakümnetolline refraktor — kujutab nähtavasti äärmist piiri, millest üle pole enam võimalik suurendada refraktori mõõtmeid. Selle instrumendi objektiiv, mis kaalub umbes 400 kg, on kinnitatud ligi 20-meetrise toru otsa. Olles mitmesugustes asendites, milledesse vaatluste ajal seatakse pikksilm, painduvad pisut võrdlemisi õhukesed objektiivi läätsed iseenda raskusest, mistõttu halvenevad tunduvalt taevakehade kujutised.

Peale selle tekitab suurte klaasist objektiivide valmistamine hiigla raskusi: on tarvis valada kaks suurt klaasist ketast, mis oleksid täiesti läbipaistvad ja seest ühtlased, peale selle kõige täpsemalt välja arvestada ja välja lihvida neli kõverat pinda. Just sellepärast polegi korda läinud viimase neljakümne aasta jooksul valmistada Yerkes'i refraktorist suuremat.

Kuid suure peegli valmistamine on palju lihtsam. Lihvida tuleb ainult üks nõgus pind, mitte aga neli pinda; et see aga kaetakse läbipaistmatu metallikihiga, siis pole klaasist ketta sisemistel omadustel suurt tähtsust.

Alates XX sajandi algusest on ehitatud, peamiselt Ameerikas, ligi 20 peegelpikksilma suurema avaga kui Yerkes'i refraktoril. Suurim neist on „sajatolline" reflektor Mount Wilsoni observatooriumis Kalifornias (joon. 13). Tema peegli läbimõõt on 2½ m ja peegel ise kaalub 4½ t. Selle hiigla pikksilma seadeldis on üheks nüüdisaja tehnika imedest. Instrumendi liikuvad osad — teljed ja toru — kaaluvad umbes 100 t. Vaatluste ajal peavad need hiigla massid liikuma kergelt, kiirelt, ilma vähimategi tõugeteta ja paindumisteta, seejuures mikroskoopilise täpsusega. Selleks on

kasutatud niisuguseid peensusi, nagu näiteks vedelad laagrid: reflektori võimas polaartelg asetseb oma ketta-



Joon. 13. Meie aja suurim peegelteleskoop (Mount Wilsoni observatooriumis Kalifornias).

sarnaste otstega kahes õõnsuses, mis on täidetud elavhõbedaga, milles tohutud malmkettad ujuvad nagu

korgid vee peal. Ujuv telg pöörleb kellamehhanismi abil, mille üks pomm kaalub 2 t.

On iseenesest mõistetav, et kogu liikumise juhtimine on koondatud vaatleja kätte, kes istub instrumendi okulaari juures. Tal on tarvis vajutada vaid nupule: elektrimootorid suunavad pikksilma vajalikku taeva punkti, pööravad torni hiigla kuplit ja viivad sinna, kuhu vaja, platvormi, kus istub astronoom oma vaatluste žurnaalide ja abiinstrumentidega.

1934. a. alati Ameerikas uue peegelpikksilma ehitamist 5-m-se avaga, s. o. kaks korda suuremaga kui sajatollisel pikksilmal Mount Wilsoni observatooriumis. Selle „kahesajatollise" peegelpikksilma grandioossusest annavad kujutlust järgmised arvud. Peegliklaasist ketas kaalus pärast valamist 20 tonni. Kui aga tema üks pool lihviti välja, et saada nõgusat pinda, ainult 5 cm võrra, oli peegli kaal vähenenud ligi 5 t võrra. Instrumendi liikuvad osad kaaluvad üle 100 t, pöörlev torni kuppel (42-meetrise läbimõõduga) ligikaudu 1000 t. Pikksilm seati üles Palomari mäele (samuti Kalifornias) ehitatud observatooriumi. Selle töösse rakendamine on viibinud sõja tõttu. Palomari pikksilmaga võib inimsilm tungida maailmaruumi sügavustesse vähemalt kaks korda kaugemale kui sajatollise pikksilmaga.

Euroopas on hiigla pikksilmi seni vähe. Kõige suurem reflektor, peegli läbimõõduga 102 cm, seati üles 1925. a. Simeizis Krimmi poolsaarel.

Vaatleva astronoomia ülesanded.

Juba märkisime, et kõik tähed on nähtavad pikksilma abil väikeste punktitaoliste kettakestena. Mitte

midagi muud pole võimalik näha isegi kõige tugevamate pikksilmadega. Kuid, nagu kõigile teada, vaadeldakse observatooriumides pidevalt tähti, koostatakse nimekirju ehk katalooge, mis sisaldavad tuhandeid tähti, ja kataloogi iga tähte vaadeldakse mõnikord kümneid kordi.

Mida siis uuritakse ja mõõdetakse nende tähtede juures neil vaatlustel? Kõige esiteks — nende täpset asendit, mida määratakse koordinaatidega, iga tähe otsetõusu ja käänet. Tähtede täpset asendit on esmajoones tarvis teada puht-praktilise eesmärgiga, nimelt maakera pinna punktide laiuse ja pikkuse määramiseks, mis on vajalik kaartide koostamisel. Astronoomid-geodeedid arvutavad välja laiuse ja pikkuse tähtede vaatluste järgi, kuna tähtede koordinaadid peavad olema juba varem kindlaks määratud observatooriumis. Seejuures võib koha laiust täpselt kindlaks määrata ainult siis, kui on täpselt teada tähtede kääne. Täpse pikkuse määramiseks on tarvis hästi teada tähtede otsetõusu.

Võimalikult suure arvu tähtede täpsete koordinaatide kindlaksmääramine on tähtis ka tähtede maailma tundmaõppimiseks, et mõista selle ehitust ja liikumist. Et uurida päikesesüsteemi kuuluvate taevakehade, nende hulgas ka Maa liikumist, peab aga hoolikalt kindlaks määrama Päikese ja Kuu, planeetide ja komeetide nähtavad asendid.

Neil kaalutlustel on taevakehade asukohtade kindlaksmääramine üks tähtsamatest ülesannetest astronoomilistel vaatlustel, ja mõõteriistad, millede abil määratakse kindlaks taevakehade koordinaadid, on enamjaolt tähtsamad observatooriumi instrumendid. Iga

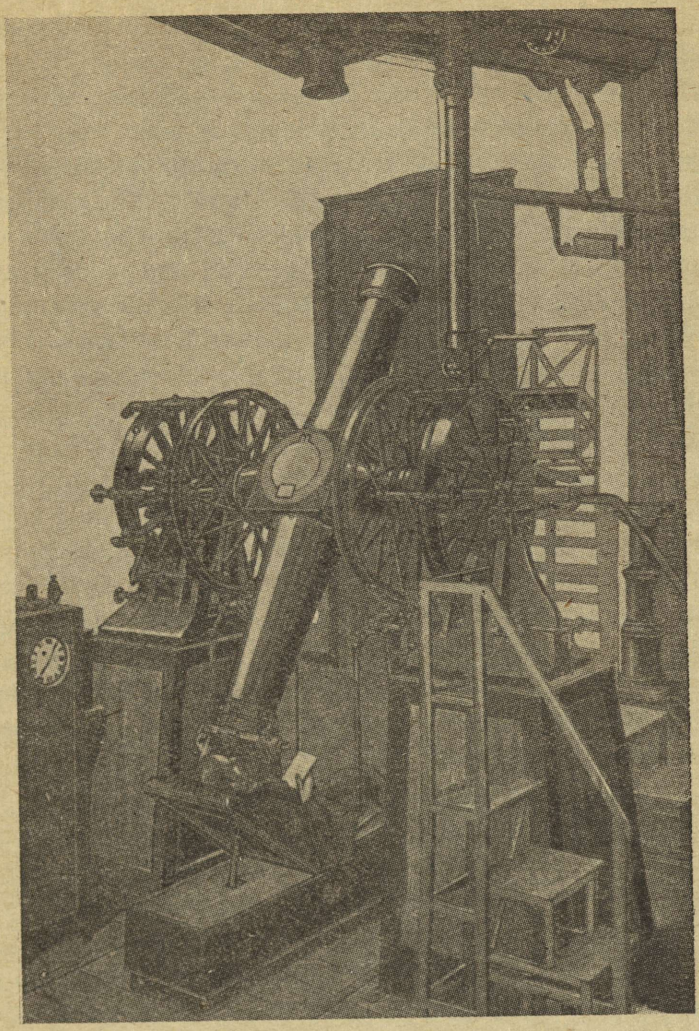
sellise riista tarvilikuks, kuigi mitte alati kõige tähtsamaks osaks on pikksilm.

Varemal ajal seisnes astronoomilise observatooriumi töö peaaegu täielikult ainult taevakehade asukohtade määramises, kuid viimase saja aasta jooksul areneb sellega rööbiti ka taevakehade füüsikaliste omaduste tundmaõppimine. Selle ülesande lahendamisel ei piisa paljudel juhtudel enam pikksilmast üksi (nagu koordinaatidegi mõõtmisel), vaid on tarvis mitmesuguseid abiriistu, millede juurde tuleme tagasi omal kohal.

Meridiaanring ja ekvatoriaal.

Kui observatoorium on seadnud oma ülesandeks täpselt kindlaks määrata taevakehade asendeid, siis peainstrumendiks ei vajata mitte suurt refraktorit ekvatoriaali, vaid m e r i d i a a n r i n g i. See on täpseim instrument otsetõusu ja käände määramiseks. Selle ehitus on põhiliselt vägagi lihtne ja tema mõõtmed, võrreldes hiigelpikksilmadega, on hoopiski tagasihoidlikud.

Meridiaanring koosneb mitte üle 2 m pikast pikksilmast, mis on kinnitatud pikksilmaga risti asetsevale teljele. Telg asetseb horisontaalselt kahel liikumatul tulbal, sihiga idast läände. Telje pöörlemisel pöörleb pikksilm koos temaga, ja teda võib seada ükskõik millisele kõrgusele, vaatepiirilt lagipunktini, kuid ta jääb siiski alati suunatuna mingisugusesse taeva meridiaani punkti, kas selle lõuna- või põhjaosas. Ära pöörata teda meridiaanist idasse või läände pole võimalik. Seepärast võib iga taevakeha meridiaanringi pikksilma abil vaadelda vaid meridiaanist läbimisel. Päikest näiteks saab vaadelda ainult keskpäeval. Pikksilma fookusesse



Joon. 14. Meridiaanring.

on tõmmatud võrk horisontaalsetest ja vertikaalsetest ämblikuvõrgu niitidest. Keskmine vertikaalne niit peab

kujutama meridiaani, siis kui instrument on üles seatud täiesti õigesti.

See asjaolu, et meridiaanringi pikksilm on alati suunatud meridiaani poole, pole mitte tema puuduseks, vaid väärtuseks. Märgime ilma seletusteta, et tähe ülemise kulminatsiooni momendil võrdub täheaeg tema otsetõusuga. Selleks, et kindlaks määrata mingisuguse tundmatu tähe otsetõusu, tuleb omada täpset kella, mis näitab täheaega. Kui täht läheneb meridiaanile, suuname pikksilma nii, et täht ilmuks pikksilma vaateväljale, ja märgime võimalikult täpselt momendi, mil täht läbib keskmise vertikaalse niidi. Aeg, mida sel momendil näitab kell, ongi tähe otsetõus, muidugi kui keskmine niit on täpselt meridiaanis ja kui kell käib absoluutselt õigesti. Kuid et ebatäpsusi võib olla selles ja teises, siis tuleb ülesmärgitud kellaajas teha mõningaid väikesi parandusi, mis arvestavad instrumendi ja kella vigade mõju. Suurema täpsuse saavutamiseks tuleb vaatlusi teha mitu korda [1].

Niisiis on otsetõusu mõõteriistaks tegelikult täpne kell. Pikksilm ainult suurendab täpsust tähe meridiaanist läbimise vaatlemisel.

Käände määramiseks on selle instrumendi (joon. 14) teljel ring umbes meetrise läbimõõduga, mille pinnale on tehtud jaotused iga 2 või 4 minuti järele. Ühele tulpadest on kinnitatud mitteliikuv märk. Pikksilma pööramisel satuvad vastu märki mitmesugused ringi jaotused. Kui pikksilm on suunatud ekvaatorile, siis seisab märgi

[1] Siinjuures tuleb vaadelda tähe läbiminekut mitte üksnes keskmisest niidist, vaid ka kõikidest teistest vertikaalsetest niitidest, võttes arvesse nende eemalekaldumisi meridiaanist. (Toimetus.)

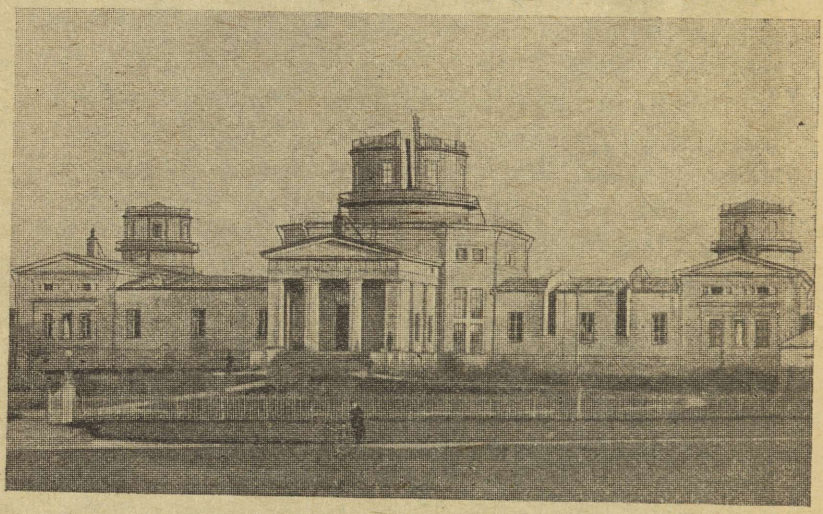
vastas 0^0, kui aga poolusele, siis 90^0. Et mõõta tähe käänet, tuleb vaid lugeda ringilt, mitu kraadi ja mitu selle murdosa on märgi vastas siis, kui vaadeldav täht on pikksilma vaatevälja horisontaalsel niidil. Loetud arv (pärast parandusi instrumendi vigade arvel) ongi tähe käändeks.

On ilmne, et käände mõõtmisel omab pikksilm teisejärgulist tähtsust. Ta nimelt suurendab täpsust pikksilma suunamisel tähele, kuna nurga mõõtmist teostatakse jaotatud ringiga.

Tegelikult on meridiaanring ehitatud tunduvalt keerulisemalt, kui siin on jutustatud. Näiteks tähe vertikaalsest niidist läbimise hetke kindlaksmääramiseks kasutatakse elektrilist registreerijat ja ringi jaotuste lugemist teostatakse erilise mikroskoobi abil. Tänu sellistele seadeldistele saavutatakse haruldane täpsus. Kellapendel mõõdab terveid sekundeid, kuid otsetõus määratakse kindlaks täpsusega üks sajandik sekundit. Ühelgi jaotatud ringil pole märgitud isegi kõiki minuteid, kuid sellest hoolimata ei määrata käände lugemisel kindlaks mitte üksnes kaare sekundeid, vaid ka nende kümnendikosi.

Meridiaanringi pikksilm ei ole kunagi suurte mõõtmetega ja seepärast ei saa temaga kindlaks määrata väga nõrkade taevakehade asukohti. Sel korral võetakse abiks tugevam ekvatoriaal, millega võib taevakeha vaadelda ükskõik millises taeva punktis, mitte ainult meridiaanis. Kuid ei piisa üksnes taevakeha nägemisest ekvatoriaali abil, vaid tuleb osata lugeda ka tema koordinaate. Selleks peab okulaari juures olema väike abiaparaat, nn. mikromeeter, s. o. riist väikeste vahemaade mõõtmiseks.

Kujutleme, et astronoom avastas oma pikksilmaga uuesti ilmuva nõrga komeedi. Et kindlaks määrata selle otsetõusu ja käänet, otsib ta komeedi läheduses võimalikult heleda tähe ja mõõdab mikromeetri abil, et komeet asetseb, oletame, 1′35″,5 ida pool tähest ja 2′20″,2 põhja pool temast. Lisades need arvud tähe α-le ja δ-le, saab ta komeedi koordinaadid.



Joon. 15. Pulkovo observatoorium.

Kust aga saadakse tähe α ja δ? Need tuleb kindlaks määrata meridiaanringiga. Kui täht ei ole väga nõrk, siis osutub harilikult, et tema koordinaadid on kellegi poolt juba varem kindlaks määratud ja avaldatud mingisuguse observatooriumi tähekataloogis, sageli isegi mitmes kataloogis. Jääb üle otsida täht üles neist kataloogidest ja võtta sealt tema koordinaadid.

Sellest näitest nähtub, et põhiliseks instrumendiks taevakehade asendi kindlaksmääramisel on lõppude lõpuks meridiaanring. See näitab ka, millist suurt tähtsust omavad astronoomilises töös tähekataloogid.

Eriliselt tähtsad on nn. fundamentaalsed ehk absoluutsed tähekataloogid. Need sisaldavad harilikult ainult mõndsada tähte, kuid iga tähe asend on antud selles kataloogis tuletatuna kümnetest ja isegi sadadest mõõtmistest, mis on tehtud meridiaaninstrumentidega suurima võimaliku täpsusega. Need fundamentaalsed tähed on hiljem aluseks, pidepunktideks tuhandete teiste kataloogide tähtede asendite kindlaksmääramisel.

Viimase sajandi jooksul tehti niisugused maailma suurima täpsusega absoluutsed kindlaksmääramised meil Pulkovo observatooriumis. Rida absoluutseid Pulkovo katalooge, välja lastud alates 1845. a-st, tõid sellele observatooriumile kõikides maades autiitli „Maailma astronoomiline pealinn" (joon. 15).

Päevapildistamine astronoomias.

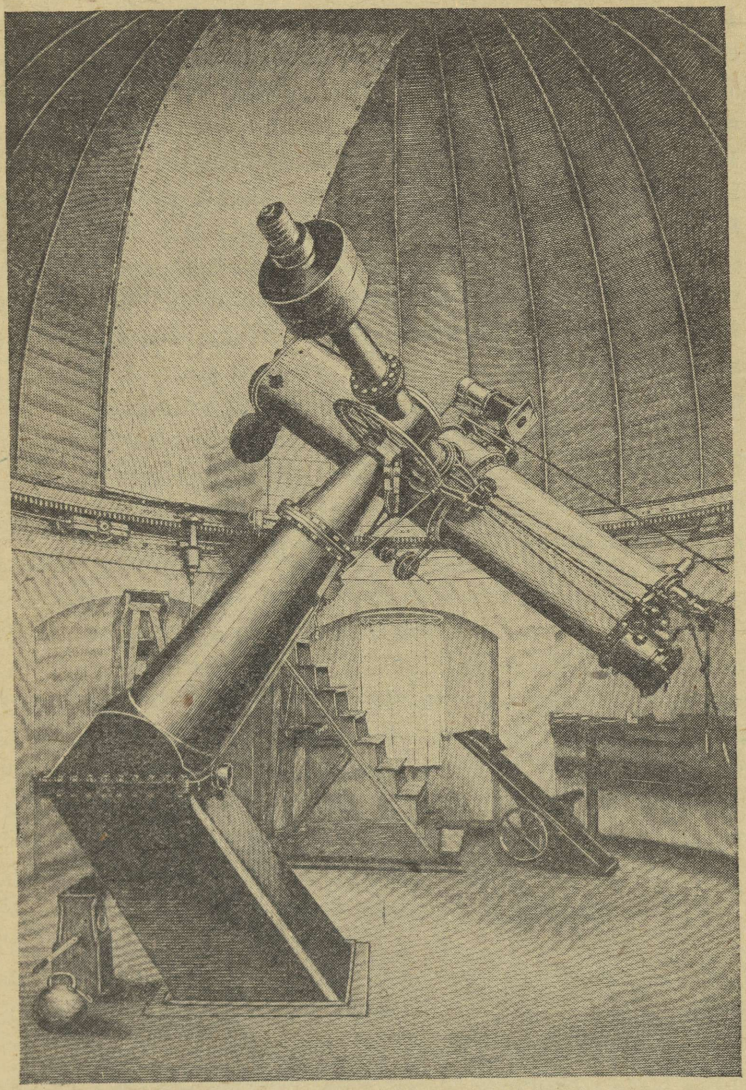
Meie silmade all toimub vaatlevas astronoomias pööre, mida võib võrrelda pöördega, mille tõi kaasa pikksilma leiutamine: peaaegu igasse observatooriumi tööalasse tungib üha sügavamalt fotograafia.

Seoses sellega muutub järsult astronoomilise töö väline ilme, ja vaatleja isik, kes ööd läbi vahtis pingutavalt pikksilma okulaarisse, hakkab minema ajalukku. Juba on observatooriume, kus öösiti töötavad ainult tehnikud, fotograafid ja astronoomid aga magavad ja ainult harilikkudel töötundidel uurivad valmis fotoülesvõtteid. Nii töötatakse kuulsas Harvardi observatooriumis Amee-

rikas. On olemas „astronoomilised laboratooriumid", kus pole üldse astronoomilisi ega fotografeerimise instrumente, kuid on olemas vahendid astronoomiliste fotoülesvõtete uurimiseks, mis on tehtud teistes observatooriumides. Niisugune on näiteks astronoomiline laboratoorium Groningenis, mis on loodud suure hollandi astronoomi K a p t e y n'i poolt.

Taevakehade fotograafilised vaatlused on kiiremad, täpsemad ja mugavamad kui otsesed vaatlused silmaga. Mõne sekundi jooksul saadakse korraga fotoplaadil mõnesaja tähe täpsed asendid. Kuni fotografeerimise kasutamisele võtmiseni tuli iga tähte vaadelda üksikult, ja see võis nõuda aega mitu õhtut. Fotoplaadile ülesvõetud päikesekrooni pilt täieliku varjutuse ajal fikseeritakse peaaegu silmapilkselt säärase hulga detailidega, et ülesvõtete uurimine nõuab hiljem kuusid kestvat tööd. On ilmne, et fotoplaadi abita ei teaks meie päikesekroonist peaaegu midagi, sest 2—3-minutise nähtavuse puhul võiksime joonistada ja mõõta ainult mõned silma puutuvad detailid.

Kuid kõige tähtsam paremus fotografeerimisel seisneb selles, et võrdlemisi väike astronoomiline fotoaparaat (joon. 16) osutub tugevamaks kui kõige suurem nüüdisaegne pikksilm. See on sellepärast, et fotoplaat omab väärtuslikku omadust, mida ei oma meie silm, nimelt omadust summeerida (s. o. kokku liita) valguse mõjustusi. Momentülesvõttel on nähtavad ainult mõned üksikud heledamad tähed; kui aga pikendame valgustamisaega mõne tunnini, siis ilmub plaadile väga palju tähti, nende hulgas ka niivõrd nõrku, et neid pole näinud silm veel ühegi seni ehitatud pikksilmaga.



Joon. 16. Fotograafiline ekvatoriaal.

Toome veel ühe näite fotograafiliste vaatluste kasust. 1930. a. avastati (fotografeerimise abil) uus suur planeet, millele anti nimi Pluto. Ta paistab äärmiselt nõrga 15. suuruse tähekesena. Niisuguseid tähti on taevas miljoneid. Tekkis mõte, et seda planeeti oli fotografeeritud ka varemalt, kuid endistel ülesvõtetel ei eristatud teda teistest tähtedest. Ja tõesti, otsides klaasbiblioteekidest, s. o. astronoomiliste negatiivide kogudest, leitigi selle planeedi kujutis kaheksal ülesvõttel, mis olid tehtud mitmes observatooriumis ajavahemikul 1914. kuni 1927. a. Planeedi asendite võrdlus võimaldas väga ruttu määrata kindlaks tema orbiidi kuju ja suurust, mis ilma endisi vaatlusi avastamata oleks olnud võimatu.

Rikkaim klaasbiblioteek on Harvardi observatooriumil Ameerikas. Rohkem kui neljakümneaastase fotografeerimise viljana mitmesuguste instrumentidega on kogunenud sinna kuni 300 000 negatiivi.

III peatükk.

Taevakehade füüsikalise uurimise meetodid ja instrumendid.

Valguse analüüs.

Ainuke side kauge tähe ja inimese vahel on peenike kimp tähevalgusest, mis langeb pikksilma objektiivile. Kuna isegi tugevaimate pikksilmadega vaadatuna paistab täht lihtsalt helendava täpikesena, siis ei anna pikksilm meile mingisuguseid andmeid selle kiirtekimbu kohta peale tema sihi ja helenduse.

Kui aga võtta tükike klaasi, mis ei ole mitte läätsekujuline, vaid kolmnurkne prisma, siis saame veel ühe riista taevakehade uurimiseks, mis täiendab pikksilma saavutusi. Newton näitas esimesena selle riista abil, et iga valge valguse kiir, tulgu see Päikeselt või tähtedelt, on liitkiir, mis koosneb mitmevärvilistest lihtkiirtest. Prisma otsekui sorteerib kiired, eraldab ühe värvi teisest ja teostab sedaviisi valgusekiire lagundamise ehk analüüsi.

Alles kakssada aastat pärast Newtonit tehti sel alal järgmine, veelgi tähtsam samm. Avastati, et valgusekiire koosseis oleneb valguseallika keemilisest koostisest. Seepärast võib paljudel juhtudel tunda helendava keha koos-

tist ainult tema valguse järgi. Analüüsides valgust võib ühtlasi määrata eseme keemilist koostist.

Märkimisväärne omadus selle keemilise analüüsi viisi puhul on see, et uuritava eseme kaugus ei oma siin peaaegu mingisugust tähtsust. Asetsegu see ese laboratooriumi laual või kaugel taevakehal, on täiesti ükskõik, kui ainult valgus on analüüsimiseks küllaldaselt tugev.

Selleks, et mõista, miks prisma „sorteerib" valgust, vaatleme, milles seisneb erinevus liht- ja liitvalguse vahel.

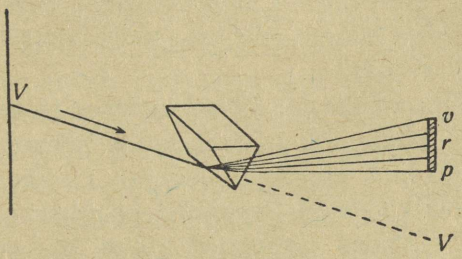
Liht- ja liitvalgus.

Valgus võib olla mitmesuguse tugevuse ja mitmesuguse värvusega. Inimese silm eristab üht valgust teisest, näiteks punast violetsest, kuid väljendada sõnadega, milles seisneb erinevus nende kahe värvi vahel on raske, kui mitte täiesti võimatu.

Füüsikas seletatakse, milles tegelikult (mitte üksnes meie silmale) erineb violetne valgus punasest. Valgus kujutab enesest elektromagnetilisi laineid, mis sarnlevad raadiolainetega, on ainult palju lühemad, kusjuures lainete pikkused mitmesuguste värvide puhul on erinevad. Punasel värvil on lainete pikkus 0,0007 mm, violetsel — 0,0004 mm, kuid lainete levimise kiirus õhutühjas ruumis on kõikide värvide puhul ühesugune ja väga suur: 300 000 km/sek. Mida väiksem on lainete pikkus, seda suurem on nende lainete sagedus, s. o. seda rohkem laineid saadab valguseallikas igas sekundis välja. Violetsel valgusel näiteks on lainete sagedus ligi kaks korda suurem kui punasel.

Looduses, mitte laboratooriumis, ei lähe meil peaaegu kunagi korda näha puhast värvi, s. o. ei lähe korda

leida helendavat keha, mis saadaks välja ainult ühe pikkusega valguselaineid. Iga valguseallikas saadab harilikult välja liitvalgust, mis koosneb mitmesuguse lainepikkusega kiirtest. Läbipaistvates kehades levivad mitmesuguste pikkustega lained mitmesuguse kiirusega. Tänu sellele, on võimalik ehitada riista, mis lahutab liitvalguse lihtvärvideks, niinimetatud spektroskoopi. Spektroskoobi peamiseks osaks on kolmetahuline klaasist prisma.



Joon. 17. Valge valgusekiir *VV*, läbides prisma, lahutub kiirteks — punane (*p*), roheline (*r*), violetne (*v*) jne.

Lihtsaima katse valguse lahutamiseks võib teha pimedas toas, millesse tungib valgus läbi ahta seinapilu, mille asend võiks olla näiteks horisontaalne. Prisma asetame nii, et tema üks tahk (ülemine joonisel 17) asetseks horisontaalselt ja servad oleksid rööbiti piluga. Laseme läbi pilu väga peene kiirtevihu (punktilisest valguseallikast). Kui prismat poleks olnud, oleks tekkinud pilule vastas oleval seinal pilu kujutis peene heleda kriipsukesena. Kui me aga kiire teele asetame prisma, saame erisuguseid pilte, vastavalt sellele, millist valgust me kasutame.

Pidev spekter.

Laseme prismale langeda peenikese horisontaalse valge valguse vihu hõõguvast tahkest kehast, näiteks elektrilambi niidikeselt. Läbides prisma, valgusevihk, nagu öeldakse, murdub, s. o. kaldub kõrvale oma endisest sihist; meie näites toodud prisma asetusviisi puhul ta kaldub üles. Kuid valge valgus on liitvalgus ja koosneb mitmesuguste värvidega kiirtest. Seda tõestas Newton juba 1669. a.; temagi tegi kindlaks, et „kiired, mis erinevad värvilt, erinevad ka murdumiselt". (See toimub erineva pikkusega lainete mitmesuguse levimiskiiruse tagajärjel klaasprismas.)

Kõige nõrgemini murduvad punased kiired, mis omavad kõigist nähtavaist kiirtest kõige pikemat lainet, ja kõige tugevamini violetsed, mis on nähtavaist kiirtest kõige lühemalainelised. Seepärast kalduvad punased kiired prismat läbides ülespoole kõige väiksema, violetsed — kõige suurema nurga all ja ülejäänud valgusvärvide kiired asetuvad nende vahele (joon. 17). On tähtis märkida, et valgusvärvi asetuse järgi spektris võib kindlaks määrata tema laine pikkust.

Niiviisi, nagu varem märgitud, lahutab prisma tõesti valguskiiri. Kuni prismast läbimiseni olid kõike värvi kiired koos ja andsid vastasseinal ühise pilu kujutise. Prismat läbides läheb iga kiir oma teed. Igaüks neist annab oma pilu kujutise omal kohal ja omas värvis. Et aga neid värve on lugematu hulk, siis saame seinal ka loendamatu hulga horisontaalseid pilu kujutisi, mis sulavad kokku laiaks vertikaalseks vikerkaareliseks vöödiks. Vöödi pikkus (ülalt alla) oleneb prisma omadustest, laius aga on võrdne pilu laiusega. See vikerkaareline vööt ongi spekter. Tarvitatakse väljendust, et spekter koosneb

seitsmest värvist, mis — lugedes altpoolt üles (meie katses) — on asetatud järgmises järjekorras: punane, oranž, kollane, roheline, helesinine, tumesinine (indigo) ja violetne (lilla). Tegelikult on spektris loendamatu hulk värvivarjundeid, mis järk-järgult üle minnes sulavad üksteisega.

Niisugust spektrit nimetatakse p i d e v a k s spektriks. Seda ei saada mitte üksnes hõõguvaist tahkeist kehadest, vaid ka vedelaist, näiteks sulametallidest ja isegi hõõguvaist, tugeva rõhu all olevaist gaasidest. Pidevad spektrid on ilusad, kuid väga ühetaolised ja nende järgi ei saa otsustada, millisest ainest koosneb valguseallikas. Võib ainult midagi arvata tema temperatuuri kohta, kuna rohkem kuumendatud kehadel on eriti ere sinine ja violetne spektriosa ja külmematel, mis on kuumendatud kuni punaselt hõõgumiseni, — punane. Kuid ei saa juttugi olla hõõguva tahke või vedela keha keemilise koostise kindlaksmääramisest tema spektri järgi, teiste sõnadega, keemilisest spektraalanalüüsist.

Joonspektri šifreeritud pealdis.

Hoopis muud näeme, kui laseme läbi prisma hõõguvate aurude ja gaaside valguse. Kuumendame mingisugust mineraali. Seni kui ta jääb tahkeks või vedelaks, on ta spekter pidev. Kui aga muudame aine auruks, näiteks elektrivoolu abil, siis muutub spekter täielikult. Pideva vikerkaarevärvilise spektri vööt kaob. Selle asemel näeme mitut erivärvilist horisontaalset joont. See tähendab, et hõõguvad aurud ja gaasid, erinevalt tahkeist ja vedelaist kehadest, kiirgavad ainult mõnda liiki valguskiiri. Prismat läbides murduvad need kiired mitme-

suguselt ja ei anna seinal lugematut arvu üksteisega sulavaid pilukujutisi, vaid mõned üksikud eri värvi kujutised. On tegemist nn. joonspektriga, mis koosneb mitmest heledast joonest. Need jooned, võib öelda, ei oma laiust: mida kitsam on pilu, seda peenemad on nad. Jooni võib olla palju, mitusada või isegi mitu tuhat. Mõnes spektriosas asetsevad nad tihedalt, teises hõredalt, ja nende asetuses ei märka me mingisugust korrapärasust. Näib, et meie silma ees on ainult kena ornament mitmevärvilistest kriipsukestest mustal foonil ja muud ei midagi.

Kuid tõeliselt pole see nii. Joonspektrit ei tule võrrelda ornamendiga, vaid pealdisega tundmatus keeles. Nüüdisaja teadus on leidnud tee, kuidas lugeda seda pealdist. On osutunud, et selles on kõigepealt terve keemiliste elementide nimestik, mis leiduvad helendavas aurus. Niisiis annab spekter aine keemilise analüüsi. Juba see üksi oli suureks ja äärmiselt viljakaks avastuseks. See avastus ise tehti juba XIX sajandi keskel.

Kuid see oli alles esimene samm. Nüüd teame, et spektri pealdis sisaldab palju rohkem: temas on šifreeritud aatomi ehituse saladused. Selles osas on pealdise dešifreerimine osutunud tunduvalt raskemaks. Alles XX sajandi algul leiti dešifreerimise võti. Sellest ajast peale on võimalik joonspektril lugeda täiesti ootamatuid, üllatavaid aatomi omadusi ja see teaduseala — spektrite füüsikaline analüüs — on saanud üheks tema tähtsamaks osaks.

Elementide spektrid.

Joonspektrite tundmaõppimist tuli loomulikult alata katsetest kõige lihtsamate ainetega, s. o. keemiliste elementidega.

Viskame gaasipõleti leeki keedusoola terakese. Leek, mis seni oli peaaegu värvitu, muutub helekollaseks. See toimus sellepärast, et sool sisaldab naatriumi; põletis muutus sool auruks ja naatriumi aurud värvisid leegi kollaseks. Kui suuname naatriumi aurude valguse prismale, siis näeme seinal ainult üht kollast joonekest, s. o. ainult ühtainsat kujutist pilust. Prisma kallutas valguse kõrvale — kujutis on seinal samal kohal, kus varema katse ajal oli spektri kollane osa, kuid ei lahutanud teda, õigemini, peaaegu ei lahutanud. Tõepoolest, teostades katse hoolsamalt, näeme, et see joon on õieti kahekordne; ta koosneb kahest üksteisele väga lähedal asetsevast kollasest kriipsukesest.

Niisiis ei kiirga kuumutatud naatriumi aurud kõikvõimalikke spektri kiiri, vaid ainult kaht liiki kiiri, mõlemad kollased ja peaaegu ühesuguse lainepikkusega. Füüsikud on suutnud mõõta neid laineid. On saadud õige väikesi suurusi: 5890 Å ja 5896 Å. Tähega Å märgitakse üht kümnemiljondikku millimeetri osa; tähte loetakse a n g s t r ö m, sama nimega (Ångström) rootsi füüsiku mälestuseks.

Kui mitu korda meie ka ei kordaks katset naatriumi aurudega, ikka saame kaks kollast joont, ikka samade lainepikkustega. Me ütleme, et naatriumi aurude spekter on joonspekter ja koosneb kahest kollasest joonest, mis asetsevad järjekindlalt samadel kohtadel.

Vaatleme nüüd punase bengaalitule spektrit. Tema koostisse kuulub metall strontsium. Me näeme, et stront-

siumi aurudel on samuti joonspekter, kuid mitte selline kui naatriumi puhul. Spekter koosneb mõnest punasest ja ühest sinisest joonest. Kaaliumi aurud annavad spektris jällegi uue pildi: ühe violetse ja ühe punase joone, kusjuures viimasena märgitud joon ei lange kokku ühegi strontsiumi punase joonega. Lõppeks kõik gaasid, kui neid panna helendama, näitavad jällegi spektrit üksikutest heledatest joontest, igal gaasil isesugust.

Me jõuame tähtsa järelduseni: iga auru- ja gaasitaolises olekus olev keemiline element omab oma eri spektrit. Kuigi mõnede keemiliste elementide spektrid omavadki suurt hulka jooni, ei ole elemente endid väga palju. Seepärast läks lõppude lõpuks korda laboratooriumides tundma õppida kõikide elementide spektreid ja koostada omasugune lihtainete spektraal-keemiline sõnastik.

Kui on tegemist liitainega, mis on mitme elemendi keemiline ühend, siis laguneb liitaine harilikult kõrge temperatuuri puhul algelementideks. Niisuguse aine aurude spektris on nähtavad kõigi ta elementide jooned vaheldumisi. Mõõtes kõikide joonte asendeid ehk — mis on seesama — nende lainepikkusi ja järele vaadates meie „sõnastikust", millisele elemendile kuulub joon niisuguse lainepikkusega, teeme järk-järgult kindlaks kõik aine elemendid ja teostame tema analüüsi, kusjuures ei uuri meie mitte ainet ennast, vaid ainult tema valgust.

Võiks jätkata spektri võrdlust pealdisega tundmatus keeles. Meenutame näiteks, kuidas dešifreeriti kiilkirjalised pealdised ammu kadunud babüloni kultuurist säilinud mälestussammastel. Veel XVIII sajandil kinnitasid mõned õpetlased, et need pealdised on lihtsalt ilustised, ornamendid; alles XIX sajandi algul tegi kooliõpe-

taja Grotefend oma nime surematuks sellega, et täiesti õigesti seletas ära mõned esimesed sõnad ühest pealdisest. Ta tõestas, et üks rühm märke tähendab sõna „keiser", järgmine rühm „suur" jne. Ta ei teadnudki, mis keeles pealdis oli kirjutatud, ei teadnud, kuidas kõlavad need sõnad, ja ei suutnud lugeda neist ühtegi tähte. See tehti kindlaks palju hiljem.

Täpselt niisama määrati ka spektrite uurimise valdkonnas varem kindlaks sõnad ja mitte spektraalpealdise tähed. Nagu Grotefend võisid füüsikudki, vaadeldes liitspektrit, eksimatult kinnitada: see rühm värvilisi kriipsukesi tähendab sõna „naatrium", see rühm sõna „vesinik", see rühm sõna „raud" jne.

Kuid miks sõna „vesinik" on kujutatud võrdlemisi väheste joontega, mis on korrapäraselt asetatud matemaatiliste seeriate viisi, kuid sõna „raud" on kujutatud tuhandete joontega, mille asetuses pole näha mingit süsteemi? Ja mis üldse tähendavad need „tähed" — lugematud spektraaljooned? Milline on nende päritolu? Miks on nad iga elemendi puhul isesugused?

Täielikku vastust nendele küsimustele veel ei ole, kuid põhijoontes on spektraaljoonte tekkimine juba selgitatud.

Kuidas tekivad spektraaljooned.

Aatomite läbimõõdud on ligilähedaselt juba teada: üldiselt on need väiksemad ühest kümnemiljondikust millimeetri osast. Teada on järelikult ka aatomi maht. Kuid ei saa kujutleda endale, et see maht oleks tihedalt täidetud ainega; midagi ühist vanade filosoofide vetruva aatomkerakesega nüüdisaegse füüsika aatom ei oma.

Vastupidi, aatomi sisemuses on väga palju tühja ruumi. Peaaegu kogu aatomi mass on koondatud tema tsentrumisse, tema tuuma, mille ehitus on üsna komplitseeritud ja on mitmesugustel elementidel isesugune. Tuum omab positiivset elektrilaengut.

Ülejäänud aatomi mahu ruumis liiguvad elektronid, osakesed, milledel on negatiivsed elektrilaengud, needsamad osakesed, millede olemasolusse 30 aastat tagasi polnud usku isegi suurel Röntgenil ja mis praegu on hästi tuntud näiteks kasvõi igale raadioharrastajale. Elektronide hulk aatomis on võrdne elemendi numbriga Mendelejevi süsteemis: vesiniku aatomis on ainult üks elektron, heeliumi aatomis kaks jne. Kõige suuremat hulka elektrone omab metall uraan, viimane Mendelejevi süsteemis, ja nimelt 92. Kõikide elektronide negatiivsete laengute summa võrdub tuuma positiivse laenguga, nii et harilikkudes tingimustes ei oma aatom tervikuna mingisugust laengut. Tõmbejõud positiivse tuuma ja negatiivsete elektronide vahel hoiab viimaseid aatomi sisemuses. Võib endale kujutleda, et elektronid tiirlevad ümber tuuma mingisuguseid orbiite mööda. Kõige kaugemal oleva elektroni orbiidi läbimõõt ongi aatomi läbimõõt.

Aastat 20 tagasi kõneldi sageli, et aatom kujutab endast päikesesüsteemi vähendatud mudelit, kusjuures elektronid — „planeedid" — pöörlevad ümber tuuma — „Päikese". Kuid järk-järgult on selgunud, et aatomi sisemuses, selles lõpmata väikeste elektrilaengute maailmas, on kehtivad loodusseadused, mis siiani olid meile tundmatud. Need on osutunud tunduvalt komplitseeritumaks gravitatsiooniseadusest, mis valitseb meie planeetide süsteemi liikumist. Seepärast nähtused, mis toimuvad aato-

mis, pole sugugi sarnased liikumisega päikesesüsteemis. Ja nad pole üldse sarnased ükskõik millise nähtusega, mis meile on tuntud varemalt. Nad on sarnased ainult protsessidega teistes aatomites.

Selle selgitamiseks, mis toimub aatomis, on viimastel aastatel loodud uus teadus, mida nimetatakse kvantide (või laine-) mehhaanikaks. Selle mehhaanika mõnede reeglitega, mis näivad algajaile haruldaselt kummalistena, tutvume järgnevas näites.

Vaatleme, kuidas seletatakse vesiniku spektri tekkimist. See spekter peab olema kõige lihtsam, sest vesiniku aatomi tuuma ümber liigub ainult üks elektron. Kujutleme mõnesugust kogust hõrendatud vesinikku klaastorukeses. Kui vesinik ei helendu, siis on tema aatomid, nagu ütlevad füüsikud, normaalses olekus.

Kuid me soovime, et vesinik helenduks. Selleks peame tema aatomitele üle andma mingisuguse hulga energiat (võimet tööd teha). Vesiniku iga aatom omas ka varem teatavat energiat. Nüüd lisandus aatomi varasemale energiale mõnesugune kogus uut energiat ja liikumine aatomi sisemuses muutus. Meie ütleme, et aatom neelas mingi energiahulga ja läks üle normaalsest olekust ärritatud olekusse — ta on nüüd palju kõrgemal energeetilisel tasemel.

Siin kohtume esimese siseaatomilise mehhaanika iseärasusega. Osutub, et aatom neelab energiat üksikute annuste, niinimetatud kvantide kaupa. Energia ärritatud aatomis ei kasva pidevalt nagu tõusva jõe pind, vaid hüppeliselt, nagu kasvab ehitatava telliskivisamba kõrgus. Kõrgendatud energia olekuid on vesiniku aatomis loendamatult palju, kuid iga oleku energia omab täiesti kindlamääralist suurust.

Ärritatud olekusse aatom kauaks jääda ei saa, sest see olek pole stabiilne. Vähem kui miljondiku osa sekundi jooksul pöördub ta tagasi oma normaalsesse olekusse. Seejuures tagastab ta täielikult enda poolt neelatud energia, kiirates ümbritsevasse ruumi valguskiiri.

Kujutleme nüüd kaht aatomit, mida ärritati erineva astmeni. Nad peavad siis kiirgama erineva suurusega valguskvante. Olgu näiteks kvant, mida kiirgab esimene aatom, kaks korda suurem kui teise aatomi kvant. Mille poolest erineb valgus, mis kiirgub nende kahe aatomi poolt?

Vastus sellele küsimusele on küllaltki ootamatu. Valguslained, mida kiirgab esimene aatom, omavad kaks korda suuremat sagedust kui lained, mis tulevad teisest aatomist, s. o. nad omavad kaks korda väiksemat lainepikkust, kui see on teisel aatomil. Kui viimane kiirgas punast valgust, siis kiirgab esimene violetset. Esimene aatom annab violetse spektrijoone, teine punase.

Nüüd saab meile mõistetavaks joonspektri tekkimine. Kui viisime mõnesuguse koguse vesinikku ärritatud olekusse, tõusis tema mitmesuguste aatomite energia isesuguste tasemeteni. Kõiki neid tasemeid võib nummerdada järjekorras, alates kõige madalamast. Märgime numbriga 1 aatomi normaalse oleku. Pöördudes tagasi normaalsesse olekusse tasemele nr. 1, kiirgavad aatomid välja väga suuri kvante ja annavad spektrijooni, mis asetsevad nähtamatus ultravioletses spektriosas. Kuid aatomid, millede energia tõusis kuni tasemeni nr. 3 ja kõrgemale, ei pöördu sageli normaalsesse olekusse mitte otse, vaid vahepealsete tasemete kaudu. Nii võivad aatomid tasemest nr. 3 laskuda esiteks tasemele nr. 2, kiirates

seejuures välja täiesti kindlamääralise kvandi. Need aatomid annavad joone spektri punases osas. Aatomid, mis laskuvad tasemelt nr. 4 tasemele nr. 2, kiirgavad igaüks kvanti, jällegi rangelt määritletud kogusega, kuid veidi suuremat; vastav joon asetseb lähemal violetsele otsale jne. Me näeme spektroskoobi abil tervet seeriat mitmevärvilisi jooni.

Iga aatom kiirgab valgust ainult ühe hetke. Kuid järgmisel hetkel hakkavad triljonite mingit spektrijoont kiiranud aatomite asemel kiirgama seda joont teised triljonid aatomid ja spektri ilme jääb meile muutumatuks.

Samal viisil, kuid palju komplitseeritumalt on seletatav spektrijoone tekkimine elementidel, mis omavad aatomis rohkem kui üht elektroni. Üldine pilt on ikka üks ja seesama: aatomi igasugune üleminek kõrgemast energia olekust madalamasse energia olekusse annab kindlamääralise lainepikkusega kiirguse, s. o. annab ühe mingi kindla lainepikkusega joone. Spektrite uurimine kvantide mehhaanika abil määrab kindlaks, millised energiaolekud on mitmesuguste elementide puhul, millega nad erinevad üksteisest ja millised üleminekud ühest olekust teise on võimalikud (ehk, nagu öeldakse, „on lubatud") ja millised on „keelatud", s. o. vähe tõenäolised.

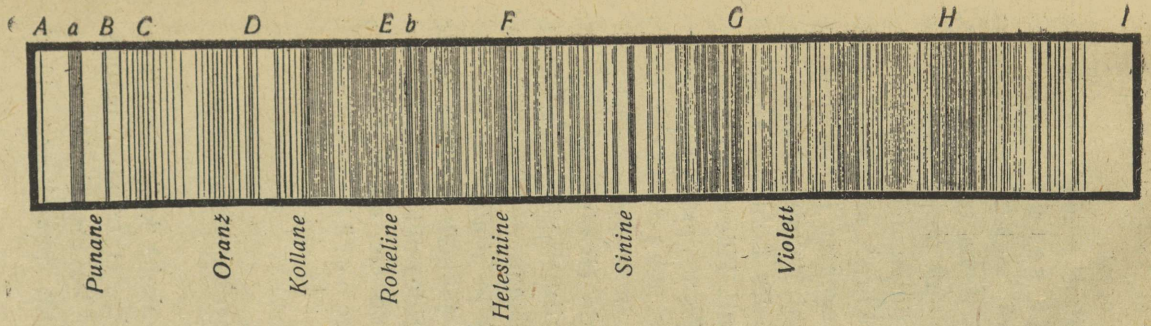
Nende küsimuste lahendamine peab avama meile aatomi ehituse saladuse. Nende lahendamise kallal töötavad teadlased mitte üksnes laboratooriumides, vaid ka observatooriumides, sest mõned aatomi olekud on vaadeldavad ainult tähtedel, kuna laboratooriumides me neid veel esile kutsuda ei oska.

Taevakehade spektraalanalüüs.

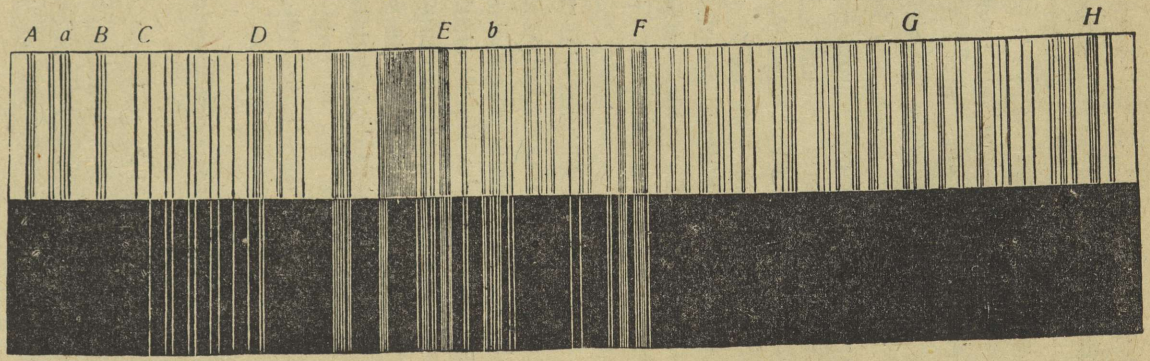
Päikese spekter näis Newtonile pidevana. Kuid see tuli sellest, et ta juhtis valguskimbu prismale läbi ümmarguse avause. Kui aga võeti tarvitusele spektroskoop piluga ja pikksilmaga, siis ei osutunud Päikese spekter täiesti pidevaks: teda läbib põiki hulk tumedaid jooni (joon. 18). Neid jooni nimetatakse Fraunhoferi joonteks, kuulsa optiku Fraunhoferi nime järgi, kes 1815. a. uuris väga hoolikalt Päikese spektrit. Ta avastas selles sadasid tumedaid jooni ja veendus, et need jäävad muutumatuks. Varsti märkas ta sarnaseid tumedaid jooni ka tähtede spektris.

Tekkis mulje, et taevakehade spektrid kuuluvad mingisugusesse eri liiki, mis on tundmatu Maa peal. Nad ei ole ei pidevad ega ka joonspektrid, ei ühte ega teist. Tegelikult nad just ongi üks ja teine ehk, paremini öeldes, nende spekter on pidev spekter miinus joonspekter.

Seda tõestas 1858. a. füüsik Kirchhoff oma kuulsa katsega. Ta juhtis spektroskoobi pilusse esmalt valge hõõgumiseni kuumutatud tahke keha (lubjatüki) valguse; spekter muidugi sai pidev. Seejärel pani ta valguskiire teele gaasipõleti, mille leeki visati keedusoola. Kui põleti põles üksi, siis andis ta naatriumi spektri, mis koosnes ühest heledast kollasest joonest. Kui aga helendasid mõlemad valgusallikad, pääses kuumutatud lubja ere valgus spektroskoopi alles pärast kuumutatud naatriumi aurudest läbimist, mis samuti helendasid, kuid tunduvalt nõrgemalt. Kirchhoff nägi spektroskoobis heledat pidevat spektrit, kuid spektri selles kohas, kus nüüdsama oli olnud helekollane joon, ilmus tume joon, otsekui oleks pidev spekter katki lõigatud. Kirchhoff oli niivõrd



Joon. 18. Päikese spekter Fraunhoferi järgi (tähtedega on märgitud tähtsamad Fraunhoferi jooned).



Joon. 19. Rauaaurude heledate joonte (all) ühtelangemine Päikese spektri tumedate joontega (ülal).

rabatud ootamatust tulemusest, et katkestas otsekohe katse ja läks laboratooriumist minema.

Teisel päeval tuli ta tagasi valmis lahendusega, mida nüüd nimetatakse Kirchhoffi seaduseks: kui helenduseni kuumutatud tahke või vedela keha valgus läbib gaasi või auru, mis on madalama temperatuuriga, siis neelab gaas kogu spektrist ainult need kiired, mida ta ise kiirgab, ja laseb läbi kõik ülejäänud. Teiste sõnadega, ta peab kinni ainult need kiired, millest koosneb tema enda spekter. Gaasi kogu spekter ilmub spektroskoobis, kuid otsekui negatiivi näol: heledate joonte asemel tumedal foonil on näha samades kohtades tumedad jooned heledal pideval spektrifoonil. Pidev spekter muutub ebapidevaks ehk, nagu teda praegu nimetatakse, neeldumisspektriks (absorptsioonispektriks).

Nii seletati Päikese ja tähtede ebapidevat spektrit. Ilmselt on tuline taevakeha, mis kiirgab pidevat spektrit, ümbritsetud külmema gaasist kestaga — atmosfääriga. Tänu valguse absorbeerimisele selle atmosfääri gaaside poolt tekivadki spektris tumedad jooned. Mõõtes nende tumedate joonte asukohti ja võrreldes neid meile tuntud keemiliste elementide heledate joontega, võime kindlaks määrata Päikese või tähtede atmosfääri keemilise koostise (joon. 19).

Mida võib veel välja lugeda taevakehade spektrist?

Spektris leidub andmeid taevakeha kõikvõimalikest füüsikalistest omadustest, kaasa arvatud magnetilised ja elektrilised. Nii näiteks ei või taevakeha temperatuuri kindlaks määrata isegi mitte spektrijoonte järgi,

vaid pideva spektri mitmesuguste värvide heleduse järgi: mida kõrgem on temperatuur, seda lähemal spektri violetsele otsale on tema kõige heledam koht ehk, nagu öeldakse, tema energia maksimum.

Gaaside tihedust tähe atmosfääris võib kindlaks määrata neeldumisjoonte intensiivsuse ja laiuse järgi: mida tumedam ja laiem on mingisuguse elemendi joon, seda rohkem selle elemendi aatomeid sisaldab atmosfäär, seda suurema osa kogu atmosfäärist ta moodustab.

Kuid on ka teine tee tähtede atmosfääri temperatuuri ja tiheduse (või rõhu) kindlaksmääramiseks. See põhineb tähtsal aatomite i o n i s a t s i o o n i nähtusel.

Ionisatsioon.

Laboratooriumides pandi juba ammu tähele, et üks ja seesama element annab mitmesuguste temperatuuride puhul ja üldse mitmesugustel tingimustel isesuguse spektri. Näiteks mõne metalli aurude spekter erineb volta kaares sama metalli spektrist Leydeni purgi sädemes. Ühes spektris on jooned, mida teises ei ole; peale selle mõned joontest, mis on olemas mõlemas spektris, on sädemespektris tunduvalt t u g e v a m a d kui volta kaare spektris.

Algul arvati, et on tegemist keemiliste elementide muundumisega. Näiteks raud on volta kaares ikkagi raud, kuid elektrisädemes on tema aatomid lagundunud ja raua asemel vaatleme nüüd mingisuguse uue elemendi spektrit.

See mõte osutus õigeks vaid osaliselt. Aatomi kogu „lagundumine" seisneb selles, et temast eralduvad üks või mitu elektroni, mis ümbritsevad tuuma. Tuletame

meelde, et kuni selleni tasakaalustus aatomi tuuma positiivne laeng täpselt kõikide elektronide negatiivsete laengute summaga. Ühe elektroni kaotamisega rikutakse see tasakaal ja kogu aatom tervikuna osutub laetuks positiivselt. Niisugust aatomit, mis omab positiivset laengut, nimetatakse *ioniseeritud aatomiks* ehk iooniks ja elektronide kaotamise protsessi ennast — ionisatsiooniks. Mõnikord juhtub, et aatomist ei lahku mitte üks elektron, vaid kaks, kolm ja rohkem. Siis hakkab ioon omama kaks, kolm ja rohkem korda suuremat positiivset laengut, on „kahekordselt" ioniseeritud, „kolmekordselt" ioniseeritud jne.

Et isegi ühe elektroni kaotus peab tunduvalt muutma aatomi spektri jooni, on näha järgmisest näitest. Harilikus olukorras kaht elektroni omava heeliumi spekter ei ole sugugi sarnane üht elektroni omava vesiniku spektriga. Aga kui heelium ioniseerida, siis saame aatomi ainult ühe elektroniga, s. o. üsna sarnase vesiniku aatomiga. Kõik protsessid niisuguse aatomi sees, mitmesugused üleminekud ühest olekust teise — kõik see kulgeb üldiselt nii nagu vesiniku aatomis. Ja nende protsesside tulemus — ioniseeritud heeliumi spekter — on palju rohkem sarnane vesiniku spektriga kui neutraalse heeliumi spektriga. Kuid ühesuguseks ta vesiniku spektriga ei saa, sest aatomi tuum jääb ikkagi heeliumi ja mitte vesiniku aatomi tuumaks; ja see erineb vesiniku aatomi tuumast näiteks juba sellepärast, et omab kaks korda suuremat positiivset laengut.

Laboratoorsed katsed ja matemaatiline teooria kõnelevad meile, et mida kõrgem on gaasi temperatuur, seda suurem protsent tema aatomitest hakkab kaotama oma elektrone, seda tugevamini ta ioniseerub. Kuid peale

selle on ioniseerumine seda tugevam, mida hõredam on gaas, sest tihedamas gaasis on ioniseeritud aatomil rohkem šansse tõmmata enda juurde mõni ekslev vaba elektron ja muutuda jällegi täie elektronide arvuga aatomiks. On samuti teada, et mitmed ained ioniseeruvad mitmesuguste temperatuuride puhul; kõige kõrgemat temperatuuri ioniseerumisel nõuab vesinik ja eriti heelium.

Kõike seda arvestab astrofüüsik, kes uurib mõne taevakeha spektri fotograafilist ülesvõtet. Ta paneb tähele, millised elemendid ja millisel määral on seal ioniseeritud, ja hindab sel viisil temperatuuri, tihedust ja rõhku kaugel asetseva tähe atmosfääris, hoolimata sellest, et täht isegi kõige tugevama pikksilma abil vaadatuna on nähtav vaid pisikese täpina.

Doppleri printsiip.

Kõigi nende tähelepanuväärsete saavutusteni on jõutud alles XX sajandil. Kuid ühele hämmastavamaist ja võimsamaist spektroskoopia võimalustest oli osutatud veel enne spektraalanalüüsi rajamist ja see leidis kasutamist juba rohkem kui 50 aastat tagasi. Selgus, et spektri järgi võib kindlaks määrata mitte üksnes tähe keemilist koosseisu ja füüsikalisi omadusi, vaid ka tema liikumist ruumis, seejuures just seda liikumist, mida otsesed vaatlused pikksilma abil ei võimalda kindlaks teha. See on niinimetatud liikumine vaatesihis. Spektris on kirjutatud (sellele, kes seda oskab lugeda), kas täht läheneb meile või eemaldub meist ja isegi kui suur on tema lähenemise või eemaldumise kiirus kilomeetrites sekundis, kui suur on tema, nagu öeldakse, „radiaalkiirus".

See radiaalkiiruste mõõtmine põhineb väga lihtsal reeglil, mille avastas füüsik Doppler 1847. a. Kujutleme taevakeha, mis väga kiiresti eemaldub meist ja mille spektris, oletame, on kollane naatriumi joon. Me vaatleme seda joont ja võrdleme tema asukohta liikumatust valgusallikast (põletist) tuleva naatriumi joonega. Et taevakeha meist eemaldub, siis jõuab iga järgnev valguslaine meieni suuremalt kauguselt kui eelmine. Seepärast langeb näiteks ühe sekundi jooksul meie silma eemalduvast taevakehast vähem valguslaineid kui liikumatust allikast; vahemaad lainete vahel muutuvad suuremaks ja järelikult iga laine näib pikemana kui põleti valguse puhul. Kuid valgus, mis omab pikemat lainet kui naatriumi joonel, omab ka teist värvust, rohkem punakat. Niiviisi osutub joon taevakeha spektris nihutatuks spektri punase otsa poole. Kui jooni on palju, on nad kõik nihutatud samale poole, ja seda tugevamini, mida kiiremini eemaldub taevakeha.

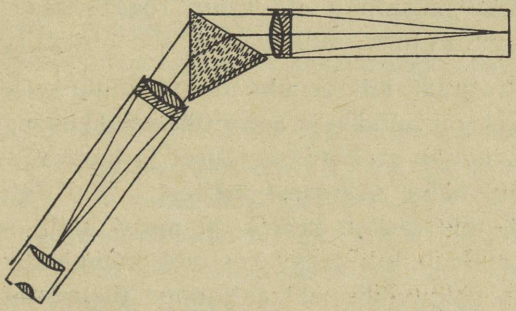
Kui taevakeha läheneb meile, siis osutuvad tema spektri jooned nihutatuiks spektri violetse otsa poole, võrreldes nende normaalse asukohaga.

Seda spektraaljoone nihet tema normaalsest kohast võib mõõta. Väga lihtne arvutamine annab siis meile tähe eemaldumise või lähenemise kiiruse. Täht võib olla meist eemal miljardeid miljardeid kilomeetreid, tihtilugu on tema kaugus isegi teadmata. Kuid sellest hoolimata astrofüüsik, vaadeldes tema spektri ülesvõtteid, kinnitab eksimatult: „Sel momendil, kui täht andis valgust, mis meieni jõudis eile, lähenes täht meile iga sekundiga 35 kilomeetri võrra; seejärel pööras täht ümber ja teisel päeval hakkas meist eemalduma kiirusega 50 km/sek."

Niiviisi vabastab tähtede spektri uurimine katte alt mitte üksi tähemaailma füüsika ja keemia, vaid ka maailmaehitise mehhaanika.

Spektraalaparaadid.

Praeguses spektroskoobis on säilinud kogu Newtoni katse lihtne seadeldis — ekraan piluga ja prisma. Seadeldisele on juurde lisatud veel kaks kumerat akromaatilist objektiivi. Üks neist asetseb pilu ja prisma vahel; selle objektiivi ülesanne on muuta pilust tulevad kiired



Joon. 20. Spektroskoobi skeem. Valgus, läbides pilu ja esimese objektiivi, langeb prismale paralleelse kimbuna. Teise objektiivi fookuses saadavat spektrit vaadeldakse okulaari abil.

paralleelseteks. Teine objektiiv, mis on asetatud otsekohe prisma taha, kogub, vastupidi, prismast tulevad kiired oma fookusesse. See objektiiv oleks fookuses andnud ka pilu kujutise, kui poleks prismat. Et aga prisma juba muutis värvitu pilu kujutise reaks värvilisteks kujutisteks, s. o. spektriks, siis saame teise objektiivi fookuses spektri kujutise (joon. 20).

Selle spektri kujutisega võib toimida niisamuti kui üldse iga tõeliku kujutisega. Varem vaadeldi teda okulaari abil ja saadi spektroskoop pikksilmaga. Kuid nüüd kasutavad spektroskoopi peamiselt füüsikud maistest valgusallikatest saadud spektrite uurimisel. Astronoomid suures enamikus asetavad aga teise objektiivi fookusesse fotoplaadi ja saavad sellel spektri ülesvõtte (spektrogrammi). Sel kombel asendatakse pikksilm fotokaameraga ja spektroskoop muutub spektrograafiks.

Kogu see keeruline seadeldis piluga, prismade ja fotokaameraga ühendatakse pikksilmaga sääraselt, et pilu asetuks pikksilma objektiivi fookusesse ja temale langeks tähe kujutis, mille annab see objektiiv.

Spektrograaf, mis on ühendatud hiigla refraktori või reflektoriga, on nüüdisaja astrofüüsika tähtsamaid instrumente. Ta nõuab erakordselt täpset ja tugevat seadeldist. Seda võib näha säärasest näitest. Kui fotografeerimise ajal, mis kestab mõnikord mitu tundi, seadeldise temperatuur muutub isegi kas või kümnendiku kraadi võrra, siis valguvad spektraaljooned ülesvõttel laiali ja kogu töö on läinud tühja. Seepärast on seadeldis varustatud mitmesuguste riistadega — elektri ventilaatorite ja termostaatidega — võimalikult ühtlase temperatuuri hoidmiseks.

Iga ülesvõte spektrograafiga annab ainult ühe tähe spektri, kuid väga täpse ja üksikasjaliku. Teine spektraalne seadeldis — prismaline kaamera — võimaldab saada ühel fotoplaadil korraga mitmesaja tähe spektrid. Riist koosneb lihtsalt ühest astrofotograafilisest kaamerast, mille objektiivi ette on kinnitatud suur prisma (nn. objektiivprisma). Taeva fotografeerimist

teostatakse sel viisil läbi prisma. Prisma ei muuda tähtede omavahelist asetust ülesvõttel, kuid nende kujutis ei oma enam punktikeste ja kettakeste, vaid ribakeste kuju, mis on läbi lõigatud kriipsukestega, s. o. väikeste spektrite kuju.

Taevakehade fotomeetria.

Igivanadest aegadest kuni XIX sajandi alguseni teadsid astronoomid nähtavast taevakehade heledusest niisama palju, kui teadis sellest kogu muu inimkond, nimelt et see heledus on äärmiselt mitmesugune. Kuid väljendada arvudes mitmesuguste taevakehade heledust, seda mõõta ja võrrelda ei osanud teadlased kuni möödunud sajandini.

Ainuke, mida sel alal tegid vana aja astronoomid, oli tähtede jaotamine nõndanimetatud s u u r u s t e järgi. Ligikaudu kahtkümmend kõige heledamat tähte nimetati esimese suuruse tähtedeks; mõnevõrra nõrgemad tähed, näiteks säärased kui Põhjanael või Suure Vankri tähed, loeti teise suuruse tähtedeks jne. Kõige nõrgemaid tähti, mis on nähtavad ainult selgetel kuutuil öödel, nimetati kuuenda suuruse tähtedeks.

Nii jaotas tähed nende „suuruste" järgi kreeka astronoom Ptolemaios, kes elas 17 sajandit tagasi. Pärast teda kogu 16 sajandi jooksul ei nihkunud taevakehade heleduse mõõtmine sammugi edasi. Tõsi küll, pikksilmade abil avastati miljoneid tähti, mis olid nõrgemad kui 6. suuruse tähed. Neid nimetati 7., 8., 9. jne. suuruse tähtedeks. Kuid see polnud täpne mõõtmine, vaid hindamine silma järgi, mida tegi iga astronoom n.-ö. muuseas, teiste vaatluste kõrval, seejuures igaüks omamoodi.

Isegi XIX sajandi teisel poolel, kui tekkisid tähtede heleduse täpsed mõõtmisriistad — astronoomilised fotomeetrid — ja kui astrofotomeetria sai teaduseks, rakendati seda vähe. Näis, et see astronoomia osa ei oma suurt tähtsust. Tõepoolest kasutatakse fotomeetriat ju ainult taevakehade nähtava heleduse väga täpseks mõõtmiseks. Kuid kas on nii tähtis teada, et näiteks niisugune täht, mille me umbkaudu arvasime lihtsalt 4. suurusesse, omab täpsete mõõtmiste järgi suurust 4,13? Kas fotomeetria võib anda midagi taevakehade kauguse ja suuruse mõõtmiseks, nende liikumise ja füüsikaliste omaduste uurimiseks?

Ainult XX sajand andis kõigile neile küsimustele positiivsed vastused. Nüüdisaja fotomeetria abil lahendatakse kõik loetletud ülesanded võrdselt teiste astronoomiliste uurimiste meetoditega. Veel enam — tervet rida tähtsaid teaduslikke probleeme võib praegusel ajal lahendada ainult fotomeetriliste meetodite abil. Ainult fotomeetria andis meile võimaluse mõõta kaugust kuni spiraalsete udukogudeni, millede valgus liigub miljoneid aastaid, enne kui jõuab meieni. Fotomeetriale võlgneme tähelepanuväärse avastuse, et tähtede-vaheline ruum Linnutee tähesüsteemis ei ole igal pool täiesti tühi, vaid sisaldab tolmupilvi, mis nõrgendavad kaugete tähtede valgust.

Nüüdisaja fotomeetria meetodid ja riistad on niisama mitmekesised nagu tema tulemusedki. Veel XIX sajandil leiutati visuaalsed fotomeetrid — vaatluste tegemiseks silmaga. Nad on ehitatud niiviisi, et mingisuguse tähe vaatlemisel on vaateväljal nähtav veel teine täht, vaadeldavast heledam, harilikult kunstlik, mis on saadud näiteks elektrilambikesest. Selle abitähe heledust

nõrgendatakse senikaua, kuni ta võrdub täpselt uuritava tähe heledusega. Nõrgendamise suurust on võimalik mõõta täpselt ja see annab võimaluse välja arvutada vaadeldava tähe heledust.

Visuaalne fotomeetria läheb nähtavasti juba ajalukku. Teda suruvad välja ühelt poolt elektriline ja teiselt poolt fotograafiline fotomeetria.

Elektrilises fotomeetrias on vaatleja silm asendatud „elektrilise silmaga", mis on märksa tundlikum temale langeva valguse heleduse kõikumise suhtes. Niisugune kunstlik silm võib koosneda näiteks fotoelemendist (metalli kaaliumi plaadike õhutühjas ruumis või inertses gaasis), mis on asetatud pikksilma fookusesse. Kui tähe kujutis langeb fotoelemendile, hakkab sellest voolama läbi elektrivool, mille tugevus oleneb valguse tugevusest. Seepärast mõõtes voolu tugevust võib kindlaks määrata tähe heledust.

Elektriline fotomeetria annab väga täpseid tulemusi, kuid on seni kasutatav ainult võrdlemisi heledate tähtede puhul ja tema meetodid vajavad täiendamist. Võib öelda, et see on tuleviku fotomeetria. Kuid fotograafiline fotomeetria on juba nüüdisaja fotomeetria, tema rakendamine laieneb järjest. Õigust öelda nimetus fotomeetria, mis tähendab „valguse mõõtmist", pole päris sobiv, sest vastupidi tegeldakse siin „tumeduse" mõõtmisega, s. o. fotoplaadi tumenemise astme mõõtmisega. Mida heledam on täht, seda tumedam on tema kujutis negatiivil. Tähe kettakeste tumedust mõõdetakse eriliste, kaunis keeruliste riistadega. Et säärase mõõtmise puhul tuleb muidugi iga tähe kujutise tükikest vaadelda mikroskoobiga, siis said selleks kasutatavad riistad nimetuse mikrofotomeetrid.

Samasuguseid mikrofotomeetreid kasutatakse ka fotografeeritud spektrijoonte tumeduse mõõtmiseks, mis annab tähtsaid andmeid tähtede füüsikalise loomuse kohta.

Üldiselt muutub nüüdisaegne observatoorium üha rohkem sarnaseks laboratooriumiga ja öine taevakehade vaatlemine asendatakse üha suuremal määral nendest tehtud ülesvõtete mõõtmise ja uurimisega.



IV peatükk.

Kogumaailmse gravitatsiooni seadus.

Kuidas vanasti seletati taevakehade liikumist.

Kui inimene tahab seletada endale mõnd uut arusaadamatut nähtust, siis püüab ta kõigepealt seda võrrelda mingisuguse teise nähtusega, millega ta juba on harjunud ja millest ta aru saab.

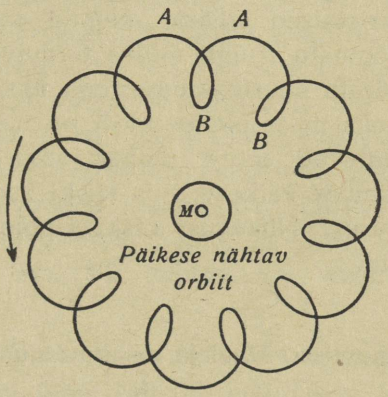
Nii oli lugu ka taevakehade liikumiste seletamisega. Millel asetsevad tähed ja miks nad kõik koos pöörlevad ümber meie ööpäeva jooksul? Kuna kera (ehk sfäär) ja tema võime pöörelda ümber oma telje olid teada juba iidsest ajast saadik, siis vastus sellele küsimusele näis olevat ilmne. Tähed on kinnitatud läbipaistva ja tühja kera pinnale, kera keskpunktis asetseb Maa ja kogu kera pöörleb igavesti ja ühtlaselt idast läände.

Päike peale oma ööpäevase liikumise läände teostab veel aastase liikumise itta (ekliptikat mööda). Et seda seletada, oletati, et Päike on kinnitatud teisele, väiksemate mõõtmetega sfäärile, mis on samuti läbipaistev ja absoluutselt nähtamatu. Ta võtab osa esimese kera ööpäevasest liikumisest, kuid peale selle pöörleb veel ise teise telje ümber, teises sihis ja tunduvalt aeglasemalt — üks täispööre aastas.

Sarnased sfäärid mõeldi välja ka iga planeedi jaoks. Tõsi küll, siin oli asi natuke keerulisem, sest planeet joonistas tähistaevas sõlmi, liikus kord läände, kord itta. Seepärast tuli ehitada sfäär sfäärile, igaüks erineva raadiusega, erinevate telgede ja erinevate pöörlemisaegadega. See ehitis osutus niivõrd komplitseerituks, et nähtamatuid pöörlevaid sfääre nähtamatute telgedega peaaegu lakati meenutamast. Astronoomilistel arvutustel võeti arvesse ainult ühe punkti liikumist igal sfääril. Et aga iga punkt pöörleval sfääril joonistab ringi, siis selle asemel, et ehitada sfääri sfääri peale, hakkas astronoom-arvutaja ehitama ringi ringi peale.

Poolteise tuhande aasta jooksul peeti teaduse krooniks maailmaehitise pilti, mille olid loonud vana-kreeka mõttetargad, peamiselt filosoof Aristoteles ja matemaatik-astronoom Ptolemaios. Selle teooria järgi on maailm lõplik, omab sfääri kuju ja pöörleb ümber kerakujulise Maa, mis liikumatult ripub maailma keskpunktis. Sellest pöörlemisest on kaasa kistud ka kinnistähtede väline sfäär ja seitse sisemist keha, nimelt Päike, Kuu ja viis planeeti. Kuid igaüks neist seitsmest kehast omab peale üldise ööpäevase liikumise veel oma erilist väga komplitseeritud liikumist. Näiteks planeet Jupiter, nagu näitavad vaatlused, liigub nii: 12 aasta jooksul läbib ta kogu ekliptika suunaga läänest itta; kuid selle liikumise puhul ta just kui peab kinni tuntud reeglist: kaks sammu edasi, üks samm tagasi. Täpsemalt öeldes, igast 13 kuust liigub ta ainult 9 kuud itta ja jõuab käia selle aja jooksul üle 40^0; kuid ülejäänud 4 kuu jooksul pöördub ta tagasi 10^0 võrra, ja see kordub korrapäraselt aastast aastasse. Sarnaselt liiguvad ka teised planeedid.

Ptolemaios seletas seda nii. Ümber Maa läänest itta ei tiirle 12 aasta jooksul ringi mööda mitte Jupiter ise, vaid mingisugune nähtamatu kujutletav punkt, ja juba selle punkti ümber tiirleb Jupiter ise teist, väiksema raadiusega ringi mööda, mida Ptolemaios nimetas epitsükliks. Planeet asetseb justkui nähtamatu pöörleva ratta rehvil ja see ratas teeb ligikaudu ühe



Joon. 21. Kuidas seletati kuni Kopernikuseni planeedi Jupiteri liikumist 12 aasta jooksul. Sisemine ring — Päikese orbiit, *M* — Maa.

pöörde aastas, lennates ümber Maa 12 aasta jooksul. Kui vaadata Maalt *M* (joon. 21), siis näeme, et planeet kord liigub kiirelt vasakule (itta), asetsedes näiteks punktis *A*, kord taganeb võrdlemisi aeglaselt tagasi (läände, punkti *B* lähedal), liikudes ligikaudu sama joont mööda, sest ratas asetseb peaaegu ekliptika tasapinnas.

Selle haruldaselt keeruka ja kummalise epitsüklite teooria järgi arvutasid astronoomid kuni XVI sajandini planeetide liikumist. Kuid siiski küsimusele, millel

hoiduvad planeedid, vastati kaua aega, et planeedid asetsevad nähtamatul kristalsel sfääril nr. 1, mille telg on kinnitatud teisele sfäärile nr. 2, selle telg omakorda sfäärile nr. 3 jne. Kergem oli uskuda lugematu hulga nähtamatute kristalsete sfääride olemasolu kui kujutleda, et planeet võib millelegi toetumata tormata igavesti maailmaruumis.

Kopernikuse poolt rajatud uus astronoomia hävitas vanaaegsed kristalsed sfäärid. Nende asemel avardus inimese ees lõpmatu ruum, milles tormavad lahutatuna üksteisest määratu suurte kaugustega üksikud kerad — planeedid. Üheks neist planeetidest on meie Maa. Kõik planeedid ringlevad mitte ümber Maa, nagu arvati varem, vaid ümber Päikese, mis siiski sugugi ei asetse maailma keskuses. Niisugust keskust pole olemas, maailm on lõpmatu.

Liikumised Maal ja maailmaruumis.

Tutvudes maailmaehitise tõelise pildiga tekivad otsekohe samad küsimused. Miks planeedid tiirlevad ümber Päikese? Miks nad ei jää seisma ja ei lange alla? Muuseas — miks Kuu ei lange Maa peale? Kuidas võivad planeedid tormata õhutühjas ruumis? Millele nad seal toetuvad?

Kaht viimast küsimust võib kuulda väga sageli. Nähtavasti need, kes neid küsimusi esitavad, võrdlevad taevakehade liikumist pilvede liikumisega, sest mõlemad asetsevad ju „taevas". Pilved ujuvad tõesti „õhuookeanis". Kuid taevakehad, vastupidi Lermontovi ilusatele salmidele, asetsevad kaugel „õhuookeani" piiride taga. Praegu teame, et see meie atmosfääri õhuookean

ümbritseb Maad kihina, mille paksus on vaid mõnisada kilomeetrit, ja et meie planeet viib teda oma liikumisel kogu aja endaga kaasa.

Taevakeha liikumine erineb pilvede liikumisest, niisama nagu ta erineb igast teisest liikumisest maakera pinnal: sugugi mitte oma keerukuse poolest, vaid, vastupidi, lihtsuse poolest. Õhutühjas maailmaruumis asetsev planeet, olles suures kauguses teistest taevakehadest, liigub palju lihtsamate seaduste järgi kui näiteks puult kukkuv õun või seinakella pendel. Maa peal oleme harjunud vaatlema liikumist, mis toimub väga komplitseeritud olustikus, paljude tegurite mõjul, mis sageli ei allu arvestusele. Seepärast liikumised, mida juhivad ainult mõned lihtsad jõud, näivad meile esimesel pilgul mittemõistetavatena, kuna me neid liikumisi Maa peal ei leia. Me leiame neid vaid taevakehade maailmas.

Just sellel põhjusel saavutati taevakehade liikumise uurimisel tunduvalt varemini edu kui Maa peal ettetulevate liikumiste tundmaõppimisel.

Dünaamika põhiseadused (dünaamika on teadus kehade liikumisest jõudude mõjustusel) määrati lõplikult kindlaks taevakehade liikumise järgi. Nende liikumiste edasine uurimine esitas teadusele rea mehhaanikalisi ja matemaatilisi ülesandeid, millede lahendamisele asus uus astronoomia alaosa, nn. taevamehhaanika. Taevamehhaanikas väljatöötatud puhtastronoomiliste ülesannete lahenduste meetodeid kasutati hiljem hea eduga maiste kehade liikumise küsimuste uurimisel. Juhtus sageli, et meetod, mis oli leiutatud mingisuguse, ainult astronoome huvitava kauge planeedi-

kaaslase liikumise uurimiseks, andis vastuse aktuaalseimale küsimusele praktilises mehhaanikas.

See kaasaaitamine nii mehhaanika kui ka matemaatika edule on üheks väärtuslikumaks panuseks, mille astronoomia on andnud kultuuri ajaloole.

Milles seisneb siis taevakehade liikumiste lihtsuse põhjus, võrreldes liikumistega Maa peal? Vastus: just selles maailmaruumi tühjuses endas, mis vastupidiselt paljudele ekslikkudele arvamustele pidi muutma liikumise nähtused keerulisemaks. Lisan veel juurde, et maailmaruumi tühjus ei ole mitte üksnes liikumiste lihtsuse põhjuseks, vaid isegi nende olemasolu enda põhjuseks. Kui planeedid liiguksid ruumis, mis oleks täidetud mingisuguse ainega, näiteks õhuga, siis oleksid nad kõik juba ammu langenud Päikesele ja meie ühes teiega poleks näinud maailma valgust [1].

Tõepoolest ei soodusta õhk kunagi kehade liikumist, vaid alati segab seda, osutades vastupanu; vastupanu pole ainult sel korral, kui keha ei liigu ümbritseva õhu suhtes, nagu näiteks õhulaev peatatud mootoritega. Seepärast aeglustub igasugune liikumine Maa peal ja hiljem või varem katkeb, kui teda kogu selle aja ei toeta mingisugune jõud, mis ületab õhu vastupanujõu. Niisugust jõudu peavad näiteks arendama sama õhulaeva mootorid, selleks et õhulaev võiks liikuda mitte nii, kuidas kannab teda õhuvool.

Kuid õhutühjas ruumis ei ole mingisugust vastupanu liikumisele ja seepärast peab seal kõik toimuma palju lihtsamalt. Kujutleme, et maailmaruumis, kaugel

---

[1] Absoluutselt tühi maailmaruum siiski ei ole, kuid teda täitev keskkond, mis koosneb gaasist ja tolmust, on äärmiselt hõre ja tema mõju taevakehade liikumisele on tühiselt väike. (Toimetus.)

Päikesest ja planeetidest, lasti kahurist välja mürsk. Sel juhul liigub mürsk sarnaselt, nagu ta liikus kahuri suust väljalendamise momendil, senikaua kui mingisugune põhjus, mida nimetatakse jõuks, ei muuda tema liikumist. Kui see on vastupanujõud, siis hakkab mürsu liikumine aeglustuma; kui see on aga külgetõmbamine kusagilt kõrvalt, hakkab mürsk pöörama sinnapoole, tema tee kõverdub. Kui midagi niisugust ei juhtu, siis lendab mürsk kogu aja otsejoones muutumatu kiirusega. Selles seisnebki inertsi-seadus, mille avastas XVII sajandi algul Galilei: keha ise ei saa muuta oma kiirust.

Lõppeks oleme leidnud Maa peal kehi, millede liikumine tuletab meelde planeetide liikumist. Need kehad on kahurimürsud. Kõik taevakehade — ja mitte ainult planeetide — liikumised ei ole sugugi sarnased „vaikse liuglemisega udus" „õhuookeani" lainetel. Ei, need liikumised on metsik peatumatu hiigla mürskude lend, kiirusega kümned ja sajad kilomeetrid sekundis, piiritus tühjas maailmaruumis.

Mispärast aga taevakehade lend ei toimu sirgjoont mööda? Vastus on selge samast mehhaanika põhiseadusest. Planeet kaldub oma lennul kõrvale sirgjoonest samal põhjusel, nagu kaldub kõrvale kahurimürsk, langedes lõppude-lõpuks maapinnale. Nii ühe kui ka teise kõrvalekaldumise kutsub välja mingisuguse jõu tegevus. Mürsule mõjub raskuse jõud, teisiti nimetatud Maa külgetõmme ehk Maa gravitatsioon; planeedid aga alluvad Päikese külgetõmbejõu tegevusele ja tunduvalt vähemal määral teiste planeetide külgetõmbele. Need jõud kõverdavad

planeetide teed ja sunnivad neid igavesti tiirlema Päikese ümber.

Kõverjoonelist liikumist kohtame niihästi planeetide ja nende kaaslaste puhul kui ka kõige kaugemates tähismaailma piirkondades. Kõikjal on see seletatav ühesuguselt: kaaslased tiirlevad planeedi ümber gravitatsioonijõu mõjul planeedi ja kaaslase vahel, kaks tähte tiirlevad üksteise ümber mõlema tähe vastastikuse gravitatsioonijõu tagajärjel. Kuna selle jõu tegevus haarab kogu maailma, siis nimetatakse seda kogumaailmse g r a v i t a t s i o o n i jõuks.

On tarvilik täiesti selgelt endale ette kujutada gravitatsioonijõu osa. Tema hoiab planeetide lähedal nende kaaslased ja ei lase neil ära lennata; ta hoiab planeete Päikese lähedal, sidudes neid ühtseks planeetide süsteemiks; lõppeks ühendab ta miljardeid taevakehi suureks tähtede süsteemiks, mida nimetame Linnuteeks. Vähe sellest, seesama jõud määrab taevakehade kuju ja kõik nende liikumise seadused. Ühesõnaga, füüsika vaatepunktilt on gravitatsioon tähtsamaid loodusjõude ja astronoomile on ta kahtlemata kõige tähtsam neist.

Kuid gravitatsioonijõud ei ole, nagu mõnikord arvatakse, taevakehade liikumiste p õ h j u s e k s, ta ei ole jõud, mis p a n e b l i i k u m a planeedid. Ta määrab vaid taevakeha t e e k u j u. Ja tõesti, planeedid tormavad õhutühjas ruumis, kohtamata vähimatki takistust oma liikumisel. Seepärast pole neil vaja mingisugust jõudu, mis võidaks pidevalt vastupanu; pole vaja mingisuguseid mootoreid, mis neid tõukaks või tõmbaks. Me teame, et planeetide liikumine päikesesüsteemis on toimunud peaaegu niisama kui praegu juba mitu

miljardit aastat (vähemalt) ja tulevikus võib see liikumine üha jätkuda niisama pika aja jooksul. Nagu näeme alljärgnevas, on planeetide kokkupõrkamine, nende langemine Päikesele ja muud sellesarnased katastroofid täiesti ebatõenäolised kogu selle määratu aja jooksul, mille kohta võib järeldusi teha nüüdisaja teadus.

Aga kuidas sai alguse see liikumine? Millest ta tekkis? Ei millestki, sest ta eksisteeris alati, kuigi mitte ühtelugu sellisel kujul, nagu esineb praegu.

Liikumine on mateeria lahutamatu omadus; ta on niisama igavene kui mateeria isegi. Kvantitatiivsel kujul väljendub see suur seadus energia jäävuse seadusena. Energia, s. o. füüsikaline suurus, mis mõõdab töö teostamise võimet, on samuti loodamatu ja hävitamatu kui mateeriagi. Energiat võib ainult üle anda ühelt kehalt teisele, ta võib üle minna mitmesugustesse kujudesse täpsete kvantitatiivsete seaduste järgi.

Sellest vaatepunktist oleks kinnitus, et planeetide liikumine eksisteeris alati, niisama õige nagu kinnitus, et planeedid ise eksisteerisid alati. Sealjuures pole aga kahtlust, et oli aeg, millal planeete veel ei olnud, millal nad veel ei olnud eraldunud mingist ürgsest udukogust (või Päikesest teiste oletuste järgi). Kuid aine, millest praegu koosnevad planeedid, eksisteeris ka enne nende tekkimist. Planeetide eraldumise momendil ei tekkinud ühtegi uut aatomit. Planeetide jaoks eraldus osa ainest, mis varem oli udukogu koostises, ja planeetide tekkimisega selle udukogu (või Päikese) mass vähenes kõikide planeetide kogumassi võrra.

Samal kombel said planeedid nende eraldumisel udukogust peale kindla aine koguse veel mingisuguse energia tagavara, mis nüüd ilmub nende liikumise näol. Millisel kujul ja millistes tingimustes said planeedid selle energia, pole võimalik praegu täpselt ütelda, sest planeetide tekkimist kujutavad mitmed hüpoteesid iseviisi. Varemaaegse Laplace'i hüpoteesi kohaselt oli see energia lihtsalt osa udukogu pöörleva liikumise energiast; uuemate hüpoteeside kohaselt tekkis see energia palju komplitseeritumalt. Kuid igal juhul eksisteeris kogu planeetide liikumise energia ka enne nende tekkimist. See oli ammutatud üldisest energia kogusest, mis oli planeetidele alguse andnud süsteemil. Kui planeedid eraldusid, siis vähenes järelejääva süsteemi energia täiesti kindla suuruse võrra.

Niiviisi ei ole planeetide liikumise tekkimises ega liikumistes endis midagi seletamatut ja imevääarset.

Gravitatsiooniseaduse tähtsus teaduses ja kultuuri ajaloos.

Gravitatsiooniseaduse avastamise ajalugu on niisama tähelepanuväärne kui seadus isegi. Ta on siiani ainukeseks kõige täiuslikumaks eeskujuks suure teadusliku tõe avastamise õigest teest. Veel tähtsam on see, et iga uus samm sellel kahesaja-aastasel teel oli ühtlasi uueks sammuks teadusliku materialistliku maailmavaate võidukäigus. Kitsa keskaegse maailmakese asemele, mis oli surutud planeetide ja tähtede pöörlevate kristalsete sfääride keskele, avanes inimese ees maailmaruumi lõputu avarus, loendamatute päikeste ja planeetide maailm. Selles tõelises maailmas ei ole midagi saladus-

likku ega mõistatamatut, selles pole kohta imele ja omavolile. Teda valitsevad täpsed, muutumatud füüsikaseadused. Neid seadusi õppis inimese mõistus lühikese aja jooksul valitsema niisuguse täiusega, et hakkas ennustama taevanähtusi paljusid aastaid ette, ja need ennustused lähevad täide kõige pisemateski peensustes.

Niisugune kiire ja hiilgav edu taevakehade liikumiste seletamisel etendas määratut osa kultuuri ajaloos. Kõigile looduseuurijatele sisendas see erksat lootust, et aja jooksul võib samasugust edu saavutada ka teistes teaduseharudes ja et küsimused, näiteks füüsika, keemia, bioloogia alal, leiavad kunagi niisamasuguse täieliku „astronoomilise" lahenduse. Tekkis kindel veendumus, et pole olemas piire looduse tunnetamisel ja võitmisel ja et sõna „võimatu" tuleb maha tõmmata teaduse keelest.

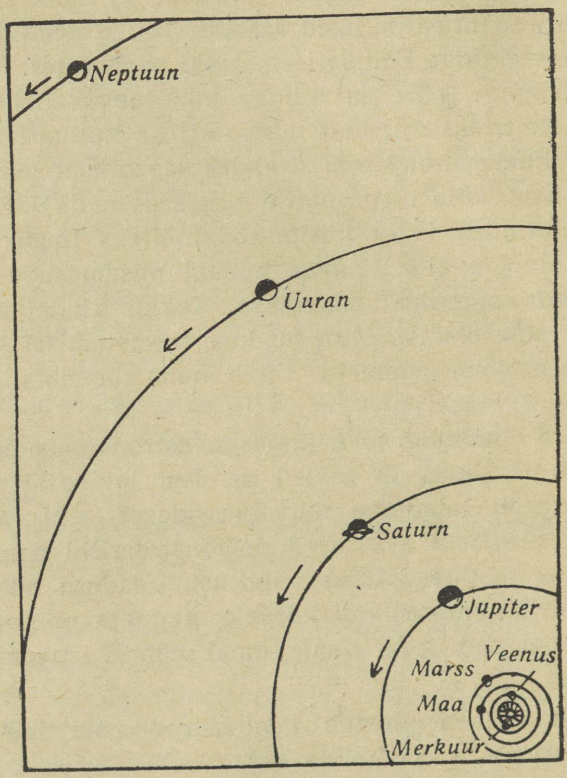
Peale muu olid selle ajajärgu astronoomia edusammud nii näitlikud, et teated nendest levinesid võrdlemisi kergesti laiadesse rahvamassidesse. Newtoni ja tema järglaste avastused demonstreerisid nende silmade ees teaduse piirita võimsust. Teaduse autoriteet tõusis XVIII sajandil nii kõrgele, nagu ta polnud seisnud kunagi kuni tolle ajani; samal määral langes kiriku autoriteet.

Kõik see moodustab veel astronoomia ühe suure teene teaduse ja inimkonna ees.

Kopernikuse süsteem.

Esimese, kõige raskema, sõna tõsises mõttes peadpööritava sammu maailma tõeliku süsteemi loomise teel tegi Kopernikus 1543. a. Planeetide nähtavate lii-

kumiste põhjalik uurimine kogu eluaja kestel viis teda veendumusele, et maailm tegelikult ei ole sugugi ehitatud sääraselt, nagu ta meile paistab. Nii tähistaevas kui



Joon. 22. Päikesesüsteemi plaan.

ka Päike on liikumatud, planeedid ei tiirle mitte Maa ümber, vaid ümber Päikese. Meie paigalpüsivana näiv Maa pöörleb tegelikult igavesti oma telje ümber ning ringleb igavesti ümber Päikese (joon. 22). Ööpäeva

jooksul teeb Maa ühe täispöörde oma telje ümber, kuid meile näib, et kogu taevas teostab ööpäeva jooksul ühe pöörde ümber meie. Igal aastal teeb Maa ühe tiiru ümber Päikese, kuid meile näib vastupidi, et Päike teeb igal aastal ühe tiiru ekliptikat mööda meie ümber ja et planeedid joonistavad igal aastal tähistaevas mingisuguseid kummalisi silmuseid. Need silmused on, võib öelda, Maa aastase liikumise vastupeegelduseks. Kopernikus andis nende kohta täieliku seletuse suurepäraste geomeetriliste arutluste teel.

Seejuures saadi otsekohe vastus küsimusele: miks on eri planeetidel silmused erimõõtmelised, Jupiteril näiteks kaks korda suuremad kui Saturnil? Sellepärast, vastas Kopernikus, et planeedid asetsevad mitmesugustel kaugustel Maast; Jupiter on ilmselt kaks korda lähemal kui Saturn. Tuginedes sellele arutlusele arvutas Kopernikus esimesena teaduse ajaloos välja kõikide planeetide kaugused Päikesest, võttes ühikuks kauguse Päikeselt Maani; sellest ajast peale nimetatakse seda kaugust astronoomiliseks ühikuks.

Oma maailmaehitise teooria avaldas Kopernikus suures matemaatilises teoses, mis ilmus enne tema surma ladinakeelse nimetuse all „De Revolutionibus". Kuigi pealkiri tähendas tõlkes ainult „tiirlemistest" (s. o. taevakehade tiirlemistest), etendas raamat ise tõelist revolutsioonilist osa nii teaduses kui ka inimkonna maailmavaates. Engels nimetab seda „revolutsiooniliseks aktiks, millega loodusteadus deklareeris oma iseseisvust", „suureks vaimusünnitiseks, millega Kopernikus esitas väljakutse kiriklikule ebausule".

Kuid astronoomiliselt vaatekohalt kutsus Kopernikuse süsteem esile peaaegu niisamasugused vastu-

vaidlused kui varema-aegne Ptolemaiose süsteem. Sarnlevalt Ptolemaiosega, arvas Kopernikus, et taevakehadele on omane liikuda ainult ringidel ja seejuures ühtlaselt. Temal oli kergem oletada, et Maa tormab piiritus ruumis, kui taganeda ringidest, mis kujutasid, nagu teame, vanaaegsete tarkade kristalsete sfääride jäänuseid. Et aga planeetide teed ilmselt kalduvad kõrvale ringidest ja nende liikumine on kahtlemata ebaühtlane, siis tuli Kopernikusel nagu teistelgi astronoomidel enne teda ehitada ringi ringile, epitsüklit epitsüklile, et vähegi vastuvõetavalt kujutada planeetide nähtavat liikumist. Tõsi küll, tema ringid jäid maha nii oma hulgalt kui ka mõõtmetelt Ptolemaiose omadest, kuid siiski sai küllaltki komplitseeritud geomeetriline ehitis.

Peale selle oli Kopernikus sunnitud tunnustama, et planeetide poolt joonistatud pearingide keskpunktid ei lange ühte Päikesega ega lange ühte ka üksteisega. Siit järgnes, et iga planeet tiirleb oma eri keskpunkti ümber ja et Päikesel pole planeetide liikumisega sisuliselt mingisugust vahekorda. See näis ka kummalisena. Tundus, et kõike seda võib vististi kujutada teisiti, veel lihtsamalt.

Kepleri seadused.

Alles seitsekümmend aastat pärast Kopernikust avastati planeetide liikumiste kogu lihtsus ja matemaatiline kooskõla. Seda tegi K e p l e r, inimene, keda Engels seab geniaalsuse poolest isegi kõrgemale Newtonist. Kepler oli tõeliseks täheteaduse reformaatoriks ja tema tähtsaim töö, mis on välja antud 1609. a., kannab täiesti õigustatult nime „Uus astronoomia".

Hoolimata majanduslikust kitsikusest, tegi Kepler rea tähtsaid avastusi mitte üksi astronoomias, vaid ka füüsikas ja matemaatikas. Kuid eriti kuulsad on tema kolm seadust, milles on väljendatud kõik planeetide liikumise reeglid haruldase täpsuse ja täielikkusega.

Kepler avastas oma seadused, uurides hoolikalt taani astronoomi Ticho Brahe vaatluste ülestähendusi. Need vaatlused olid tehtud varustamata silmaga, sest pikksilma polnud siis veel leiutatud; ometi paistsid nad selle aja kohta silma oma erakordse täpsuse poolest ja andsid täieliku pildi planeetide nähtavate liikumiste kohta kahekümne aasta jooksul.

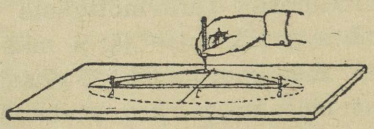
Kepler asus esialgu uurima ainult ühe planeedi, nimelt Marsi liikumist. Teravmõtteliste võtetega oskas ta planeedi nähtava liikumise järgi määrata tema tõelikku liikumist maailmaruumis. Ta sai sel viisil rea täpselt kindlaksmääratud punkte, mida läbis Marss täpselt teada olevatel momentidel. Jäi üle tõmmata vaid läbi nende punktide kõverjoon ja Kepler sai Marsi orbiidi (s. o. tee) maailmaruumis.

Algul arvas Kepler nagu Kopernikuski, et see joon on ring ja et Päike asetseb kusagil kõrval tema keskpunktist. Kuid kõigist püüetest hoolimata ei läinud tal korda leida Päikesele säärast seisukohta ringi sees, kus planeedi väljaarvutatud liikumine oleks olnud kooskõlas vaatlustega. Siis otsustas Kepler heita kõrvale sajandite eelarvamuse ringikujulisest liikumisest ja tunnustada, et Marsi orbiit ei ole ring, vaid mingisugune teine kõverjoon. Osutus, et see on nõndanimetatud ellips — kõverjoon, mis oli hästi uuritud vanade kreeka geomeetrite poolt, kuid sellest ajast peale unustusse jäetud, sest et ta peaaegu kusagil ei leidnud rakendamist. Kui praegu

ellips on tuntud isegi kooliõpilastele, siis on see teostunud tänu Kepleri järgnevale seadusele.

I seadus. Iga planeedi orbiit on ellips, kusjuures Päike asetseb ühes tema fookuses.

Ellipsi fookusteks nimetatakse kaht punkti, mis omavad tähelepanuväärset omadust: ellipsi iga punkti kauguste summa tema kahest fookusest on üks ja seesama kõikides ellipsi punktides ja võrdub tema suure teljega (s. o. suurima läbimõõduga). Sellele on rajatud lihtne viis ellipsi joonistamiseks kahe nööpnõela ja pinguli tõmmatud nööri abil (vt. joon. 23). Mida tuge-



Joon. 23. Kuidas joonistada ellipsit.

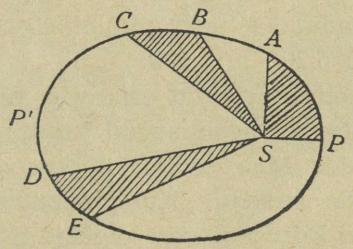
vamini on ellips välja venitatud, seda suurem on tema ekstsentrilisus. (Nõnda nimetatakse suhet fookuste kauguste ja ellipsi suurima läbimõõdu vahel.)

Märgime, et planeetide orbiitide ellipsid on võrdlemisi nõrgalt välja venitatud ja nende ekstsentrilisused on väga väikesed: Maal näiteks kõigest $\frac{1}{60}$. Kõige suurem ekstsentrilisus on Merkuuril, kuid ka see on ainult $\frac{1}{5}$. Kui päikesesüsteemi plaan joonistada niisuguses mõõtkavas, et ta mahub kooliõpiku leheküljele, siis pole planeetide ellipseid võimalik eristada ringidest. On märgata ainult, sedagi mitte kõikide planeetide puhul, et orbiitide keskpunktid ei lange kokku Päikesega.

Eelarvamus taevaste liikumiste ühtluse kohta purustati samuti Kepleri poolt. Selle asemel avastas ta alljärgneva planeetide kiiruste muutumise seaduse.

II seadus. Planeedi raadiusvektor joonestab võrdseil ajavahemikel võrdsed pinnad.

Raadiusvektor on sirgjoon planeedi ja Päikese vahel. Kui planeet on Päikese lähedal, liigub ta kiiresti ja mingisuguse kindlamääralise aja jooksul, näiteks kuu jooksul käib ta ära, ütleme, kaare *PA*. Mida kaugemale läheb ta



Joon. 24. Kepleri teine seadus.

Päikesest, seda aeglasemalt liigub ta, ja igas kuus käib ära ikka väiksema kaare osa *BC*, *DE* jne. Kepler arvestas, et kaarte vähenemine tasakaalustub raadiusvektorite suurenemisega, nii et pinnad *PSA*, *BSC* ja *DSE* . . . on kõik täpselt ühesuurused (joon. 24). Neid pindu võib kindlaks määrata matemaatika reeglite järgi ja seejärel välja arvutada planeedi kiirus tema orbiidi igas punktis. Kõige kiiremini liigub planeet Päikesele kõige lähemas punktis *P*, nn. periheelis, kõige aeglasemalt kõige kaugemas punktis *P'* — nn. afeelis.

Oma II seaduse, mis on matemaatiliselt väga keeruline, avastas Kepler võrdlemisi kergesti ja koguni enne

I seadust. Palju suurema vaevaga avastas ta oma III seaduse, mis liidab tervikuks kogu planeetide süsteemi. Nüüd, millal meie seda seadust teame, näib, et igaüks meist oleks selle avastanud kiiremini.

See tähelepanuväärne seadus annab sõltuvuse planeetide ja Päikese vaheliste keskmiste kauguste ja planeetide tiirlemisperioodide vahel. Nagu teame, oskas juba Kopernikus kindlaks määrata suhtelised vahemaad planeetide ja Päikese vahel, kusjuures mõõtühikuks oli keskmine Maa kaugus Päikesest ehk *astronoomiline ühik*. Näiteks keskmised Jupiteri ja Saturni kaugused väljendatakse astronoomilistes ühikutes järgmiste arvudega: 5,203 ja 9,539.

Kuna planeetide orbiidid erinevad vähe ringjoonest, siis võib arvata, et need arvud kujutavad iga orbiidi pikkust, võrreldes Maa orbiidi pikkusega. Maa läbib oma orbiidi aasta jooksul. Kui planeedid oleksid liikunud samasuguse kiirusega, siis oleksid nende ringlemise ajad võrdunud 5,203 ja 9,539 aastaga. Tegelikult on need aga Jupiteri puhul 11,86 aastat ja Saturni puhul 29,46 aastat. Siit on ilmne, et mida kaugemal asetsevad planeedid Päikesest, seda aeglasemalt nad liiguvad. Kepler oli veendunud, et selle aeglustumise kohta peab olema lihtne matemaatiline reegel. Alles 9 aasta pärast leidis ta selle reegli alljärgneval kujul.

III seadus. Planeetide tiirlemisaegade ruudud suhtuvad nagu nende keskmiste kauguste (ehk nende orbiitide suurte pooltelgede) kuubid.

Võtame näiteks Jupiteri ja tõstame tema tiirlemisaja ruutu ja keskmise kauguse Päikesest kuupi:

$$11{,}86^2 = 5{,}203^3 = 140{,}8.$$

Saime ühe ja sellesama arvu. Toimime niisama Saturni suhtes:

$$29{,}46^2 = 9{,}539^3 = 868.$$

Jälle täpselt üks ja seesama arv. Nii ilmneb see kõikide planeetide puhul.

See seadus omab suurt praktilist tähtsust. Nii võimaldab see aja järgi, mis kulub planeedil täistiiru tegemiseks ümber Päikese, välja arvutada planeedi kaugust, mida täpselt kindlaks määrata vaatluste järgi on üldse raskem kui tiirlemise perioodi. Kuid võib olla ka vastupidi. 1930. a. avastati uus väga kauge planeet Pluto. Tema kaugust Päikesest läks korda umbkaudu välja arvutada vaatluste alusel. See kaugus osutus 40 korda suuremaks kui Maa kaugus Päikesest. III seaduse järgi tema tiirlemise aeg T, väljendatud aastates, on seotud kaugusega nii:

$$T^2 = 40^3 = 64\,000.$$

Sellest võrdub tiirlemise aeg:

$$T = \sqrt{64\,000} = 253 \text{ aastaga (ligikaudu)}.$$

Lugejal-mitteastronoomil on raske hinnata Kepleri avastuste kogu tähtsust. Kõigepealt muutsid need täielikult astronoomilise töö metoodikat. Enne Kepleri ajastut kujutati astronoomi sageli, sirkel käes, joonestamas sügavamõtteliselt ringi ringile. See ongi üldiselt õige; nii töötas ka veel Kepler. Nüüd aga asendati ringide joonestamine lihtsama ja täpsema arvutamisega elliptilise liikumise valemite järgi. Kepler ise tuletas oma seadustest niisuguse arvutamise meetodid ja need on astronoomias kasutamisel kuni tänase päevani.

Lisaks sellele sundisid Kepleri seadused õpetlaste mõistust töötama edasi. Need tõestasid täiesti selgesti,

et planeetide-maailma valitsetakse mingisuguse jõuga, mille allikaks on Päike. Päike on iga planeedi orbiidi fookuses; kaugusega temast reguleeritakse rangelt planeedi lennukiirust planeedi tee igas punktis. Neist kaugustest olenevad ka kõikide planeetide tiirlemisperioodid ümber Päikese. Kuid miks see jõud sunnib planeete liikuma tingimata ellipsijoont mööda ja mitte teisi jooni mööda, sealjuures veel II ja III seaduse järgi, — sellele küsimusele ei andnud Kepler ega tema kaasaegsed veel vastust, sest neile oli täiesti ebaselge side jõudude ja liikumise vahel, mida nad esile kutsuvad.

Taevakehade liikumist juhtiva jõu avastamise ettevalmistamiseks tegi Kepler väga palju, kuid mitte kõike. Ta avastas, et tõelised taevakehade liikumised on haruldaselt lihtsad ja alluvad täpsetele matemaatilistele reeglitele. Ja nimelt tänu sellele korrapärasusele jäid taevakehade liikumised nagu varemaltki mittesarnasteks maiste kehade liikumistega. Keplerile endale näis, et oma matemaatiliste seadustega tabas ta lõppeks müstilise vanaaegsete mõttetarkade „taevasfääride harmoonia".

Oli tarvilik asuda niisamasugusele hoolikale maiste liikumiste uurimisele, et kontrollida, kas on tõesti nii sügav lõhe maiste ja taevaste liikumiste vahel, ja et kindlaks määrata liikumise seadusi üldse.

Galilei ja Giordano Bruno.

Seda ei tulnud kaua oodata. Samal ajal, kui Kepler Saksamaal uuris taevakehade liikumist, hakkas Itaalias suur G a l i l e i tegema katseid kehade langemise alal Maa peal. Olid tehtud esimesed sammud nende loodusseaduste väljaselgitamisel, milledega tegeleb nüüdis-

aegne dünaamika, s. o. teadus jõududest ja nende mõjust kehade liikumisele.

Galilei on laialt tuntud esimese astronoomina, kes hakkas taevakehi vaatlema pikksilma abil. Seejuures tegi ta mitu surematut avastust, mis kinnitasid Kopernikuse teooria õigsust. Kuid astronoomiliste vaatlustega tegeles ta lühemat aega (1610.—1612. a.), pöördudes peagi tagasi oma peaerialale — mehhaanikale.

Kõigile on teada tema traagiline saatus. Hoolimata sellest, et ta osaliselt oli sõjaväeinseneriks ja olles väga tarvilik oma valitsusele, ei pääsenud ta jälitamisest veel tugevama võimu — katoliku kiriku — poolt. „Kopernikuse ketserluse" propageerimise eest kutsuti ta Rooma inkvisitsiooni kohtu ette.

Asi oli väga tõsine, sest kõigil oli veel meeles Giordano Bruno hirmus saatus. See suur filosoof-materialist oli esimesi Kopernikuse järelkäijaid. Kuid ta läks Kopernikusest koguni palju kaugemale: ta õpetas, et maailmu, mis on sarnased päikesesüsteemile, on lõpmatu hulk, et kõik tähed on kauged päikesed, millede ümber tiirlevad loendamatud planeedid, mis on asustatud elavate olenditega. Niisuguse ennekuulmatu „ketserlusega" oli Bruno kirikuvõimude arvates ära teeninud „halastusliku surmanuhtluse ilma verevalamiseta", ja 1600. a. põletati Bruno Roomas elusalt tuleriidal.

Niisamasugune saatus ähvardas ka Galileid. Ainult pealesunnitud avaliku loobumisega oma „eksiõpetustest", s. o. õpetusest Maa liikumise kohta, päästis ta oma elu, kuid mitte vabadust. See oli 1633. a., millal Galilei oli juba 70-aastane.

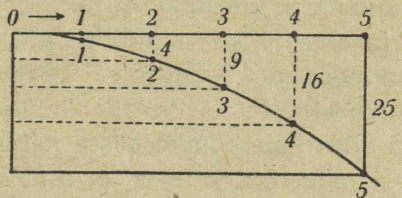
Galilei teened mehhaanikas on veel suuremad kui astronoomias. Ta uuris liikumise nähtusi kõige lihtsamate katsete abil: ta vaatles pendli õõtsumist, viskas tornist alla mitmesuguse raskuse ja tihedusega kuulikesi, laskis neil alla veereda mööda kallakut renni jne. Neis katsetes oskas ta märgata seda, mida enne teda ükski polnud tähele pannud. Peale selle oskas ta eraldada vaadeldavas nähtuse peaasja teisejärgulise tähtsusega asjast, samuti mõju avaldava põhjuse kõrvalistest asjaoludest, mis ainult segasid teda mõju avaldamast. Tänu sellele läks tal korda tõestada kreeka filosoofi Aristotelese liikumise õpetuse ekslikkust, mida tuhande aasta jooksul keegi ei mõtelnudki kontrollida katsega.

Aristotelese õpetuse järgi jätkub igasugune liikumine, muu hulgas ka ühtlane liikumine ainult senikaua, kuni mõjub liikuma panev jõud. Galilei aga oma katsete najal tegi vääramatult kindlaks, et ühtlase liikumise alalhoidmiseks ei ole sugugi tarvis pideva jõu mõjustamist. Jõudu on tarvis ainult selleks, et panna keha liikuma, ja pärast seda peab ta liikuma ühtlaselt alalise kiirusega, kuni tema peale ei mõju jälle mingisugune jõud. Seda reeglit nimetame nüüd esimeseks liikumise seaduseks ehk inertsiseaduseks.

Kuidas siis kajastub jõu mõju keha liikumisel? Galileil oli õige vastus ka sellele küsimusele, kuigi ta ei väljendanud seda täpselt. Nüüd nimetame seda teiseks liikumise seaduseks. Selle seaduse järgi mõjub liikuvale ja liikumatule kehale mingi antud jõud ühesuguselt, muutes tema kiirust ühe ja sama suuruse võrra. See kiiruse muutumine (arvestatuna 1 sekundi kohta nimetatakse seda kiirenduseks) on alati suunatud tegutseva jõu suunas ja on temale proportsio-

naalne, nii et kiirenduse suuruse järgi võib otsustada jõu enda suuruse üle.

Toome näite. Mürsk, mis on välja lastud kõrgest tornist horisontaalses suunas, peaks vastavalt inertsiseadusele liikuma ühtlaselt ja tema tee oleks horisontaalne sirgjoon, kuid tema peale mõjub raskuse jõud täpselt niisama kui liikumatule kehalegi. Selle jõu mõjul langeb ta igas sekundis nii mitu meetrit, kui palju oleks ta langenud siis, kui ta lihtsalt oleks kukkunud alla tornist, kuna raskuse jõud on suunatud vertikaalselt allapoole.



Joon. 25. Kuidas Galilei seletas mürsu kõverjoonelist lendu.

Mürsk hoiab peale selle alal oma horisontaalse kiiruse. Tulemusena ühtlane nihkumine horisontaalil liitub kiirendatud langemisega vertikaalil ja mürsu tee kujuneb, nagu tõestas Galilei, kõverjooneks, mida nimetatakse paraboliks (joon. 25).

Newton ja gravitatsiooni avastamine.

Galilei ja tema järglaste avastuste mõjustusel hakkasid järk-järgult levinema õigemad vaated jõudude mõjule. Enam ei olnud tarvis mõelda jõule, mis oleks tõuganud planeete. Vastupidi, tuli otsida jõudu, mis hoiab planeete nende orbiitidel ja mis ei lase neil lennata

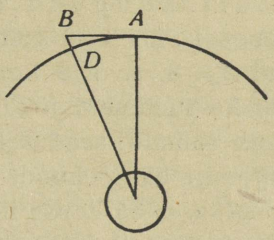
sirgjooni mööda igale poole laiali. Kepleri seadustest selgub, et selleks jõuallikaks on Päike ja et see jõud on külgetõmbav, mitte aga eemale tõukav.

Kuid millise seaduse järgi muutub külgetõmbejõud kauguse muutumisega? Mil viisil sunnib ta planeete liikuma just Kepleri seaduse järgi? Milline on tema olemus? Need küsimused huvitasid tõsiselt XVII sajandi teaduslikku mõtet, kuid nende lahendamine oli matemaatiline ülesanne, mis ei olnud jõukohane peaaegu ühelegi selle aja teadlastest. Selle lahendas ainult geniaalne matemaatik Newton.

Newton sündis Inglismaal 1642. a., s. o. Galilei surma-aastal, ja elas pikka rahulikku elu, mis peaaegu täielikult oli pühendatud teadusele. Võtme taevaste liikumiste seletamiseks leidis ta tõenäoliselt juba 23 a. vanuselt, kuid alles kahekümne aasta pärast ilmus tema kuulus teos „Loodusfilosoofia (s. o. füüsika) matemaatilised alused" („Philosophiae naturalis principia mathematica"). See teos on esmajärjekorras tähtsaim kõigist raamatuist mehhaanika alal, mis on kirjutatud kuni praeguse ajani. Taevakehade liikumise küsimust vaadeldakse selles esmakordselt ja lahendatakse kui puht mehhaanika ülesannet. Peale selle sisaldab raamat hulga tähelepanuväärseid avastusi ja sügavaid ideid väga mitmesugustest valdkondadest. Matemaatikud näiteks ütlevad, et kaugeltki mitte kõik selle raamatu matemaatilised varasalved pole veel välja selgitatud ja ära kasutatud nüüdisaja teaduse poolt.

On säilinud lugu sellest, kuidas Newton 1666. a. suvel juurdles oma aias pingeliselt küsimuse kallal: milline jõud hoiab Kuud oma orbiidil ja ei lase tal ära lennata Maa lähedusest? Samal ajal kukkus puult õun

alla ja see oli vastuseks. Lugu ei näi küll tõepärasena, kuid selles pole midagi võimatut. Newton loomulikult võis mõtlema hakata: mispärast oksalt pudenenud õun langeb Maa peale ning ei jää mitte paigale ega ka lenda ära Maa pealt. Sellepärast, et temale mõjub raskusjõud, mis on suunatud Maa keskpunkti. Selle mõjul hakkab õun kukkuma ja langeb esimese sekundi jooksul 4,9 m. Kui kõrgel ka ei oleks õun, ikkagi hakkaks ta langema, kuigi mitte nii kiiresti, sest raskusjõud nõrgeneb kauguse kasvades.



Joon. 26. Kuidas Newton seletas Kuu liikumist.

Aga Kuud võib ju vaadelda kui õuna, mis ripub Maa keskpunktist 60 Maa raadiuse kaugusel. Sealjuures see „õun" samuti langeb: mingisugune jõud kallutab Kuud kogu aja sirgjoonelisest liikumisest kõrvale ja sunnib teda tiirlema ümber Maa. Seda tiirlemist võib vaadelda kui igavest langemist [1]. Teades Kuu kaugust Maast ja tema tiirlemise aega, on kerge välja arvutada, et Kuu lendab igas sekundis mööda orbiidi puutujat 1,02 kilomeetrit (lõik *AB*) ja langeb seejuures Maa poole kõigest 1,36 millimeetrit (lõik *BD*) (joon. 26).

[1] Kuu sirgjoonelise liikumise ja Kuu Maale langemise ühise tegevuse tulemus.

Ja Newtonile tuli pähe lihtne mõte, millist enne teda, niipalju kui teada, veel ükski polnud väljendanud: Kuu langemine toimub sama jõu mõjul kui õunagi langemine, ehk tema enda sõnadega väljendades: „Kuu tõmbub Maa külge; raskusjõu mõjul kaldub ta kõrvale sirgjoonelisest liikumisest ja püsib omal orbiidil."

Kuidas kontrollida seda arvamust? Kepleri III seadusest järeldas Newton juba varem kergesti, et Päikese külgetõmbejõud, mis juhib planeetide liikumist, muutub pöördvõrdeliselt kauguse ruuduga; näiteks vähendades kaugust Päikesest kolmekordselt, suureneb külgetõmbejõud 3×3, s. o. 9 korda. Seepärast oli loomulik oletada, et ka tundmata jõud, mis hoiab Kuud Maa läheduses, allub samale seadusele. Jõu mõõduks võib võtta Kuu langemist ühe sekundi jooksul. Kui Kuu oleks olnud maapinnal, s. o. 60 korda lähemal Maa keskpunktile, kui ta asetseb tegelikult, siis oleks tema langemine olnud 60×60 korda suurem:

$$1{,}36 \text{ mm} \times 3600 = 4{,}9 \text{ m}.$$

Kuid see on täpselt see vahemaa, mille läbib keha esimese sekundi jooksul, kui ta Maa pinnal vabalt langeb raskustungi mõjul. Esitades selle avastuse, ütleb Newton: „Jõud, mis hoiab Kuud tema orbiidil, osutuks võrdseks meie raskusjõuga, kui Kuu laskuks Maale; sellepärast see ongi nimelt see jõud, mida nimetatakse raskuseks."

Seda avastust oli kerge laiendada kogu planeetide süsteemile. Nagu õun ja Kuu tõmbuvad Maa poole, nii kogu Maa koos Kuuga ja kõik ülejäänud planeedid tõmbuvad Päikese poole. Saladuslik jõud, mis kutsub esile planeetide liikumise, osutus kõige harilikumaks raskus-

seks, mis juhib ka maisi liikumisi. Võib öelda vastupidistki: tavaline raskusjõud, mis sunnib õuna langema Maa peale, on ainult üks suure kogumaailmse gravitatsioonijõu avaldusi.

Viimased jäljed jõudude erinevuse vahel, mis tegutsevad Maa peal ja „taevas", on kadunud ja asendatud uue teaduse põhiprintsiibiga: mateeria kogu maailmaruumis allub ühtedele ja samadele seadustele. Selle printsiibi kinnitamises seisnebki Newtoni avastuse suurim ideoloogiline tähtsus.

Kepleri seaduste parandamine Newtoni poolt.

Juba märkisime, et Newton, tuginedes Kepleri seadustele, tuletas matemaatiliselt seaduse selle jõu kohta, mis juhib planeetide liikumist. Osutus, et see jõud on alati suunatud Päikese poole ja et tema suurus on pöördvõrdeline kauguse ruuduga Päikesest. Sel kombel lahendati esimest korda teaduse ajaloos põhiülesanne: liikumise järgi leida jõud.

Seejärel esitas Newton endale palju raskema küsimuse: kuidas keha üldse hakkab liikuma maailmaruumis külgetõmbejõu mõjul, mis on pöördvõrdeline kauguse ruuduga? Sellega püstitas ta — jällegi esimesena ajaloos — teise mehhaanika põhiülesande, mis oli vastupidine eelnevale ja tunduvalt raskem: jõu järgi määrata liikumine.

Newton tuli hiilgavalt toime sellegi ülesandega. Nende ülesannete lahendamine pani aluse diferentsiaal- ja integraalarvutuse arenemisele — kogu kõrgemale matemaatikale. Kuid võidakse küsida: kas oli tarvis kulutada aega teise ülesande lahendamiseks? Vastus näib

olevat ju selge: liikumine peab toimuma Kepleri seaduste järgi. Ja Newtoni arvutused andsid tõesti temale need seadused, kuid täielikumal ja isegi õigemal kujul, kui neid sai Kepler otse oma vaatlustest. See on tähelepanuväärne näide sellest, et teooria, mis on rajatud vaatlustele, annab rohkem loodusseaduste tundmaõppimiseks kui vaatlused üksi.

Parandus, mille Newtoni teooria viis sisse Kepleri I seadusesse, seisnes selles, et raskusjõu mõjul võib taevakeha joonestada mitte ainult ellipsi, vaid ka parabooli ja hüperbooli. Vaatlused kinnitasid seda ka otsekohe: suur hele 1680. a. komeet astronoom Dörffeli ja Newtoni enda uurimuste kohaselt liikus kahtlemata parabooli mööda, hiljem aga avastati ka hüperboolsete orbiitide juhud.

Veel tähelepanuväärsem on avaldis, mille Newton sai III seaduse jaoks. Kui mõõta planeetide keskmist kaugust Päikesest a astronoomiliste ühikutega ja tiirlemise aega T aastatega, siis kirjutati see seadus Kepleri poolt kõikide planeetide kohta ühe ja sama valemiga:

$$\frac{T^2}{a^3} = 1.$$

Newton aga näitas, et kauguse kuup ühegi planeedi puhul ei või täpselt võrduda tema tiirlemise ruuduga ja nende suhe ei saa olla üks, vaid mõnevõrra suurem:

$$\frac{a^3}{T^2} = 1 + m.$$

Arv m on eri planeetide puhul isesugune. See arv omab tähelepanuväärset tähendust: see on planeedi mass Päikese massi osades. Kuna see on isegi kõige suuremate planeetide puhul väiksem kui $\frac{1}{1000}$, siis ei

võinud Kepler tähele panna, et tema seadus pole päris täpne. Hilisemad vaatlused kinnitasid täielikult Newtoni paranduse õigsust.

Planeetide kaalumine.

Kepleri III seadus sel kujul, nagu talle andis Newton, avas teadusele võimalused, mis varem oleksid paistnud otse fantastilistena: see seadus lubab „kaaluda" planeete. Kõige kergem on seda teha sel korral, kui planeedil on kaaslased.

Juba Kepler märkas, et III seadus on õige ka Jupiteri kaaslaste puhul: kaaslaste ja planeedi vahelise kauguse kuubi jagamisel nende ümber planeedi tiirlemise aja ruuduga, saame kõikide kaaslaste kohta peaaegu ühe ja sama arvu, kuid see arv ei ole lähedane ühele nagu planeetide puhul, vaid on ligikaudu

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{1}{1050}.$$

Newton seletas ära selle erinevuse põhjuse. See erinevus näitab, et Jupiteri külgetõmbejõud, mis korraldab tema kaaslaste liikumist, on 1050 korda nõrgem Päikese külgetõmbejõust samal kaugusel. Kuid külgetõmbejõud ehk gravitatsioon on ühe ja sama kauguse puhul proportsionaalne massile; järelikult on Jupiteri mass 1050 korda väiksem Päikese massist.

Niisugust arvutust võib teha iga planeedi kohta, millel on kaaslasi. Kuid see arvutus annab ainult suhtelise massi, planeedi massi Päikese massi osades. Kuid kas pole seda võimalik väljendada näiteks kilogrammides? Osutub, et see on võimalik, tänu sellele õnnelikule olukorrale, et ka Maal on kaaslane — Kuu.

Arvutame sama reegli järgi välja, mitu korda on Maa mass väiksem Päikese massist. Maa tiirlemise aeg (aasta) ümber Päikese on pikem Kuu tiirlemise ajast ümber Maa (niinimetatud sideerilisest kuust) 13,4 korda ja Päikese keskmine kaugus Maast on 390 korda suurem Maa kaugusest Kuuni. Arvutus III seaduse järgi annab väga väikese arvu:

$$\frac{13{,}4^2}{390^3} = \frac{1}{333\,000}$$ (ligikaudu).

Niisugust tähtsusetut murdosa Päikese massist omab meie Maa mass. Planeet-hiiglase Jupiteri mass on umbes 320 korda suurem. Selleks, et väljendada need arvud kilogrammides, jääb meile üle „ainult" k a a l u d a ä r a M a a.

Gravitatsiooni üldsus ja Maa kaalumine.

Maa massi kindlaksmääramiseks märgime, et gravitatsioon pole täheldatav üksnes taevakehade puhul; see mõjutseb kõikide kehade vahel, ükskõik kui väikesed need ka ei oleks. Gravitatsiooni mõju täpse seaduse sõnastas Newton selliselt:

I g a m a t e r i a a l n e o s a k e t õ m b a b i g a t e i s t o s a k e s t e n d a p o o l e j õ u g a, m i s o n v õ r d e l i n e m õ l e m a o s a k e s e m a s s i d e g a j a p ö ö r d v õ r d e l i n e n e n d e v a h e l i s e k a u g u s e r u u d u g a.

Newton tõestas samuti, et kaks ühtlast kera tõmbuvad teineteise poole nii, nagu kummalgi oleks kogu mass koondatud tema keskpunkti.

Seesama reegel on rakendatav ka niisugustele ebaühtlastele keradele, mis on koostatud nagu kerakujulistest kihtidest, nii et ühe ja sama kihi kõikides punktides

tihedus on ühesugune ja muutub ainult üleminekul kihist kihti (s. o. sügavuse muutumisel).

Just sellepärast ongi külgetõmbejõud Päikese ja planeetide vahel pöördvõrdelised nende keskpunktide vahelise kauguse ruuduga.

Mispärast ei märka meie aga vastastikust külgetõmbamist näiteks toas olevate toolide ja laudade vahel? Sellepärast, et nende esemete külgetõmbejõud on tühiselt väikesed, võrreldes Maa külgetõmbejõuga. Sellest hoolimata on leiutatud riistad, millede abil võib tähele panna ja isegi mõõta külgetõmmet mitmesuguste kehade vahel.

Katsed nende riistade abil kinnitavad täielikult gravitatsiooniseadust, kuid nende peamine tähtsus seisneb selles, et nad annavad võimaluse k a a l u d a M a a d. Selleks mõõdetakse näiteks jõudu, millega seatinast kuul tõmbab enda poole väikest kullast kuulikest. Võrreldes seda jõudu jõuga, millega Maa tõmbab enda poole kuulikest, s. o. tema raskusega, võib kindlaks määrata Maa massi.

Mitme kilogrammiga võrdub Maa mass, mis on välja arvutatud sellisel viisil, ma esitama ei hakka. Astronoomid, vastupidi sellele, mis neist arvatakse, väldivad võimalikult suuri (nn. „astronoomilisi") arve ja ei püüa neid meeles pidada. Palju kasulikum on Maa massi asemel meeles pidada tema t i h e d u s t. See võrdub $5\frac{1}{2}$-ga. Nii mitu korda on kogu maakera keskmiselt raskem samasuguste mõõtmetega veekerast.

Taevamehhaanika.

Tänu gravitatsiooniseaduse avastamisele kujutleme maailmaehitise mehhaanikat järgmiselt.

Kõikide meie uurimistele kättesaadavate maailmakehade liikumine toimub õhutühjas ruumis ja juhitakse ühe jõu poolt. See jõud on *üldine gravitatsioon*: iga taevakeha tõmbab kõiki teisi kehi enda poole ja teda ennast tõmmatakse omakorda kõigi teiste poolt. Gravitatsioonijõu olemus on seni meile veel tundmata, kuid loendamatu arv fakte tõendab, et gravitatsioon allub täpselt lihtsale Newtoni seadusele. Muuseas kahaneb ta kiirelt kaugusega; et aga taevakehade kaugused omavahel on üldse väga suured, siis mõjuvad teatava taevakeha liikumisele märgatavalt ainult tema lähemad ja võimsamad naabrid, kuna ülejäänud kehade mõju võib jätta arvestamata.

Sellest gravitatsiooniseaduse ülemaailmsest kehtivusest järgneb loendamatu hulk ilmseid loogilisi järeldusi. Kõik nad on täielikult tõestatud vaatlustega.

Näiteks mitte üksi Maa ei tõmba enda poole Kuud, vaid Kuu tõmbab enda poole ka Maad, seejuures sama jõuga. Kuid Maa mass on 80 korda suurem Kuu massist; seepärast langeb raske Maa vastastikuse raskusjõu mõjul Kuu poole igas sekundis vahemaa võrra, mis on 80 korda väiksem kui tema palju kergemal kaaslasel. Selle tulemuseks on, et mitte Kuu ei tiirle ümber Maa ja mitte Maa ümber Kuu, vaid mõlemad kehad tiirlevad nende ühise raskuskeskme (täpsemalt väljendades — massikeskme) ümber. Viimane asetseb 80 korda lähemal Maa keskpunktile kui Kuu keskpunktile, olles seetõttu alati maakera sisemuses. Just see Maa-Kuu-süsteemi raskuskese liigubki ümber Päikese Kepleri seaduste järgi. Ellips, mille Maa keskpunkt joonistab kuu jooksul selle punkti ümber, on niivõrd väike, et seda võis kindlaks

teha ainult väga täpsete vaatluste abil. Selle ellipsi suuruse järgi on määratud kindlaks Kuu mass.

Sarnasel kombel tõmbavad ka planeedid Päikest enda poole. Seepärast kõik päikesesüsteemi kehad, kaasa arvatud ka Päike ise, tiirlevad, õieti öelda, kogu süsteemi raskuskeskme ümber. Kui kõige raskemad planeedid lähevad ühele poole Päikest, siis võib osutuda, et süsteemi raskuskese asetseb isegi väljaspool päikesekera.

Veel tähtsam on see asjaolu, et iga taevakeha liikumisele ei mõju alati mitte ühe, vaid mitme keha külgetõmme. Kui oleks ainult kaks keha, mis vastastikku üksteist külge tõmbavad, näiteks Päike ja planeet või Maa ja Kuu, siis kujutaks nende liikumise väljaarvutamine vaid k a h e k e h a probleemi. Newton näitas, et see probleem on lahendatav alati, ükskõik millised ka oleksid nende massid ja kiirus, samuti mõlema keha kaugus teineteisest. Liikumine teostub Kepleri seaduste alusel ja mõlema keha asukohta võib välja arvutada ükskõik kui pika aja jaoks ette.

Toome nüüd oma matemaatilisesse ülesandesse ühe komplikatsiooni, esimese pilgu järgi mitte suure, nimelt lisame juurde veel ühe keha; näiteks asetame kusagile ruumi veel ühe planeedi — ükskõik millise massi ja kiirusega. Me saame k o l m e k e h a p r o b l e e m i: välja arvutada igaühe nende kolme keha liikumine ülejäänud kahe keha külgetõmbe mõjustusel. Osutub, et niisugune kolme keha probleem on üldiselt lahendamatu nüüdisaja matemaatika seisukorra juures. Ei saa koostada valemit, mille järgi võiks välja arvutada planeedi asukohta ettemääratud ajal, nagu seda tehakse kahe keha probleemis Kepleri valemite järgi. Tõsi küll, XX sajandi

algul näidati tee niisuguste valemite koostamiseks, kuid kasutada neid pole mõtet, sest valemid oleksid tulnud lõpmatult pikad.

Õnneks pole astronoomidel-praktikutel siiamaani kordagi tulnud tarvidust lahendada tingimata üldist kolme keha probleemi. Meie päikesesüsteemis esitatakse see probleem meile alati lihtsustatud kujul, sellest hoolimata et külgetõmbavate kehade arv selles on isegi rohkem kui kolm. Asi on nii, et Päikese mass on 750 korda suurem kui kõikide planeetide mass kokku ja peale selle on planeetide kaugused üksteisest väga suured, võrreldes nende mõõtmetega. Seepärast tõmbab Päike iga planeeti palju tugevamini kui isegi vastavale planeedile lähedasem naaberplaneet, nii et Päikese külgetõmbejõud on peajõuks, mis juhib planeetide liikumist. Kui oleks olnud teisiti, poleks Kepler avastanud oma seadusi. Planeedid liiguksid ju täpselt Kepleri seaduste järgi ainult sel korral, kui nende peale ei mõjuks mingisugused teised jõud peale Päikese külgetõmbejõu. Tegelikult liiguvad planeedid aga just peaaegu täpselt nende seaduste järgi (mitte väga pikkade ajavahemikkude puhul), millest järgneb, et planeetide vastastikune külgetõmme ei ole suur.

Veel enne Newtonit avastasid astronoomid-vaatlejad, et planeetide asukohtade määramine mitme aasta peale ette, millest unistas Kepler, on endiselt võimatu. Kõik planeedid kalduvad tunduvalt, kuigi just mitte väga tugevasti kõrvale Kepleri seadustest. Oli tarvilik välja selgitada neid kõrvalekaldumisi, oli tarvis avastada nende põhjused. Kuid mida võis öelda nende kohta, kui isegi Kepleri seaduste põhjus oli tundmata?

Alles gravitatsioonijõu avastamisega sai kõik selgeks: raskuste põhjus ja tee nende võitmiseks. Planeedi liikumine Kepleri seaduste järgi toimub Päikese külgetõmbejõu mõjul ja kõrvalekaldumised neist seadustest (neid nimetatakse *häireteks* ehk *pertrubatsioonideks*) on välja kutsutud teiste planeetide külgetõmbest. On tarvis arvesse võtta need külgetõmbed, ja me võime täpselt välja arvutada planeedi liikumise ükskõik missuguse aja peale ette.

Seda Newtoni poolt näidatud teed kulges *taevamehhaanika* — uus matemaatiline teadus taevakehade liikumisest nende vastastikuse külgetõmbe mõjul. Põhinedes eranditult Newtoni gravitatsiooni valemil arvutab taevamehhaanika harilikult välja eraldi peamise külgetõmbava keha — Päikese — mõju ja eraldi häirivate kehade — planeetide — mõju. Esimene jõud kutsub esile liikumise Kepleri seaduste järgi, teine jõud — häiretest tingitud liikumise.

Hoolimata gravitatsiooni valemi lihtsusest ja soodsatest planeetide süsteemi ehituse tingimustest osutus häirete arvutamine erakordselt raskeks ülesandeks, mille kallal proovisid oma jõudu peaaegu kõik suured matemaatikud viimase kahesaja aasta jooksul. Suurima õitsengu saavutas taevamehhaanika suure Prantsuse revolutsiooni ajajärgul *Lagrange'i* ja *Laplace'i* töödes. Oma nimetusegi sai taevamehhaanika Laplace'i hiigla teose pealkirja „Mécanique céleste" järgi, mille ta lõpetas 1825. a.

Selle teose viis köidet, mis sisaldavad keerulisimaid valemeid ja määratut hulka arvutusi, lahendavad kõik astronoomias XIX sajandi algul püstitatud küsimused. Kõik sel ajajärgul tuntud kõrvalekaldumised planeetide

ja nende kaaslaste liikumises leidsid täielikku seletust taevakehade vastastikuste häirete kaudu. Kõigi päikesesüsteemi liikmete liikumise kohta olid koostatud tabelid palju aastaid ette, ja taevakehade asukohad, mis olid varem välja arvutatud nende tabelite järgi, osutusid täpselt kooskõlas nende asukohtadega, mis saadi selle aja täpsematest vaatlustest. Lõppeks võimaldasid taevamehhaanika valemid heita pilgu meie süsteemi kõige sügavamasse minevikku ja kaugemasse tulevikku.

Planeetide süsteemi stabiilsus.

Nii näiteks ilmneb neist valemeist, et Maa orbiit sada tuhat aastat tagasi oli mõnel määral piklikum ellips kui praegu, tema ekstsentrilisus oli umbes $\frac{1}{20}$. Sellest ajast peale on see vähenenud kuni $\frac{1}{60}$. Ekstsentrilisuse vähenemine jätkub, ja ligikaudu 20 000 aasta pärast on Maa orbiit ringile lähedasem kui ühegi teise suure planeedi nüüdisaegne orbiit. Seejärel hakkab Maa orbiit jälle välja venima ja ligikaudu 70 000 aasta pärast muutub rohkem väljavenitatud ellipsiks kui praegu, pärast seda algab uuesti lähenemine ringile. Lisaks sellele nähtub valemitest, et selle ellipsi pikima telje suund pöördub kogu aja ja võrdlemisi kiiresti itta, nii et juba 20 000 aasta pärast on ellipsi telg pöördunud täisnurga võrra ja 70 000 aasta pärast on ta sooritanud täispöörde. Muutub ühtlasi maakera orbiidi tasapinna enda asend. Meie ajal moodustab see maakera ekvaatori tasapinnaga nurga $23^0 27'$ (see on tuntud ekliptika kaldenurk ekvaatori suhtes). Iga aastaga väheneb see poole sekundi võrra, kuni ta 30 000 aasta pärast väheneb kuni 21^0-ni, misjärel algab jälle tema aeglane suurenemine.

Seesama, ainult teiste tähtaegade vältel ja teistes mõõtudes, toimub ka ülejäänud planeetidega. Aastatuhandete jooksul venivad nende orbiidid kord pikaks, kord tõmbuvad jälle kokku; tasapinnad, milledes nad liiguvad, kalduvad kord ühele, kord teisele poole. Kuid need muutused — nagu kõnelevad meile taevamehhaanika võrrandid — on surutud võrdlemisi kitsastesse piiridesse. Näiteks kõikide orbiitide elliptilisus pole kunagi teravasti väljendatud, planeetide orbiidid jäävad alati lähedasteks ringile. Muuseas ei veni Maa orbiit kunagi niivõrd pikaks, et vahe Päikese soojendamise vahel periheelis ja afeelis oleks eriliselt märgatav.

Täpselt niisama jäävad orbiidi tasapindade kaldenurgad teineteise suhtes alati väga väikeseks. Kunagi ei muutu ükski neist tasapindadest teisele perpendikulaarseks, kunagi ei lange ekliptika kokku ekvaatoriga ja isegi ei kaldu kõrvale oma praegusest asendist rohkem kui 3^0 võrra.

Samal ajal kui ekstsentrilisused ja planeetide orbiitide kalded muutuvad häirete tagajärjel võrdlemisi kitsastes piirides, ei muutu suured poolteljed ehk keskmised kaugused peaaegu üldse. See on Laplace'i üks tähtsamatest avastustest, mis hilisemate matemaatikute poolt on leidnud kinnitust. See tähendab, et planeetide orbiitidel muutuvad ainult asend ja kuju, kuna mõõtmed ja nendega seoses olevad tiirlemise perioodid jäävad muutumatuks.

Sellest on tehtud järeldus päikesesüsteemi s t a b i i l s u s e kohta. Häired ei saa esile kutsuda kokkupõrkeid ja isegi mitte planeetide vähegi tihedamaid lähenemisi. On samuti võimatu, et mingisugune planeet langeks Päikesele või, vastupidi, lendaks ära meie planeetide

süsteemist kui komeet. Üldine planeetide skeem jääb määramatult pika aja jooksul niisamasuguseks, nagu ta on meie päevil.

Planeetide süsteemi stabiilsuse põhjus.

Niiviisi jätab planeetide-maailm mingi targasti ehitatud mehhanismi mulje. Kes siis ehitas ja reguleeris nii imeväärselt selle mehhanismi? Kas võis see toimuda ilma „ülitarga" loojata — jumalata? Kuid juba Laplace, XVIII sajandi suurim materialist, ütles, et tema „ei leia vajadust selleks hüpoteesiks". Nüüdisaegne teadus seletab planeetide süsteemi stabiilsust sama „enam kohanenu üleelamise" ehk „loomuliku valiku" põhimõttega, millega Darwin seletas loomade ja taimede kohanemist ümbritseva olustikuga. Väärib mainimist, et darvinismi ideede sissetoomine astronoomiasse kuulub matemaatik George Darwinile, suure Charles Darwini pojale.

„Üleelamise" idee planeetide maailmas on väga lihtne. Kõik meile tuntud planeedid omavad stabiilseid orbiite, sest ülejäänud planeedid, mis liikusid ebastabiilsetel orbiitidel, on juba ammu hävinud. Ühed neist langesid Päikesele, teised põrkasid kokku praegu eksisteerivate planeetidega ja sulasid nendega ühiseks kehaks, kolmandad lendasid välja planeetide süsteemist hüperboolseid orbiite pidi. Jäid ainult need planeedid, millede liikumine väldib sääraste katastroofide võimalusi. Kõige tõenäolisemalt toimusid need katastroofid miljardid aastad tagasi, kaua enne seda, kui Maal tekkis elu. Nõrgaks järelkajaks sellele on nn. lendtähtede ja meteoriitide igapäevane kukkumine Maa peale.

On tarvis muuseas silmas pidada, et taevamehhaanika valemid on erakordselt keerulised. Seepärast vaa-

deldaksegi alati ainult nende valemite peamisi liikmeid. Võimalik, et kui arvesse võtta valemeist väljajäetud liikmeid, siis Laplace'i ja tema järglaste tulemused nõuaksid parandusi. Peale selle ei arvesta taevamehhaanika peale gravitatsiooni mingisuguseid jõude, mis võiksid mõjuda taevakehadele, kuid niisugused jõud võivad olla. Seepärast võime päikesesüsteemi vastupidavusest öelda ainult seda, et see on kindlustatud väga pikaks ajaks, kuid kas see aeg on miljardid aastad või ainult miljonid, seda me veel ei tea.

Neptuuni avastamine.

Taevamehhaanika ajaloos oli palju niisuguseid juhtumeid, et mingisuguse taevakeha liikumises avastati kõrvalekaldumine, mis näis olevat seletamatu gravitatsiooni seadusega. Kuid hoolikam uurimine näitas, et see kõrvalekaldumine, vastupidi, on Newtoni seaduse vältimatuks järelduseks ja lüüasaamise asemel tähistas taevamehhaanika uut triumfi.

Suurimaks niisuguseks triumfiks oli uue planeedi võrratu avastamine, nagu öeldi, „suleotsaga". Astronoom-arvutaja näitas astronoomile-vaatlejale punkti taevas, kus pidi olema tundmatu planeet, mis asetseb meist mitme miljardi kilomeetri kaugusel, ja et teda avastada, jäi vaatlejal üle suunata pikksilm vaid sellesse punkti.

23. septembril 1846. a. sai Berliini observatooriumi assistent Galle kirja Pariisi astronoomilt Leverrier'lt, kellele ta alles enne seda oli saatnud ühe oma artikli. Kirjas öeldi tänu saadetud artikli eest ja peale selle esitati palve: uurida taeva ala Kaljukitse delta piirkonnas, sest selles kohas peab Leverrier' arvutuste koha-

selt olema uus, alles tundmatu planeet. Galle suunas veel samal õhtul observatooriumi suure pikksilma sinna kohale, millele oli osutatud kirjas, ja hakkas kõiki pikksilmas nähtavaid tähti võrdlema niinimetatud „akadeemilise" tähekaardiga, mis mõni aasta tagasi oli koostatud Berliini observatooriumi poolt ja just parajasti ilmunud trükist (Leverrier'l Pariisis seda kaarti veel ei olnud). Teda abistas üliõpilane d'Arrest, pärastine väljapaistev täheteadlane. Umbes poole tunni järel pärast vaatluste algust leidsid nad juhatatud taeva piirkonnas kaheksanda suuruse tähe, mida polnud kaardil märgitud. Tugeva suurenduse puhul õnnestus täheldada tema ketast, nagu need on vaadeldavad kõikidel planeetidel, ja järgmisel õhtul osutus, et ta oli tähtede keskel märgatavalt edasi nihkunud. Veel samal päeval saatis Galle Leverrier'le vastuse, mis algas sõnadega: „Teie poolt juhatatud planeet eksisteerib tõesti". Niisugusel täiesti erakordsel viisil avastati päikesesüsteemi kaheksas suur planeet, mida nüüd nimetatakse Neptuuniks.

Selle ebatavalise avastuse lugu algas juba 1821. a. Sel aastal märkas Laplace'i kaastööline Bouvard, et Herscheli poolt 1781. a. avastatud kauge planeet Uuran on ainuke taevakeha, mis oma liikumises ei alistu „taevamehhaanika" valemeile. Ta koostas kõige hoolikamalt planeedi kohta uued tabelid, kuid ka neist tabeleist hakkas planeet ikka rohkem ja rohkem kõrvale kalduma. 1840. a. küündis lahkuminek arvutatud ja tegeliku Uurani asukoha vahel 2'-ni. Kaks kaareminutit — see on üks viieteistkümnendik osa Kuu ketta läbimõõdust. Kui taevas oleks tõelise Uurani kõrval olnud veel teoreetiline Uuran, siis varustamata silmaga vaadeldes oleksid need kaks taevakeha sulanud üheks täheks. Kuid astronoo-

mile on niisugune lahkuminek juba sada aastat tagasi olnud lubamatu.

Esitati mitmesuguseid seletusi selle saladusliku nähtuse kohta. Järk-järgult hakkasid astronoomid ikka rohkem kalduma oletusele, et Uurani taga peab olema suur planeet, mida pole veel vaatlustel avastatud tema suure kauguse tõttu. Kuid ta annab oma olemasolust märku häiretega, mida tema külgetõmme esile kutsub Uurani liikumises. Loomulikult tekkis järgmine kaalutlus: kui me teaksime tundmatu planeedi X asukohta, liikumist ja massi, siis võiksime taevamehhaanika reeglite järgi välja arvutada häired, mida planeet X teostab planeet Y (Uurani) liikumises. Kas ei võiks katsuda lahendada vastupidist matemaatilist ülesannet: teades häireid planeedi Y liikumises, määrata kindlaks tundmatu planeedi X asukoht? Kuid selle ülesande lahendamine tekitas tohutuid raskusi kõigepealt sellepärast, et häired Y liikumises olid tegelikult tundmatud. Teisiti öeldes, polnud teada täpselt, kuidas oleks liikunud Uuran, kui poleks olnud häirivat planeeti X. Seepärast pidasid mõned tolle aja tuntud autoriteedid, nende hulgas ka Greenwichi observatooriumi direktor Airy, ülesannet lahendamatuks.

Sellest hoolimata asus Leverrier, tol ajal veel vähe tuntud astronoom-teoreetik, selle ülesande lahendamisele 1845. a. Tähelepanuväärse teravmeelsuse ja püsivusega ületas ta kõik takistused ja 1846. a. suvel kandis ta ette Prantsuse Teaduste Akadeemiale oma uurimuste tulemused: 1846. a. jaanuaris peab otsitav planeet olema pikkusel 325° [1]. Et planeet liigub väga aeglaselt, siis pidi

[1] On mõeldud ekliptikalisi koordinaate, mille aluseks on taeva ekvaatori asemel ekliptika. Pikkusi sel juhul loetakse mööda ekliptikat läänest itta, alates kevadpööripäeva punktist. (Toimetus.)

23. septembril tema pikkus Leverrier' arvutuste järgi võrduma 326°-ga. Galle avastas tema pikkusel 326°52', s. o. vähem kui ühe kraadi kaugusel sellest punktist, mis oli ennustatud Leverrier' poolt.

See avastamine kutsus esile erakordse sensatsiooni. Leverrier külvati üle austusega. Tehti ettepanek nimetada uus planeet tema nimega ja isegi vene tsaar „annetas" talle ordeni (tõsi küll, mitte väga kõrge). Kuid Leverrier' pidutuju rikuti mõnevõrra ootamatu teatega, et Inglismaal oli see avastus tehtud juba varem.

Selgus ka tõesti, et Cambridge'i üliõpilane Adams oli asunud selle ülesande juurde kaks aastat enne Leverrier'd ja juba 1845. a. tuletanud tundmatu planeedi orbiidi ja juhatanud kätte tema asukoha taevas. Tema poolt arvutatud asukoht läks lahku tõelikust suuremal määral kui Leverrier' oma, ja nimelt $2\frac{1}{2}^{0}$ võrra, kuid see täpsus oli küllaldane, et leida planeet taevas. Oli tarvis teda ainult otsida. Kuid siin Adamsil ei vedanud. Greenwich'i ja Cambridge'i observatooriumide direktorid, kelledele ta teatas oma töötulemustest, suhtusid nendesse umbusklikult, nõudsid täiendavaid seletusi ja ei leidnud võimaliku olevat aega kulutada mingisuguse väga kahtlase planeedi otsimiseks. Adamsi töö jäi trükkimata ja sellest ei teadnud peaaegu ükski.

Samal ajal Leverrier, kes ei olnud kuulnud Adamsist nagu Adams temastki, jõudis lõpetada ja trükkida oma töö tulemused, mis inglise astronoomide imestuseks peaaegu ühtusid Adamsi töö tulemustega. Alles siis suhtusid nad tõsiselt oma noore kaasmaalase töösse, ja Challis Cambridge'is asus planeedi otsimisele, kuid kahjuks puht briti põhjalikkuse ja aeglusega. Ta märkis taevas suure pindala (nagu hiljem selgus, liiga suure)

selle punkti ümber, mille juhatas talle kätte Adams, ja hakkas määrama kõikide selles piirkonnas asetsevate tähtede otsetõusu ja käänet (selle taevapiirkonna täpset kaarti Cambridge'is ja Pariisis veel ei olnud). Nii askeldas ta kaks kuud, tegi mitu tuhat vaatlust, kuid kavakindla inimesena otsustas ta hakata oma materjalide läbitöötamisele alles pärast kõikide vaatluste lõpetamist. Kuid neid ta ei lõpetanudki: septembri kuu lõpul tuli teade, et planeet on Berliinis juba avastatud. Alles siis hakkas Challis analüüsima oma märkmeid ja veendus meelekibedusega, et ta oli vaadelnud uut planeeti juba poolteist kuud enne Gallet ja isegi kahel korral, 4. ja 12. augustil 1846. a. Kui ta ainult oleks võtnud vaevaks otsekohe võrrelda nende kahe õhtu vaatlusi, oleks ta kergesti märganud ühe taevakeha liikumist teiste hulgas ja oleks tundnud selles ära otsitava planeedi.

Ammu on kindlaks tehtud, et mõlemate tööd — nii Leverrier' kui ka Adamsi omad — omavad erakordselt suurt väärtust ja järelikult on mõlema õpetlase teadusliku teened selles küsimuses ühesugused. Peale selle on ilmne, et Neptuuni avastamine kui ka terve rida samalaadilisi avastusi ei ole tegelikult üksiku isiku, vaid terve teadusliku ajastu pärandiks. Leverrier ja Adams, nagu ütleb Littrow, „ainult väljendasid esimestena seda, mis oli juba küps nende kaasaegsete mõistuses".

Sellest hoolimata ei saanud inglased kaua aega unustada, et avastamise esimese au kära ei langenud osaks nende kaasmaalasele. Kui Galle, kes elas ligi saja aasta vanuseni, suri 1910. a., siis algas inglise astronoom Turner tema nekroloogi sõnadega: „Lahkus näitelavalt viimane Neptuuni avastamise suure tragöödia osaline".

Seletamatud kõrvalekaldumised gravitatsiooniseadusest.

Saja aasta jooksul, mis on möödunud Laplace'i ajast, on taevakehade liikumiste arvutuse meetodid veelgi täienenud, ja me võime nüüd ette määrata taevakehade asukohti veel suurema täpsusega ja veel pikema aja peale. Kuid rööbiti sellega on avastatud mitu juhtu, kus taevakehad kalduvad oma liikumises pisut kõrvale taevamehhaanika valemitest. Neid juhtumeid on väga vähe ja kõrvalekaldumised on tühiselt väikesed, kuid nad pakuvad määratut huvi, sest sunnivad mõtlema, et taevakehade liikumisesse sekkuvad peale gravitatsiooni veel mingisugused teised jõud.

Niisugused mõistatuslikud kõrvalekaldumised on avastatud ühe planeedi, ühe komeedi ja ühe kaaslase puhul. Sõnakuulmatuks kaaslaseks on nimelt meie Kuu, kelle liikumise kohta teeme juttu omal kohal, sõnakuulmatuks planeediks aga on Merkuur, kõige lähedasem Päikesele ja kõige kiirem kõikidest planeetidest.

Teiste planeetide poolt tekitatud häirete tagajärjel pöördub Merkuuri ellips kogu aja läänest itta. Iga saja aasta jooksul muutub planeedi periheeli suund mõne kaareminuti võrra. Seda tõendavad nii vaatlused kui ka teooria. Kuid Leverrier avastas, et tegelik periheeli asukoha muutumine on ligikaudu 40″ võrra saja aasta jooksul suurem, kui see järgneb teiste tuntud planeetide poolt Merkuurile tekitatud häirete teooriast. Merkuuri enda asendis kutsub see saja aasta jooksul esile kõrvalekaldumise küll vaid pisut suurema, kui on selle väikese planeedi läbimõõt, kuid astronoomid ei saa jätta niisugust suurust tähele panemata.

Leverrier katsus seda tema enda poolt avastatud kõrvalekaldumist seletada niisamuti, nagu ta lühikest

aega enne seda seletas kõrvalekaldumist Uurani liikumises. Ta oletas, et Päikesele lähemal kui Merkuur on veel üks planeet. Et ta pidevalt varjab end Päikese kiirtes, siis pole siiani läinud korda teda näha ja ainult tema külgetõmme annab end tunda Merkuuri liikumises. Kuid siin ei tabanud ta nii õnnelikult märki kui Neptuuni avastamisel: seda planeeti, hoolimata visadest otsinguist, ei leitud ikkagi ja kõrvalekaldumisi Merkuuri liikumises seletatakse nüüd hoopis teisiti.

See seletus on esitatud kuulsa füüsiku Einstein'i poolt. Tema relatiivsusteooriast järgneb mõnevõrra teistsugune gravitatsiooniteooria, mis erineb Newtoni omast eelkõige selle poolest, et gravitatsioon Einsteini järgi peab mõjuma ka valguse liikumisele. Kehade liikumine uue teooria järgi peab erinema samuti newtonlikust liikumisest ja seejuures seda tugevamini, mida suurem on keha liikumise kiirus. Nende kiiruste puhul, milledega liiguvad meile tuntud planeedid, on vahe kahe teooria vahel peaaegu märkamatu. Seepärast pole üldse tarvidust rakendada uut taevamehhaanikat, mis, muuseas öeldud, on väga keeruline ja ei ole kaugeltki veel lõplikult välja töötatud. Kuid Merkuur on kiireim kõigist planeetidest, nii et vahe vana ja uue teooria vahel võib küll kõne alla tulla tema liikumise puhul.

Kahe keha probleemi lahendamine on Einsteinil teistsugune kui Newtonil: Einsteini järgi peab planeet joonestama ellipsi, kuid see ellips ei jää paigalseisvaks nagu Kepleri ellips, vaid pöördub sinnapoole, kuhu poole liigub planeet. Selle pöördumise kiirus on seda suurem, mida lähemal on planeet Päikesele ja mida kiirem on tema liikumine. Sel viisil peab iga planeedi orbiidi periheel pöörduma ka säärasel korral, kui mingisugust teist

planeeti pole olemaski. Kui need aga on olemas, siis liitub nende poolt väljakutsutud „newtonlik" periheeli liikumine „einsteinlikuga".

Oma teoorias tuletas Einstein valemi periheeli liikumise kiiruse väljaarvutamiseks. On tähelepanuväärne, et kui ta seda rakendas mitmete planeetide puhul, siis Merkuuri kohta andis see 40" saja aasta jooksul, s. o. täpselt selle ülejäägi, mille annavad vaatlused. Ülejäänud planeetide kohta, mis liiguvad aeglasemalt, annab Einsteini valem palju väiksemad arvud, mida pole veel korda läinud kontrollida vaatlustega.

Kahest ülejäänud Newtoni seadusest kõrvalekaldumise juhust taevakehade liikumises kõneleme peatükkides Kuu ja komeetide kohta.

Kuidas arvutatakse taevakehade liikumist.

Kui tahame teada Päikese tõusu aega või täpsemalt lähima varjutuse üksikasju, avame kalendri, ja ühe minuti jooksul saame absoluutselt täpsed andmed. See väike kultuurse elu mugavus on saavutatud samasuguse hinnaga, kui meie elu-olu tähtsamad mugavused, nagu raudtee või elektervalgustus. Sarnlevalt nendega on see hiigla ja mitmekesise teadusliku töö tulemus, mida tehti mitmesuguse eriala õpetlaste poolt, mitmes kohas ja mitmesugusel ajal. See töö koosneb kahest ühevõrra tähtsast osast — vaatlustest ja teooriast.

Töö põhialuseks on vaatlused, s. o. Päikese, Kuu ja planeetide nähtavate asukohtade kindlaksmääramine võimalikult sagedamini, võimalikult täpselt ja võimalikult kauema aja jooksul. Seda tööd teevad kümned observatooriumid, mis on laiali pillatud üle kogu maakera.

Seejärel antakse asjatoimetus astronoomi-teoreetiku kätte, kes valdab taevamehhaanika kõiki peensusi. Ta tuletab niinimetatud planeediteooria, mis koosneb reast väga komplitseeritud valemeist ja mille järgi võib välja arvutada planeedi asukoht ükskõik missuguse momendi jaoks, palju aastaid ette ja tagasi. Seejuures tugineb teoreetik ühest küljest gravitatsiooniseadusele ja teisest küljest vaatluste andmetele. Newtoni seadus annab talle reeglid planeedi liikumise matemaatiliseks kujutamiseks kõikide kehade külgetõmbejõu tegevuse korral ja vaatlustest määrab ta kindlaks arvulised suurused, mis esinevad valemeis.

Kuid need valemid on niivõrd komplitseeritud, et otse nende järgi planeetide asukohti keegi ei arvuta. Arvutamine toimub alati planeetide tabelite järgi, mis peavad olema kaasa lisatud igale teooriale. Tabelid on koostatud niiviisi, et taevakeha asukoha kindlaksmääramiseks mingisuguse momendi jaoks tuleb tabelist lihtsalt välja kirjutada mõnikümmend arvu (nagu kirjutatakse välja logaritme logaritmide tabelitest) ja kõik need arvud liita.

Mingisuguse taevakeha kohta käiva teooria väljatöötamine ja tabelite koostamine selle jaoks on niivõrd raske töö, et selle juurde ei ole asutud kaugeltki mitte sageli. Seda tööd on ette võtnud ainult suurimad õpetlased, kes on kulutanud selle lõpetamiseks kümneid aastaid, hoolimata sellest, et seejuures kasutati laialt arvutajate abi.

Suurimad teened planeetide liikumise tabelite koostamisel on Leverrier'l, kes pühendas selleks tööks kolmkümmend aastat ja lõpetas selle just surma eel 1877. aastal. Tema tabelid osutuvad küllalt täpseteks ka praegu.

Veel täpsemad on ameerika täheteadlase Newcomb'i tabelid, mis lõpetati 1897. a.

Nende kahe kuulsa teadlase poolt koostatud tabelite järgi arvutatakse välja planeetide, nende hulgas ka meie Maa liikumine. Kuu liikumine, mis allub eriti tugevatele häiretele, määratakse kindlaks eri tabelite järgi, mis on veelgi komplitseeritumad kui planeetide tabelid. Ameeriklase Brown'i poolt koostatud uuemad Kuu tabelid (1919. a.) koosnevad kolmest hiigla köitest ja on täidetud miljonite arvudega.

Kuid tabeleid kasutavad isegi täheteadlased ainult sel korral, kui on tarvis taevakeha asukohta kindlaks määrata mitme aasta peale ette. Seda juhtub aga niivõrd harva, et paljudele astronoomidele kordagi elus pole tarvis olnud pöörduda planeetide liikumise tabelite poole. Kõik andmed taevakehade asukohtade suhtes saadakse astronoomilistest aastaraamatutest, mis kujutavad endast, nagu keegi ütles, „nüüdisaja astronoomiliste teadmiste kontsentreeritud ekstrakti". Nende aastaraamatute olemasolu kergendab sel määral kaasaegse astronoomi tööd, et ta isegi ei kujutle, kuidas võiks ilma nendeta läbi saada.

Astronoomilised aastaraamatud ei ilmu iga vastava aasta alguseks nagu harilikud kalendrid, vaid 2—3 aastat varem. Need sisaldavad täpsemaid tähtede, planeetide, Päikese ja Kuu asukohti iga päeva jaoks, mis on välja arvutatud tabelite ja tähtede kataloogide järgi. Iga niisuguse aastaraamatu koostamise puhul töötab terve astronoomiline kantselei — niinimetatud arvutusbüroo. Arvutused ja aastaraamatu väljaandmine on väga keeruline ja vastutusrikas töö: raamatut on tingimata tarvis

mitte üksnes astronoomile observatooriumis, vaid ka geodeedile väljal, tüürimehele ookeanil ja nüüd ka õhulaevajuhile (tuletame meelde, et esimesed aastaraamatud trükiti eelkõige merelaevanduse tarvidusteks). On selge, et laeva geograafilise asukoha määramise puhul võib arvutus- või trükiviga isegi ühes loendamatus aastaraamatu arvus viia väga kurbade tagajärgedeni.

Astronoomilisi aastaraamatuid antakse välja kõikide suurte riikide valitsuste poolt. Kõige tuntum neist on inglise „Mere almanahh" (Nautical Almanac). Neist aastaraamatuist võtavadki harilikkude kalendrite koostajad astronoomilisi andmeid.

Meil hakati üksikasjalikku astronoomilist aastaraamatut välja andma alles pärast revolutsiooni, 1921. a. alates. Kuni selle ajani oli Venemaal ainult astronoomiline kalender asjaarmastajate-astronoomide jaoks. Seda hakkas 1895. a. välja andma grupp astronoomiast vaimustatud isikuid, kes olid koondunud „Nižni-Novgorodi Füüsika ja Astronoomia Huviliste Ringi" ja hiilgavalt võitsid kõik teadusliku töö raskused selles tsaaririigi provintsis. See väike raamatuke mängis suurt osa huvi arendamisel astronoomia vastu meie maal. Teda antakse veel praegugi välja nime all „Gorki Astronoomilis-Geodeetilise Ühingu (GAGÜ) astronoomiline kalender" [1].

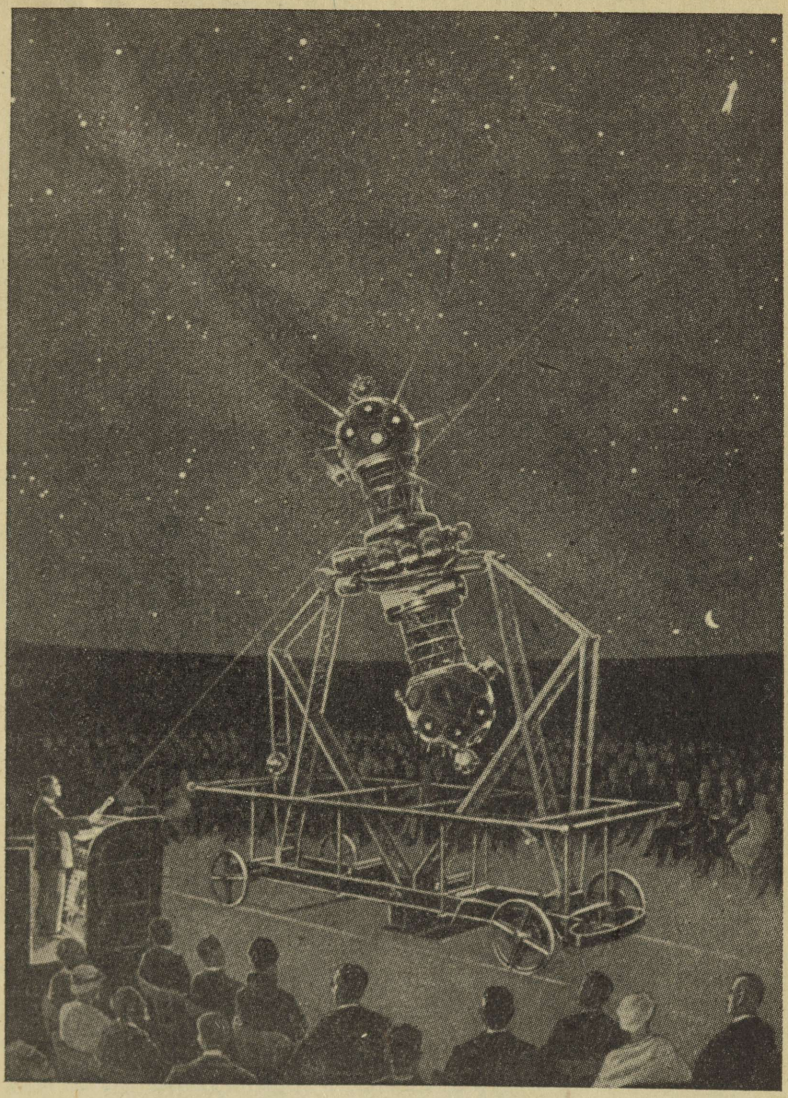
Planetaarium.

Juba ammu ehitati mehhanism, mis kujutas endast planeetide süsteemi mudelit. Selles on üksikute osade tiirlemisperioodid valjult kooskõlastatud samades vahe-

[1] 1924. a. alates ilmub eestikeelne astronoomiline kalender „Tähetorni kalender". (Toimetus.)

kordades nagu taevakehade tiirlemisperioodid. Kui see mehhanism lasta käiku, siis hakkavad väikesed kuulikesed — planeedid — tiirlema ümber kera — Päikese — ekstsentrilisi ja erinevalt kallutatud orbiite pidi, mööduvad üksteisest ja lähevad lahku nagu tõelised planeedid. Mõne minuti jooksul jäljendavad need kuulikesed taevakehade liikumist mitme aasta jooksul ja igal momendil asetsevad nad üksteise suhtes niisamuti kui tõelised planeedid vastaval momendil. Sel viisil võimaldab see aparaat ligilähedaselt ennustada planeetide seisu ükskõik missuguse päeva ja aasta kohta (samuti ka meie Kuu seisu), kuid ainult Päikese suhtes. Et saada nähtavat taevakehade asetust maakeral asuvale vaatlejale, on tarvis, et planetaariumi külastajad ei vaataks aparaadile mitte väljastpoolt, vaid mingil viisil asetuksid liikuvale kuulikesele — Maale. Kuid selleks on tarvis anda planetaariumi mehhanismile hiiglaslikud mõõtmed. 20 aastat tagasi hakatigi ehitama niisugust tohutut mehhanismi ühele saksa muuseumile.

Selle töö käigus sattus üks konstruktor, insener Bauersfeld, haruldasele mõttele: hiiglaslikku mehhanismi pole üldse tarvis, vaid — vastupidi — kuulikesed-planeedid tuleb asetada veelgi tihedamini, veel kompaktsemalt, on tarvis vaid iga kuulike-planeet asendada väikese liikuva projektsiooni- ehk „udupildi"-lambiga. Sel puhul annab õigel kiirte arvestamise korral iga planeedilambikese poolt saadetav kiir ekraanile heleda punkti, mis hakkab liikuma ekraanil nii, nagu maakeral vaatlejale liigub planeet tähistaevas. On loomulik, et ekraan tuleb valmistada tähistaevakujulisena — suure valge kerakujulise kuplina, millele suure hulga igale poole suunatud projektsioonilampide abil projekteeritakse täht-



Joon. 27. Aparaat „planetaarium“.

kujud. Teostada seda ei ole sugugi raske. Kõik projektsioonilambid (arvult üle 100) koos liikuva mehhanismiga moodustavad kummalise kujuga aparaadi, mis on sarnane — ja mitte ainult väliselt — kahe kärbsesilmaga (joon. 27). See seatakse üles suure poolkerakujulise ruumi keskele, millist ruumi nagu aparaatigi nimetatakse planetaariumiks.

Moskva planetaarium seati üles 1929. a. Teda on ta olemasolu kestel tunduvalt täiendatud meie konstruktorite poolt. Ta on laiaulatusliku haridusliku töö keskuseks. Teda on külastanud sajad tuhanded vaatajad.

V peatükk.

Kuu.

Kuu taevakehana universumis.

Kozma Prutkovi sügavamõttelise märkuse järgi „päike valgustab ja soojendab, kuu aga ainult valgustab ja sedagi teeb vaid kuuvalgel ööl". Tegelikult ongi Kuu tähtsus Maale ja inimesele palju väiksem Päikese tähtsusest. Kuid astronoomia ajaloos pole mänginud Kuu vahest väiksemat osa kui Päike.

Astronoomid ei tunne üldist vaimustust kuuvalgete ööde ilu üle, sest Kuu hele valgus segab sageli neid vaatlemast teisi taevakehi. Kuid astronoomia sündis kahtlemata kuuvalgel ööl. Alatine Kuu muutumine, tema kasvamine ja kahanemine olid esimesed taevanähtused, milledele pidi pöörama tähelepanu eelajalooline inimene. Jälgides Kuu kuju muutumist, pani ta tähele, et Kuu ei võta osa mitte ainult kogu taeva ööpäevasest pöörlemisest, vaid omab veel oma eri liikumist, mis on alati suunatud ööpäevasele liikumisele v a s t u. Igal õhtul asetseb Kuu tunduvalt ida pool sellest tähest, mille lähedal ta oli eile, ja pöördub tema juurde tagasi alles selle järel, kui ta on teinud täisringi tähistaevas. See oli arvata-

vasti esimene iidsemaid avastusi iidseimas teaduses — astronoomias.

Oma loomuse poolest erinevad Kuu ja Päike veel tugevamini kui oma välise kuju poolest. Nende nähtavad mõõtmed paistavad peaaegu ühesugustena: mõlema taevakeha läbimõõt on meile nähtav ligikaudu poolekraadise nurga all. Tegelikult on aga Päikese läbimõõt suurem Kuu läbimõõdust 400 korda ja Kuu näib meile niisama suurena kui Päike ainult sellepärast, et ta on peaaegu nelisada korda lähemal. Päike on meie süsteemi hiiglaslik keskkeha, mille ümber tiirlevad kõik planeedid ja komeedid. Samal ajal pole Kuu isegi mitte planeet, vaid k a a s l a n e. Ta tiirleb ümber planeedi Maa, nagu planeedid tiirlevad ümber Päikese. Niiviisi saadab ta kogu aja Maad tema lennul ümber Päikese, ja nimetus „Maa kaaslane" on tegelikult täiesti kohane.

Kuid põhiline erinevus Kuu ja Päikese vahel seisneb selles, et Päike on hiiglaslik soojuse- ja valgusealliikas, mis hoiab alal elu Maa peal. Kuu aga, nagu edaspidi näeme, kujutab endast surnud, hangunud maailma, kus ei toimu mingisuguseid muutusi. Hõõguva sulatusahju ja külma malmpaku vahel on rohkem sarnasust kui Päikese ja Kuu vahel.

Kuu kaugus Maast on ainult $9\frac{1}{2}$ korda suurem maakera ekvaatori pikkusest. Isegi kuni lennukite ja autode leiutamiseni oli palju inimesi, kes oma eluaja jooksul üldkokkuvõttes sõitsid läbi pikema teekonna kui meilt Kuuni. Et Kuu tiirleb mitte ringi, vaid ellipsit mööda, siis tema kaugus Maast mõnevõrra muutub. Kõige suurem vahemaa on peaaegu täpselt 10 meie ekvaatori ümbermõõtu ja väikseim — ainult 9.

Kui Kuu on meist kõige kaugemal (nn. a p o g e e s), siis peab tema läbimõõt meile näima $\frac{1}{10}$ võrra väiksemana kui lähimas punktis (p e r i g e e s). Seda vahet võib tähele panna pikksilmaga vaatluste abil, kui mõõta Kuu nähtavat läbimõõtu perigees asumise päeval ja poole kuu pärast. Miks aga juba poole tunni järel pärast tõusu näib Kuu palju väiksemana, kui ta oli horisondil? Kuid see nimelt ainult näib meile nii: see on s i l m a p e t e; see oleneb mingisugustest meie silma omadustest ja ei oma astronoomiaga mingisugust ühendust.



Joon. 28. Maa ja Kuu võrdlusmõõtmed.

Kuu läbimõõt on pisut suurem kui veerand maakera läbimõõdust (joon. 28). Kui vaatame Kuud pikksilma abil, tuleb meenutada, et kogu nähtav Kuu poolkera pind on peaaegu võrdne pindalalt meie NSV Liiduga. Niiviisi võib Kuud pidada mitte väga väikeseks maailmaks. Meie planeetide süsteemis ei ole teist kaaslast, mis oleks nii suur, võrreldes oma planeediga, kui Kuu, võrreldes Maaga.

Kuu liikumine.

Oma orbiidil ümber Maa ei liigu Kuu mitte ühtlaselt, vaid perigees veidi kiiremini ja apogees aeglase-

malt, nagu peabki olema Kepleri II seaduse järgi. Keskmiselt on tema kiirus Maa suhtes ainult 1 km ümber sekundis. Taevakeha kohta on see väga aeglane liikumine: meenutagem, et Maa, saadetud samast Kuust, liigub oma teel ümber Päikese 30 korda kiiremini. Ühe tunni jooksul jõuab Kuu ligikaudu oma läbimõõdu pikkuse võrra edasi. Kui meil on juhus näha, kuidas Kuu nihkub mingisuguse heleda tähe poole ja katab oma idapoolse (vasaku) küljega selle, siis ilmub täht Kuu läänepoolse ääre tagant nähtavale kõige rohkem tunni aja pärast. Ööpäeva jooksul liigub Kuu itta ligikaudu 13^0 võrra ja $27\frac{1}{3}$ ööpäeva pärast, joonestades täie ringi, tuleb ta tagasi samale kohale tähtede keskel. Seda ajavahemikku nimetatakse *tähe-* ehk *sideeriliseks kuuks*.

Kuu liikumine toimub samas Zodiaagi vööndis, milles liigub Päike oma aeglase aastase liikumisega (täistiiru aeg $365\frac{1}{4}$ ööpäeva). Aegajalt jõuab Kuu temast ette ja toimub Kuu kohtamine Päikesega, mida nimetatakse *noorkuuks*. Arvutame välja, millega võrdub ajavahemik ühest noorkuust kuni järgmiseni. $27\frac{1}{3}$ ööpäeva pärast noorkuud pöördub Kuu samale kohale taevas, kus ta kohtas Päikesega. Kuid selle aja jooksul Päike, mis liigub edasi ligikaudu 1^0 võrra ööpäeva jooksul, läks edasi ida poole 27^0 võrra ja Kuul kulub veel üle 2 ööpäeva, et talle järele jõuda. Sel kombel igast noorkuust kuni järgmiseni möödub ligikaudu $29\frac{1}{2}$ ööpäeva. Niisuguse ajavahemiku tagant märgitakse kalendritesse mustad ringikesed, mis tähistavad noorkuud. Seda ajavahemikku nimetatakse *sünoodiliseks kuuks*.

Nagu osutub, ei lange ringtee, mille joonestab Kuu laial Zodiaagi vööl, ühte ekliptikaga, s. o. Päikese aastase

ringiga. Need kaks ringi lõikuvad kahes diametraalselt vastupidi seisvas punktis, mida nimetatakse Kuu orbiidi s õ l m e d e k s. Seda sõlme, kus Kuu läheb üle ekliptika lõuna poolt põhja poole, nimetatakse t õ u s u s õ l m e k s, vastaspoolset aga v e e r u s õ l m e k s. Poolel teel sõlmede vahel eemaldub Kuu ekliptikast kõige kaugemale, nimelt 5^0 (s. o. 10 oma läbimõõtu) — kord põhja poole, kord lõuna poole.

Kuu liikumise muutlikkus.

Välja arvutada l i g i l ä h e d a s e l t, millal „luuakse uus kuu", on väga kerge. Inimesed õppisid seda tegema juba kaugel muistsel ajal. Kuid Kuu t ä p s e asukoha ennustamine mõne edasise päeva ja tunni kohta on kõigist kõige raskemaid ülesandeid arvutusastronoomias.

Kuu tiirleb ümber Maa nende mõlema keha vastastikuse külgetõmbejõu tegevuse mõjul. Sellele jõule liitub pidevalt veel kolmanda keha — hiiglasliku, kuigi kaugel asetseva Päikese mõju. Tema võimas külgetõmbejõud tekitab väga suuri häireid Kuu liikumises ja tema elliptiline orbiit muudab kogu aja pisut oma kuju ja asendit. Samuti Kuu liikumise kiirus, mis ilma selletagi Kepleri teise seaduse järgi peab olema vahelduv, muutub Päikese tegevuse mõjul hoopis komplitseeritumate reeglite järgi. Mõned neist vahelduvatest kiirendustest ja aeglustustest on niivõrd tähelepandavad, et need olid avastatud juba vana-kreeka täheteadlaste poolt.

Veel märgatavamalt muutub Kuu orbiidi t a s a p i n n a asend. See tasapind pöördub kogu aja, jättes peaaegu muutmata oma kallet ekliptika suhtes. Seepärast liiguvad Kuu orbiidi sõlmed ekliptikat mööda pide-

valt läände ja 18½ aastaga teevad täieliku pöörde. Näiteks 1931.—1933. a. asetses niinimetatud „tõususõlm" Kalade tähtkujus kevadise pööripäeva punkti lähedal. Neil aastail eemaldus Kuu ekliptikast kõige kaugemale põhja põhjapoolseimates Zodiaagi osades — Sõnni ja Kaksikute tähtkujudes — ja kõige kaugemale lõunasse lõunapoolsetes tähtkujudes — Skorpionis ja Amburis. Siis oli võimalik vaadelda Sõnni tähtkujus Plejaadide tähtede grupi ja Skorpioni tähtkujus heleda punase Antaarese katmisi Kuu poolt.

Üheksa aasta pärast osutub kevadise pööripäeva punktis juba Kuu orbiidi veerusõlm, ja siis võime vaadelda, kuidas Kuu katab heleda Aldebarani (Sõnni tähtkuju alfa), mis asetseb sedavõrd lõuna pool ekliptikast, kuivõrd Plejaadid asetsevad sellest põhja pool. Nii oli see 1922.—1923. a. ja kordus 1940.—1941. a.

Milleks arvutatakse Kuu liikumist.

Astronoomid on alati kulutanud Kuu liikumise väljaarvutamisele palju jõudu ja aega. Varem tehti seda puhtpraktilise eesmärgiga. Kuu vaatluste järgi määrasid meremehed geograafilist pikkust ja selleks oli tarvilik, et kalendrites oleks antud ette väga täpsed Kuu asukohad. Nüüd tehakse pikkus kindlaks raadio abil ja meresõidu astronoomias ei etenda Kuu teooria enam endist osa. Kuid ta on siiani säilitanud määratu teadusliku tähtsuse, nagu näeme seda otsekohe.

Kui hoolikalt ka ei arvestatud Päikese ja planeetide poolt tekitatud häireid, osutus alati, et väljaarvutatud Kuu asukohad lähevad pisut lahku tegelikest. Uurides neid lahkuminekuid, leidis Laplace, et nad on osalt esile

kutsutud sellest, et Maa külgetõmbejõu arvestamisel peeti Maad korrapäraseks keraks, jättes tähele panemata tema lamenduse. Laplace määras isegi kindlaks Maa lamenduse määra ainult Kuu asukoha vaatluste järgi ja sai (tõsi küll, väiksema täpsusega) samasuguse arvu, mille geodeedid tuletasid oma mõõtmistest.

Seejärel leidis Leverrier teise lahkuminekute põhjuse. Väikestest Kuu liikumise kõrvalekaldumistest järeldas ta, et vahemaa kindlaksmääramises Maalt Päikeseni oli tol ajal tehtud viga, ja tuletas — jällegi ainult Kuu vaatlustest — selle vahemaa palju täpsema suuruse.

Kuu liikumise väljaarvutamine on nii keeruline, et isegi kuni praeguseni ei oska astronoomid veel ette välja arvutada Kuu asukohta säärase täpsusega, millega arvutatakse välja teiste taevakehade asukohad. Lahkuminek vaatluste ja arvutuste vahel on tühine: 5—6″, s. o. mitte rohkem kui kolmesajandik osa Kuu läbimõõdust, kuid lahkuminek esineb alati, ainult selle suurus muutub pisut.

Nende lahkuminekute põhjus on seni teadmata. On võimalik, et Kuule mõjuvad peale kogumaailmse gravitatsiooni veel mingisugused muud jõud, mis on tegevad planeetide-vahelises ruumis. Säärasel korral, uurides Kuu liikumist, avastame kunagi nende jõudude loomuse.

Veel huvitavam on teine seletus. Väga võimalik, et Kuu liikumise kõrvalekaldumised, vähemalt osaliselt, on näilised, et need on esile kutsutud Maa pöörlemise kiiruse muutumisest.

Oletame, et Kuu liigub täiesti ühtlaselt, kuid Maa pöörlemine aeglustub järk-järgult, nii et ööpäevad meie ajal on muutunud pikemaks, kui need olid sada aastat tagasi, sekundi tuhandiku murdosa võrra. Niisugust väikest muutust meie ei saa märgata. Samal ajal on selge,

et igaüks sajandi 36 525 ööpäevast oli pikem eelmise sajandi viimasest ööpäevast. Kui kõikide ööpäevade pikenemine, võrreldes eelmise sajandi viimase päevaga, oleks olnud $\frac{1}{100}$ murdosa sekundist, siis kogu sajand pikeneks $36\frac{1}{2}$ sekundi võrra ($\frac{1}{1000}$ sekundit korrutatud 36 525-ga). Kuid pikenemine kasvas ühtlaselt: sajandi esimesel päeval võib seda isegi lugeda võrdseks nulliga, ainult sajandi viimasel päeval saavutab see $\frac{1}{100}$ sekundist. Niiviisi võrdub tema keskmine suurus kogu sajandi kohta ainult poolega $\frac{1}{100}$ sekundist. Seepärast suureneb sajandi pikkus tegelikult poole võrra $36\frac{1}{2}$ sekundist, s. o. $18\frac{1}{4}$ sekundi võrra. See meie ööpäeva pikkuse muutumine mõjub esmajoones Kuu liikumisele. Et Kuu liigub edasi oma orbiidil iga sekundi jooksul nurga võrra pool kaare sekundit ja et sajandi pikkuse muutumine $18\frac{1}{4}$ sekundi võrra pole meile märgatav, siis näib meile, et sajandi jooksul läks Kuu ette $\frac{1}{2}'' \times 18\frac{1}{4}$, s. o. ligikaudu 9″ võrra, tema liikumine justkui kiirenes sajandi jooksul.

Kuu liikumises on tõesti avastatud niisugune „sajandiline kiirenemine", ja ainult osa sellest on korda läinud seletada planeetide külgetõmbe mõjuga. Kõige tõenäolisemalt on ülejäänud kiirenduse osa näilik: mitte Kuu ei lähe ette, vaid maha jääb meie aja arvestus meie ööpäeva aeglase pikemaks muutumise tõttu. Seepärast võimaldab meile Kuu liikumise uurimine jälgida Maa tiirlemist ja märgata selle tiirlemise ebaühtlust. See võib viia tähtsate järelduste tegemisele meie maakera sisemisest ehitusest.

Kuu teooria põhjal võime näitlikult veenduda selles, milline tihe side on kõige mitmesugusemate teadusharude vahel.

Kuu faasid.

Kakstuhat aastat enne meie ajaarvamist seletasid Kaldea täheteadlased Kuu muutlikkust niiviisi: Kuu on kera, millel üks poolkera on hele ja teine tume.

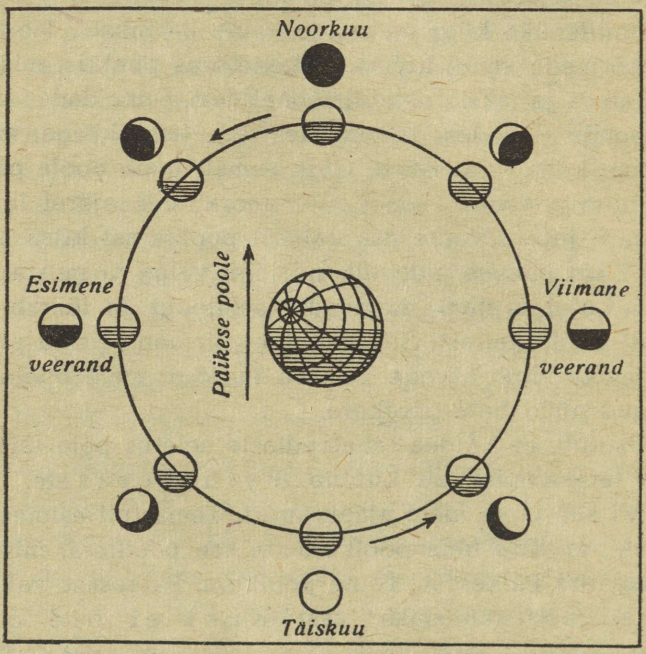
Selle seletuse õigsuses on kerge veenduda. Võtame kera, mille üks külg on valge, teine — must. Hoiame seda sõrmede vahel kahes vastasseisvas punktis, mis on just heleda ja musta osa piirjoonel. Siis, eemaldades kera kaugemale silmadest ja pöörates teda teise käega, moodustame kõik Kuu faasid. Olgu esmalt meie poole pöördud must poolkera; see on — noorkuu. Seejärel ilmub ühe ääre juures väike osa valgest poolkerast kitsa sirbi kujul. Sirp laieneb pidevalt, piirjoon valge ja musta osa vahel kujutab ühel momendil otsejoont ja lõikab ära täpselt poole kettast. Siis paindub piirjoon teisele poole ja lõppeks liitub äärega. See on täiskuu; meie poole on pöördud nüüd hele poolkera.

Osutub, et Kaldea täheteadlaste seletus pole täielik. Selle täiendamise au kuulub Pythagoras'ele, kes elas VI saj. enne meie ajaarvamist. Tema tuli esimesena mõttele, et Kuu hele poolkera on see poolkera, mis on valgustatud Päikesest. Teine poolkera, Päikesest valgustamata, jääb tumedaks, sest Kuul ei ole oma valgust.

Niiviisi on Kuust nähtav ainult see osa, mis on valgustatud Päikesest. Valgustatud on ainult üks tema poolkera, Maalt on nähtav samuti üks poolkera. Kuid need poolkerad, valgustatud poolkera ja nähtav poolkera, langevad ühte üksnes täiskuu momendil, ja ainult siis näeme tervet ümmargust ketast. Muul ajal koosneb meie poole pöördunud Kuu pool osast valgustatud ja osast tumedast poolkerast. Tumedat poolkera meie jaoks nagu pole ole-

mas ja Kuu ketast näeme ebatäielikult: puudub alati see äär, mis asetseb Päikesele vastasoleval poolel.

Selle seletuse õigsust tõestatakse sellega, et Kuu faasid olenevad tema asukohast Päikese suhtes. Noor-

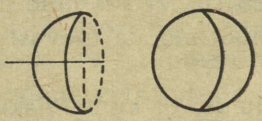


Joon. 29. Kuu faaside seletus; Päike asub kaugel ülal.

kuu ajal pole võimalik Kuud leida taevas mitte mingisugusel ajal ööpäeva jooksul. Ta on siis meie ja Päikese vahel ja meie poole on pöördud tema tume poolkera. Ainult 2—3 päeva pärast noorkuu momenti, mis on näidatud kalendris, võib näha „uut" ehk „noort" Kuud kitsa sirbi näol. Ta ilmub alati õhtul läänes ja loojub kiiresti.

Sel ajal jääb suurem osa Maa poole pööratud Kuu poolkerast veel tumedaks; on valgustatud ainult kitsas riba tema paremast äärest, mis on pööratud Päikese poole. See riba muutub ikka laiemaks, sirp „kasvab" selle järgi, kuidas Kuu kaugeneb Päikesest. 7—8 päeva pärast noorkuud näeme valgustatuna juba täpselt poole Kuu kettast (parempoolse). Seda momenti nimetatakse e s i m e s e k s v e e r a n d i k s, kuna Kuu selleks ajaks on ära käinud, arvates noorkuust, täpselt veerand tiiru ümber Maa ja on taevasfääril täpselt 90° Päikesest (joon. 29).

Seejärel muutub Kuu ketta valgustatud osa suuremaks ja 7—8 päeva pärast on t ä i s k u u. Sel momendil asetseb Kuu taevas täpselt Päikese vastas.



Joon. 30. Kuusirbi kuju.

Pärast täiskuud hakkab Kuu valgustatud poolkera järk-järgult kaduma ketta vasaku ääre taha, ja iga päevaga pöördub Maa poole ikka rohkem tume poolkera. Paremal äärel tekib „kahanemine", Kuu hakkab vähenema. Nädal aega pärast täiskuud jääb valgustatuks vasak pool kettast; see on v i i m a n e v e e r a n d. Seejärel muutub poolkera sirbiks, mis läheb üha kitsamaks ja lõppeks kaob täielikult: on saabunud jälle noorkuu.

Märgime, et joon, mis eraldab Kuu valgustatud osa tumedast, omab p o o l e l l i p s i, mitte aga poolringi kuju (joon. 30). Tegelikult on see muidugi poolring (Kuu kera üks meridiaan), kuid me vaatame temale suuremalt jaolt

mingisuguse kaldnurga all. Just sellepärast ei saagi Kuu sirpi täpselt kujutada suure ja väikese ringi lõikumise abil, nagu seda sageli tehakse.

Kuu nähtavus mitmesugusel ajal.

Suurte linnade elanikkond kujutleb küllaltki uduselt Kuu liikumist ja faase. Maaelanikud teavad temast palju rohkem, kuid nemadki kujutlevad Kuud tihti ekslikult isegi Kuu kuju mitmesugustes faasides.

„Noorkuu" omab vene „Ɔ" kuju, s. o. tema „sarved" on pöördud vasakule. Nende seis on määratav liht reegliga: Kuu sirbi kumer pool on alati pööratud Päikese poole. Kujutlege endile, et see pole mitte sirp, vaid vibu ja sellelt lendab nool mööda taevast. Nool peab tabama Päikest.

Kasvav Kuu (s. o. kuni täiskuuni) säilitab samasuguse iseärasuse: tema „küür" on pöördud paremale, Päikese poole (☽). Nähtav on ta õhtust alates, loojub iga päevaga üha hiljem, kuid tema tõus toimub kogu aja enne Päikese loojumist, s. o. päeval.

Täis Kuu tõuseb ligikaudu Päikese loojumise ajal ja loojub umbes tema tõusu ajal.

Kahanev Kuu (pärast täiskuud) tõuseb juba pärast Päikese loojangut, iga päev üha hiljem, ja loojub päeval. „Küür" on pööratud vasakule (☾). Pärast viimast veerandit muutub ta sirbiks, täht C kujuliseks. Niisugust „vanakuu" sirpi võib näha ainult hommikul idas. Sageli aga kujutatakse teda sellisena piltidel, mis pidavat kujutama õhtust maastikku.

Kuu nähtavuse tingimused muutuvad koos aastaaegade vahetusega. Täiskuu ajal asetseb Kuu Zodiaagi

osas, mis on vastupidine Päikesele. Näiteks suvel liigub täiskuu tähtkujudes, milledes Päike on talvel. Seepärast on ta taevas väga madalal, nagu on talvine Päike.

Talvistel öödel — vastupidi — tõuseb täiskuu eriti kõrgele, sest sel aastaajal asetseb ta selles Zodiaagi osas, mida suvel läbib Päike.

Kevadel liigub Kuu kõige kõrgemates Zodiaagi osades sel ajal, kui ta faas on enam-vähem lähedane esimesele veerandile, ja kõige madalamais — ligikaudu viimase veerandi ajal. Seepärast on kevadel kõige rohkem märgatav kasvav Kuu ja noore Kuu sirp asetseb õhtuti eriti kõrgel.

Sügisel — vastupidi — loojub „vastsündinud" Kuu nii vara, et teda peaaegu ei märgatagi kuni esimese veerandini. Seevastu on kahanev Kuu nähtav eriti hästi. Selgel sügishommikul torkab kõigile silma, kui kõrgel seisab taevas marmorvalge kahanev poolkuu. Kevadisel hommikul me teda ei näe.

Kuu valgus ja Maa valgus.

Niisiis „Kuu helendab peegelduva Päikese valguse tõttu". Paljud mäletavad seda ütlust veel lapsepõlvest ja kujutlevad, et Kuu peab omama eriti läikivat — peeglitaolist — pinda, et valgustada nii heledalt. Kuid võrreldes Päikesega ei valgusta Kuu hoopiski heledalt. Täpseimad mõõtmised fotomeetrite abil on näidanud, et täiskuu valgus on nõrgem Päikese valgusest 500 000 korda.

Seda arvu on otsekohe raske uskuda. Kuid kujutleme päikesepaistelist päeva lumivalgete pilvedega tae-

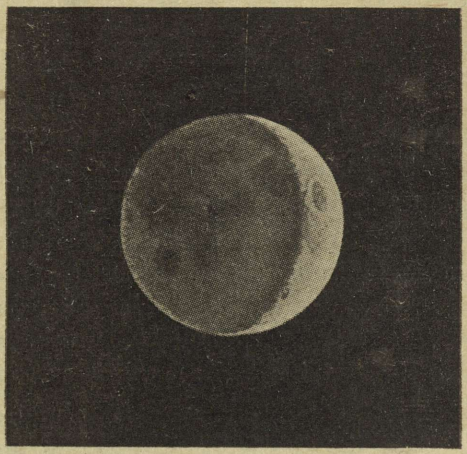
vas. Kas lisandub pilvede peegeldusest kuigi palju valgust otsesele päikesevalgusele? Kujutleme edasi, et suure valge pilve kõrval on nähtav päevases taevas kahvatu kuuketas. Ka tema saadab oma osa üldisesse päevasesse valgusesse, kuid see osa on vägagi tagasihoidlik. Kui oletada, et Kuu läigib niisama heledasti kui pilv (mida ei ole kaugeltki alati), siis annab Kuu ilmselt nii mitu korda vähem valgust kui pilv, kui mitu korda tema ketta nähtav pindala on väiksem pilve pindalast, s. o. sadasid ja isegi tuhandeid kordi. Ja kui märkida, et valgus, mida peegeldab pilv, isegi kõige suurem ja valgem, on tunduvalt nõrgem otsesest päikesevalgusest, siis võib nõustuda, et Kuu tõesti peab andma valgust mitusada tuhat korda vähem kui Päike.

Niisama vähe annab Kuu ka sooja (kuid siiski annab). Kui koguda Päikese kiiri suure nõgusa peegli abil, siis võib saada mitme tuhande kraadise temperatuuri; peegli fookuses võib sulatada kõige raskemalt sulavaid mineraale. Kui aga teha sedasama katset Kuu kiirtega, siis ei näita peegli fookuses isegi kõige tundlikum termomeeter märgatavat temperatuuri tõusu. Seda tõusu läheb korda kindlaks teha ainult termoelektriliste riistade abil.

Pikksilmaga näeme, et Kuu pind on üldiselt niisamasugune kui Maalgi ja see pind ei peegelda Päikese valgust mitte tugevamini kui maised mäed ja orud. Kui aga sellest nõrgast valgusest on küllalt, et valgustada Maad kuupaistestel öil, siis on ilmne, et meie Maa peab samuti peegeldama valgust ja valgustama sellega Kuud. Umbes noorkuu ajal, kui Kuu omab sirbi kuju, võib tõesti märgata, et heleda sirbi sarvede vahele on pandud otsekui mingisugune kera, mis helendab nõrga sina-

kashalli varjundiga. See kera on muidugi Kuu õine poolkera ja teda valgustav „tuhkvalgus" on Maa valgus.

Kujuteldavale Kuul asuvale vaatlejale peab Maa pakkuma samasugust faaside vahetust kui meile Kuu, ainult Maa faasid on alati vastupidised Kuu faasidele ühel ja samal momendil. Näiteks noorkuu ajal paistab



Joon. 31. Kuu tuhkvalgus.

Kuul vaatlejale „täismaa": Maa on Kuult nähtav täie kettana, mille läbimõõt on peaaegu 4 korda suurem meie poolt nähtavast Kuu kettast. Seepärast valgus, millega Maa sel ajal valgustab Kuud, on palju tugevam Kuu valgusest täiskuu ajal ja tume Kuu poolkera muutub nähtavaks (joon. 31).

Tuhkvalgus pole üksnes ilus vaatepilt. Vaadeldes seda valgust võimaldub otsekui heita pilk meie Maale maailmaruumist. Mõõtes tuhkvalguse heledust, on välja

arvutatud, et „täismaa" heledus on 80 korda suurem täiskuu heledusest. Järelikult peegeldab Maa pind peaaegu viis korda rohkem valgust kui Kuu pind. Tuhkvalguse värvuse järgi on aga tuldud otsusele, et Maa valgus, võrreldes Kuu valgusega, omab sinakat värvust. See tuleb muidugi sellest, et valgust peegeldab meie atmosfäär, mis ümbritseb maakera poolläbipaistva sinise loorina.

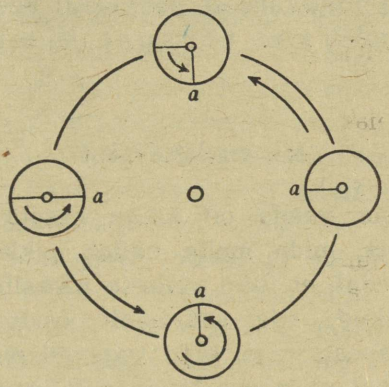
Kuu pöörlemine ümber telje.

Paljud leiavad, et tumedad laigud täiskuu kettal annavad talle sarnasuse inimese näoga, kuid igaüks ei oska väljendada Kuu „näo" põhilist iseärasust. See nägu on nimelt muutumatu; ta ainult kaldub tõusu ajal vasakule, loojumisel paremale, kuid ei pöördu kunagi ära. Kaks ketta põhjaosas asetsevat ümmargust laiku, mida võib võrrelda silmadega, vaatavad alati, nagu öeldakse, „en face". Täpselt niisama jäävad oma kohtadele ka kõik ülejäänud laigud. Niisiis on Kuu pööratud Maa poole alati ühe ja sama küljega ja me tunneme ainult tema üht poolkera.

„Aga kas pole võimalik Kuu teist poolkera näha teiselt Maa poolkeralt, näiteks Ameerikast?" Niisugust veidrat küsimust võib kuulda üsna tihti ja isegi küllaltki haritud inimestelt. — Muidugi pole võimalik näha, sest Ameerika on ju samuti Maa peal.

Kuu „näo" muutumatus viib eelkõige mõttele, et Kuu ei pöörlegi oma telje ümber. Kuid see pole õige. Kui Kuu ei pöörleks, näiks Maalt siiski, et ta nagu pöörleks. Et veenduda selles, kujutleme inimest, kes kõnnib ümber tooli, hoidudes kogu aja näoga, ütleme,

põhja poole. On ilmne, et ümber oma telje niisugune rändur ei pöörle, kuid tema seltsimehele, kes istub toolil, ringi keskpunktis, ta pöörleb, sest ta pöördub keskpunkti poole kord näoga, kord seljaga. Samasugusel kombel, kui Kuu ei pöörleks oma telje ümber, oleks ta iga tiiru jooksul ümber Maa pööranud ennast maakeralt vaatleja suhtes ühe täispöörde võrra ja meie oleksime järelikult näinud kogu tema pinda.



Joon. 32. Seletus selle kohta, kuidas Kuu pöörleb ümber oma telje.

Tegelikult pöörleb Kuu ümber oma telje niisama pika perioodiga, kui pika perioodiga tiirleb ta ümber Maa. Märgime laigu *a* meie poole pööratud Kuu poolkera keskpunkti lähedal (joon. 32, Kuu parempoolne seis). Kuidas on see nähtav veerandkuu pärast? Kui Kuu poleks pöörelnud, siis oleks veerandkuu pärast märgitud punkt siirdunud ketta äärele, Kuu „nägu" oleks pöördunud profiili. Kuid veerandkuu jooksul teeb Kuu ümber oma telje veerand pööret, s. o. täisnurga võrra, ja märgitud punkt osutub jälle Kuu ketta keskel. Seesama toimub kogu Kuu tiirlemise aja jooksul.

On tähelepanuväärne, et Kuu pöörlemise aeg ümber oma telje on täpselt võrdne tema tiirlemise ajaga ümber Maa. Kui nad erineksid teineteisest kas või väikese murdosa sekundi võrra, oleks see erinevus mõnede sajandite jooksul kutsunud esile märgatava Kuu „näo" pöörde. Kuid sellist pöördumist ei esine üldse [1]. Muidugi ei saa see tiirlemise ja pöörlemise absoluutne ühtelangevus olla juhuslik, vaid on tingitud mingisugusest füüsikalisest põhjusest. See põhjus seletub siis, kui tuleb kõne tõusust ja mõõnast (loodetest).

Mis on näha Kuul?

Kuu pinna vaade on kõige huvitavam vaatepilt kõigest sellest, mida meile näitab pikksilm. Kuu on meile nii lähedal, et isegi väikese pikksilmaga on Kuul näha maastikud, mis suuremalt osalt pole sugugi sarnased maapealsetega, kuid tugevad pikksilmad avavad Kuu pinnal niisuguse hulga detaile, et nende uurimiseks ei jätkuks inimese elust.

Kõige huvitavam on vaadelda Kuud siis, kui ta pole mitte täiskuu faasis, näiteks umbes esimese veerandi ajal. Laikude asemel, mis moodustavad Kuu „näo", näeme Päikese poolt valgustatud laiu tasandikke, äärestatuna kõrgete mäeahelikkudega. Need on niinimetatud Kuu mered. Juba ammu on

[1] Esineb vaid Kuu „näo" kerge kõikumine üles-alla ja paremale-vasakule, nn. libratsioon, mis võimaldab kogusummas näha rohkem kui $\frac{1}{2}$ Kuu pinnast (umbes $\frac{3}{5}$). Libratsioon tekib selle tõttu, et Kuu tiirleb ümber Maa vahelduva kiirusega ja Kuu orbiit pole täiesti risti tema pöörlemisteljega. (Toimetus.)

selgunud, et nad ei sisalda vett, kuid „merede" nimetus on säilinud siiski praeguseni. On tarvitatavad ka veel XVII sajandil neile antud kummalised nimetused, siis kui usuti, et Kuu mõjub ilmastikule, näiteks Vihmade meri, Selgusemeri, Tormide ookean jne.

Kuu meredel on laiali paisatud rõngakesed, mida Galilei võrdles „silmakestega", nagu need on paabulinnu sabal. Vaadeldes neid tähelepanelikumalt leiame, et need on kummalist rõngataolist kuju omavad ebatasasused. Väiksemad neist on sarnased maapealsete vulkaanide kraatritega: väikese kallakuga mäed süvenditega tipus. Neid nimetataksegi Kuu kraatriteks.

Kraatreid on eriti palju Kuu heledamas kettaosas, mille pind on palju rohkem segi paisatud kui kõige mägisemad piirkonnad Maal. Seal on kraatrid sõna otseses mõttes üksteise otsas, ja mida tugevam on pikksilm, seda rohkem on kraatreid näha. Üksikasjalikkudel Kuu kaartidel on kraatreid märgitud kümneid tuhandeid kõikvõimalikes läbimõõtudes — 1 kuni 200 kilomeetrini ja rohkemgi. Maa peal ei ole suuremaid kraatreid kui 10—12-kilomeetrise läbimõõduga. Seepärast on kõige suurematel Kuu kraatritel vähe ühist maapealsete vulkaanidega. Need on hiiglaslikud tasased madalikud, ümbritsetud valliga — rõngasmäega, mille kõrgus ulatub mõnikord 6—7 km üle ümbritseva tasandiku. Väljastpoolt tõuseb vall väga väikese kallakuga ja murdub järsult kraatri sisemusse.

Kraatri keskel on sageli teravaotsaline mäeke, mis on alati madalam kui vall.

Kuu mäed on haruldaselt ilusad valguse piirjoone lähedal, mis eraldab valgustatud poolkera tumedast. Siin Päike kas alles tõuseb või on juba loojumas — val-

gustatud on ainult kõige kõrgemate mägede tipud. Nad helgivad kui tähed mustal foonil, kaugel valguse piirjoonest. Kui vaadeldavas piirkonnas tõuseb Päike, siis kasvab tähekene järk-järgult ikka suuremaks ja venib välja läikivaks kaareks. Siin valgustub mingisuguse kraatri valli osa. Kuid esialgu näib ta veel ärarebituna Kuust ja otsekui ripub taevaruumis. Vähehaaval hakkab Päike valgustama ka tasandikku, millel asetseb kraater, ja see joonestub tervenisti ühes keskmäekesega ja keerulise lookleva valliga, mis heidab musta hambulise varju. Ainult kraatri sügavik on veel pimeduses ja näib põhjatu kuristikuna. Päev hiljem, kui varjud muutuvad lühemaks, võime heita pilgu kraatrisse endasse ja veendume, et ta polegi nii sügav (joon. 33).

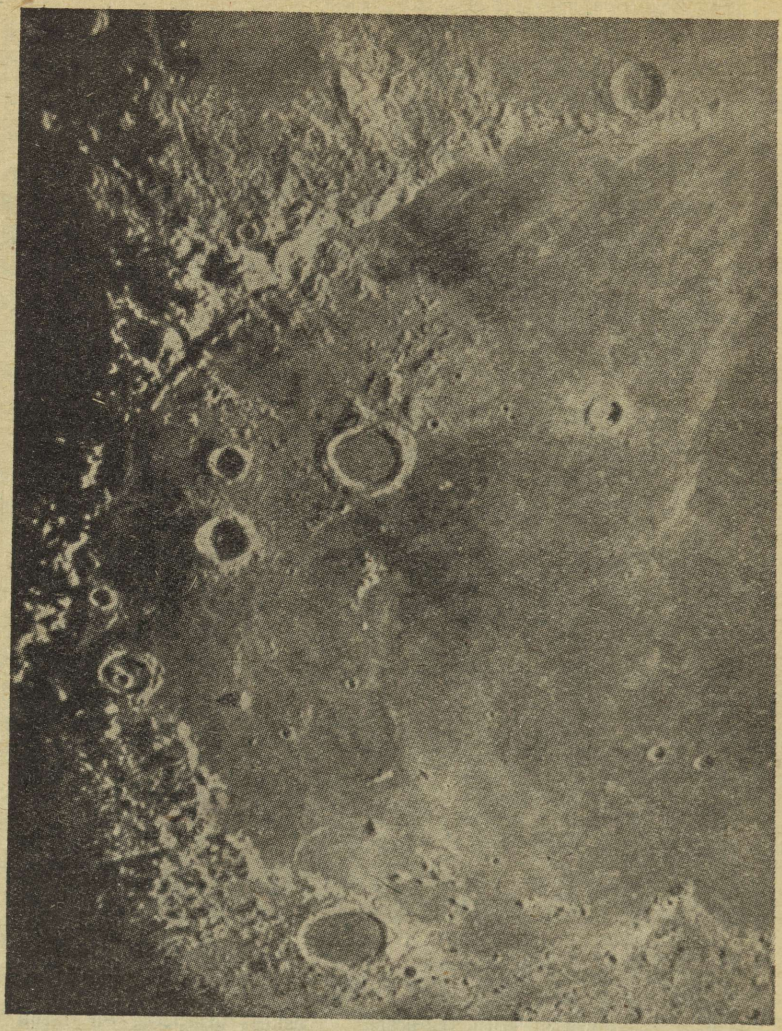
Niiviisi tuleb Kuu pinnaga tutvuda osade kaupa, sel määral, kuidas valguspiir edasi nihkub. Piiri lähedal on varjud nii pikad, et nende järgi võib avastada Kuu reljeefi pisimadki peensused. Sel ajal on näiteks tugevate pikksilmade abil hästi nähtavad v a o d e h k m õ r a d — tumedad, kitsad, looklevad jooned, milledega on läbi lõigatud Kuu pind. Kõige suuremad neist on mitu kilomeetrit laiad, kuid pikkuselt ulatuvad nad sadadesse kilomeetritesse, nii et varema-aegsed vaatlejad pidasid neid jõesängideks.

Mida kõrgemale tõuseb Päike, seda halvemini on märgatav Kuu pinna reljeef, ja täiskuu ajal kaob ta täielikult. Kui vaatleksime Kuud isegi kõige tugevamate pikksilmadega, kuid ainult täiskuu ajal, siis teaksime praegu tema pinna loomusest ainult pisut rohkem kui enne pikksilma leiutamist. Seevastu on täiskuu ajal hästi märgatav kogu Kuu pinna varjundite mitmekesi-

sus. Eriti paistavad silma h e l e d a d k i i r e d, mis lähevad laiali igale poole mõnedest kraatritest, nagu harguvad aknaklaasis oleva augukese juurest praod.

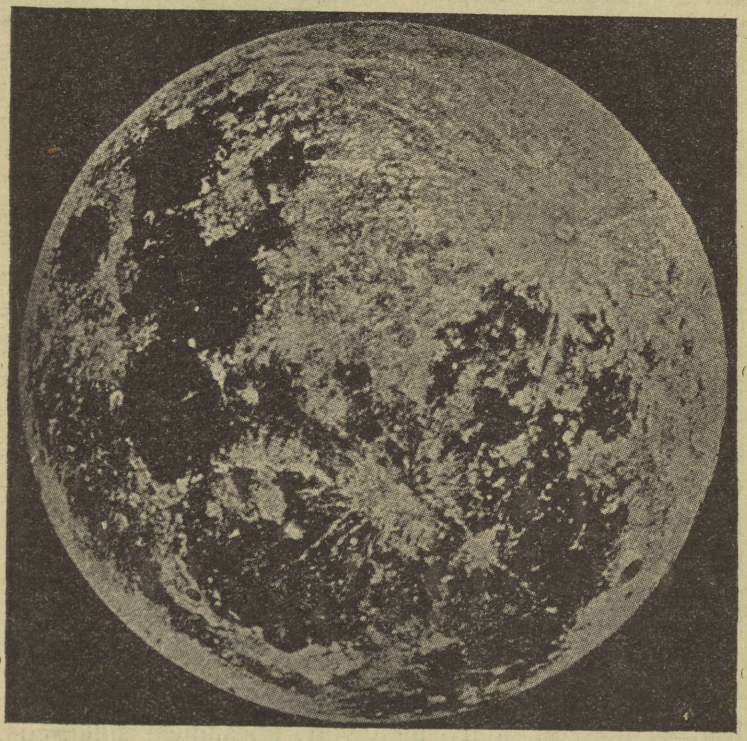


Joon. 33. Kuu vaade esimese veerandi ajal astronoomilise pikksilmaga, mis annab vastupidise kujutise. Eriti palju on kraatreid lõuna, s. o. ülemisel Kuu poolkeral. Keskelt allapoole on näha kõige ilusam Kuu piirkond — Vihmade mere osa, mis on piiristatud mäeahelikkudega „Alpid" ja „Apenniinid" (suurendatud kujul vaata neid joonisel 34).



Joon. 34. Kuu Vihmade meri tugevama suurenduse puhul kui joonisel 33 „Alpidega“ (vasakul all), „Apenniinidega“ (vasakul ülal) ja mõnede kraatritega. Kõige suurem neist — Platon (all) — on 90-km-se läbimõõduga.

Nad jätavad niisuguse mulje, nagu oleks mingisuguse hiigla pintsliga tõmmatud laiad valged triibud juba vormunud Kuu pinnale (joon. 35). Kui need tõesti on



Joon. 35. Täiskuu vaade läbi pikksilma.

mõrad, siis on nad praegusel ajal täidetud ja isegi üle täidetud mingisuguse kõva valge massiga. Wilsoni mäel asuva hiiglā pikksilma abil läks hiljuti korda näha, et need tõusevad mõne meetri võrra kõrgemale ümbritsevast pinnast — otsekui raudtee muldkehad,

kuid nende laius on palju suurem. Nad kulgevad mööda Kuu mägesid ja tasandikke sadasid ja mõnikord isegi tuhandeid kilomeetreid. Kõige tähelepanuväärsem kiirte süsteem hargub suurepärasest kraatrist, mis kannab nime „Tycho" suure astronoomi Tycho Brahe mälestuseks. Täiskuu ajal on Tycho oma kiirtega kergesti nähtav binokli abil (hea silmanägemise puhul isegi palja silmaga) Kuu ketta lõunapoolses osas (joon. 35 ülal paremal).

Kiirtesüsteemide tekkimist seletati varem oletusega, et kraatrist läksid igale poole laiali praod ja hiljem need täitusid mingisuguse valge ainega. Praegu aga peetakse tõenäolisemaks, et see valge aine paiskus välja kraatrist purskumise või plahvatuse ajal hiigla fontaani näol ja lendas laiali jugadena mitmesuguses suunas sadade kilomeetrite ulatuses. See oletus leiab kinnitust maapealsete plahvatuste vaatlustest lennukilt. On osutunud, et suure lennukipommi lõhkemisega väljapaisatud aine asetub trehtri ümber mitme sirge kiire näol.

Maailm ilma vee ja õhuta.

Kuu maastikud erinevad maistest veel selle poolest, et nad on alati nähtavad ühesuguse selgusega. Kuu mägede tipud pole kunagi mähitud pilvedesse, kunagi ei hõlju Kuu tasandikel udud. Kõik varjud Kuul on haruldaselt mustad; kõike seda, mis on varjus, nagu ei olegi; on nähtavad ainult need esemed, milledele langevad otse Päikese kiired. Ühesõnaga, Kuul puudub täielikult meie harilik pehme päevane valgus, mis tuleb Päikese kiirte hajumisest Maa atmosfääris. Kuult peab

taevas näima alati täiesti tumedana, ja tähti võiks päeval näha peaaegu niisama hästi kui öösel.

Kõik need nähtused on seletatavad väga lihtsalt: Kuul pole atmosfääri. Täpsemalt öeldes, kui Kuu on ümbritsetud atmosfäärist, siis peab see atmosfäär olema vähemalt tuhat korda hõredam meie atmosfäärist. Vastasel korral oleksime selle kergesti avastanud, vaadeldes pikksilmaga tähtede katmist Kuu poolt.

Tähtede kattumised on eriti huvitavad kuni täiskuu faasini, kuna sel ajal Kuu liikudes käib ees tema tume, sageli täiesti nähtamatu äär. Nii hele kui ka ei oleks täht, ei kao ta Kuu ääre taha mitte vähehaaval, vaid alati silmapilkselt, ilma mingisuguse „hoiatuseta". Kuni viimse momendini ei ole märgata mingisuguseid tunnuseid, et tähte järgmisel hetkel me enam ei näe. Kui Kuu ümber oleks olnud atmosfäär, siis mõni aeg enne tähe kadumist Kuu läbipaistmatu serva taha oleksime teda näinud läbi Kuu atmosfäärikihi. Atmosfäär, isegi kõige läbipaistvam, peab murdma (s. o. kõrvale kallutama) ja neelama teda läbivat valgust. Seepärast peaks täht, lähenedes Kuule, muutma oma värvust ja asukohta ning kustuma järk-järgult. Kuid midagi sellesarnast pole kunagi tähele pandud.

Nähtavasti ei ole Kuu peal ka vett. Õhutühjas ruumis peab vesi kiiresti muutuma auruks ja moodustama Kuu ümber veeaurudest atmosfääri. Kuid säärastki atmosfääri pole märgata.

Vee ja õhu puudumise tagajärjel ei saa Kuul loomulikult elada olendid, mis on sarnased maapealsete loomade ja taimedega. Ja et me muud elu ei tunne ega saa ka kujutleda, siis peame arvama, et Kuu on elutu, asustamatu maailm.

Miks ei ole Kuul atmosfääri?

Kõige tõenäolisemalt moodustasid Maa ja Kuu kunagi ühe hõõguva mateeria kera, mis hiljem rebenes kaheks ebavõrdseks osaks. Mispärast siis üks osa sellest kerast säilitas enda ümber gaasitaolise kesta, teine aga kaotas selle? Vastuse sellele küsimusele on andnud gravitatsiooniseadus koos teiste suurte teaduse saavutustega — gaaside kineetilise teooriaga.

Selle teooria järgi, mille õigsuses pole kahtlust, tormavad maakera atmosfääri gaaside osakesed ehk molekulid igas võimalikus sihis ja mitmesuguse kiirusega. Gaasi osakeste keskmine kiirus on meile teada. Kerge vesiniku puhul on see kõige suurem, hapniku ja veeauru puhul aga palju väiksem. Soojendamisel molekulide kiirus kasvab.

Kuid nende molekulide peale mõjub kogu aja maakera külgetõmbejõud. Seepärast on nende liikumine sarnane kahurimürskude liikumisega (selle erinevusega, et molekulid sageli põrkavad üksteisega kokku ja muudavad seepärast pidevalt oma lennu kiirust ja suunda). Näiteks molekul, mis lendab otse üles, liigub maakera külgetõmbejõu mõjul aeglustudes, peatub mingisugusel kõrgusel ja hakkab langema tagasi allapoole. Kuid see toimub ainult sel korral, kui meie mürsk-molekuli kiirus ei ole väga suur, kui see on väiksem nõndanimetatud kriitilisest kiirusest. Arvutlused gravitatsiooniseaduse järgi näitavad, et Maal on selleks kriitiliseks kiiruseks 11 km sekundis. Mürsud, mis on heidetud suurema kiirusega, peavad igavesti ära lendama Maa pealt.

Niisugusteks ülikiireteks mürskudeks on vesiniku molekulid. Juba 0^0 temperatuuri puhul on nende keskmine kiirus umbes 2 km/sek ja temperatuuri tõusuga

kasvab see kiiresti, üha suurem vesiniku molekulide protsent saavutab kriitilise kiiruse ja lahkub maakera atmosfäärist. Just sellepärast meie atmosfääris peaaegu polegi vesinikku: ta lendub maailmaruumi. Samal ajal aga raskemad gaasid, nagu hapnik, lämmastik ja veeaur, mis koosnevad aeglasematest molekulidest, jäävad Maa peale.

Kuid Kuu peal osutuvad needki gaasid liiga lenduvaiks. Külgetõmbejõud meie kaaslase pinnal on kuus korda väiksem kui Maal. Teisiti öeldes kaaluksid seal kõik esemed (kaasa arvatud ka kaalu vihid) kuus korda vähem kui meil. Kriitiline kiirus Kuu peal on ainult 2,4 km/sek. Niisugust kiirust saavutavad kergesti kõige raskemategi gaaside molekulid, seejuures mitte väga kõrgete temperatuuride puhul. Seepärast kui ümber Kuu oligi kunagi atmosfäär, siis lendasid selle osakesed ammu laiali ja liiguvad maailmaruumi mööda, kuni leiavad endale varjupaiga mõne teise taevakeha atmosfääris.

Niisamasugune saatus on osaks saanud ka Kuu merede veele ja pealegi väga ammu, sest vaatlused pole avastanud Kuul mingisuguseid vee tegevuse jälgi.

Kuu pinna ehituse küsimus.

Kui tulevikus ehitatava planeetide-vahelise laeva esimesed reisijad astuvad Kuu pinnale, siis ei leia nad oma jalgade all mullapinda selle sõna maapealses mõttes. Meie savi ja liiv on tekkinud just vee ja õhu tegevuse tagajärjel. Kui maakera hõõguv-vedela massi pinnal tekkis kõva koor, siis koosnes see niinimetatud kristallilistest ehk „ürgsetest", kõigile tuntud graniiditaolistest kivimeist. Sellest ajast möödunud sadade

miljonite aastate jooksul on selle graniitse kooriku pealmised osad muutunud porsumise ja uhtumise tagajärjel tolmuks ja liivaks. Neist tekkisid liivakivi, savi ja muude settekivimite paksud kihid, mis terakehaaval ladestusid ürgsel graniidil ja mille järgi geoloogid õpivad tundma Maa ajalugu kaugelt varema aja kohta, kui tekkis inimene.

Et aga Kuu pinda pole mõjustanud ei porsumine ega uhtumine, siis ei leia me Kuu peal settekivimeid, mis sarnaneksid maapealsetega, esinevad ainult kristallilised. Kuu pind on mineraalide-riik.

Kuid ei tule arvata, et Kuu mineraalid pole üldse muutunud Kuu pinnahangumise ajast. Ärgem unustagem, et need alluvad kõigepealt tugevatele temperatuuri kõikumistele: pilvitu päeva jooksul, mis kestab 15 meie ööpäeva, soojeneb Kuu pind üle 100^0, milline kuumus ajab vee keema. Aga niipea kui Päike loojub, hakkab Kuu jahenema palju kiiremini, kui jaheneb maakera pind kõige selgematel öödel. Kui hakkab lõppema öö (mis vältab samuti 15 ööpäeva), on Kuu pind jahenenud peaaegu -170^0-ni, s. o. peaaegu kuni õhu veeldumise temperatuurini. Selle tagajärjel, et suur kuumus vaheldub tugeva külmaga, pidi Kuu kristalliline koor kattuma loendamatute pragudega, ja praegugi tekib tõenäoliselt ikka uusi pragusid.

Kui aga lõhkeb kõva mineraal, siis tekivad killud. Eriti palju on neid säärasel korral, kui mingisugune Kuu mäe tipp murdub ja langeb alla, purunedes ise ja purustades kõik teel ees oleva. Hiljutistest Kuu pinna temperatuuri mõõtmistest tehti järeldus, et neid kilde on palju rohkem, kui seni arvati, ja et neist on enamus väikesed

tükikesed, võib isegi öelda, et tolmukübemed [1]. See järeldus leiab kinnitust ka selles, et on olemas veel üks Kuu pinna purustamise põhjus, mida otsekohe vaatlemegi.

Kuu kraatrid ja „lendtähed".

Teiseks Kuu pinna muutumise põhjuseks on meteoriidid, s. o. kivi- või raudrahnud, mis langevad taevast. Meteoriitide osatähtsus Kuu peal on erakordselt suur. Mõnede õpetlaste arvates tuleb nendega seletada Kuu kraatrite tekkimise mõistatust.

On peaaegu kindel, et Kuu kraatrid pole vulkaanid ega ole nendeks ka kunagi olnud. On olemas mitu arvamist nende tekkimise kohta. Kõige huvitavam on arvamus, mida võib nimetada „mürsuliseks" või „ballistiliseks" (ballistika on õpetus kahurimürskude lennust). Selle arvamuse kohaselt ei ole Kuu kraatrid midagi muud kui l e h t r i d, mis on jäänud Kuu pinnale pärast pommitamist mingisuguste erakordselt võimsate mürskudega. Niisugusteks mürskudeks ongi meteoriidid. Meie planeetide süsteemi osas lendavad nad kiirusega 20 kuni 70 km sekundis, s. o. sadasid kordi kiiremini kahurimürskudest. Nende kokkupõrkamine Maaga juhtub igas sekundis, kuid selle tulemuseks on harilikult „lendtähe" rahulik silmapilkne süttimine. Asi on nimelt nii, et Maa on kaitstud niisuguste kosmiliste pommitamiste eest paksu atmosfäärikihiga. Hõõrumisest vastu atmosfääri pidurduvad isegi kõige suuremad meteoriidid ja

[1] Kuu pinda katva tolmukihi väikese soojusjuhtivusega osalt seletubki suur erinevus Kuu päevase ja öise temperatuuri vahel. (Toimetus.)

langevad maakera pinnale võrdlemisi nõrga löögiga. Näiteks on teada juhuseid, millal meteoriit ei suutnud läbi lüüa isegi külmunud jõe jääst. Väiksemad meteoriidid põlevad lihtsalt ära tugeva hõõrumise tõttu õhus, jättes enda järele heleda jälje. „Lendtähed" ongi põlevate meteoriitide jäljed.

Aga Kuu ei oma atmosfäärilist kaitset, ja meteoriidid põrkavad vastu tema kõva pinda kiirustega, mis on sajad korrad suuremad kaugelaskekahuri mürsu omist. Isegi liivaterasuurune meteoriit, mis meie atmosfääris põleks momentaalselt ära, oleks kujuteldavale Kuu elanikule kardetavam püssikuulist. Iga meteoriidi löök teostab mõnesuguse purustuse Kuu pinnal. Et aga meteoriidid langevad Kuu peale peaaegu niisama sagedasti kui Maa peale, ja et see pommitamine kestab juba paljusid miljoneid aastaid, siis pidi see tugevasti muutma Maa kaaslase nägu. Nii suured kui ka väikesed meteoriidid tekitavad kahtlemata lehtreid Kuu pinnale. Kuid missugused on nende mõõtmed? Mis saab, kui näiteks ühe tonni raskune meteoriit põrkab vastu kivist tasandikku kiirusega 50 km sekundis? Täpselt sellele küsimusele me veel vastata ei saa, sest nüüdisaegsete kahurimürskude kiirus ei ületa 1—2 km/sek. Kuid on selge, et löögi kiiruse puhul 50 km/sek muutub lihtne kivi lõhkevaks mürsuks. Tema purustav võime (kineetiline energia) on suurem mürsu energiast, mis omab kiirust 1 km/sek, mitte 50, vaid 50×50, s. o. 2500 korda. Löögi ajal muutub kogu see energia soojuseks, kogu meteoriidi mass muutub peaaegu silmapilkselt auruks ja tekib harukordse jõuga plahvatus. Meenutagem, et peale selle on Kuul raskustung kuus korda väiksem kui Maal ja plahvatusega paisatud tükid peavad lendama kuus korda

kaugemale. Seega on väga usutav, et pärast suure meteoriidi langemist tekib Kuu pinnale niisuguste hiigla mõõtmetega lehter, et võime seda näha Maalt kraatri näol.

Muuseas on juba ammu teada, et kunstlikult võib saada moodustisi, mis sarnlevad Kuu kraatritega, kuid ainult väga väikestes mõõtmetes. Selleks on tarvis teatavalt kõrguselt heita noa või lusika otsalt mingisugust pulbrit (näiteks kipsi või tsementi) samasuguse pulbri tasasele kihile. Seda laadi esimeste katsete puhul moodustuksid niisugused „tolmukraatrid" lihtsa lehtri kujul, ilma künkakeseta keskel. Kuid tuntud geoloogil Vegeneril läks hiljuti korda saada tolmu kraatreid ka künkakesega keskel. Osutus, et selleks tuleb pulber visata võrdlemisi õhukesele kobedale kihile, mille all on tihedam pind. Säärasel juhul ei saa „meteoriit" suruda sügavamale neid osakesi, milledele ta langes, ja need jäävad püsima künkakesena keskel, kuna ümbritsevad osakesed paiskuvad kukkumise kohast igale poole laiali ja moodustavad kraatri valli.

Nende katsete põhjal ei saa muidugi järeldada, et Kuu pind koosneb aina tolmust. Kuu pind võib olla kaetud tolmuga, kuid ise peab ta olema umbes nii mitu korda kõvem pulbrist, kui mitu korda on meteoriidi löök tugevam lusikatäie kipsi langemise löögist. Neis tingimustes saame Kuul suurendatud kujul samasuguse pildi, kui annavad meie katsed. Vegener arvab, et meteoriitide löökidest on tekkinud kõik kraatrid, nende hulgas ka hiigla kraatri kujulised ümmargused mered sadade-kilomeetriste läbimõõtudega. Kuid nende tekitamiseks tuleb kujutleda niisuguse koletisliku suurusega meteoriite, milliseid praegu Maa peale kunagi ei lange. Seepärast

tuleb arvata, et suuremate kraatrite tekkimine toimus tol ajastul, kui formeerus Kuu ise. On näiteks võimalik, et udukogust, mis ümbritses Maad, tekkis algul hulk väikesi kaaslasi ja need kõik langesid lõppude lõpuks kõige suuremale neist, kistud sinna tema tõmbejõu poolt.

Teised uurijad arvavad, et meteoriitse päritoluga on ainult need mõnikümmend kraatrit, milledest igale poole harguvad laiali heledad kiired, ja kõik ülejäänud on tekkinud mingil muul teel. Kuid see on vähe usutav, sest kiirtega kraatrite ja kiirteta kraatrite vahel pole muus suhtes mingisugust vahet.

Meteoriitsed kraatrid Maa peal.

Veenvaks ballistilise hüpoteesi kinnituseks Kuu kraatrite tekkimise kohta oli meteoriitide kraatrite avastamine Maa peal. On selge, et maakera pinnal võivad tekkida suured kraatrid ainult erakordselt suurte mõõtmetega meteoriitide langemisel, sest õhu vastupanu, nagu nägime, vähendab tugevasti nende kiirust. Peale selle uhtub ja tasandub meteoriidi poolt löödud lehter Maa peal kiiresti ära, kuna aga Kuu peal jääb ta muutumatult püsima miljonite aastate jooksul. Sel põhjusel leiti kohal, kuhu langes 1908. a. kuulus Tunguska meteoriit, millest kõneleme edaspidi, kakskümmend aastat hiljem ainult umbes kümmekond soostunud ja üleujutatud lohku mõnemeetrise kuni mõnekümnemeetrise läbimõõduga.

Kõige tuntum meteoriitseist kraatreist Maa peal on Arizona kõrves (USA-s) leiduv kraater, mis on peaaegu ümmargune, ligikaudu 1¼-kilomeetrise läbimõõduga ja sada kakskümmend viis meetrit sügav. Kraater on ümbritsetud umbes 50 m kõrguse valliga. See koosneb purus-

tatud kivimite tükkidest, mis nähtavasti on välja paisatud kraatri põhjast. Kogu piirkonnas pole mingisuguseid vulkaanilise tegevuse tunnuseid. Seepärast paistis see sügavik esialgu mõistatuslikuna, kuni osutus, et valli ladestuses ja mitme kilomeetri kaugusel ümbruses olid laiali paisatud tuhanded raudmeteoriidid, kogukaaluga kümneid tonne. Puurimine näitas, et 400 m sügavuses, kraatri ühe ääre all on suur rauamass. On võimalik, et see ongi peamine meteoriidi osa, mis tungis niisugusesse erakordsesse sügavusse. Meteoriidi langemine toimus vististi kaua enne Ameerika avastamist, sest kraatri vallile on jõudnud kasvada peaaegu tuhande aasta vanused puud.

Saja aasta jooksul peeti Arizona kraatrit ainsaks omasuguseks. Kuid viimaste aastakümnete kestel on avastatud kõikides maailmajagudes mitukümmend kahtlemata meteoriitse päritoluga kraatrit, kusjuures nende läbimõõt ulatub mõnedest meetritest kuni mõnede kilomeetriteni. On avastatud niisuguseid moodustisi ka NSVL-s (näiteks Eestis [1] ja Pamiiri lähedal). Nende uurimine suuremas enamuses veel alles algab.

Kuu mõju Maale.

Väga laialt on levinud arvamus, et Kuu mõjustab ilmastikku. Kõneldakse näiteks, et Kuu kiired toovad külma, mitte aga sooja, et täiskuu „hajutab pilved", et lähemate päevade ilmastik oleneb sellest, kuidas asetsevad noorkuu sarved, ja lõppeks (kõige sagedamini), et ilmastiku muutus toimub üheaegselt Kuu muutumisega.

[1] Kaalijärv Saaremaal. (Toimetus.)

Kõik need „tunnused" on kas täiesti väärad või omavad hoopis teist mõtet. Näiteks arvamus, et täiskuu hajutab pilved, on seletatav sellega, et täiskuu on taevalaotusel kogu öö; seepärast, eriti talvel, võib teda sagedamini näha öises taevas kui mittetäisfaasis Kuud, mis kas vara loojub või hilja tõuseb. Noorkuu sarvede kallak oleneb ainult Kuu asukohast Päikese suhtes; nende suunda võib alati juba varem ennustada ja sel suunal pole mingisugust suhet ilmastikuga.

Arvamus, et ilmastik muutub iga noorkuu, täiskuu ja veerandite puhul, on täielikult ümber lükatud meteoroloogiliste vaatlustega ilmastiku kohta kogu maakeral. Ilmastiku muutused juhtuvad igasuguse Kuu vanuse puhul, et aga Kuu „muutused" toimuvad igal nädalal ja ilmastik muutub tihti veelgi sagedamini, siis leidub nende ilmamuutuste hulgas alati küllaldaselt juhuseid, millal ilmastik muutub peaaegu koos Kuu muutusega. Näiteks kui noorkuu oli 2. juunil ja ilmastik muutus 1. või 3. juunil, siis väidab Kuu mõjustuste pooldaja, et see muutus kinnitab tema arvamust. Kõik säärased juhused jäävad iseenesest meelde, kuid vastupidised juhused, kui ilmastiku muutumise päev erineb märgatavalt Kuu muutumise päevast, unustatakse samuti ebateadlikult.

Meenutagem, et isegi täiskuu valgus on oma tugevuselt ainult üks viiesaja tuhandik osa Päikese valgusest. Peaaegu niisama tähtsuseta on ka Kuu soojus, mispärast ei tule oodata, et Kuu kiired avaldaksid mingisugust mõju Maale peale lihtsa valgustamise. Nende energia on selleks liiga tähtsusetu, võrreldes Päikese kiirte energiaga.

Palju tunduvam on Kuu gravitatsiooni osa. Kuigi tema mass on väiksem Päikese massist 27 miljonit korda, kuid

seevastu on ta meile ligi 400 korda lähemal. Newtoni seadusest järgneb, et jõud, millega Kuu tõmbab enda poole Maad, on ligikaudu $\frac{1}{170}$ osa Päikese tõmbejõust. See pole enam sugugi tähtsusetu jõud. Selle mõjul nihkub Maa kõigega, mis tema peal asetseb, pidevalt Kuu suunas, otsekui „langeb" Kuule. IV peatükis juba nägime, et selle Maa „langemise" tulemuseks on igakuune maakera tiirlemine väga väikesel ringil Kuu—Maa süsteemi raskuskeskme ümber. Niisugune tiirlemine on tõesti avastatud astronoomiliste vaatlustega.

Niivõrd märgatav pole mitte jõud ise, millega Kuu tõmbab kogu Maad, vaid v a h e Kuu mõjustuste vahel mitmesugustele Maa osadele. See külgetõmbe vahe teostabki kõige tähtsama Kuu mõjustuse Maale, nimelt merede loodeid.

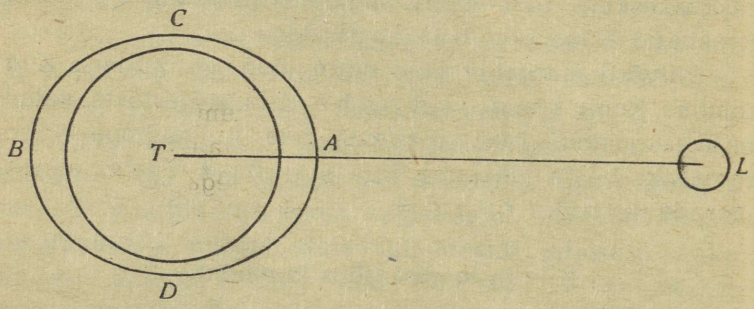
Kuu ja looded (tõus ja mõõn).

Ookeaniäärsed elanikud teavad hästi, et ookeanide pind tõuseb kaks korda ööpäeva jooksul, et igapäev on kaks t õ u s u. Järgmisel päeval saabuvad mõlemad tõusud peaaegu 50 min. hiljem, nii et mõne päeva pärast satuvad nad hoopis teisele ajale. Sellest nähtub, et otsest sidet Päikesega sel nähtusel ei ole.

Kuid side Kuuga on kaheldamatu. Üks kahest igapäevasest tõusust saabub varsti pärast seda, kui Kuu on saavutanud taevas kõige kõrgema asendi. Loomulikult tekib mõte, et Kuu oma külgetõmbega tõstab vett selles Maa osas, mille kohal ta sel ajal asetseb. Kuid poole ööpäeva järel saabub teine tõus, just sel ajal, kui Kuu on horisondi all ja valgustab maakera vastaspoolt. See teine tõus näib arusaamatuna, sest Kuu nüüd juba enam ei tõmba vett, vaid just otsekui tõukab teda eemale.

Asi seisneb selles, et tõuse ei kutsu esile mitte Kuu külgetõmbejõud ise, vaid ainult nende jõudude v a h e, millega Kuu tõmbab tahket maakera ja tema veekesta. Kõige tugevamini tõmbab Kuu temale kõige lähemal asetsevat maakera punkti *A* (vt. joon. 36), kõige nõrgemini punkti *B*.

Seepärast peavad need punktid „langema" Kuule erinevate kiirendustega, punkt *A* suurima, punkt *B* väik-



Joon. 36. Kuidas Kuu teostab tõusu maakera ookeanidel (*A* ja *B* — tõusu kohad, *C* ja *D* — mõõna kohad, *L* — Kuu, *T* — maakera keskpunkt).

seima kiirendusega. Seda teevadki v e d e l a d, vabalt liikuvad ookeani osakesed. Kuid nendega kõrvuti asetsevad t a h k e d osad *A* ja *B* mere põhjas ja kaldal ei saa söösta Kuu poole erineva kiirendusega. Nad peavad „langema" samasuguse kiirendusega, mida omab tahke venimata Maa keskpunkt. Muidugi on Maa keskpunkti *T* kiirendus väiksem veeosakese *A* kiirendusest, kuid suurem osakese *B* kiirendusest. Seda kiirenduse vahet märkamegi tõusude puhul.

Oletagem, et asume ookeani kaldal just Kuu all punktis *A*. Kõik kalda *A* osakesed „langevad" sel silma-

pilgul Kuu suunas, s. o. ülespoole sellesama suurusega, millega „langeb" Maa keskpunkt. Samal ajal ookeani vesi punktis *A* nihkub Kuu poole suurema suuruse võrra kui kallas ja me näeme, et tema tasapind tõuseb; toimub tõus. Kuid samasugune tõus on samal momendil vastaspoolel asetsevas punktis *B*, kus Kuu pole nähtav. Siin „langeb" kallas Kuu poole suurema suuruse võrra kui meri, kuid tulemus on üks ja seesama: mere tasapind tõuseb ka siin.

Maa pöörlemise tagajärjel asetseb punkt *A* poole ööpäeva pärast asukohas *B*, kus saabub uuesti tõus. Just sellepärast on ööpäeva jooksul ühes ja samas kohas kaks korda „kõrge" vesi — kaks tõusu, päevane ja õine või hommikune ja õhtune. Tõusude vaheaegadel on kahel korral „madal vesi" — kaks mõõna.

Looded on väga komplitseeritud ja muutlik nähtus. Kõrgeim vesi ei ole kunagi sel momendil, kui Kuu on kõige kõrgemal või kõige madalamal taevasfääril, vaid hilineb mõnikord mitme tunni võrra. Hilinemise määr oleneb kohalikest tingimustest; erisugustes kohtades on see äärmiselt erinev. Samuti on tõusude kõrgus erisugustes kohtades erinev. Sisemeredes, näiteks Mustal merel ja Läänemerel, pole tõusud üldse märgatavad; ookeanide kallastel, vastupidi, on need väga suured. Eriti suured on tõusud kitsastes lahtedes ja väinades. Nii saavutab Valge mere kurgus tõusu kõrgus 6½ m, ja Gižiga lahes (Ohhoota meres) isegi 11 m. Kõrgeim tõus Maa peal on Fundy lahes Atlandi ookeani Kanada kaldal. Tõusu kõrgus ulatub siin 16 meetrini.

Kujutlege, et teile tuntud jõe tasapind tõuseb 6 tunni jooksul 16 m võrra ja et niisugune tõus toimub iga päev

kaks korda, ja teie saate ettekujutuse sellest, mis toimub neis kohtades, kus on tugev tõus.

Isegi ühes ja samas kohas muutub tõusu kõrgus päevast päeva. Selle muutlikkuse peasüüdlane on Päike. Temagi põhjustab loodeid, kuid hiigla kauguse tõttu on Päikese poolt tekitatud tõusu kõrgus ainult $\frac{4}{9}$ Kuu omast [1]. Seepärast ei ole Päikese poolt tekitatud tõus eraldi märgatav; ta vaid muudab Kuu poolt tekitatud tõusu kõrgust. Noorkuu ja täiskuu ajal saabub Päikese poolt tekitatud tõus üheaegselt Kuu poolt tekitatud tõusuga; Päikese ja Kuu mõjud liituvad ja üldine Päikese poolt tekitatud tõusu kõrgus koos Kuu omaga on $1\frac{4}{9}$ ainuüksi Kuu poolt tekitatud tõusu kõrgusest. Kui aga Kuu on esimeses või viimases veerandis, siis saabub Kuu poolt tekitatud tõusu ajal Päikese poolt tekitatud mõõn. Päikese mõju arvatakse maha Kuu mõjust, ja üldine tõusu kõrgus on ainult $\frac{5}{9}$ keskmisest Kuu poolt tekitatud tõusust. Jagades esimese murru teisega saame:

$$\frac{13}{9} : \frac{5}{9} = \frac{13}{5} = 2\frac{3}{5}.$$

Nii mitu korda on noorkuu ja täiskuu ajal tekkinud tõus kõrgem tõusudest Kuu veerandite ajal. Erinevus, nagu näeme, on väga suur.

Niisiis kutsub Päikese tegevus tõusudes esile perioodilised muutused. Selle muutuse periood on pool kuud. See tähendab, et tõusu muutumine sünoodilise kuu teise poole jooksul (täiskuust kuni noorkuuni) on esimese

---

[1] Olgugi et Päike tõmbab Maad 170 korda tugevamini kui Kuu, on Päike Kuust 390 korda kaugem, mistõttu Päikese külgetõmmete vahe erisugustele Maa osadele on $\frac{170}{390} \approx \frac{4}{9}$ Kuu külgetõmmete vahest. (Toimetus.)

poole (eelmisest noorkuust kuni täiskuuni) muutumiste kordamiseks.

Samal viisil tekitavad kõik muutused Kuu liikumises ümber Maa ja Maa liikumises ümber Päikese (nagu nende kehade lähenemine ja eemaldumine, nende suurima kõrguse muutumine horisondilt) tõusudes erisuguste perioodidega muutusi. Näiteks Päikese kauguse muutumine aasta jooksul peab esile kutsuma tõusudes väikese muutuse, mille periood võrdub aastaga.

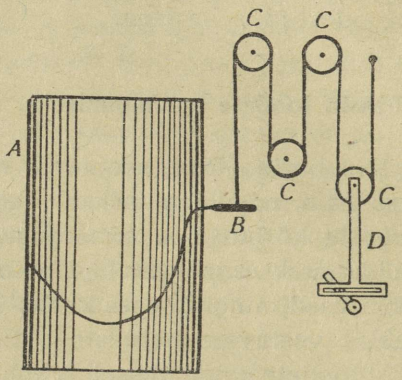
Masin loodete ennustamiseks.

Niisiis on tõus perioodiline, seejuures väga komplitseeritud nähtus: näib, nagu tegutseksid üheaegselt mitu tõusu mitmesuguste kõrguste ja mitmesuguste perioodidega. Perioodid antakse taevamehhaanika valemitega, kuid tõusude suurused mingisuguses kohas ja nende hilinemine, võrreldes vastavate nähtustega taevas, tuletatakse vaatlustest loodete käigu üle selles kohas. See annab võimaluse ennustada tõuse tulevase aja kohta, ilma milleta pole võimalik paljudes sadamates isegi näiteks koostada laevade sõiduplaane.

Loodete ettearvutamine on väga keerukas ja selle kergendamiseks ehitas inglise füüsik William Thomson imetlusväärse masina — „loodete ennustaja".

Kujutleme nööri, mis on kinnitatud ühest otsast, kuna teises otsas ripub mingi raskus; nöör on tõmmatud üle mitme ploki. Plokke on nii palju, kui palju perioode on tähele pandud tõusu nähtuses. Raskuse külge on kinnitatud pliiats, mis puudutab paberilehte pöörleval tsilindril (joon. 37). Kui plokid ei liigu, siis joonistab pliiats liikuval paberil horisontaalse sirgjoone.

Kuid iga vertikaalne pide, mille külge on kinnitatud plokk, on ühendatud eri seadeldisega (õõtsuva kangiga) eraldi hammasrattaga. Seepärast hammasrataste pöörlemisel plokid kas tõusevad või vajuvad. Hammasrataste läbimõõdud ja õõtsuvate kangide pikkused on rangelt välja arvestatud kooskõlas mitmesuguste tõusuperioodidega. Iga hammasratas kujutab üht teatavat tõusu-



Joon. 37. Masin tõusude ennustamiseks: *A* — tsilinder paberilindiga, *B* — pliiats, *C* — plokk, *D* — vertikaalne pide õõtsuva kangiga (joonestatud ainult ühe plokkratta juurde selleks, et mitte koormata joonist).

perioodi. Suurtes masinates on üle kahekümne mitmesuguse hammasratta ja niisama palju plokke.

Laseme masina käiku. Telje pöörlemine kandub üle kõikidele hammasratastele, need hakkavad pöörlema igaüks oma perioodiga ja samade perioodide järgi hakkavad liikuma üles ja alla nendega ühendatud plokid. Üle plokkide tõmmatud nöör liidab kokku kõik need õõtsumised ja annab nad üle nööri lõpus olevale pliiatsile. Tule-

musena saame ühtlaselt pliiatsi all liikuval paberilindil mitte sirgjoone, vaid kõverjoone, mille tõusud ja langused kujutavad tõusu ja mõõna käiku teatud kohas ja teatud aja kohta. Selle masina abil võib juba poole tunni jooksul välja arvutada looded teatavas sadamas terve aasta kohta.

Looded ja muutused Maa-Kuu-süsteemis [1].

Me nägime, et tõusud ei saabu kunagi sel momendil, kui Kuu on meridiaanis, vaid alati teatava hilinemisega. See on põhjustatud nn. loodelisest hõõrdumisest, mis tekib vee seesmisest hõõrdumisest ja merede kallaste ja põhja takistusest.

Tõuse võib vaadelda kui kaht suurt lainet, mis levivad mööda meresid ja ookeane idast läände, tehes ühe täisringi ümber Maa 24 tunni 50 minutiga — sama ajaga, kui kõik Maa meridiaanid jõuavad Kuu alt läbi minna. Kui poleks loodelist hõõrdumist, siis leviksid mõlemad lained nii, et ühe laine tipp oleks suunatud Kuu poole, teine temast eemale (vt. joon. 36). Hõõrdumise tõttu jäävad aga tõusulained n.-ö. Kuust maha, asetsedes alati ida pool nendest kohtadest, kus Kuu on meridiaanis.

See tõusulaine mahajäämine kutsub esile tähtsaid, kuigi väga aeglaselt toimuvaid muutusi süsteemis Maa-Kuu. Neid muutusi on uurinud matemaatik ja astronoom George Darwin (kuulsa Ch. Darwini poeg). Selgub, et muutus kõigepealt Maa pöörlemisaeg, s. o. ööpäeva pikkus.

---

[1] See lõik on juurde lisatud eestikeelsele tõlkele toimetuse poolt.

Kuu oma tõmbejõuga püüab kogu aja tõusulaineid nihutada nii, et nende tipud asetuksid temaga ühele joonele (nagu see on joon. 36), s. o. püüab neid laineid nihutada l ä ä n e suunas. Selle jõu mõju kandub hõõrdumise tõttu tahkele maakerale, ja et see pöörleb läänest itta, siis püüab seega Kuu a e g l u s t a d a Maa pöörlemist.

Tõusulainete külgetõmme avaldab omakorda mõju Kuule. Et Kuu, liikudes Maa ümber läänest itta, asetseb taevas alati lääne pool sellest punktist, kuhu on suunatud lühema tõusulaine tipp, siis püüab tõusulainete tõmbejõud kiirendada Kuu liikumist. Kuu liikumist kiirendada püüdva jõu tegevuse tulemus on mehhaanikas kogenematule hoopiski ootamatu: Kuu liikumine ei kiirene, vaid vastuoksa aeglustub, kusjuures Kuu kaugus Maast vähehaaval suureneb ja tema tiirlemisaeg kasvab.

Maakera pöörlemise aeglustumine kutsub esile kõikide taevakehade liikumise näivat k i i r e n e m i s t. See kiirenemine peab olema eriti märgatav Kuu puhul ja tunduvalt ületama tema t õ e l i k u aeglustumise.

Sellist taevakehade liikumise kiirenemist on tõesti tähele pandud. Kuu „sajandilist kiirenemist", millest meil oli juba juttu, tuntakse ammust ajast.

Uuemate kokkuvõtete järgi, mis põhinevad astronoomilistel vaatlustel antiikajast saadik, suureneb saja aasta jooksul ööpäev 0,002 sekundi ja Kuu kaugus 5 meetri võrra. Sadasid miljoneid aastaid tagasi pidi seega olema ööpäev ja kuuaeg palju lühem kui praegu ja Kuu asetsema meile palju lähemal. Tol kaugel ajastul oli Kuu tõenäoliselt veel vedel hõõguv keha ja Maa tõmbejõu mõjul tekkisid seal samasugused tõusulained, nagu need tekivad praegusel ajal meie meredes Kuu külgetõmbe mõjul. Esines ka loodeteline hõõrdumine, mis aeglustas

Kuu pöörlemist. Eriti suureks kasvas loodelise hõõrdumise mõju siis, kui Kuu hakkas vähehaaval hanguma ja muutuma sitkeks, poolvedelaks massiks. Kuu pöörlemine aeglustus kiiresti ja hangumise momendiks tema pöörlemine Maa suhtes peaaegu juba puudus. Kuu oli siis pisut pikliku kujuga, olles pööratud hangumise ajal ühe „loodelise küüruga" Maa poole ja teisega — temast eemale. Maa külgetõmbe mõju nendesse tardunud „küürudesse" peatas otsekohe Kuu väga aeglase pöörlemise Maa suhtes hoopiski ja ta jäi igaveseks pööratuks Maa poole ühe oma „kinnikülmunud" tõusuga. Pöörlemisaeg sai täpselt võrdseks tiirlemisajaga. Vähehaaval tiirlemisaeg küll kasvas, kuid pöörlemisaeg kasvas sama võrra, sest Maa külgetõmme sundis veidi piklikku Kuud säilitama sellist asendit Maa suhtes, et ta pikem telg oleks suunatud kogu aja Maa poole (väikese kõikumisega ühele või teisele poole, mis tekib Kuu tiirlemise ebaühtlusest).

Niiviisi seletub, mispärast Kuu on pööratud Maa poole ikka ühe ja sellesama küljega. Edaspidi näeme, et analoogiline on olukord arvatavasti ka kõikide teiste planeetide kaaslaste puhul ja isegi ühe planeedi puhul, mis on pööratud Päikese poole ikka sama küljega. Selliseks planeediks on Merkuur, Päikesele kõige lähedasem planeet.

VI peatükk.

Kuu- ja päikesevarjutused.

Aeg-ajalt rikutakse järsku taevanähtuste tavalist korrapärasust: kord kustub äkki Päike, kord Kuu, saabub päikese- või kuuvarjutus. Seni kui need nähtused ei olnud veel teaduse poolt seletatud, sisendasid nad inimesele loomulikult hirmu. Näis, et need teostatakse mingisuguste nägematute, ebatavaliselt võimsate ja kardetavate olendite poolt. Kõik rahvad pidasid varjutusi varemalt imeväärseiks „taevalikeks ilmutusteks", „jumala viha" märkideks.

Kuid tegelikult on varjutused iseendast täiesti seaduspärased looduslikud nähtused. Astronoomid arvutavad juba ammu välja päeva, tunni ja minuti kõikide varjutuste saabumise kohta sadade aastate peale ette ja see „varjutuste tunnikava" täidetakse palju täpsemalt kui raudtee sõiduplaan; selle tunnikava jaoks pole äramuutmisi või hilinemisi. Seepärast on iga varjutuse saabumine materialistlikule teadusele pidupäevaks. See näitab piltlikult rahvamassidele, et ka kauges taevaruumis nagu Maa pealgi ei ole midagi imetaolist ja omavolilist, et kõik toimub seal muutumatute füüsikaseaduste järgi ja et juba 300 aastat, alates Galilei ajast, valitseb inimese

teaduslik mõte nende seaduste üle harukordse täielikkusega.

Kuuvarjutused.

Kuuvarjutuste põhjus sai astronoomidele teatavaks juba kauges minevikus. Kõigepealt pandi tähele, et Kuud varjutatakse ainult täiskuu ajal, s. o. sel momendil, kui Kuu ja Päikese vahel asetseb Maa. Tume ja läbipaistmatu Maa varjab sel ajal ära Päikese ja tema kiired ei lange enam Kuule, mis selle tagajärjel muutub tumedaks. Teisiti öeldes, kuuvarjutuse ajal jääb Kuu maakera varju. Maal, nagu igal läbipaistmatul esemel, mis on valgustatud ühest küljest, on vari; see langeb Päikesele vastupidises suunas maailmaruumi, kuid pole harilikult nähtav, sest tal pole millelegi langeda.

Kuuvarjutused ei ole kaugeltki igal täiskuul. Meenutagem, et Kuu igakuine teekond taevas ei lange ühte ekliptikaga, s. o. taevasfääri ringiga, millel alati asetseb Päike. Seepärast ei osutu Kuu täiskuu ajal harilikult täpselt Päikese vastas; kui Päikese tsentrumist tõmmata sirgjoon Maa tsentrumisse ja pikendada seda Maa taha, siis asetseb Kuu kas mõnevõrra põhja või mõnevõrra lõuna pool sellest joonest, ja maakera vari ei puuduta Kuud. Varjutus võib toimuda ainult sel korral, kui Kuu täiskuu ajal on nagu Päikegi ekliptikal; siis asetseb ta täpselt Päikese vastas.

Kui aga Kuu satub ekliptikale, siis läheb ta sel ajal läbi sõlme, s. o. läbi punkti, milles Kuu tee lõikub ekliptikaga. Et sõlmi on kaks, üks vastu teist, siis peab Päike varjutuse ajal asetsema teises sõlmes või selle lähedal. Siit saame lihtsa reegli: varjutus võib toimuda

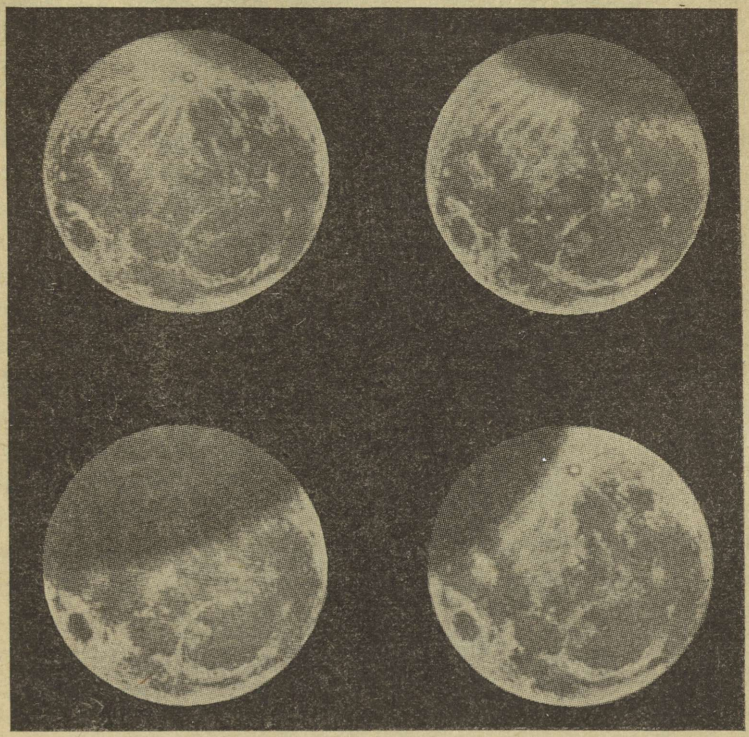
ainult nendel kuudel, kui Päike läheb läbi Kuu orbiidi sõlme; see aga juhtub kord pooles aastas. Niiviisi on aastas ainult kaks hooaega, mõlemad natuke lühemad kui kuu, mil võib oodata varjutust (see ei tähenda veel sugugi, et varjutus tingimata peab juhtuma). Ülejäänud aastaaja jooksul on varjutused täiesti võimatud. 1941. a. langesid need varjutuse perioodid märtsile ja septembrile. Kuid Kuu orbiidi sõlmed liiguvad pidevalt ekliptikat mööda läände, s. o. vastu Päikese aastasele liikumisele. Seepärast ei kohtu Päike Kuu sõlmedega mitte täpselt poole aasta pärast, vaid sagedamini, ja nimelt 173 päeva pärast. Sel kombel saabuvad varjutuste hooajad igal aastal peaaegu 20 päeva varem. Näit. 1945. a. tulid need juuli- ja detsembrikuus.

Kujutleme nüüd, et Kuu kaugusel on asetatud hiiglasuur valge sein, millele langeb maakera vari. See vari omab musta ketta kuju, mis on tunduvalt suuremate mõõtmetega kui Kuu. Täiskuu ajal oleksime näinud, kuidas mustale kettale läheneb Kuu hele ketas ja läheb temasse oma idapoolse (pahema) servaga. Alates sellest momendist langeb osa maakera varju Kuu kettale. Kuu idapoolsel serval tekib väljalõige, mis kiiresti kasvab, ja Kuu võtab ikka kitsamaks muutuva sirbi kuju, kuni ta täielikult sukeldub Maa varju. Nüüd muutus osaline varjutus täielikuks.

Et Maa vari on üsna suur, siis võib Kuu jääda täielikku varjutusse küllaltki kauaks, peaaegu kaheks tunniks. Seejärel muutub Kuu idapoolne serv heledaks ja Kuu tuleb vähehaaval varjust välja. Kui Kuu ei läbi Maa varju mitte selle keskelt, siis ei tarvitse ta isegi kõige suurema varjutuse puhul minna täielikult Maa varju;

sel puhul jääb varjutus osaliseks, s. o. mittetäielikuks (vt. joon. 38).

Kuu täielik varjutus on väga kaunis nähtus, palju huvitavam kui Päikese osaline varjutus



Joon. 38. Osalise kuuvarjutuse käik.

Kui suurem osa Kuust sukeldub maakera varju, siis osutub, et see varjutatud osa pole mitte täielikult nähtamatu; ta vaid helendab palju nõrgemini ülejäänud valgustatud osast. Kui aga toimub täielik varjutus, siis võib näha

kogu ketast, mis annab tuhmi tumepunast valgust mitmesuguseis varjundeis.

Millisest taevakehast langeb siis tumedale Kuule see kummaline valgus? Jällegi meie Maalt — nagu tuhkvalguski, mis valgustab noorkuud, kuid kõne all oleva valguse tekkimine on hoopis teistsugune. See on Päikese valgus, mis on läbinud maakera atmosfääri; atmosfäär on kallutanud kõrvale päikesekiired ja andnud neile punase varjundi. Siirdume mõttes Kuu peale täieliku varjutuse ajal. Päikest me loomulikult ei näe; ta on varjatud hiigla, peaaegu neli korda suurema Maa musta keraga. See kera on ümbritsetud punase äärisega, mis helendab nii eredalt, et selle valgustuse juures võime üksikasjalikult vaadelda Kuu pinda. Meenutagem, et „maakera ketta" servad on täiskuu momendil joon, kus Päike kas tõuseb või loojub. Kogu sellel ringil paistab kas hommikune koit või õhtune eha, ja see maakera hämarikuvalgus valgustabki varjutamise ajal Kuu pinda.

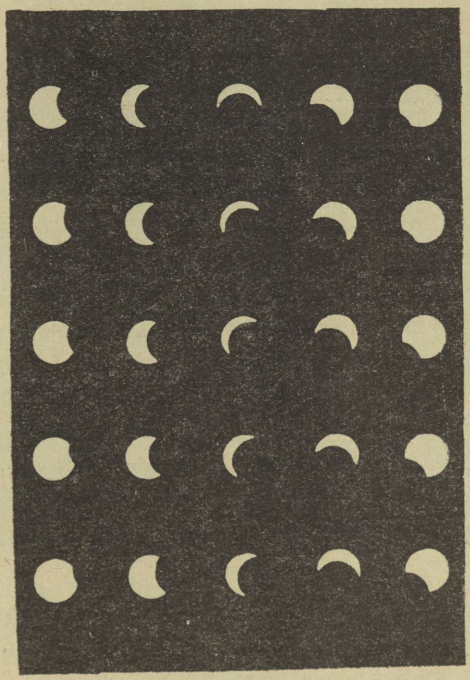
Kuu valgustuse vaatlused täieliku varjutuse ajal pakuvad suurt teaduslikku huvi. On tähele pandud, et mitmesugustel aastatel varjutatud Kuu on omanud väga erinevat heledust. See tähendab, et maakera atmosfääri ülemised kihid lasevad mõnikord läbi rohkem päikesekiiri, mõnikord vähem. Seepärast võivad kuuvarjutuse vaatlused anda tähtsaid andmeid meie atmosfääri ehituse kohta.

Lähemad täielikud kuuvarjutused toimusid 17. detsembril 1945. a. ja 14. juunil 1946. a.

Päikesevarjutused.

Päikesevarjutused seisnevad selles, et Kuu, liikudes läänest Päikese ette, varjab järk-järgult teda oma tumeda

kehaga ja samuti järk-järgult liigub tema eest ära (vt. joon. 39). Kogu see nähtus võib kesta üle kahe tunni, kuid täielik faas, kui see on olemas (varjutuse keskel), ei välta mitte rohkem kui 8 minutit, sagedamini aga kõigest



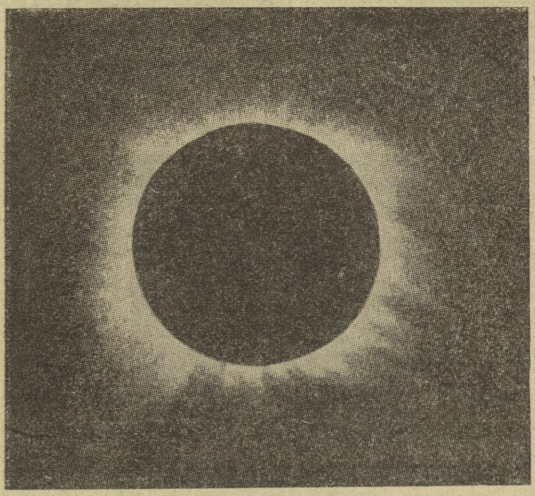
Joon. 39. Osalise päikesevarjutuse käik (alumine vasakpoolne ülesvõte on varjutuse algus, ülemine parempoolne — varjutuse lõpp).

2—3 minutit. Päikesevarjutused võivad juhtuda ainult noorkuu ajal, sest sel ajal läheb Kuu Maa ja Päikese vahelt läbi. Kuid varjutused ei toimu mitte igal noorkuul, vaid ainult siis, kui noorkuu, s. o. Kuu koh-

tumine Päikesega, juhtub olema Kuu tee s õ l m e l ä h e d a l; muudel juhtudel läheb Kuu Päikesest altpoolt või pealtpoolt mööda ja ei varjuta teda. On selge, et ka päikesevarjutused sarnlevalt kuuvarjutustega võivad igal aastal toimuda ainult nendesamade kahe kindlamääraliste „varjutuste hooaegade" jooksul, millal juhtuvad kuuvarjutusedki. Päikesevarjutuste puhul on need „hooajad" vaid pikemad kui kuuvarjutuste puhul (igaüks pikem kui kuu aega, mitte aga lühem), nii et iga „hooaja" jooksul tuleb kindlasti vähemalt üks noorkuuaeg. Seepärast on igal aastal vähemalt kaks päikesevarjutust, üks ligikaudu pool aastat pärast teist; kuuvarjutusi ei ole mõnel aastal aga sugugi. Niiviisi on päikesevarjutusi s a g e d a m i n i kui kuuvarjutusi, kuid näha võib neid h a r v e m i n i. See on seletatav sellega, et oma olemuselt on päikese- ja kuuvarjutused täiesti erinevad nähtused. Kuuvarjutuse ajal hämardub Kuu tõepoolest ja näib tumedana, ükskõik kust kohalt temale ka vaadata. Seepärast on kuuvarjutus nähtav täiesti ühesuguselt kogu Maa poolkeralt, mis on pööratud sel ajal Kuu poole; kõikidele vaatlejatele algab ja lõpeb see korraga, üheaegselt.

Päikesevarjutuse ajal, vastupidi, ei juhtu Päikese endaga midagi, ainult Kuu varjab Päikese ühe osa Maa elanikkude silmade eest. Kuu näib meile peaaegu täpselt niisama suurena kui Päike, kuid ta on nelisada korda lähemal, seepärast kui ta varjab kogu Päikese mingisuguse maakoha elanikkude eest, siis piisab, kui minna sellest kohast saja kilomeetri võrra eemale, näiteks põhja poole, ja meile näib, et Kuu on nihkunud lõuna poole. Varjutus ei ole siis enam täielik, vaid osaline, kusjuures kaetud on lõunapoolne osa Päikesest ja põhjapoolne osa

vaatab välja tumeda, täiesti nähtamatu Kuu tagant kitsa sirbi näol, sarvedega lõunasse (vt. joon. 39 ülal). Mida kaugemal asetseb vaatleja sellest kohast, kus on näha täielik varjutus, seda väiksem osa Päikesest on kaetud, ja lõppeks leiduvad niisugused maakera osad, kus on näha kogu Päike ja mingisugust varjutust ei olegi. Kui



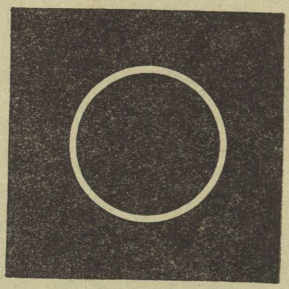
Joon. 40. Täielik päikesevarjutus; tumeda Kuu ketta ümber on näha Päikese kroon.

aga vaatleja asetseb täieliku varjutuse kohast lõuna pool, siis näeb ta, et Kuu katab põhjapoolse osa Päikesest.

Täielikud päikesevarjutused ei seisne lihtsalt selles, et keset päeva järsku saabub öö. Laiadele massidele on need varjutused suursuguseks unustamatuks vaatepildiks, kuid õpetlastele esitavad nad rea ülesandeid, mis nõuavad lahendust. Kui musta Kuu taha kaob viimane pimestav päikeseketta kiir, siis saab mõneks minutiks nähta-

vaks erakordselt ilus osa atmosfäärist, mis ümbritseb Päikese tulist kera, niinimetatud Päikese kroon. Krooni loomus pole veel selge, mispärast tema vaatlused omavad suurt teaduslikku tähtsust.

Peale selle on täielikud päikesevarjutused seni peaaegu ainukesed juhud, millal võib kontrollida uut teooriat gravitatsiooni mõjust valgusele. Kui see teooria on õige, siis peaks täieliku päikesevarjutuse ajal olema tähelepandav niinimetatud Einsteini efekt, millest kõneleme peatükis Päikesest.



Joon. 41. Rõngakujuline päikesevarjutus.

Täielikud päikesevarjutused juhtuvad peaaegu igal aastal, kuid on nähtavad ainult maapinna ribal, mille pikkus on mõni tuhat kilomeetrit ja laius mitte üle 200 kilomeetri. See riba on tee, mille läbib maakera pinnal läbipaistmatu kuukera täisvari. Tihti läbib see riba ookeane ja kaugeid kõrbi ning ülejäänud Maa osas on seesama varjutus nähtav kui osaline või pole üldse nähtav. Mingisuguses ühes kindlas kohas Maa peal juhtuvad täielikud varjutused väga harva, sadade aastate tagant.

Peale täielikkude varjutuste on veel rõngakujulised päikesevarjutused. Need juhtuvad neil noorkuude aegadel, kui Kuu asetseb Maast mõnevõrra kaugemal oma keskmisest kaugusest, mille tagajärjel näib ta meile väiksemana Päikesest. Seepärast võib ta katta ainult Päikese ketta keskmise osa ja Päikese ääris paistab tumeda Kuu tagant välja kitsa hõõguva rõngana (vt. joon. 41). On selge, et säärast huvitavat pilti võivad näha ainult need vaatlejad, kes on „varjutuse telje" lähedal, s. o. sirgjoonel, mis läheb läbi Päikese ja Kuu tsentrumi; teistel maakera pindadel on varjutus nähtav kui harilik osaline varjutus, või polegi mingisugust varjutust.

Varjutuste ennustamine.

Nüüdisaegne astronoomia võib näiteks päikesevarjutuse algusmomendi ette kuulutada sellise täpsusega, et tegelik varjutuseaeg ei erine väljaarvutatud ajast mitte rohkem kui 2—3 sekundit. Seda tehakse väga komplitseeritud matemaatiliste meetoditega. Kuid juba muistsetel Kaldea preestritel läks sageli korda õnnestunult ennustada varjutuse päeva, mõnikord isegi varjutuse saabumise tundi. Sellega nad oskasid muidugi saavutada imetegijate reputatsiooni, kelledele jumalad on avanud tuleviku. Tegelikult ei teadnud kaldealased isegi varjutuse põhjusi, vaid märkisid ainult hoolikalt üles kõik taevanähtused sadade aastate jooksul. Uurides neid ülestähendusi märkasid nad varjutuste kordumise lihtsat reeglit. Hiljem selgus, et hiinlased olid avastanud selle reegli veelgi varem.

Oletame, et Kuu kohtumine Päikesega, s. o. noorkuu (sellega ühes ka päikesevarjutus) juhtus Kuu orbiidi tõususõlmes. Osutub, et peaaegu täpselt niisamasugune kohtumine samas sõlmes, järelikult ka varjutus kordub 6585 päeva 8 tunni, s. o. 18 aasta 11 päeva 8 tunni pärast. Üldse kordub igasugune Kuu ja Päikese asukoht sõlme suhtes 18 aasta 11 päeva (või 18 aasta 10 päeva pärast, kui selle aja jooksul oli viis lisapäevaga aastat, mitte aga 4).

Seda perioodi nimetasid kaldealased s a r o s e k s. Sarose möödumisel pöörduvad üldse Kuu ja Päike tagasi ligikaudu sellelesamale asetusele sõlme suhtes. Seepärast kordub iga päikese- (või kuu-) varjutus 18 aasta 11 päeva pärast, kuid mitte samal tunnil, vaid 8 tundi hiljem. Kui esimene varjutus, mida vaatlesime, oli näiteks pärast lõunat, siis teist me üldse ei näe, sest see varjutus algab meie juures pärast Päikese loojangut. Seda nähakse piirkondades, mis asetsevad kaugemal läänes.

Näiteks tähelepanuväärne 19. juunil 1936. a. toimunud päikesevarjutus, mida meie lugejad mäletavad hästi, oli nagu 1918. a. 8. juuni varjutuse kordumine (vt. allpool olev tabel mõlema aasta varjutustest) [1]. Kuid 1918. a. varjutus ei olnud NSVL-i Euroopa osas üldse nähtav; seda võis vaadelda Põhja-Ameerikas ja Vaiksel ookeanil. Kui meie astronoomid arvutaksid varjutused välja muistsete kaldea viiside järgi, siis oleks 1936. a. varjutus olnud meile täielikuks ootamatuseks.

---

[1] Päikesevarjutus 9. juulil 1945. a., mis oli Eestis nähtav peaaegu täielikuna, oli 1927. a. 29. juuni varjutuse „kordumine". Viimane oli meil nähtav ka suurefaasilise varjutusena. (Toimetus.)

1918. a.	1936. a.
8. juunil — täielik päikesevarjutus	19. juunil — täielik päikesevarjutus
24. juunil — osaline kuuvarjutus	4. juulil — täielik kuuvarjutus
3. detsembril — rõngakujuline päikesevarjutus	13. detsembril — täielik päikesevarjutus

Seepärast ei õnnestunudki varjutuste ennustamised muistsel ajal just alati. Näiteks jutustatakse muistsetes hiina kroonikates, et 2137. a. enne meie ajaarvamise algust juhtus päikesevarjutus, mis oli täielikuks üllatuseks kõigile, isegi kuningakoja astronoomidele Hi'le ja Ho'le. Tekkis üldine segadus ja õnnetuil Hi'l ja Ho'l, kes olid kohustatud rahvast informeerima taevastest ilmutustest, raiuti pead maha.

Eelviimast täielikku päikesevarjutust NSVL-is nähti 21. septembril 1941. a. Täieliku varjutuse riba läks Põhja-Kaukaasiast üle Araali mere kuni Vaikse ookeanini.

Viimane täielik päikesevarjutus oli näha NSVL-is 9. juulil 1945. a. (vööndis Leningradi oblastist üle Volga ülemjooksu ja Lõuna-Uurali kuni Kesk-Aasiani). Järgnev täielik päikesevarjutus toimub 12. septembril 1950. a. (nähtav Kaug-Idas) [1].

[1] Lähemad Eestis nähtavad varjutused on kaks täielikku kuuvarjutust 1949. a.: 13. aprillil ja 7. oktoobril. Mõlemad varjutused algavad meil pärast kesköö, kusjuures esimese puhul on vaadeldav ainult algus. (Toimetus.)

VII peatükk.

Planeedid.

Planeetide süsteemi ehitus.

Kuni 1930. aastani oli planeetide süsteemi plaani väga kerge meeles pidada. Suuri planeete oli teada kaheksa ja need jagunesid loomupäraselt kahte võrdsesse gruppi.

Esimesse gruppi kuuluvad Päikesele lähemal asetsevad planeedid: Merkuur, Veenus, Maa ja Marss. Kõik need planeedid on oma füüsikaliste omaduste poolest omavahel väga sarnased. Kuna Maa on neist planeetidest kõige suurem, siis nimetatakse seda gruppi mõnikord ka M a a t ü ü p i planeetideks.

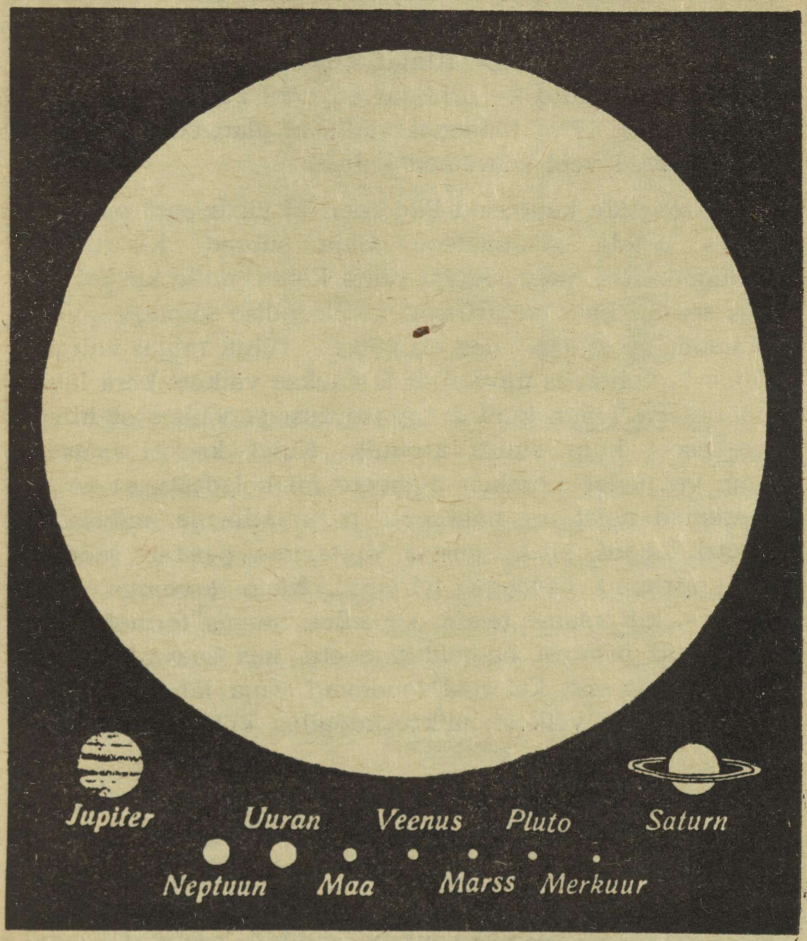
Teise gruppi kuuluvad neli kaugemal asetsevat planeeti: Jupiter, Saturn, Uuran ja Neptuun. Kuna nende mõõtmed on võrreldes esimese grupi planeetidega hiiglaslikud, siis võib neid nimetada hiidplaneetideks ehk planeetideks-hiiglasteks (vt. joon. 42).

Marsi ja Jupiteri vahel, s. o. ruumis, mis lahutab kaht suurte planeetide gruppi, liigub palju väikesi planeete ehk asteroide, mis pole nähtavad palja silmaga.

1930. a. avastati üheksas suur ja kõige kaugem planeet Pluto. Osutus, et tema ei kuulu, õieti öelda, kum-

massegi mainitud gruppidest; kuigi ta liigub hiidplaneetide piirkonnas, on ta mõõtmetelt väiksem Maast.

Kõikide planeetide orbiitide tasapinnad lähevad läbi



Joon. 42. Päikese ja planeetide suhtelised mõõtmed.

Päikese. Ei ole ühtegi orbiidipaari, millede tasapinnad langeksid täpselt kokku. Kuid nurgad orbiitide tasapindade vahel ei ole üldiselt suured. Kui võtta Maa orbiidi tasapind aluseks, siis on ülejäänud kuue suure planeedi orbiitide tasapinnad kallutatud selle tasapinna suhtes nurkade all kõigest 1—3½°. Ainult kahe äärmise planeedi — Merkuuri ja Pluto — orbiidid omavad suuremat kallet, nimelt 7° ja 17°. Mõnedel väikeste planeetide orbiitidel esinevad veel suuremad kalded.

Planeetide kaugused Päikesest ja üksteisest on võrreldes nende mõõtmetega väga suured. Kujutleme 2-kilomeetrise läbimõõduga tühja kohta, mille keskel on üles seatud hele elektrilamp kerakujulise kupliga, mille läbimõõt on 20 cm. See on Päike. Tühja ruumi mitmesugustes kohtades ujuvad õhus üheksa väikest kera läbimõõtudega 1 mm kuni 2 cm (suurusega väikesest hirsiterakesest kuni suure kirsini). Kuigi keskel asetsev lamp valgustab kerakesi-planeete nii heledasti, et kõige suuremad neist on nähtavad palja silmaga mõnesaja meetri tagant, siiski sellele vaatamata paistab vaadeldav piirkond peaaegu tühjana. Meie arvamus jääb samaks, kui saame teada, et selles ruumis tormab veel tuhandeid pisikesi helbeid-komeete, mis saavad nähtavaks ainult siis, kui nad lendavad väga lähedale lambile, ja päris väikesi, mikroskoopilisi kübemekesi-asteroide.

Et pidada meeles planeetide kaugusi Päikesest, koostati aritmeetiline reegel, mida nimetatakse B o d e seaduseks. Võtame rea arvusid 3, 6, 12, . . . , milles iga arv on kaks korda suurem eelmisest, ja kirjutame esimese arvu ette veel ühe liikme — nulli; seejärel lisame igale arvurea liikmele juurde arvu 4. Saadud arvud

kujutavad üsna hästi keskmisi planeetide kaugusi, välja arvatud kõige kaugemad, kui Maa kaugust lugeda 10. See nähtub järgmisest tabelist:

Planeedid	Kaugus Bode seaduse järgi	Tõeline kaugus
Merkuur	0 + 4 = 4	3,9
Veenus	3 + 4 = 7	7,2
Maa	6 + 4 = 10	10,0
Marss	12 + 4 = 16	15,2
Väikesed planeedid* .	24 + 4 = 28	15 kuni 53
Jupiter	48 + 4 = 52	52,0
Saturn	96 + 4 = 100	95,5
Uuran*	192 + 4 = 196	192,2
Neptuun*	—	301,1
Pluto*	384 + 4 = 388	396,0

See reegel koostati siis, kui tärnikesega märgitud planeedid ei olnud veel avastatud. Uurani ja väikeste planeetide avastamine otsekui kinnitas selle „seaduse" õigsust, kuid Neptuun ei rahulda seda seadust. Ja Pluto rahuldaks, kui poleks vahepeal Neptuuni. Seepärast on võimalik, et Bode seadus ei olegi tõeline looduseseadus, näiteks sarnane, nagu on Kepleri kolmas seadus, vaid on ainult juhuslik arvude kokkusattuvus.

Merkuur.

Siirdume nüüd üksikute planeetide vaatlemisele, alates planeedist, mis on kõige lähemal Päikesele. Selleks planeediks on Merkuur — kõige väiksem suurtest planeetidest.

Nähtav liikumine. Et Merkuur asetseb alati maakera orbiidi sees, siis võib öelda, et Maa teeb aasta

jooksul ümber Merkuuri ühe täieliku tiiru, niisama nagu ümber Päikesegi. Seepärast seisneb meile nähtav Merkuuri liikumine kõigepealt selles, et see planeet — nagu Päikegi — läbib aasta jooksul kogu Zodiaagi, liikudes läänest itta. Et aga Merkuur peale selle tiirleb ise veel ümber Päikese, seejuures väga kiiresti (88 päeva jooksul), siis ta kogu aja kas jookseb Päikesele ette või jääb temast maha, kuid ei eemaldu Päikesest ida või lääne suunas rohkem kui 28° võrra. Kui planeet on Päikesest ida pool, siis tõuseb ja loojub ta natuke hiljem kui Päike ja teda võib tähele panna loomulikult ainult pärast Päikese loojumist, seni kui Merkuur ise pole veel jõudnud loojuda. Kui Merkuur asetseb lääne pool Päikest, siis võib näha planeeti otsekohe pärast tema tõusu, seni kui pole veel tõusnud Päike.

Niiviisi ilmub Merkuur ainult eha- või koidutähena: kas õhtul läänes õhtuse eha kiirtes või idas koiduvalguses. Tumeda öise taeva taustal pole teda võimalik kunagi näha.

Planeete, mis liiguvad sel viisil, nimetati vanasti alumisteks, s. o. lähedasteks planeetideks, sest arvati, et nad asetsevad alati meile lähemal kui Päike. Kuid praegu teame, et see pole õige: Merkuur võib peituda hoopis Päikese taha; seda asendit nimetatakse tema ülemiseks ühenduseks (ülemiseks konjunktsiooniks) Päikesega. Pooltiiru järel asetseb ta, vastupidi, Päikese ja Maa vahel, olles niinimetatud alumises ühenduses (konjunktsioonis). Sel ajal läheb ta enamalt jaolt Päikesest mööda kas pisut põhja või pisut lõuna poolt, kuid üsna harva — kord mõne aasta jooksul — juhtub Merkuuri möödumine täpselt Päikese eest. Sel ajal võib pikksilmaga näha Päikese kettal väikest väga musta

ringi, palju tumedamat, kui on Päikese plekid. Viimane Merkuuri möödumine Päikese eest oli 11. novembril 1940. a., järgmine tuleb alles 1953. a. (14. novembril).

Kui Maa oleks liikumatu, siis oleksid alumised ühendused (samuti ka ülemised) kordunud iga 88 päeva järel. Maa liikumise tagajärjel vaheaeg Merkuuri ühesuguste asendite vahel võrreldes Päikesega pikeneb kuni 116 ööpäevani. Seda ajavältet nimetatakse planeedi *sünoodiliseks tiirlemisperioodiks*.

Kuidas leida taevas Merkuuri? Et näha Merkuuri, tuleb teda otsida astronoomilise kalendri abil. Suurem osa aastast on ta peitunud Päikese kiirtesse. Isegi kõige soodsamal kaugenemisel Päikesest ida poole loojub ta meie laiustel kõige hiljem juba tundi poolteist pärast Päikese loojumist. Kuigi niisugused eemaldumised ehk *elongatsioonid* korduvad keskmiselt iga 116 päeva järel, võib hästi näha Merkuuri ainult siis, kui elongatsioon on lähedal kevadisele pööripäevale, kuna sel ajal on vaheaeg Päikese ja Merkuuri tõusude vahel kõige pikem. On kerge välja arvutada, et kõige parem õhtune Merkuuri nähtavuse aeg saabub igal aastal 17 päeva varem. Nii oli 1943. a. Merkuuri kevadine elongatsioon 30. aprillil, 1944. a. — 13. aprillil jne. Nimetatud ajajärkudel võime 10—15 päeva jooksul, ligikaudu ¾ tundi pärast Päikese loojumist, lääne horisondil näha tähte, mis paneb meid imestama oma heledusega: „nähtamatu" planeet Merkuur on ajuti heledam kõikidest kinnistähtedest, välja arvatud Siirius. Mida lähedasem on vaatluskoht ekvaatorile, seda paremini on Merkuur nähtav.

Faaside vahetus ja Merkuuri loomus. Pikksilmaga ei näe me kunagi Merkuuri ümmarguse ket-

tana; alati on ta ühes või teises faasis, just niisama kui Kuu. Ka faaside vahetuste kord ja nende põhjused on Merkuuril samad kui Kuulgi: planeet kujutab endast tumedat kera, mille juures võib näha ainult Päikese poolt valgustatud poolkera. Kuid Maa poole on peaaegu alati pööratud osa valgustatud poolkerast ja osa tumedast; tumedat osa nagu polegi meie jaoks ja planeedi ketast näeme poolikuna.

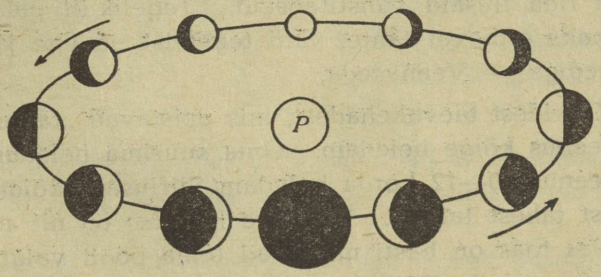
Näitlikult on Merkuuri faase isegi kergem seletada kui Kuu faase. Võtame kera ja liigutame teda ümber lambi. Kui kera on lambi taga väljasirutatud käe kaugusel, kujutab ta planeeti Merkuuri ülemises ühenduses, Päikese taga; suure kauguse tõttu näib Merkuur väikese, kuid seevastu ümmarguse kettana. Nihutame kera veerand ringi võrra ümber lambi paremale või vasakule. Saame „elongatsiooni". Selles asendis on valgustatud ligikaudu pool meie poole pöördud poolkerast. Seda kinnitavad vaatlused: Merkuuril on elongatsiooni lähedal Kuu esimese või viimase veerandi kuju ja tema läbimõõt on suurem kui ülemises ühenduses.

Nihutades kera edasi tema ringteed mööda, näeme, et meie poole pöördub ikka suurem osa tumedast poolkerast, jääb valgustatuks ainult kitsas äär, kitsas sirbike. See tõmbub kokku veel tugevamini ja kaob alumises ühenduses, kui kera on täpselt meie silmade ja lambi vahel (vt. joon. 43).

Pisitillukesel planeedi kettal võib tugevate pikksilmade abil näha mitut tumedat laiku, mis nähtavasti on püsivad. Vaadeldes neid laike tegi itaalia astronoom Schiaparelli avastuse: Merkuur on pöördud Päikese poole kogu aja ühe ja sama poolkeraga, nagu on pöördud Kuu Maa poole. Vaatleja, kes asetseks Päi-

kesel, ütleks, et Merkuur sugugi ei pöörle ümber oma telje. Kuid tegelikult ta pöörleb: ainult tema pöörlemise aeg ümber oma telje võrdub tiirlemise ajaga ümber Päikese, s. o. 88 ööpäevaga.

Ka muus suhtes on Merkuur nähtavasti Kuu sarnane. Tema läbimõõt on suurem Kuu läbimõõdust ainult poolteist korda. Planeedi pind, kuivõrd saab otsustada tema peegeldusvõime järgi, on samuti konarlik ja mägine nagu Kuulgi. Lõppeks sarnlevalt Kuuga on Merkuur nähtavasti ilma atmosfäärita. Märgime veel, et Päike on



Joon. 43. Merkuuri faasid.

Merkuurile 2½ korda lähemal kui Maale ja et ühel tema poolkeral ei looju ta kunagi.

Seepärast ei tule imestada, et planeedi päevasel poolkeral saavutab temperatuur $+330^0$. See on seatina sulamise temperatuur, kõnelemata juba inglistinast. Niisuguse arvu said 1935. a. Wilsoni mäe observatooriumi astronoomid vahenditust mõõtmisest termoelemendi abil, mis oli ühendatud hiigla sajatollise reflektoriga. Merkuuri öisel poolkeral peab olema aga igavene pimedus ja külm.

Veenus.

Heledus. Teine ning viimane sisemistest planeetidest — Veenus — on vastandina peaaegu nähtamatule Merkuurile kõige silmapaistvam taevakeha taevas pärast Päikest ja Kuud. Merkuuri näevad ainult astronoomid ja astronoomid-asjaarmastajad. Kuid „ehatähte" panevad tähele isegi need inimesed, kes ei tunne ühtegi tähte ja ühtegi planeeti. Peaaegu niisama tuntud on „koidutäht". Nii eha- kui ka koidutähest on kõikidel rahvastel hulk legende ja muistendeid, mõlemaile neist on pühendatud rida ilusaid kunstiteoseid. Tegelikult pole need aga kaks erinevat tähte, vaid tegemist on ühe ja sama planeediga — Veenusega.

Kõikidest taevakehadest, mis paistavad „tähtedena", on Veenus kõige heledam. Oma suurima heleduse ajal on Veenus 10—12 korda heledam Siiriusest, kõige heledamast tähest taevas. Veenuse heledus on nii suur, et pimedas toas on hästi nähtavad tema poolt valgustatud esemete varjud. Kõikidest tähtedest ja planeetidest võib ainult teda näha palja silmaga päeval, päikesevalguse käes. Esimese Maailmasõja ajal, 1914. ja eriti 1916. a., saadi observatooriumides sageli kirju frondilt teadaannetega tähe ilmumise kohta päevases taevas. See oli Veenus, mida kergesti märgati vaenlase lennukite jälgimisel.

Nähtav liikumine. Veenuse nähtav liikumine on väga sarnane Merkuuri liikumisega. Nagu Merkuurgi kõigub ta Päikese ümber, ilmudes temast kord ida pool, kord lääne pool, ainult kõikumise periood on viis korda pikem, ja suurim eemaldumine Päikesest on kaks korda suurem kui Merkuuril. Kõikumise periood, s. o. Veenuse sünoodiline tiirlemine kestab 584 päeva ning ida-

ja läänepoolsed planeedi elongatsioonid võivad saavutada 48^0.

Tegelik Veenuse tiirlemisperiood ümber Päikese (selle planeedi aasta) on 225 ööpäeva. Aja jooksul, kui Maa teeb ümber Päikese 8 ringi, teeb Veenus 13, ja mõlemad planeedid tulevad jälle peaaegu samasse suhtelisse asukohta, kus nad olid 8 aastat tagasi. 8 aasta jooksul teeb Veenus 5 sünoodilist tiiru ja on 5 korda idapoolses elongatsioonis, s. o. parimates tingimustes vaatlemise jaoks, kui ta on nähtav suurepärase ehatähena. Viimase kaheksa aasta jooksul langesid need elongatsioonid järgmistele päevadele:

1937. a. 5. veebruaril	1941. a. 23. novembril
1938. a. 11. septembril	1943. a. 28. juunil
1940. a. 17. aprillil	1945. a. 4. veebruaril.

Tabelikesest nähtub, et alates 1945. a. hakkavad need nähtused jälle korduma peaaegu samadel kalendripäevadel.

1945. aastal oli Veenus peaaegu täpselt niisama nähtav kui 1937. aastalgi, kuid 1948. a. kevadel saab teda vaadelda eriti soodsates tingimustes, niisamasugustes nagu 1940. ja 1916. a.

Veenuse üleminekud Päikese kettast. Sarnlevalt Merkuuriga, kuid palju harvemini asetseb Veenus mõnikord täpselt Päikese ja Maa vahel ja sel ajal võib vaadelda tema üleminekut Päikese kettast. Säärased üleminekud toimuvad paariviisi — kaks 8 aasta pärast üksteise järel, siis aga rohkema kui saja aasta jooksul ei ühtegi. Viimast kaht paari üleminekut vaadeldi 6. juunil 1761. a. ja 3. juunil 1769. a., siis 9. detsembril 1874. a. ja 6. detsembril 1882. a. Omal ajal äratasid need üleminekud endi vastu peaaegu niisama-

sugust huvi, mida nüüd tekitavad täielikud päikesevarjutused, ja nende vaatlemiseks organiseeriti ka kaugeid ja kulukaid ekspeditsioone. Asi seisneb selles, et kui vaadelda üleminekut maakera pinna mitmesugustest punktidest, siis võib niisugustest vaatlustest välja arvutada Päikese kauguse Maast, s. o. astronoomilise ühiku. Nüüd aga on avastatud selle ühiku täpsemad ja hõlpsamad määramise viisid ja Veenuse üleminekud on kaotanud oma tähtsuse. Pealegi ei tule neid enne 2004. a.

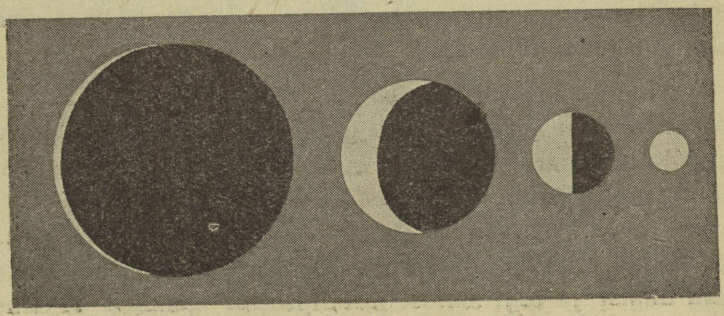
Veenus pikksilmaga vaadelduna. Juba nõrga pikksilmaga on näha, et Veenus vahetab faase nagu Merkuurgi. Galilei avastas 1610. a. väga kergesti Veenuse faasid ja sai kohe aru, et need kinnitavad Kopernikuse süsteemi. Tõepoolest, kui Veenus tiirleks ümber Maa, olles alati Maa ja Päikese vahel (nagu arvas Ptolemaios), siis näeksime alati valgustatuna vähem kui pool ketast. Kuid Galilei veendus, et Veenus omab kord kitsa sirbi, kord peaaegu täieliku ketta kuju. Järelikult ei tiirle ta mitte ümber Maa, vaid ümber Päikese, ja õigus pole mitte Ptolemaiosel, vaid Kopernikusel.

Koos faaside muutumisega muutub Veenusel väga tugevasti ka nähtav läbimõõt (vt. joon. 44). See toimub muidugi sõltuvalt sellest, kui kaugel on ta Maast. Ülemise ühenduse lähedal esineb ta peaaegu täieliku kettakesena, kõigest 10″ läbimõõduga (isegi Merkuuril on läbimõõt mõnikord suurem). Alumise ühenduse puhul võib tema läbimõõt ulatuda terve minutini, kuid seevastu tema sirp muutub selleks ajaks peenikeseks kui juuksekarv, sest meie poole on pööratud ainult valgustatud poolkera kitsas serv.

Kõikidest planeetidest on Veenus meile kõige lähedasem, sest alumises ühenduses läheneb ta Maale kuni

kauguseni kõigest 40 miljonit km. Samal ajal on ta kõikidest planeetidest kõige tundmatum; me teame temast vähem kui Neptuunist, mis asetseb peaaegu sada korda meist kaugemal.

Kõigepealt peab tähendama, et Veenuse kettal pole mingisuguse pikksilmaga vaadates õieti midagi näha peale valge ühtlase pinna, mis on palju heledam kui Merkuuri oma. Tõsi küll, on avaldatud hulk jooniseid, milledel vaatlejad on katsetanud edasi anda vaevalt



Joon. 44. Veenuse nähtava läbimõõdu muutumine.

märgatavaid segaseid varje, mis on tähele pandud nende poolt sellel planeedil. Neil varjudel on enamasti ribade kuju, mis on ligikaudu paralleelsed Veenuse sirbi valgusepiiriga. Praegusel ajal on peaaegu väljaspool kahtlust, et enamik neist laikudest on tingitud mingisugusest optilisest illusioonist: kõrvuti teravalt joonestatud planeedi heleda servaga näeb meie silm sellele paralleelset tumedat riba.

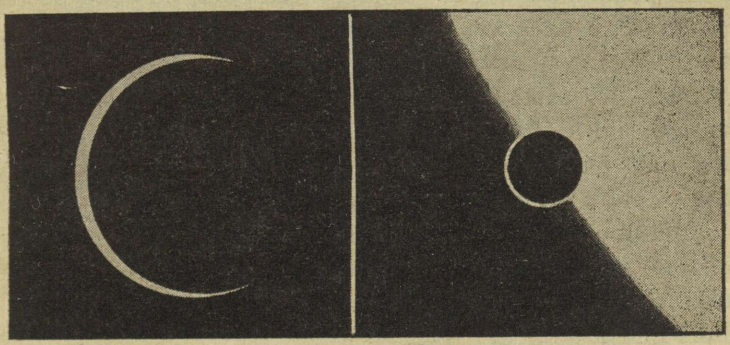
See on tõestatud Wright'i ja Ross'i fotograafiliste pildistustega 1927. a. hiigla ameerika reflektorite abil läbi mitmesuguste valgusfiltrite. Üles-

võtted kiirtes, milledele on tundlik meie silm, samuti aga ka infrapunastes kiirtes ei avastanud planeedil mingisuguseid laike. Midagi ei läinud korda näha ka silmaga isegi sajatollise teleskoobi abil. Ainult ülesvõtetel ultravioletseis kiirtes, mis on nähtamatud silmale, leidusid selgesti nähtavad tumedad ribad. Kuid need ribad ei olnud rööbiti valguspiirile, nii nagu joonistavad vaatluste tegijad, vaid risti sellega. Võimalik, et kui ei oleks fotografeeritud mitte Veenuse sirpi, vaid tervet ketast, siis oleks sellel vahest saadud ribad, mis oleksid olnud rööbiti planeedi ekvaatorile. Sääraseid ribasid vaadeldakse, nagu näeme edaspidi, Jupiteri peal.

Veenuse loodus. Kõik see seletub lihtsalt. Veenuse valge pind on meie pikksilmadele läbitungimatu pilvede kiht, millega alati on täidetud planeedi atmosfäär. Selle atmosfääri olemasolu aimas juba Lomonossov. Vaadeldes Veenuse üleminekut 1761. a., pööras ta tähelepanu heledale rõngale planeedi musta kera ümber ja tegi sellest järelduse, et „planeet Veenus on ümbritsetud ulatusliku õhulise atmosfääriga, niisugusega (kui mitte suuremaga), mis ümbritseb meie maakera" (vt. joon. 45, parempoolne).

Veenduda atmosfääri olemasolus Veenusel võime ka ära ootamata tema üleminekut Päikese kettast. Kui Veenus läheneb oma alumisele ühendusele, paneme tähele pikksilmaga vaadeldes nähtust, mida ei märgata Kuu ega Merkuuri puhul: Veenuse kitsas sirp venitub välja, püüab haarata üle poole ringist ja lõppeks tema sarved ühtuvad; saab läikiv kitsas võru. See ongi Veenuse atmosfäär, mis on valgustatud tagant Päikese poolt, omamoodi hämarik planeedi öise ja päevase poolkera vahepiiril (vt. joon. 45, vasakpoolne).

Kuid see pole atmosfäär, vaid pigemini Veenuse stratosfäär — tema läbipaistvaim ja hõrendatuim osa, mis asetseb kõrgemal meile planeedi nähtava pinnana esinevast tihedate pilvede kihist. Selles stratosfääris tekivadki need ebaselged moodustised, mida leiame Rossi ultravioletsetel ülesvõtetel ja mida ta peab millekski meie atmosfääri kõrgeimate kiudpilvede taoliseks.



Joon. 45. Tõendid atmosfääri olemasolu kohta Veenusel.

Planeedi enda pinda aga me arvatavasti kunagi ei näe. Seepärast on praegusenii täiesti teadmata isegi see, kui pika aja jooksul Veenus pöörleb ümber oma telje. Kindlasti võib ainult öelda, et ta pöörleb tunduvalt aeglasemalt kui Maa, kuid kiiremini Merkuurist. Rossi arvates võib Veenuse pöörlemise periood olla 20—30 meie Maa ööpäeva.

Atmosfääri koostis. Veenuse atmosfääri koostise küsimus on äärmiselt huvitav. Veenus on Maa naaber ja tema kaksik mõõtmete järgi; tõmbejõud on mõlemal planeedil peaaegu ühesugune; kuigi

Veenuse temperatuur on kõrgem Maa omast Päikese läheduse tõttu, siiski ei saa vahe olla suur. Seepärast kui Veenuse atmosfäär omab peaaegu samasugust koostist kui Maa atmosfäär, siis võiks Veenusel areneda ka elu, mis on sarnane eluga Maal.

Planeedi atmosfääri olemust võib lahendada spektraalne analüüs. Kui planeedil pole atmosfääri, siis on tema spekter täiesti sarnane Päikese spektriga; planeet ainult peegeldab tagasi Päikese valgust, midagi selles muutmata. Niisugune on näiteks Kuu spekter; see erineb Päikese spektrist ainult oma väiksema heleduse poolest. Kujutleme nüüd, et planeet on ümbritsetud gaasiga, mille jooni ei ole Päikese spektris. Päikesekiir, mis peegeldub tagasi planeedi pinnalt, oma teel Maale läbib gaasilist atmosfääri kaks korda — kuni peegeldumiseni planeedi pinnalt ja pärast. Gaasis Päikese valgus mõningal määral neeldub ja harilikele Päikese spektri joontele lisanduvad veel planeedi atmosfääri gaasi jooned.

Kui aga planeedi atmosfäär sisaldab gaasi, mida on ka Päikese peal [1], siis on selle gaasi jooned nähtavad planeedi spektris tugevdatult, võrreldes Päikese harilikku spektriga. Seepärast fotografeeritakse planeedi atmosfääri uurimiseks tema spekter ja võrreldakse joon joone järele teda Kuu spektriga, mis pildistatakse samal ööl ja samal plaadil.

Seda moodust kasutatigi Veenuse spektri uurimisel Mount-Wilsoni mäel asuvas observatooriumis 1922. a. Tulemus oli ootamatu: ei osutunud vähimatki vahet Veenuse ja Kuu spektrite vahel, ei leitud mingisuguseid

[1] Või Maa atmosfääris, mille jooned on nähtavad ka Päikese tsentris. (Toimetus.)

jälgi hapniku ja vee aurude joontest, mille olemasolus olid uurijad peaaegu veendunud. Ja astrofüüsikud püstitasid lohutamatu hüpoteesi, et pilved Veenusel ei koosne mitte veepiiskadest nagu Maa peal, vaid tolmust, mida keerutab üles tuul tuliselt ja veetult planeedi pinnalt.

Kümme aastat hiljem kordasid sama observatooriumi astronoomid katset avastada hapniku ja veeaurude jooni Veenuse spektris veel võimsama spektrograafiga. Mingisuguseid jälgi neist joontest nad nagu varemgi ei leidnud. Kuid seevastu ülesvõtetel spektri infrapunases osas avastati täiesti ootamatult kolm joonte gruppi, mida ei ole Päikese spektris. Algul oli teadmata, millisele ainele need kuuluvad. Ainult pärast tervet rida laboratoorseid katseid selgus, et need on süsihappegaasi jooned.

Meenutagem, et süsihappegaas on raske gaas, mis Maa peal koguneb suurel hulgal vaid maakera pinna lähedal. Kõrgemais atmosfääri kihtides on tema kogus tähtsusetu, ligikaudu 0,03% mahust, ja stratosfääris on teda arvatavasti veel vähem. Veenusel aga, isegi kõige kõrgemais kihtides, on teda tuhandeid kordi suuremates kogustes, s. o. ta esineb atmosfääri peamise koostusosana.

Kõik need napid ja maisest seisukohast kummalised avastused käivad ainult atmosfääri ülemiste osade kohta, mis asetsevad läbitungimatute pilvede kihi peal. Pilvede endi olemuse ja selle kohta, mis on varjatud nende all, võime seni avaldada vaid arvamusi. On võimalik näiteks, et Veenus elab praegu üle tugevaimat vulkaanilise tegevuse ajajärku, sest Maa peal on peamisteks süsihappegaasi allikateks vulkaanid.

Kui Veenuse pilvine kate kas või harvagi käriseb ja kui seal leidub inimsilmadega sarnlevaid silmi, siis näevad need öises taevas haruldaselt kaunist kaksiktähte, mis osaliselt näib Veenuse kaaslasena, mida tal enesel ei ole. See on meie Maa oma kaaslase Kuuga.

Kujutlege sinakasvalkjat tähte, korda kuus heledamat kui Veenus tema suurima heleduse puhul, ja tema kõrval punakat taevakeha säärase heledusega, kui on Jupiter või Marss. Need taevakehad kord lähenevad kuni täieliku liitumiseni, kord kaugenevad, kuid nende vahemaa ei ulatu kunagi poole kraadini, s. o. kuni Kuu läbimõõduni, nagu see paistab maapealsele vaatlejale. Nii on nähtav Maa Veenuselt nende planeetide kõige suurema lähenemise ajal. Maa elanikkudele on Veenus siis alumises ühenduses Päikesega ja on pöördud meie poole oma tumeda poolkeraga. Kuid Maa on sel ajal nähtav Veenuselt täiskettana samasuguse läbimõõduga, kui Veenus on nähtav Maa pealt. Just sellepärast peab näima Maa Veenuselt nii heledana, kuigi Päike valgustab tema pinda kaks korda nõrgemini kui Veenuse oma (suurema kauguse tõttu).

Kui kujutleda Veenusel astronoome samasuguste pikksilmadega kui meie omad, siis peaks Maa-Kuu-süsteem esinema neile huvitavaima teleskoobilise pildina. Nad märkavad kergesti kontrasti elutu Kuu ja elava muutliku maise maailma vahel. Maa pole neile sugugi nähtav selgelt joonestatud gloobusena mannerde ja ookeanide teravate kontuuridega. Need, kes teda nii kujutavad, unustavad Maa atmosfääri, see aga esimeses järjekorras puutubki silma. Heledad valged pilvede

laigud roomavad pidevalt mööda maist ketast, kattes mõnikord hiigla alad. Ainult nende avamikkude vahelt võib näha tumedate ookeanide ja heledamate mannerde kontuure. Kuid need peaksid olema väga ähmaselt nähtavad läbi sinaka atmosfääri vine.

Maaketta valgete laikude hulgast eristab vaatleja kergesti kaht suurt liikumatut laiku, mis asetsevad diametraalselt teineteise vastas, ja võib märgata nende kasvu ja kahanemist seoses aastaaegadega. Need on igavesed jääväljad mõlema pooluse ümber. Raskem on vaatlejal avastada aastaaegade mõju mannerde värvi muutumisele, näiteks üleminekut tumerohelisest kevadisest metsade ja põldude värvusest sügisesele kollasele toonile.

Maa ookeanide tumedal foonil näeks Veenusel kujutletav astronoom valget laigukest, mis on palju heledam kui pilved ja polaarjääd. See on Päikese peegeldus kumeral ookeani pinnal, samasugune, nagu me teda korduvalt oleme näinud igasugusel läikival keral.

Lõppeks märgime, et kui meie kujutletav vaatleja kasutaks samasuguseid instrumente kui Maa astronoomid, siis on peaaegu kindel, et ta ei suudaks avastada Maa peal mingisuguseid kindlaid tunnusmärke elavate olendite, eriti aga inimese olemasolust.

Marss.

L i i k u m i n e. Marss on esimene v ä l i s t e s t ehk ü l e m i s t e s t planeetidest, millede orbiidid asetsevad väljaspool maakera orbiiti. Seepärast võivad nad eemalduda Päikesest ükskõik millisele nurkkaugusele. Mida suurem on see kaugus, seda hõlpsam on vaadelda planeeti.

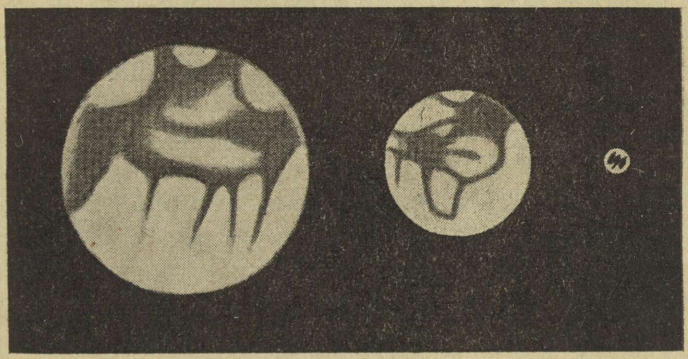
Kui ta saavutab 180^0, saabub niinimetatud planeedi opositsioon (vastasseis), sest ta asetseb taevasfääri punktis, mis on vastupidine Päikesele. Sel ajal tuleb planeet Maale kõige lähemale. Peale selle tõuseb ta siis ligikaudu Päikese loojumise momendil ja loojub peaaegu üheaegselt Päikese tõusuga. Seepärast võib planeeti ta opositsiooni ajal vaadelda kogu öö, ehast koiduni.

Marss teostab ühe tiiru ümber Päikese 687 ööpäeva jooksul. Kui ta tiirlemisperiood oleks täpselt 2 aastat, siis korduks ta opositsioon samuti täpselt 2 aasta pärast. Kuid tegelikult korduvad opositsioonid keskmiselt 2 aasta 50 päeva pärast. Niisugune on s ü n o o d i l i n e Marsi tiirlemisaeg. Sellest järgneb, et aastad, mis on soodsad või ebasoodsad Marsi vaatlemiseks, vahelduvad, kusjuures iga kahe aasta tagant korduv parim planeedi nähtavuse ajajärk saabub peaaegu kahekuuse hilinemisega. Näiteks oli Marss opositsioonis 1937. a. mais, kuid 1938. a. oli ta kogu aja Päikese lähedal ja me teda peaaegu ei näinudki. Seevastu 1939. a. suve õhtutel pöörasid kõik oma tähelepanu heledale punasele tähele lõuna horisondi kohal, sest opositsioon oli selle aasta juuli lõpul.

Mitte kõik opositsioonid ei ole ühteviisi soodsad vaatlusteks, sest Marsi orbiit erineb ringist tugevamini kui Maa orbiit ja vahemaa nende orbiitide vahel on mitmesugustes punktides erinev. Kui Maa ja Marss kohtuvad kevadel, siis ületab kaugus nende vahel 100 miljonit km. Kui aga opositsioon langeb suve lõpule, siis väheneb kaugus mõnikord kuni 55 miljoni km-ni. Neid eriti lähedasi opositsioone nimetatakse s u u r t e k s. Need korduvad 15 või 17 aasta tagant. Selline oli opositsioon 23. juulil 1939. a., kui Marss lähenes Maale 58 miljoni km kauguseni.

Peaaegu niisamasugune soodus opositsioon oli 10. oktoobril 1941. a. (kaugus 61 miljonit km). 5. detsembri 1943. a. opositsiooni ajal ületas Marsi kaugus Maast juba 80 miljonit km. Järgmine opositsioon, mis saabus 1946. a. algul, oli veelgi ebasoodsam.

Heledus ja nähtavad mõõtmed. Marsi nähtav heledus muutub väga tugevasti. Kui ta on kaugel Päikese taga, näib ta ainult pisut heledamana kui Põhjanael, kuid suurte opositsioonide ajal muutub ta



Joon. 46. Marsi nähtava suuruse muutused tema mitmesuguste kauguste puhul Maast.

60 korda heledamaks ja jääb heleduse poolest maha ainult Veenusest. Kuid ka selles kõige lähedasemas kauguses on Marss meist ikkagi sada viiskümmend korda kaugemal kui Kuu ja on pikksilma abil nähtav kettana, mille läbimõõt on ainult 25″. See on 70 korda väiksem kuuketta nähtavast läbimõõdust (joon. 46).

Suuname opositsiooni ajal Marsile pikksilma, mis suurendab 400 korda (tugevamat suurendust kasutatakse Marsi vaatlustel harva). Niisuguse pikksilmaga vaadel-

duna on Marsi kujutisel samasugused mõõtmed kui Kuul kuuekordse välibinokliga vaadelduna.

Kuid sellel küllaltki suurel kettal näeme vähem üksikasju, kui on näha Kuul binokliga vaadeldes, sest mida tugevam on suurendus, seda tuhmimaks muutub planeedi ketas. Seda on kasulik meenutada iga kord, kui on kõne „elust Marsil". Tõepoolest, mida võiks öelda küsimuse kohta elust Kuul, kui vaatleksime teda ainult läbi binokli?

Pöörlemine ümber telje ja aastaajad. Ometi on Marsil näha palju rohkem üksikasju kui Merkuuril ja Veenusel. Juba XVII sajandil pandi Marsi peal tähele püsivaid tumedaid laike ja märgati, et need laigud liiguvad mööda planeedi ketast, kaovad ära tema ühel serval ja seejärel ilmuvad vastaspoolsel serval. See tähendab, et planeet pöörleb ümber oma telje, kusjuures pöörlemise periood võrdub 24 tunni 37 min. 22 sekundiga. Niiviisi on Marsi ööpäev ainult natuke üle poole tunni pikem Maa ööpäevast. Marsi pöörlemise telg nagu Maa telgki ei ole risti planeedi orbiidi tasapinnaga, vaid moodustab selle ristsuunaga nurga umbes 25^0. Meenutagem, et Maal on see nurk peaaegu samasugune, nimelt $23\frac{1}{2}^0$.

Niiviisi on Marss mõnes suhtes sarnane Maaga. Tema pinnal toimub päeva ja öö vahetus, ka aastaaegade muutused toimuvad niisamuti kui Maa pealgi, kuid iga aastaaeg vältab peaaegu kaks korda kauemini, kuna Marsi aasta on pikem Maa aastast.

Vesi ja atmosfäär Marsi peal. Kuulus hollandi teadlane Huygens avastas 1672. a., et punakaskollasel Marsi kettal on peale tumedate laikude kaks väga märgatavat valget laiku. Need asetsevad planeedi

kahes diametraalselt vastasolevas punktis ja ei võta peaaegu osa tema ööpäevasest pöörlemisest. See tähendab, et nad asetsevad Marsi pooluste lähedal. Seejuures alluvad nad tunduvatele muutustele, mis on seoses aastaaegadega. Kui poolus hakkab pöörduma Päikese poole, siis lõpeb vastaval Marsi poolkeral talv. Sel ajal osutub polaarlaik väga suureks. Kuid kevade saabumisel, sedamööda kuidas poolus ikka rohkem pöördub Päikese poole, väheneb laik ruttu; kui poolus pöördub ära Päikese poolt, siis laik jällegi suureneb. Võib pidada tõestatuks, et need polaarlaigud koosnevad jääst või lumest, mis sulab Päikese suviste kiirte all otsekui polaarjääd Maa peal.

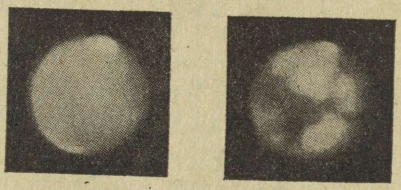
Niisiis on Marsi peal vesi, mis nagu Maa pealgi teostab korrapärase ringkäigu aastaaegade muutumisega: sulab, aurab ja külmub uuesti. Niisugune vee ringkäik osutab sellele, et ümber Marsi on atmosfäär, mis ei sisalda muidugi mitte ainult veeaure.

Kuid Marsi sarnasus Maaga ei ole nii suur, kui see võib paista esimesel silmapilgul. Kõigepealt on veehulk Marsi peal tunduvalt väiksem kui Maa peal; see nähtub sellest, et Marsi polaarmütsid sulavad palju kiiremini kui maapealsed. Sageli kaovad nad isegi täielikult, mida kunagi ei juhtu jääga Maa pooluste ümber. Seejuures saab Marss Päikeselt kaks korda vähem soojust kui Maa. Seepärast tuleb polaarjääde kadumist seletada sellega, et Marsi peal ei ole nad kaugeltki nii võimsad kui meie planeedil.

Pilved tekivad Marsi peal väga harva. Mööduvad mõnikord terved kuud, millede jooksul kogu meie poole pöördud planeedi poolkeral pole näha ühtegi pilvekest (Maa peal muidugi ei ole ühtegi säärast hetke). Iga lii-

kuva valge laigukese ilmumine Marsi kettale on terve astronoomiline sündmus, ja juhuseid, mil Marsi peal oleks tähele pandud korraga kas või 3—4 pilvekest, vist pole üldse olnud.

Niiviisi on Marsi atmosfäär palju kuivem Maa omast; peale selle on Marsi atmosfäär palju hõredam meie atmosfäärist. Hapniku ja veeauru jooned Marsi spektris on niivõrd nõrgad, et Marsi spekter suuremalt osalt osutub täiesti ühesuguseks Kuu spektriga, kuna Kuu teatavasti ei oma atmosfääri. Nii oli näiteks 1925. a., kui A d a m s'il



Joon. 47. Fotoülesvõtted Marsist violetses ja punases värvuses; nende võrdlemine näitab, et Marss on ümbritsetud atmosfääriga.

ja S a i n t - J o h n'il Mount-Wilsoni observatooriumis õnnestus isegi mikrofotomeetriga mõõta hapniku ja veeauru joonte intensiivsust planeedi spektris. Kuid selgi aastal osutus nende arvestuste järgi Marsi pinna lähedal hapnikku vähem kui Maa kõige kõrgema mäe Everesti tipul.

Igal juhul on Marsi peal atmosfäär olemas, kuigi äärmiselt hõre. Seda tõestas W r i g h t Lick'i observatooriumis 1924. a. Ta fotografeeris planeeti läbi valgusfiltrite kord punastes, kord violetsetes kiirtes. Osutus, et mitmesugustes värvustes omab planeet erinevat ilmet. Näiteks punases valguses tulid tumedad plekid teravamalt nähtavale (joon. 47) kui pikksilmaga vaadelduna. Vio-

letses valguses vastupidi olid nad peaaegu märkamatud. Sellest järeldas Wright, et Marss on ümbritsetud atmosfääriga. See atmosfäär laseb halvasti läbi violetseid kiiri, kuid väga hästi punaseid. Seepärast annavad violetsed ülesvõtted planeedi „atmosfäärilise kera" kujutise. Kuni planeedi pinnani Päikese spektri violetsed kiired peaaegu ei jõuagi, vaid peegelduvad ja paiskuvad laiali juba ülemistes atmosfääri kihtides. Seevastu läbivad punased kiired kergesti atmosfääri kuni planeedi kõva pinnani ja sealt tagasi pärast sellel peegeldumist, andes ülesvõttel Marsi pinna kujutise.

Meenutagem, et Veenuse puhul on olukord vastupidine: laigud tulevad nähtavale ainult ultravioletsetel ülesvõtetel, punastel ei ole aga näha mingisuguseid üksikasju.

Marsi kliima. Et Marss on võrdlemisi kaugel Päikesest, saab ta kaks korda vähem soojust ja valgust kui Maa. Peale selle on ta ümbritsetud atmosfääriga, mis on Maa omast palju hõredam. Seepärast peab Marsi peal olema palju külmem kui Maa peal.

See arvamus on leidnud kinnitust vaatlustest, mis on tehtud eriliselt tundliku riistakese termoelemendi abil. Riist mõõdab ära selle kasina soojusehulga, mis jõuab meieni tähtedelt ja planeetidelt. Ameerika astrofüüsik Coblentz oskas termoelemendile anda erakordselt miniatuursed mõõtmed, nii et teda võis paigutada igasse pisitillukesse (läbimõõduga mitte üle 2 mm) planeedikujutise punkti, mis saadi suure reflektori fookuses. Mõõtes termoelemendis tekkiva voolu tugevust, võis ta kindlaks määrata soojusehulga, mis saabub meieni planeedi ketta mitmesugustest kohtadest. Nende and-

mete alusel arvutati välja temperatuur planeedi pinna mitmesugustes osades.

Coblentzi mõõtmiste järgi tõuseb temperatuur Marsi ekvaatoril kuni $+10^0$ või $+20^0$, kuid isegi seal on ta Päikese tõusu ajal ainult -45^0 ja Päikese loojangu ajaks langeb juba kuni 0^0-ni. Päikese poolt valgustatud polaarses piirkonnas märgiti -60^0 kuni -70^0, mis on palju madalam temperatuur kui Maa polaarmaade suvine temperatuur. Coblentzi arvates langeb öösel Marsi temperatuur igal aastaajal kuni -80^0-ni, võib-olla koguni madalamale.

Marsi pind. Isegi tugevamate pikksilmade abil vaadelduna on laigud Marsi peal suuremalt osalt nähtavad ebaselgelt. Nende uurimiseks on tarvis erakordselt läbipaistvat ja vaikset atmosfääri, head instrumenti ja osavat vaatlejat. Juhuslikud observatooriumi külastajad ei näe harilikult Marsi peal peaaegu midagi. Seepärast soovitavad naljahambad Marssi parem mitte näidata, et mitte külastajates esile kutsuda umbusku Marsi kujutiste vastu, mida kõik on näinud populaarteaduslikes artiklites ja raamatutes.

Neid kujutisi peavad lugejad harilikult päevapildistusteks, kuid tegelikult on need lihtsalt joonised, mis on tehtud pikksilmaga vaadeldes. Nendel on kujutatud kõik, mida vaatlejal läks korda näha planeedil. On arusaadav, et üksikasju, mida ta suure vaevaga suutis märgata, oli võimatu joonistada nii, et need oleksid joonisel vaevalt nähtavad. Seepärast kujutavad kõik joonised Marssi palju selgemini, kui ta tegelikult on nähtav. Peale selle on need joonised muidugi väga „subjektiivsed", s. o. — lihtsalt öeldes — alati enam-vähem ekslikud, sest

erinevad inimesed näevad ja joonistavad mitut viisi seda, mida nad näevad nõrgalt.

Marsi pinna fotografeerimine annab selle (nagu üldse planeetide) uurimiseks seni väga vähe. Asi seisneb selles, et planeetide kujutised saadakse fotoplaadil väga väikesed. Marss näiteks, fotografeeritud isegi kõige võimsama instrumendiga, osutub kettakeseks, mille läbimõõt pole üle 2,5 mm. Niisugusel kettakesel on isegi läbi luubi vähem näha, kui näeb silm keskmise suurusega pikksilma abil.

Marsi pinnal on kahesugused piirkonnad — heledad ja tumedad. Esimesed on punakaskollase, teised — rohekashalli värvusega. Heledaid piirkondi on nimetatud mannerdeks ja saarteks, tumedaid — meredeks, järvedeks, lahtedeks nagu Kuu omigi. Kuu „merede" kohta on ammu teada, et neis ei ole vett. Mis aga puutub Marsisse, siis arvati kaua aega, et tema „mered" tõesti on veebasseinid. Vastupidiselt Maa meredele katavad Marsi „mered" vähema kui poole planeedi pinnast, mitte aga rohkem, ja ümbermaailmareisi võib Marsil teostada mööda lausat mannermaad.

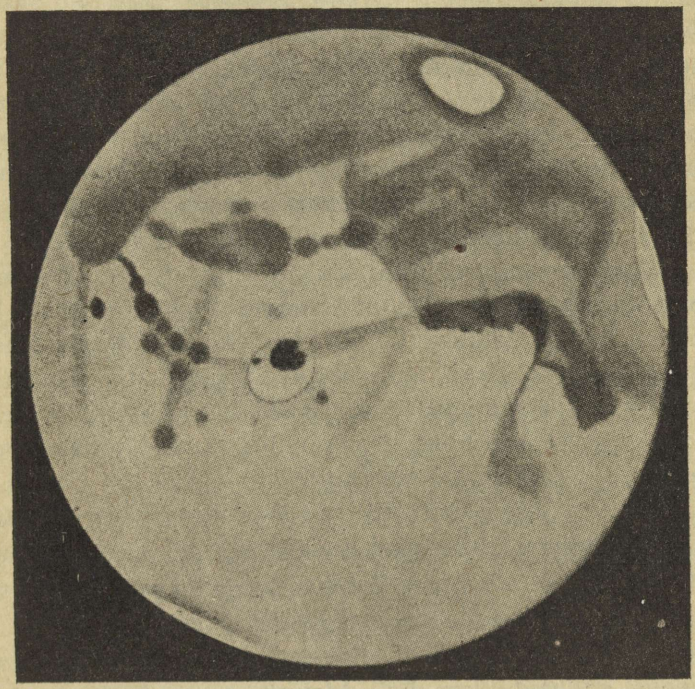
„Marsi kanalid". Huvi Marsi vastu, mis praegu avaldub kõige laiemates ringides, sai oma alguse suurest opositsioonist 1877. a. Selle opositsiooni ajal avastati Marsi juures kaks väikest kaaslast, ja seejärel algas samal aastal oma uurimistöid Marsi üle itaalia astronoom Schiaparelli. Ta koostas oma vaatluste alusel planeedi kaardi, mis oli palju täpsem ja üksikasjalikum kui kõik varajasemad kaardid. Oma töö ajal avastas Schiaparelli, et Marsi heledad mandri osad on läbistatud paljude kitsaste tumedate joontega. Neid jooni nimetas ta „kanaliteks", mis itaalia keeles tähendab niihästi kana-

leid meie mõiste järgi kui ka väinu. Kuid teistes keeltes tähendab sõna „kanal" harilikult kunstlikku ehitust. Selles mõttes saadi aru ka Schiaparelli avastustest, aga kui on kord olemas ehitused, siis peavad olema ka ehitajad.

Sellest ajast peale on inimkonna kujutlusse tekkinud „marslased", targad olendid kõrge tehnilise kultuuriga, sest ainult niisugused olendid võisid ehitada Marsi peale hiigla võrgu usutamatult laiu ja pikki kanaleid. Ja tõesti on Marss niivõrd kaugel, et tume vööt tema pinnal võiks olla nähtav ainult sel korral, kui selle laius on rohkem kui 30 km. Tugevaimate teleskoopidega vaadeldes näiks see vööt nii peenikesena nagu ämblikuvõrgu niit. Samal ajal aga ei näi Schiaparelli kanalid sageli mitte väga kitsastena, nii et nende tegelik laius võiks ulatuda kuni 200—300 km-ni. Nende pikkus on tuhandeid kilomeetreid. Schiaparelli märkis oma kaartidele üle saja kanali, mis moodustavad korrapärase geomeetrilise võrgu, korrapärasema, kui on näiteks mõne maakera riigi raudteede võrk.

Schiaparelli avastus võeti algul vastu umbusklikult, kuid järk-järgult selgus, et Marsi pinna neis kohtades, kuhu Schiaparelli oli joonistanud tumeda sirgjoone, on tõesti mingisugused nõrgad moodustised, mis suuremale osale vaatlejaist jätavad sirgjoone mulje. Aja jooksul hakkasid ka teised astronoomid nägema neid jooni. Kuid ühtlasi ilmnesid suuremate kogemustega vaatlejate vahel tähelepanuväärsed lahkuminekud. Näiteks nägi ameeriklane Lowell Marsi peal veel rohkem kanaleid kui Schiaparelli. Lowelli kaartidel on Marss kaetud korrapäraste peenikeste joonte keerulise ornamendiga, otsekui oleks mähitud ämblikuvõrku. Pickering aga, kes

vaatles Marssi vaheldumisi Lowelliga sama teleskoobi abil, nägi palju vähem kanaleid ja joonistas need kaardile laiade kõverate vöötide näol kümmekond korda laiematena kui Lowell.



Joon. 48. Marss 1909. a. (Antoniadi joonis).

Praegusel ajal võib „kanalite" küsimust pidada lahendatuks, tänu vaatlustele instrumentidega, mis on palju tugevamad kui Schiaparelli ja Lowelli teleskoobid. Eriti veenvad on Antoniadi vaatlused suure opositsiooni ajal 1909. a. Kuni ta vaatles Marssi võrdlemisi nõrga instrumendiga, nägi ta „kanaleid" harilikul korra-

pärasel kujul. Mõne päeva pärast hakkas ta vaatlusi tegema Meudoni observatooriumi refraktori abil, mis on tugevaim Euroopas. Hiigla instrument näitas talle Marsi peal „üllatava hulga üksikasju" ja „ei ühtegi tunnusmärki geomeetriast". „Kogu planeedi pale oli täiesti loomulikku laadi". Mis puutus „kanalitesse" (vt. joon. 48), siis jagunesid mõned neist reaks tumedaiks korrapäratuiks laikudeks, teised osutusid kahe erineva heledusega piirkonna piirideks ja ainult üksikud näisid tumedate triipudena, kuid väga tähtsuseta pikkusega. Võib oodata, et veel tugevamate instrumentidega vaadeldes lagunevad needki üksikuiks laikudeks.

Kõik need järeldused leidsid kinnitust ka järgnevail opositsioonidel. Seal, kus Schiaparelli joonistas sirgjoonelise kanali, leidub nõrgalt valgustatud Marsi pinnal mingisuguseid laike, mis asetsevad ainult ligikaudu ühel sirgjoonel. Võrdlemisi nõrga pikksilmaga vaadeldes pole igaüks neist laikudest eraldi nähtav, kuid üldine mulje neist saadakse sirgjoone kujul.

Niisiis pole geomeetriliselt korrapärast sirgjooneliste kanalite võrku Marsi peal olemas, see võrk oli vaid optiliseks illusiooniks, mis tekkis meie instrumentide tehnika teataval arenemisastmel. Kuid sellest astmest on juba kaugemale jõutud. Edasiste uurimismeetodite arenedes kadusid „kanalid" Marsilt, nagu kadus „nägu" Kuult Galilei pikksilma ilmudes.

Niiviisi pole vaatlused seni avastanud Marsi peal mingisuguseid kindlaid tunnusmärke mõtlevate olendite tegevusest. Kuid tuleb märkida, et kui Marsi pealt oleks keegi vaadelnud Maad meie aja tugevaima teleskoobiga, siis ka tema poleks avastanud Maa peal mingisuguseid vaieldamatuid tõendeid inimese olemasolust.

Muutused Marsil. Marssi ei saa mingil juhul pidada surnud maailmaks nagu Kuud. Marsil toimuvad pidevalt muutused, mis on kõigepealt seoses aastaaegade vaheldumisega. Peamine neist on polaarlume sulamine. Sellega kaasub polaarlaiku ümbritseva piirkonna tumenemine; „mannermaa" muutub seal mõneks ajaks „mereks". Üheaegselt sellega muutuvad ka kõrvalasetsevad „mered" veel tumedamaks, „kanalid" — märgatavamaks, laiemaks, tekivad uued kanalid, mida varem polnud näha. Suve lõpul algab vastupidine protsess ja pooluse lähedane piirkond võtab endise kuju kuni järgmise kevadeni. Need hooaegsed muutused toimuvad nii korrapäraselt, et Antoniadi katsus koostada nende kohta isegi „kalendrilise plaani", mida need täitsidki üldiselt rahuldavalt.

Mis on Marsi „mered"? On peaaegu kaheldamatu, et Marsi „mered" ei saa olla lausvete basseinideks. Neil pole kunagi näha Päikese peegeldust, mida Maalt oleks võimalik kergesti märgata. Nad ei oma ka ühtlast ühetasast värvust, vaid koosnevad üksikuist mitmesuguste varjunditega laikudest ja muudavad tugevasti oma kuju seoses aastaaegadega.

On võimalik, et Marsi „mered" ja „kanalid" on taimestik, mis katab niiskemad planeedi osad. Nagu Maa piirkonnad, mis on kaetud taimestikuga, tumenevad kevadel, siis kui taimed ärkavad ellu, ja kahvatuvad sügiseks. Kogu ülejäänud Marsi pind kujutab punakaskollast elutut kõrbe.

Kas võib eksisteerida taimestik nii madalate temperatuuride ja nii hõreda atmosfääri puhul? Pole kahtlust, et Maa taimed ja loomad, kui need viia Marsi peale, häviksid otsekohe, sest nad on kohanenud ainult siinse-

te klimaatiliste tingimustega. Kuid Marss koosneb samast mateeriast kui Maagi. Seepärast võib arvata, et aine evolutsiooni protsessis saabus ka seal kunagi orgaaniliste ainete tekkimise moment, elu tekkimine tema kõige lihtsamais vormides.

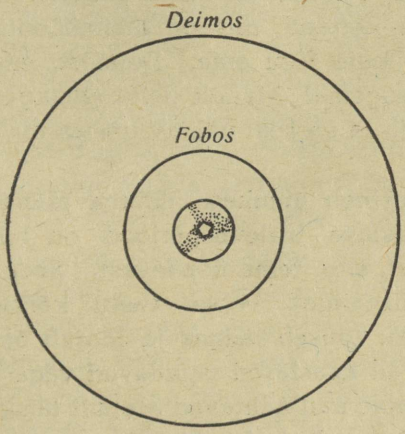
On täiesti võimalik, et need lihtsaimad elu eod, kui nad olid isegi sarnased algsete maiste vormidega, miljardite aastate jooksul kohanesid niisama hästi neid ümbritseva ilmastikuga nagu maised organismid oma ilmastikuga ja evolutsioneerusid kõrge ja mitmekesise organisatsiooniga olenditeks. Kuid need olendid peavad tunduvalt erinema maistest loomadest ja taimedest.

See on ka kõik, mida kaasaegne teadus võib ütelda „Marsi elanikkude" kohta.

M a r s i k a a s l a s e d. Merkuur ja Veenus ei oma kaaslasi, mis oleksid kättesaadavad meie instrumentidele; Maal on üks kaaslane, Jupiteril avastas Galilei neli kaaslast. Inimesed, kes armastavad otsida arvude seaduspärasust, oletasid, et Marss, mis liigub Maa ja Jupiteri vahel, peab omama kaht kaaslast. Nii näiteks suur satiirik S w i f t oma teoses „Gulliveri reisid", soovides naeruvääristada inglise astronoomide nõrku saavutusi, seab neile eeskujuks fantastilise Laputa maa astronoomide saavutused, kes kõige väiksemate pikksilmade abil avastasid kaks Marsi kaaslast. Neist kaaslasist sisemine „asetseb planeedi keskpunktist tema kolme läbimõõdu kaugusel ja välimine — viie. Esimene teostab oma tiiru 10 tunni, teine 21½ tunni jooksul, nii et nende tiirlemisaegade ruutude suhe on väga lähedane nende kauguste kuupide suhtele, arvates Marsi keskpunktist . . ."

See oli kirjutatud 1727. a. Poolteistsada aastat hiljem, suure opositsiooni ajal a. 1877, avastas H a l l Wa-

shingtonis tolle aja tugevaima refraktori abil, et Marsil on tõesti kaks kaaslast ja et nende tiirlemisperioodid erinevad vähe Swifti fantastiliste kaaslaste tiirlemisperioodidest. Sisemise kaaslase tiirlemisaeg oli kõigest 7 tundi 38 minutit ja välimise oma — 30 tundi 14 minutit. Asetsevad nad planeedile veelgi lähemal kui Swifti kaaslased, nimelt kaugusel 1,4 ja 3,5 planeedi läbimõõtu.



Joon. 49. Marsi kaaslaste orbiidid.

Niiviisi asetseb lähim kaaslane Marsi pinnast umbes 6000 km kaugusel, s. o. 60 korda lähemal kui Kuu Maale (vt. joon. 49).

Mil viisil võis Swift nii lähedalt mõistatada Marsi kaaslaste tiirlemisperioodid? Tõenäoliselt tundis ta hästi astronoomiat ja mahutas oma kaaslased nendesse suhtelistesse kaugustesse Marsist, milledel asetsevad esimene ja teine Jupiteri kaaslane oma planeedist, esimese

kaaslase tiirlemisperioodi aga andis ümmarguse arvuna — 10 tundi.

Marsi kaaslased on nii väikesed, et nad isegi tugevaimate pikksilmade abil on nähtavad punktikestena. Otsustades nähtava heleduse järgi peab esimene kaaslane olema umbes 15-kilomeetrise läbimõõduga, teine isegi ainult 8-kilomeetrisega. Seepärast ei ole need nimetused, mis neile anti, „Fobos" ja „Deimos", s. o. „Kartus" ja „Hirm", väga kohased. Marsi pinnalt vaadatuna peab Fobos näima kettana, mis on läbimõõdult kolm korda väiksem kui meie Kuu oma. Deimost, mis on väiksem ja asetseb kaugemal, Marsilt palja silmaga kettana vaadelda ei saa ja ta on seal nähtav umbes nii, nagu Veenus Maa pealt.

Phobos esineb ainukese juhuna planeetide süsteemis, kus kaaslase tiirlemisperiood on lühem planeedi pöörlemisajast, s. o. tema ööpäevast. Seepärast vaatleja suhtes Marsil liigub Fobos vastu kõikidele muudele taevakehadele: tõuseb läänes ja loojub 5½ tunni pärast idas. Mõlemad kaaslased muudavad väga kiiresti faase, kuid kunagi pole nad nähtavad Marsilt täisketastena, sest täiskuu ajal on nad alati varjutuses.

Väikesed planeedid.

Väikeste planeetide avastamine. XIX sajandi esimest päeva tähistati tähelepanuväärse astronoomilise avastusega. 1. jaanuaril 1801. a. märkas Piazzi Sitsiilias Kaksikute tähtkujus kaheksanda suurusega tähte (palja silmaga nähtamatu), mida varem ei olnud sel kohal. Ta hakkas teda jälgima päevast päeva ja veendus, et see taevakeha liigub teiste taevakehade

suhtes. Ilmselt ei olnud see täht, vaid uus, tolle ajani tundmata planeet.

Astronoomide suureks meelepahaks kadus see saladuslik planeet varsti pärast seda päikesekiirtesse, ja võis loota teda leida alles pärast mitme kuu möödumist. Kuid millisel kohal taevas oleks tulnud teda otsida? Vastata sellele küsimusele võis ainult arvutusega Kepleri seaduste järgi, ometi oli planeedi poolt maailmaruumis joonestatav orbiit täiesti tundmatu. Tuntud oli vaid planeedi nähtav liikumine ühe kuu jooksul, nagu see oli nähtav liikuvalt Maalt. Oli tarvis planeedi väikese nähtava liikumiskaare järgi taevas määrata kindlaks kuju, mõõtmed ja asend ellipsil, mida mööda tegelikult liigub planeet. See ülesanne kerkis astronoomide ette esmakordselt ja nad ei teadnud, kuidas selle juurde asuda.

Selle ülesande lahendas hiilgavalt Gauss. Ta oli sel ajal 24 aastat vana ja oli jõudnud juba omandada ülemaailmalise kuulsuse oma avastustega arvude teoorias, millel ei olnud midagi ühist astronoomiaga. 1801. a. sügisel andis ta trükki uue planeedi orbiidi, jättes aga avaldamata meetodi, kuidas ta orbiidi oli saanud; nii koostas ta selle, mida nimetame efemeriidiks: planeedi ettearvutatud nähtava seisu taevas iga päeva kohta. Selle efemeriidi järgi leiti planeet kergesti selles taeva punktis, millele osutasid vastaval päeval Gaussi arvutused. Planeetide orbiitide kindlaksmääramise meetodit seletas Gauss 1809. a. oma kuulsas teoses „Taevakehade liikumise teooria". Selle meetodi järgi arvutavad astronoomid ka meie päevil orbiite.

Uus planeet nimetati Cereseks. Tema orbiit asetseb Marsi ja Jupiteri orbiitide vahel; niiviisi täideti lünk Bode reas ja rea õigsus leidis nagu kinnitust.

Ceres ei osutunud ainukeseks planeediks, mis tiirles selles vaheruumis. 1802. a. avastas asjaarmastaja-astronoom, saksa arst Olbers, veel ühe väikese planeedi, mis liikus samas piirkonnas. See planeet nimetati Pallaseks. Olbers oletas, et need väikesed planeedid on ühe suure purunenud planeedi tükid ja et neid tükke peab olema palju.

Tõesti avastati 1804. ja 1807. a. veel planeedid (3) Juno ja (4) Vesta. Kõik neli planeeti liiguvad Marsi ja Jupiteri vahel ja on nii väikesed, et pikksilmaga vaadatuna ei oma nad ketta kuju nagu endised planeedid, vaid punktide kuju nagu tähed. Sellepärast hakati neid nimetama asteroididekss, s. o. „tähesarnasteks". Seejärel katkesid asteroidide avastused hoolikaist otsinguist hoolimata.

Alles 40 aastat hiljem avastas saksa postiteenistuja Hencke veel kaks planeeti kõige lihtsamal viisil: ta suunas pikksilma ekliptika mingisugusesse punkti ja märkis kaardile kõik taevakehad selles piirkonnas, seejärel siirdus ta teise piirkonda, siis kolmandasse jne. Aegajalt vaatles ta uuesti läbi oma piirkonnad lootes, et mõnes neist ehk leidub taevatäheke, mida seal eelmisel korral ei olnud. Viieteistkümne aasta kestel täitus see lootus ainult kaks korda.

Tema edu kutsus esile järeltegijaid, ja alates 1847. a-st kuni praeguseni ei ole möödunud ühtegi aastat, ilma et ei oleks avastatud väikesi planeete; viimasel ajal avastatakse neid kümnete viisi aastas. Need avastused muutusid veel laiaulatuslikumaks sellest ajast alates, kui väikeste planeetide otsimiseks rakendati uus, võrreldamatult hõlpsam viis — fotografeerimine. Selle asemel et läbi uurida mitu korda kõik taevakehad mingi-

suguses taevapiirkonnas, piisab, kui fotografeerida see piirkond ainult üks kord, jättes fotoaparaadi objektiivi avatuks vähemalt tunniks ajaks, ja seejärel ainult vaadata saadud ülesvõtet. Kõik liikumatud taevakehad jäädvustuvad negatiivile kettakeste ja punktidena. Kui aga nende keskel leidub planeet, siis muudab tema tunni aja jooksul niivõrd asukohta oma liikumise tagajärjel, et tema kujutise saame ülesvõttel kriipsukesena, mitte aga punktina, ja eristada planeeti tähtedest võib esimese pilguga. 1938. a. algusel oli väikeste planeetide nimestikus, millede orbiidid olid kindlaks määratud, 1417 planeeti. Iga aastaga suureneb see mõnekümne numbri võrra.

Väikeste planeetide süstemaatiline fotografeerimine on viidud läbi suure eduga Simeizi observatooriumis. Avastatud planeetide arvu poolest omab ta esimest kohta maailmas. Suurt tähelepanu omistatakse meil ka komplitseeritud arvutuste tööle värskelt avastatud planeetide orbiitide kindlaksmääramiseks.

Väikeste planeetide koguarv peab olema tohutult suur, sest igal aastal avastatud planeetide arv ei viita mingisugustele vähenemise tunnustele. On arusaadav, et praegu avastatakse peamiselt nõrku planeete, kõik heledamad avastati esimestena. Kuid siiski on välja arvutatud, et koguarvult peab olema planeete, mis on kättesaadavad nüüdisaja tugevaimate instrumentidega, vähemalt kolmkümmend tuhat. Niiviisi on isegi neist planeetidest meile seni tuntud ainult väike osa.

Suur jõu- ja ajakulutus astronoomide poolt väikeste planeetide uurimiseks näitab, et see teadusala pakub silmapaistvat huvi.

Väikeste planeetide loomus ja liikumine. Kuid see huvi pole esile kutsutud asteroidide füüsikaliste omaduste tõttu. Isegi tugevaimate pikksilmade abil on nad nähtavad punktikestena. Ketta tunnusmärke on läinud korda vaadelda ainult esimese nelja kõige heledama planeedi puhul. See ketta nähtavus võimaldas kindlaks määrata nende planeetide läbimõõtu. Kõige suuremaks osutub esimesena avastatud Ceres. Tema läbimõõt on üle 700 km. Kõige heledam on Vesta (4); teda võib mõnikord näha isegi palja silmaga, kuid tema läbimõõt ei ületa 400 km.

Kõik hiljem avastatud planeedid jäävad tunduvalt maha esimestest oma heleduse ja mõõtmete poolest, kuid nende läbimõõte otseselt kindlaks teha pole seni olnud võimalik. Kõige nõrgemad planeedid, mis on kättesaadavad meie instrumentidele, peavad omama väiksemat kui kilomeetrist läbimõõtu.

On huvitav, et paljud nõrgad asteroidid muudavad alatiselt oma heledust, seejuures suuremalt osalt ebakorrapäraselt. Seletada võib seda oletusega, et nad ei oma kerasarnast, vaid mingisugust komplitseeritud, ebakorrapärast kuju ja oma teekonnal ümber Päikese pöörlevad nad kogu aja nagu teisedki planeedid. Kui planeet on pöördud Päikese poole (ka Maa poole) oma laiema küljega, näib ta heledamana; kui ta aga pöördub meie poole servaga, siis muutub ta nõrgemaks.

Kujutleme, et lendame tulevikus, istudes planeetidevahelist ühendust pidavas raketis, mööda niisugusest planeedist; me näeme kivist kaljumürakat, mis ripub vabalt maailmaruumis. Tal pole üla- ega alapoolt ja kogu aja pöörleb otsekui lennutatud kivi. Läheneme kaljumürakale, lootes tema peal märgata mingisugust elu. Kuid

oleme pettunud: niisuguse väikese planeedi külgetõmme ei ole suuteline tema ümber hoidma märgatavat atmosfääri, ja me ei leia tema peal mingit elu, ei leia isegi jääd ega lund.

Kui on õige Olbersi oletus, et kõik asteroidid on ühe planeedi killud, siis oli see planeet palju väiksem kui Kuu. Iga üksiku asteroidi mass on niivõrd väike, et seni pole märgatud ühtegi juhtu, mil mingisuguse asteroidi külgetõmme oleks mõjustanud („häirinud") naaberasteroidi liikumist. On isegi välja arvutatud, et kõikide, nii avastatud kui ka avastamata asteroidide üldine mass ei või olla suurem kui $\frac{1}{1000}$ Maa massist. Kui see oleks suurem, siis tekitaks asteroidide üldine rõnga külgetõmme Marsi liikumises tunduvaid häireid. Kuid niisuguste häirete mingisuguseid tunnusmärke pole avastatud.

Peamist huvi pakub väikeste planeetide liikumine. Nende elliptilised orbiidid on sageli palju tugevamini välja venitatud kui suurte planeetide omad. On mõned asteroidid, mis liiguvad isegi täiesti samasuguseid orbiite mööda, nagu omavad neid niinimetatud Jupiteri gruppi kuuluvad komeedid. Tiirlemise aeg ümber Päikese on suuremal osal asteroididest 3 kuni 6 aastat, kuid on ka asteroide, mis teostavad ühe tiiru vähema kui kahe aastaga, s. o. kiiremini kui Marss. Nad liiguvad niiviisi Maa ja Marsi, mitte aga Marsi ja Jupiteri vahel. Teisest küljest omavad mõned asteroidid tiirlemisperioodi 12 aastat nagu Jupiter. Need asteroidid, nimetatavad harilikult „troojalasteks", pakuvad erilist huvi taevamehhaanika seisukohalt.

Troojalaste grupi planeedid. Juba XVIII sajandil tõestas kuulus matemaatik Lagrange, et kolme keha ülesanne, mis on üldiselt lahendamatu, võib

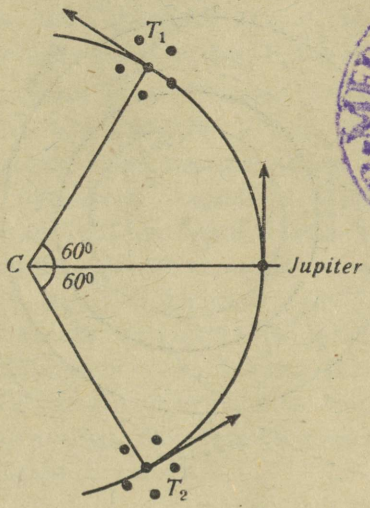
saada lahendatuks, kui kolm keha moodustavad võrdküljelise kolmnurga. Sel puhul ei ole vastastikune kehade külgetõmme suuteline muutma ei kolmnurga kuju ega ka mõõtmeid; see ainult pöörleb, kuid vastastikune kehade asetus ja nendevaheline kaugus jäävad kogu aja üheks ja samaks. Oletame, et ülesandes on esimene keha Päike, teine Jupiter — suurim planeetidest; siis punkte, milledes peaks asetsema kolmas keha, on kaks ja mõlemad liiguvad Jupiteri orbiidil — üks 60^0 eespool, teine samavõrra tagapool. Planeedid, mis on neis punktides, tiirlevad ümber Päikese sama orbiiti mööda kui Jupitergi; nad ei jää kunagi temast maha ega ka möödu temast, kuna Päikese ja Jupiteri külgetõmbed ei saa neid eemaldada L a g r a n g e'i p u n k t i d e s t.

Kõik arvasid, et Lagrange'i poolt avastatud niisuguse eriliselt lihtsa liikumise juhtum figureerib ainult teoorias, mitte aga tegelikkuses, ja astronoomid unustasid selle täielikult. Kuid 1906. a. avastati väga kauge asteroid, mis tiirles ümber Päikese niisama kaua aega kui Jupiter. Osutus, et ta asetseb esimese Lagrange'i punkti lähedal, Jupiterist 60^0 võrra eespool. Vähema kui aasta jooksul avastati teine niisamasugune planeet, mis teoreetikute suureks juubelduseks asetseb teise Lagrange'i punkti lähedal, 60^0 võrra Jupiterist tagapool.

Praegusel ajal on niisuguseid kaugeid asteroide avastatud rohkem kui 10, ja kõik nad asetsevad peaaegu võrdselt kahe Lagrange'i punkti lähedal (vt. joon. 50). Kõigile neile anti Trooja sõja kangelaste nimed (Achilleus, Patroklos, Hektor jne.). Ükski neist „troojalastest" ei asetse täpselt Lagrange'i punktides, vaid nad joonestavad selle ümber suletud orbiidi perioodiga 150 aastat. Lagrange'i punktid ise aga liiguvad ümber Päikese 12-aas-

tase perioodiga nagu Jupitergi, nii et saame pildi, mis meenutab Ptolemaiose epitsükleid.

Milline põhjus asetas siis kauged asteroidid just nimelt Lagrange'i punktide ümber? Vastus on lihtne: valik (selektsioon), üleelamine. Ainult nende punktide lähedal võisid asteroidid säilida, kuna siin nende liiku-



DR. MED. H. NORMANN TARTUS

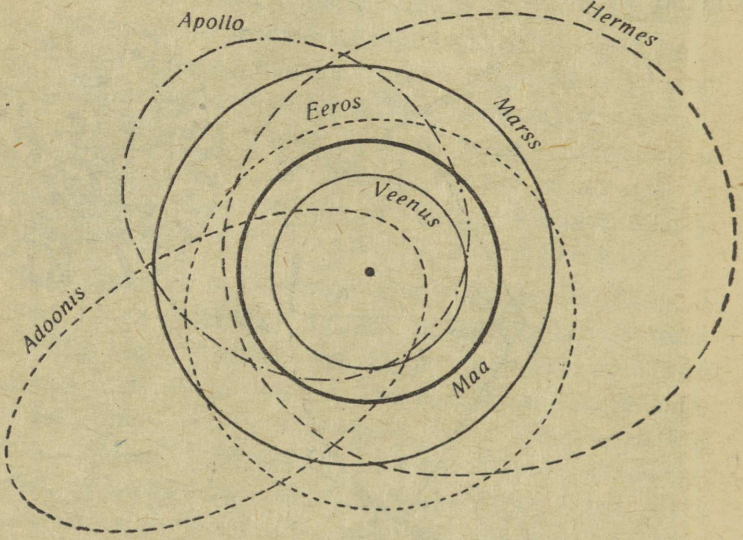
Joon. 50. Planeetide-troojalaste liikumine kahe grupina T_1 ja T_2.

mine oli püsiv. Asteroidid aga, mis asetsesid kaugemal Lagrange'i punktidest, hakkasid häirete mõjul vähehaaval liikuma hoopis teisi orbiite mööda ja eemaldusid maailmaruumi teistesse piirkondadesse.

Sellest näitest nähtub, millist suurt tähtsust võib omada väikeste planeetide teooria planeetide süsteemi evolutsiooni küsimuse lahendamiseks.

Järgmises näites näitame väikeste planeetide uurimise tähtsust praktilisele astronoomiale.

Planeet Eeros ja taevakehade kauguste mõõtmine. Planeet (433) Eeros, avastatud 1898. a., liigub ellipsit mööda, mille suur pooltelg (1,46)



Joon. 51. Veenuse, Maa, Marsi ja mõnede hiljuti avastatud väikeste planeetide orbiidid.

on pisut väiksem kui Marsil (1,52). Et Eerose ellips on tugevasti välja venitatud, siis läheb Eerose orbiit ühes osas Marsi orbiidi taha, seevastu aga teises osas läheneb Maale koguni rohkem kui Veenuse orbiit (vt. joon. 51). Kui vaadelda niisugusel soodsal momendil Eerose asukohta Maa mitmesugustest punktidest, siis võib suure täpsusega mõõta tema kaugust Maast (täpsemalt on see sele-

tatud peatükis Päikese üle). Sellesamaga mõõdame korraga ka kõik kaugused päikesesüsteemis. Tõepoolest, Kopernikus näitas, et võib koostada igasuguse soovitud momendi kohta planeetide-süsteemi täpse plaani, kuid kõik kaugused selles plaanis on suhtelised, olles väljendatud astronoomilistes ühikutes. Piisab, kui mõõta kilomeetrites mõni kaugus, ja meil on teada plaani mõõtkava ning me võime väljendada kilomeetrites ka igasuguse teise kauguse. Eriti lähedale Maale tuli Eeros 1931. a. Sel ajal korraldati tema uurimiseks palju vaatlusi.

Eeros on väga väike planeet. Otsustades heleduse järgi ei ole ta läbimõõt üle 25 km. Tema heledus on muutlik, kusjuures tema muutustes on mõnikord märgatud perioodi, pikkusega 5 tundi 16 minutit. Tema suure opositsiooni ajal 1931. a. tegid Lõuna-Aafrika astronoomid Johannesburgis huvitava avastuse: suures reflektoris omas planeet numbri kaheksa või võimlemispommi kuju — kaks ketast, mis olid ühendatud peenikese kaelaga. Suurim läbimõõt oli ligikaudu 40 km ja pöörlemise aeg 5 tundi 17 minutit, mis on heas kooskõlas heleduse muutumise perioodiga. Pöörlemine toimub muidugi keha väiksema läbimõõdu ümber.

Asteroidid komeetide orbiitidega. XX sajandil avastati mitu väikest planeeti, millede orbiidid veel rohkem ulatuvad välja Marsi ja Jupiteri vahelisest piirkonnast kui Eerose orbiit. Näiteks (944) Hidalgo, mille orbiidi ekstsentrilisus on 0,65 ja tiirlemisperiood 13½ aastat, eemaldub afeelis kaugele Jupiteri orbiidi taha, peaaegu kuni Saturni orbiidini. Veel tähelepanuväärsemad on planeedid Apollo, avastatud 1932. a., ja Adonis, avastatud 1936. a. Esimese planeedi tiirlemise aeg on mõnevõrra lühem kui Marsil ja pikem kui

Eerosel. Kuid suure ekstsentrilisuse (0,57) tõttu läheb planeet periheelis Veenuse orbiidi sisse ja võib järelikult läbi minna Päikese kettast. Tema läbimõõt ei ületa 2 km ja ta avastati ainult selle tõttu, et sel ajal ligines ta Maale sellise väikese kauguseni, millisel ei oldud tolle ajani vaadeldud veel ühtki planeeti, nimelt 10 miljoni kilomeetrini. Veel suurem orbiidi ekstsentrilisus on Adonisel, nimelt 0,75, ja planeet oma periheelis läheneb Merkuuri orbiidile. Tema läbimõõt ei ületa 500 m. Lõppeks avastati 1937. a. planeet, mis otsekohe pärast avastamist möödus Maast veel lähemalt kui Apollo, nimelt 780 tuh. km kauguselt, s. o. ainult kaks korda kaugemalt, kui asetseb Kuu. Ta sai endale nimeks Hermes. Tema orbiit ei ole niivõrd välja venitatud kui Adonisel ja läbimõõt on tal suurem: on võimalik, et ta küünib 900 m-ni.

Nähtavasti on niisuguseid pisiplaneete, mis liiguvad tugevalt ekstsentrilisi orbiite mööda, väga palju, kuid avastada võib neid ainult õnnelike juhuste tõttu.

Hiidplaneedid.

Asteroidide rõnga taga algab piirkond, kus liiguvad kauged hiidplaneedid, mis sarnlevad Maa ja Kuuga vististi ainult selle poolest, et neil ei ole oma valgust. Muus suhtes erinevad nad tunduvalt esimese grupi planeetidest.

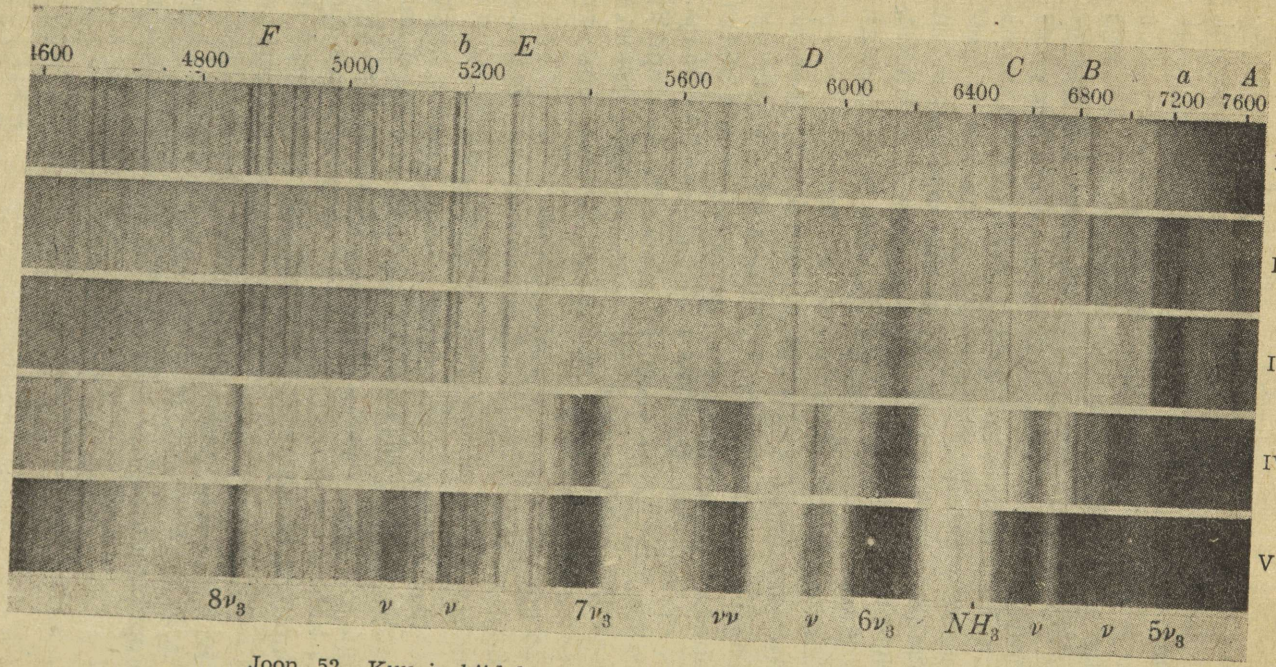
Kõik neli tohutult suurte mahtudega hiidplaneeti omavad võrdlemisi väikest tihedust — $\frac{1}{4}$ kuni $\frac{1}{8}$ meie Maa tihedusest. Näiteks Saturni, kõige „kergema" planeedi maht on 745 korda suurem Maa mahust, kuid tema mass on ainult 95 korda suurem Maa massist. Sellest järgneb,

et Saturn on veest kergem. Mingisuguses populaarteaduslikus raamatus oli näitlikkuse huvides esitatud koguni joonis, mis kujutas, kuidas Saturn oma rõngaga ujub kui kork vastavate mõõtudega anumas.

Nende planeetide suured mõõtmed ei takista neil pöörelda oma telgede ümber palju kiiremini, kui pöörlevad Maa-tüüpi planeedid. On tähelepanuvääriv, et pöörlemise nurkkiirus on isegi otsekui seda suurem, mida suuremad on planeedi mõõtmed. Kõige lühemat pöörlemise aega (kõige lühemat ööpäeva), vältusega vähem kui 10 tundi, omab Jupiter — kõige suurem planeetidest. Temale järgneb Saturn, suuruse poolest teine planeet, mille pöörlemisperiood on 10 tundi 14 minutit.

Kiire pöörlemise tulemuseks on nende planeetide tugev l a p i k u s, mis Saturnil ulatub kuni $\frac{1}{10}$-ni. Jupiteri suure tiheduse tagajärjel on lapikus väiksem, kuid ulatub siiski $\frac{1}{15}$-ni, olles hästi nähtav isegi väikese pikksilmaga. Meenutagem, et neljal sisemisel planeedil on lapikus kas peaaegu märgatamatu või tühiselt väike, näiteks Maa polaarne läbimõõt on ekvatoriaalsest väiksem ainult 40 km võrra, s. o. $\frac{1}{297}$ läbimõõdust.

Hiidplaneetide kõige tähelepanuväärsem iseärasus on nende võimsad atmosfäärid. Jupiteri atmosfäär on, võib öelda, nähtav vahenditult. Juba väikese pikksilma abil märkame planeedi kettal laike ja ribasid, mis on väga sarnased Maa pilvedega. Nende muutlikkus ei jäta kahtlust selles, et nad tõesti on pilved, mis ujuvad Jupiteri atmosfääris. Saturnil, mis asetseb kaks korda kaugemal ja on neli korda tuhmimalt valgustatud Päikese poolt, märkame pilvede ribasid halvemini, rääkimata juba Uuranist ja Neptuunist. Kuid siin tuleb abiks spektrograafia.



Joon. 52. Kuu ja hiidplaneetide spektrid: I — Kuu, II — Jupiter, III — Saturn, IV — Uuran, V — Neptuun.

Vaadelge nende planeetide suurepäraste spektrite ülesvõtteid (vt. joon. 52), mis esmakordselt tehti Slipheri poolt 1907. a., võrrelge neid Kuu spektriga ja üksteisega. Teie näete tumedaid vööte punases, kollases ja rohelises värvuses. Kuu spektris (mis on Päikese spektri nõrgendatud peegelduseks) puuduvad need jooned. Tõenäoliselt on need planeedid mähitud tihedasse, ligikaudu ühesuguse keemilise koostise atmosfääri. Vöötide arv ja intensiivsus kasvavad korrapäraselt selle järgi, millisel määral siirduda lähematelt planeetidelt kaugematele, nii et Neptuuni spekter näib juba olevat hoopis erinev Päikese spektrist.

Hiidplaneetide võimsad atmosfäärid ja väike tihedus, küllaltki lähedane Päikese tihedusele, on viinud mõttele, et need planeedid on veel säilitanud oma soojuse suured tagavarad. Kuid otsesed mõõtmised termoelementide abil on andnud nende planeetide suhtes — vastupidi — väga madalad temperatuurid. Nähtava pinna temperatuuri hinnatakse Jupiteril —130°, Saturnil —150° ja Uuranil —180° või veel madalamalt. Niisuguseid temperatuure võiski oodata planeetide atmosfääri kõrgemates kihtides, arvesse võttes nende planeetide kaugust Päikesest; mis aga puutub sügavamate kihtide temperatuurisse, siis ei saa praegusel ajal nende kohta veel midagi kindlat ütelda.

Alles 1932.—1934. a. avastati, millised gaasid kutsuvad esile tumedad vöödid kaugete planeetide spektrites. Osutus, et see on ammoniaak, vesiniku ja lämmastiku ühend, ja metaan, üks süsivesinikest. Mõlemad gaasid etendavad maakera atmosfääris tähtsusetut osa, kuid nendel planeetidel leidub neid hiigla kogustes. Ammoniaak on Jupiteri atmosfääris ülekaalus, metaan,

mis veeldub madalama temperatuuri puhul, Uurani ja Neptuuni atmosfääris.

Olgu tähendatud, et mõlemad gaasid on vesiniku, kõige kergema elemendi ühendid; vesinikku on aga hiid-planeetidel kindlasti külluses nende võimsa külgetõmbe tõttu. Nii metaan kui ka ammoniaak etendavad tähtsat osa maises orgaanilises keemias. Selle sõna puhul tekib meil tahtmatult mõte elust. Kuid kuidas seda kooskõlastada hirmsa külmaga nende planeetide pinnal?

Mis on aga näiteks Jupiteri „pind"? Ilmselt on see pilvede kihi pind, mis koosneb tilgakestest ja niisuguste ainete kõvadest „helbekestest", mida oleme harjunud Maa peal kohtama gaasitaolises olekus. Jupiteri väike keskmine tihedus näitab, et atmosfäär, milles ujuvad need pilved, võtab enda alla tunduva osa kogu meie poolt nähtavast planeedi mahust. Sellest, mis asetseb atmosfääri sisemuses, planeedi „tuumast", ei saa me seni teha koguni vähegi tõepärast teaduslikku oletust.

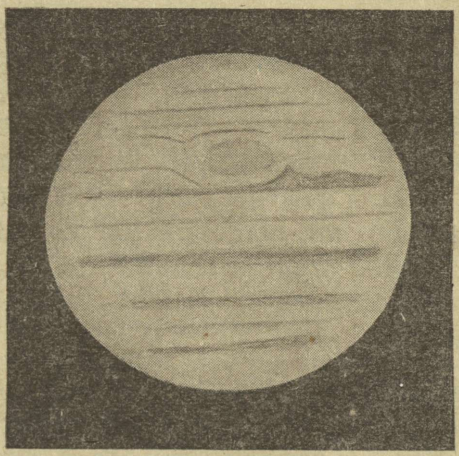
Jupiter.

Jupiter on suurim planeetidest. Tema läbimõõt on üksteist korda suurem Maa läbimõõdust ja mass on kolm korda suurem kõikide ülejäänud planeetide kogumassist. Seepärast teeb ta palju tüli arvutajaile, sest oma külgetõmbega tekitab ta eriti suuri häireid komeetide ja väikeste planeetide liikumises.

Seevastu on ta astronoomidele-asjaarmastajatele tänuväärseim planeet. Kui Jupiter on opositsioonis Päikesega, võib Jupiteri vaadelda kogu öö. Opositsioonid saabuvad igal aastal ligikaudu kuuse hilinemisega ja toi-

muvad küllaltki täpselt iga kord järgnevas Zodiaagi tähtkujus. Nii oli opositsioon 1943. a. 11. jaanuaril Kaksikute ja Vähja tähtkujude piiril ja 1944. a. 15. veebruaril Lõvi tähtkujus.

Jupiter paistab otsekohe silma kõige heledama tähena õ i s e s taevas, olles isegi heledam Siiriusest. Jupiterist on alati heledam ainult õ h t u n e täht Veenus ja väga harva Marss (suure opositsiooni ajal).



Joon. 53. Jupiter nähtuna läbi pikksilma; lõuna- (üla-) osas võib näha ovaalset „punast laiku".

Juba väikese pikksilmaga, milliseid kasutatakse koolides, võib Jupiteri näha lapiku kettana 1—2 vöödiga piki planeedi ekvaatorit. Tugevama pikksilma abil vaadelduna osutub kumbki triip pilvede ahelikuks, sarnledes meie atmosfääri kihtpilvedega. Jupiteri pilved muutuvad kogu aja — nagu maisedki pilved, kuid väärib tähelepanu, et nende seas on mõned moodustised, mis

säilivad aastakümnete jooksul. Neist on eriti tuntud nõndanimetatud „punane laik" planeedi lõunapoolkeral (pikksilmas ülal). Tal on ovaalne kuju ja tema suurim läbimõõt on 3—4 korda suurem Maa läbimõõdust. Möödunud sajandi 70-tes aastates oli „punane laik" eriti nähtav; pärast seda kord ta peaaegu kaob, kord ilmub uuesti. Teine säärane püsiv moodustis on tume „lõuna häiritus" ehk „loor" — samuti lõunapoolkeral (joon. 53).

Oleks loomulik mõelda, et need mõlemad poolpüsivad pilvemassid on mingil viisil seoses planeedi kõva tuumaga. Näiteks võiksid nad olla pursked kahe alatiselt tegutseva hiigla tulemäe kohal. Kuid vaatlused on kaheldamatult tõestanud, et „loor" sooritab ühe pöörde ümber planeedi telje alati 20 sek. kiiremini kui punane laik. Selle väikese vahe tagajärjel asetsevad mõlemad moodustised mõnikord Jupiteri kettal kõrvuti, seejärel lähevad lahku ikka enam ja enam, aasta pärast on nad planeedi vastaspoolseil poolkeradel ja kahe aasta pärast kohtuvad uuesti.

Ka teised, lühema eaga laigud Jupiteri peal käituvad niisamuti. Seepärast võib Jupiteri ööpäeva pikkuse kohta öelda ainult, et see vältab 9 tundi 55 minutit sekunditega, sest sekundite arv on eri laiusel isesugune. Kitsas vööt piki planeedi ekvaatorit teeb ühe täispöörde tunduvalt kiiremini — 9 tunni 50 minuti jooksul. Sekundite arvu ei saa jällegi anda, sest see nähtavasti pisut muutub aja jooksul.

Jupiteri pöörlemistelg on peaaegu risti tema orbiidi tasapinnaga, nii et aastaaegu meie omade mõttes sellel planeedil ei ole.

Jupiteri kaaslased.

Galilei kaaslased. 7. jaanuar 1610 jääb igavesti unustamatuks kuupäevaks teaduse ajaloos, sest sel päeval avastati esmakordselt tolle ajani tundmatud taevakehad. Galilei oma ebatäiusliku pikksilmaga nägi Jupiteri lähedal kolme tähekest, mis paistsid temale kahtlastena, kuna need ka järgmistel päevadel püsisid planeedi lähedal ja õhtust õhtuni muutsid oma asukohta. Ta hakkas neid jälgima ja 13. jaanuaril veendus, et neid pole isegi kolm, vaid neli, ja mõistis väga ruttu nende tähendust. Need olid Jupiteri „kuud", tema kaaslased, kes saatsid planeeti tema teekonnal ümber Päikese. Täpselt niisama saadab Kopernikuse õpetuse kohaselt Kuu Maad tema liikumisel.

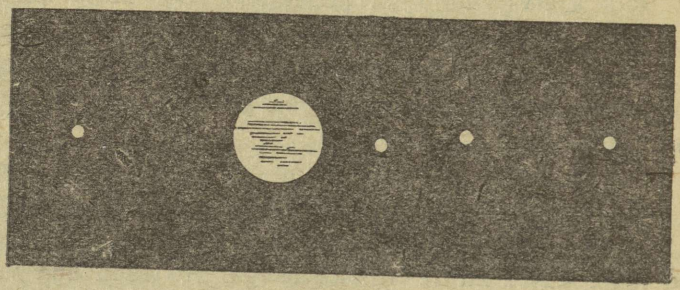
Uute taevakehade avastamine tekitas tolle aja õpetlaste hulgas sensatsiooni. Kopernikuse pooldajad nägid selles uue maailmaehitise süsteemi kinnitust ja võtsid selle teate vastu suure vaimustusega, vastased aga valmistusid vihaseks võitluseks tema vastu just samal põhjusel. Nad eitasid uute „planeetide" olemasolu, sest nendest polnud kõnelnud midagi Aristoteles, ja planeete pidi olema kindlasti seitse, mitte rohkem ega vähem. Kõige jonnakamaks Jupiteri kaaslaste eitajaks oli Cremonini. Omal ajal oli ta kuulus Padova ülikooli professor, kus tähtsuseta teenistuskoht oli ka Galileil. Praegu aga on Cremonini tuntud ainult selle poolest, et ta Galilei ettepanekule — vähemalt kordki vaadata pikksilmaga Jupiteri kaaslastele — vastas: „Milleks mul on tarvis vaadata pikksilmaga, kui ma selletagi tean, et Jupiteril pole kaaslasi ja et neid ei saagi olla."

Jupiteri kaaslased on nii heledad, et kui neid ei segaks planeedi valgus, siis oleksid kõik neli kergesti

nähtavad ka palja silmaga. Õige terava nägemisega inimesel õnnestub mõnikord näha neist ühte või kahte.

Oma mõõtmete poolest on nad õieti ehtsad planeedid; kaks kaaslast (III ja IV) on suuremad kui Merkuur, kõige väiksem (II) on võrdne umbes meie Kuuga (vt. joon. 54).

Juba isegi läbi väikese pikksilma vaadeldes paistab Jupiter oma kaaslastega väga huvitavana. Kõik 4 kaaslast tiirlevad palju kiiremini kui meie Kuu: I — vähem



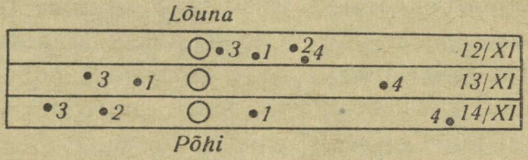
Joon. 54. Jupiter ja tema 4 kaaslast väikese pikksilmaga vaadelduna.

kui kaks ööpäeva, IV — 16 ööpäeva; seepärast võib nende asukohtade muutumist märgata juba ühel ja samal õhtul. Polegi peaaegu päeva, mil kas või ühega neist, kõige sagedamini I-ga, ei juhtuks midagi huvitavat: kord läheb kaaslane peitu planeedi taha, kord — vastupidi — läheb tema eest mööda, kord kaob Jupiteri poolt heidetavasse varju, kord heidab ise planeedile oma varju (vt. joon. 55).

Jupiteri kaaslased ja geograafilise pikkuse määramine. Jupiteri kaaslaste varjutuste, kattumiste ja üleminekute vaatle-

mine omab ka praktilist tähtsust, mida otsekohe märkas Galileigi. Osutus, et need kaaslased, mis Galilei vastaste sõnade järgi „ei olele, sest nad on kasutud", võimaldavad kindlaks määrata laeva asukoha geograafilist pikkust ulgumerel, s. o. lahendavad ülesande, mis oli seotud tolle ajastu kiirelt areneva merelaevanduse ja ookeanikaubandusega.

Galilei arutles niiviisi. Iga kaaslase varjutus või kattumine on Maa peal nähtav kõikides punktides ühel ja samal momendil, kuid kellad näitavad mitmesugustes kohtades sellel momendil isesuguseid aegu, vastavalt geo-



Joon. 55. Jupiteri kaaslaste asetus 12., 13. ja 14. novembril 1939. a. Keskmisel joonisel puudub teine kaaslane: ta on planeedi ketta taga.

graafilisele pikkusele. Seepärast, et kindlaks määrata pikkust tundmatus kohas, tuleb laeva tüürimehel kõigepealt kontrollida kellaaega, kõige lihtsamalt — Päikese järgi. Seejärel vaatleb ta samal õhtul Jupiteri, märkab kella järgi tema kaaslase varjutust või kattumist ja võrdleb seda momenti selle momendiga, mis on trükitud astronoomilises kalendris. Vahe nende momentide vahel annabki laeva asukoha pikkuse, kui astronoomilises kalendris on varemalt välja arvutatud varjutuse moment selle meridiaani aja järgi, millest alates loetakse pikkust (niisugust meridiaani nimetatakse algmeridiaaniks). Galileil endal ei läinud korda teostada oma ideed tege-

likult: Jupiteri kaaslaste varjutuste ja kattumiste ettearvutamine ei olnud tema aja astronoomidele jõukohane, sest kaaslaste liikumine osutus väga keeruliseks. Tõepoolest pole nad mitte ainult Päikese häirete mõju all nagu meie Kuu, vaid nad häirivad ka vastastikku üksteist. Kaaslaste vastastikused häired on väga suured, sest I ja III kaaslase massid on suuremad kui Kuu mass, kaugus kaaslaste vahel aga on sageli väiksem kui Kuu kaugus Maast.

Sellest hoolimata võitis Laplace'i ja ta järglaste teooria kõik need raskused. Nüüd arvutatakse kõik nähtused Jupiteri kaaslaste süsteemis suurima täpsusega mitme aasta peale ette ja avaldatakse kõikides astronoomilistes kalendrites. Kuid pikkuse kindlaksmääramist Jupiteri kaaslaste järgi tehakse praegusel ajal väga harva, sest nüüd on varuks palju täpsemad viisid. Kõige parem neist viisidest on raadio. Selle asemel et märkida „taevasignaali" aega, näiteks kaaslase varjutuse algust, märgitakse täpse aja raadiosignaali vastuvõtu aeg, mis antakse alati rangelt kindlaksmääratud momendil ülemaailmse (Greenwichi) aja järgi. Vahe selle momendi ja signaali vastuvõtmise momendi vahel kohaliku aja järgi annabki laeva asukoha pikkuse.

Jupiteri nõrgad kaaslased. Peale nelja Galilei poolt avastatud suure kaaslase on praegusel ajal teada veel seitse Jupiteri väga nõrka kaaslast, mis on nähtavad ainult tugevamate instrumentidega. Neid märgitakse rooma numbritega nende avastamise järjekorras. Kaaslane V, mis avastati 1892. a. Barnard'i poolt, on tunduvalt lähemal planeedile kui Galilei kaaslane I ja tema tiirlemisaeg on kõigest 12 tundi. Ülejäänud kuus

seevastu on palju kaugemal vanadest kaaslastest; kõik nad avastati juba XX sajandil fotografeerimise teel.

Erilist huvi äratasid VIII ja IX kaaslane, mis avastati 1908. a. ja 1914. a. Siin kohtame esimest korda „vastupidiste" kaaslastega, mis tiirlevad idast läände — suunas, mis on vastupidine teiste kaaslaste ja planeedi enda tiirlemisele. Nad on 70 korda kaugemal Jupiterist kui Kuu Maast ja nende tiirlemisvältused on üle 2 aasta. Niisuguse kauge maa peal on planeedi külgetõmme juba väga nõrk, kuid Päikese häiriv mõju — vastupidi — on erakordselt suur. Seepärast on kõne all olevate kaaslaste liikumine äärmiselt komplitseeritud ja seda peab välja arvutama täiesti eri meetodite järgi. Õieti polegi neil orbiite selle sõna harilikus mõttes: kaaslase iga järgnev tiir ümber Jupiteri on mõõtmete ja orbiidi kuju poolest väga vähe sarnlev eelmisega.

On väljendatud arvamust, et nende kaaslaste liikumine on ebapüsiv, et Päikese külgetõmme kunagi kisub nad lahti Jupiteri külgetõmbe mõjust ja nad hakkavad tiirlema ümber Päikese nagu iseseisvad planeedikesed. On võimalik ka vastupidine juhtum: need kehad võisid olla varemalt lihtsalt väikesed planeedid, kuni juhuslikult läksid nii lähedale Jupiterile, et nad haarati tema külgetõmbe poolt ja muutusid planeetidest kaaslasteks.

1938. a. avastati veel kaks väikest kaaslast. Üks neist, märgitud XI, tiirleb peaaegu niisama kaugel Jupiterist kui VIII ja IX; tema tiirlemisperiood on mõnevõrra väiksem kui 2 aastat. Tema liikumine on samuti vastupidine. X kaaslase orbiit on väga sarnane VI ja VII kaaslase orbiidiga ja asetseb täpselt nende vahel. Niiviisi moodustavad kauged Jupiteri kaaslased otsekui kaks

gruppi, kusjuures on igas grupis meil seni teada kolm liiget.

Kõigi seitsme uue kaaslase läbimõõdud ei saa ületada mõndakümmend kilomeetrit. Eriti väikesed on viimased neli kaaslast. Neid pole siiani näinud ükski inimese silm ühegi pikksilma abil ja jälgida võib neid ainult fotoülesvõtete järgi.

Saturn ja tema rõngas.

Saturni läbimõõt on üheksa korda suurem kui Maa läbimõõt, kuid suure kauguse tõttu paistab Saturn palju vähem silma kui Jupiter või Marss, rääkimata Veenusest. Saturn helendab esimese suuruse tähena. Meie laiustel on näha ligikaudu kümme „kinnistähte", mis on umbes niisamasuguse heledusega kui Saturngi ja mõnikord tõuseb ta nende kümne hulgas esimesele kohale, jäädes maha ainult Siiriusest. Saturni värvus on pisut kollakas.

Liikudes aeglaselt itta, läbib ta Zodiaagi 30 aasta jooksul. 1942. a. ja 1943. a. asetses ta Sõnni tähtkujus. 1942. a. oli opositsioon 2. detsembril, 1943. a. — 16. detsembril, sest Saturni sünoodiline tiirlemisaeg on ligikaudu aasta ja kaks nädalat. Järgmine opositsioon toimus 30. detsembril 1944. a. Sõnni ja Kaksikute tähtkujude piiri lähedal [1].

Selle kauge planeedi tuhmilt valgustatud ketta ei saa isegi tugevate pikksilmade abil näha kuigi palju üksikasju. Pikksilma leiutamise ajast alates on Saturnil ainult 4 korda tähele pandud laike, millede järgi oli võimalik kindlaks määrata planeedi pöörlemisperioodi

[1] 1948. aastal asetseb Saturn Vähja ja Lõvi tähtkujude vahel. (Toimetus.)

ümber oma telje. Viimane kord märgati laike 1933. a. Pöörlemisaeg saadi 10 tunnist 14 minutist kuni 10 tunni 38 minutini. On ilmne, et Saturnil pöörlevad nagu Jupiterilgi mitmesugused vöödid erinevate nurkkiirustega.

Saturni pöörlemise telg ei asetse risti ekliptikaga, vaid moodustab temaga nurga 26^0. See on suureks õnneks vaatlejale: kui Saturni telg asetseks risti ekliptikaga, nagu on Jupiteril, me peaaegu ei näekski selle planeedi erilist tähelepanuväärsust — tema rõngast.

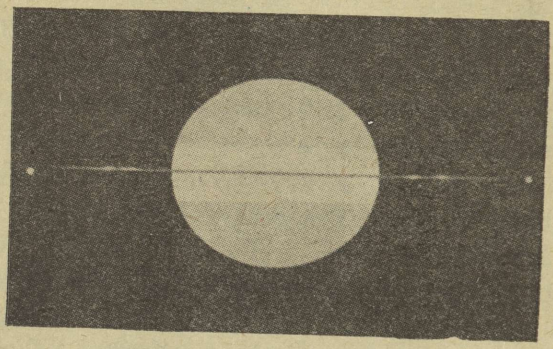
Saturni rõngas kujutab endast tõesti erakordset moodustist kogu meile kättesaadavas maailmaruumi osas. Kõikidest pikksilmaga nähtavatest piltidest avaldab tema kuju pikksilmas paljudele kõige tugevamat muljet. Eriti üllatavad on tema korrapärased, matemaatiliselt täpsed piirjooned.

Galilei oma algelise pikksilmaga ei saanud vaadelda rõngaid nii kuidas tarvis. Planeet näis temale kolmekordsena, suure kerana kahe väiksema vahel. Alles Huygens lahendas 1656. a. Saturni mõistatuse ja kirjeldas teda haruldaselt täpselt ja täielikult järgmiste sõnadega: „Vöötatud õhukese tasase rõngaga, mis kusagil ei puuduta planeeti ja on kallutatud ekliptikale." Rõngas tõesti ei puudutagi planeeti, vaid ripub vabalt ruumis tema ekvaatori kohal. Rõnga mõõtmed on hiiglaslikud: peaaegu kolmsada maakera võiks paigutada sellele kõrvustikku, otsekui õunu ümmargusele riiulile.

Rõngas on väga õhuke. Uusimate määratluste järgi peab tema paksus olema alla 20 km. Seepärast kui rõngas pöördub Maa poole servaga, siis pole ta nähtav isegi tugevaimate pikksilmadega ja Saturn on mõne aja jooksul nagu ilma rõngata. Niisugused seisud korduvad iga 15 aasta järel ja annavad mõnikord põhjust ajalehtede

märkustele rõnga „kadumise" kohta. Viimane „kadumine" oli 1937. a. algul. Pärast mõnepäevast nähtamatust ilmub rõngas peene heleda nõela kujul, mis otsekui oleks läbi torgatud planeedi kerast. Pidevalt avanedes võtab ta korrapärase ellipsi kuju (vt. joon. 56).

Kõige suurema avanemise aastal (7—8 aastat pärast nähtamatust) laieneb rõnga esimene osa niivõrd, et katab

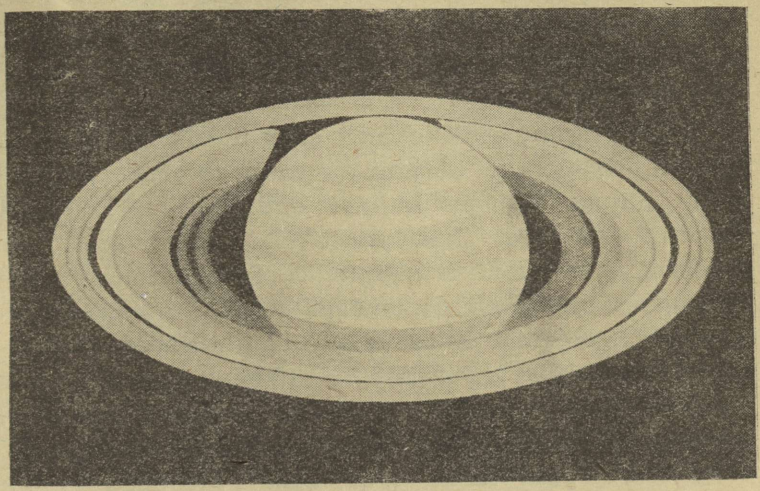


Joon. 56. Saturn ajajärgu lähedal, mil rõngas on nähtav serva poolt.

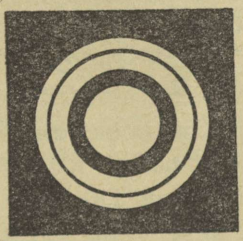
ühe planeedi poolustest ja rõnga tagumine osa paistab välja teise pooluse tagant (vt. joon. 57).

Sel ajal on kerge vaadelda, et rõngas ei ole tervik-lik, vaid on jaotatud tumedate vahedega mitmeks kontsentriliseks rõngaks. Neist on eriti tähelepanuväärne, kuid kõige halvemini nähtav nõndanimetatud tume rõngas, mis on kõige lähem planeedile; see rõngas on läbipaistev ja läbi tema võib tugevate pikksilmadega mõnikord vaadelda Saturni äärt. Kogu ülejäänud rõngas näib läbipaistmatuna ja heidab planeedile hästi nähtava musta varju; oma valgust rõngal ei ole, vaid ta on valgustatud Päikese poolt nagu planeedi keragi.

Saturni rõngad esitasid matemaatikuile lahendamatu ülesande, niikaua kui arvati, et rõngad tõepoolest on



Joon. 57. Saturn rõnga täieliku avanemise ajajärgul.



Joon. 58. Saturni rõngaste süsteemi plaan.

tahked võrud, mis ripuvad planeedi kohal või tiirlevad selle ümber (vt. joon. 58). Kuidas võivad niisugused võrud säilitada tasakaalu, kui nende peale mõjuvad

Saturni enda ja tema kaaslaste külgetõmbed? Kuidas saavad nad jääda terveks, purunemata tükkideks nendesamade külgetõmmete mõjul? Nüüd teame anda vastuse nendele küsimustele: tahked rõngad ei saa säilitada tasakaalu, ei saa jääda terveks. Isegi vedelad lausrõngad ei saaks säilida.

Seda selgitas esmakordselt suur füüsik Maxwell. 1859. a. tõestas ta, et Saturni rõngas peab omama meteoriitset ehitust. Rõngas kujutab endast hiigla kuhjumit planeedi väikestest „kaaslastest", mis ringlevad ümber planeedi peaaegu ühes tasapinnas. Iga „kaaslane" tiirleb oma eri orbiiti mööda, lähemal asetsevad „kaaslased" kiiremini kaugemal asetsevaist. Niinimetatud tumedas rõngas ei ole „kaaslased" nii tihedalt koos kui heledamais osades, mispärast on tume rõngas läbipaistev, nii et tema osakeste vahelt võib näha planeedi serva, mõnikord koguni tähti. „Kaaslaste" mõõtmed ei ole tõenäoliselt mitte suuremad kui liivaterakesed või isegi tolmukübemekesed.

Maxwelli teooriat on kinnitanud rohked vaatlused. Näiteks rõnga „kadumise" ajajärgu lähedal on periood, mil rõnga tasapind läheb Päikese ja Maa vahelt läbi. Siis valgustab Päike rõnga üht külge, Maa poole on aga pööratud teine külg. Kui rõngas oleks tahke plaat, poleks teda sel ajal Maa pealt näha. Kuid tegelikult on ta nähtav ja helendab nii, nagu helendab tolmusammas, mis on läbi puuritud Päikese viltukiirtest.

Veel efektsem on spektroskoobiline tõend. 1895.—1896. a. mõõtsid Belopolski Pulkovos ja Keeler USA-s Saturni spektrogrammidel joonte nihkeid rõnga spektris. Nende nihete järgi arvutati välja Doppleri printsiibi alusel rõnga mitmesuguste punktide kiirused.

Osutus, et planeedile lähedased rõngaosad sooritavad oma tiiru ümber Saturni lühema aja jooksul kui kaugemad, ranges kooskõlas Kepleri III seadusega. See tõestabki, et rõngas ei saa olla tahke lauskeha.

Saturni kaaslased. Aine kogumass, mis on pihustatud Saturni rõngas, peab olema väiksem kui veerand Kuu massist. Niiviisi ei jätku rõnga massist ühe tubli kaaslase jaoks. Kuid Saturnil on peale rõnga veel 9 kaaslast, mis on nähtavad pikksilmaga.

On huvitav, et Saturni kaaslaste süsteemis ilmnevad mõned ühised jooned planeetide süsteemiga. Nii on märgatud kaaslaste kauguste ja peaplaneedi suhetes seaduspärasusi, mis meenutavad Bode seadust. Edasi asetseb peaaegu kaaslaste rea keskkohas kaaslane, mis erineb silmapaistvalt teistest oma suurte mõõtmetega (Titaan). Ta etendab otsekui Jupiteri osa selles päikesesüsteemi vähendatud jäljenduses. Jupiteri kaaslaste süsteemis niisugusi omapärasusi ei ole.

Saturni kaaslastest meenutab ainult Titaan, mille avastas veel Huygens, oma mõõtmetega Galilei poolt avastatud kaaslasi Jupiteri ümber, kõik teised Saturni kaaslased on tunduvalt väiksemad. Seepärast on väikestele instrumentidele Saturni kaaslased peaaegu kättesaadamatud. Nende orbiitide suure kallaku tõttu ekliptikale on ka nende kattumised ja varjutused vaadeldavad väga harva.

Kõige huvitavamad Saturni kaaslastest on VIII ja IX — kõige kaugemad. VIII kaaslane Japet on tähelepanuväärne oma heleduse korrapärase muutumise poolest: kui näeme teda ida pool planeeti, näib ta korda viis nõrgemana kui läänepoolsel küljel olles. Selle nähtuse seletus on väga lihtne. Japet nagu meie Kuugi on kogu

aja pööratud oma planeedi poole ühe ja sama küljega. Järelikult pöörleb ta oma telje ümber niisama kaua, kui tiirleb ümber planeedi. Mingisuguse tundmatu põhjuse tõttu on üks tema poolkera palju tumedam teisest. Kui see tume poolkera on pöördud Maa poole, saadab kaaslane meile vähem valgust kui igasuguses teises asetsuses.

Ka teistel Saturni kaaslastel, samuti Jupiteri omadel, on tähele pandud korrapäraseid heleduse muutumisi (kuigi kaugeltki mitte nii suuri kui Japetil), mis sunnivad oletama, et üldse kõik päikesesüsteemi kaaslased on pööratud oma planeedi poole alatiselt ühe küljega.

IX kaaslane Fööbe, mis avastati alles 1898. a., on tähelepanuväärne selle poolest, et ta on ainuke Saturni kaaslastest, mis liigub vastupidises suunas. Meenutagem, et ka Jupiteri kõige kaugemad kaaslased liiguvad vastupidi.

Uuran.

Saturn on kõige kaugem neist planeetidest, mis olid tuntud juba muiste. Meile tundub praegu eriti kummalisena, et kõigi maailmaehitise kohta käivate võimalikkude hüpoteeside hulgas, mis on sageli täiesti fantastilised, ei leia me teaduse ajaloos kellegi poolt väljendatud arvamust võimaluse kohta, et on veel kaugemaid planeete. Saturni peeti planeetide süsteemi piiriks.

Seepärast kui 13. märtsil 1781. a. muusik Herschel nägi enda ehitatud pikksilma vaateväljal tähte ümmarguse planeedilise kettaga, mille läbimõõt oli 4″, teatas ta „Kuninglikule Seltsile“ (s. o. inglise Teaduste Akadeemiale) uue komeedi avastamisest. Komeediks pidasid

avastatud tähte ka kõik teised astronoomid, seni kui arvutused näitasid, et uue taevakeha tee ei ole sugugi sarnane komeetide parabooliga, vaid kujutab endast ennem ringi kaks korda suurema raadiusega, kui see on Saturni orbiidil.

Nii toimus uue planeedi avastamine, osutudes esimeseks sellekohaseks juhtumiks ajaloos. Uus planeet nimetati Uuraniks kreeka taevajumaluse, Saturni isa ja Jupiteri vanaisa nime järgi. Läbimõõdult on Uuran 4 korda suurem kui Maa.

Uuran esineb meile 6. suuruse tähena ja selgeil kuuvalgeta öödel on ta nähtav ka palja silmaga. Kuid eristada võib teda teistest tähtedest vaid täpse taevakaardi ja astronoomilise kalendri abil. Praegusel ajal asetseb ta Sõnni tähtkujus. 1943. a. oli opositsioon 30. novembril. Igal järgneval aastal saabub opositsioon ainult 4 päeva hiljem.

Uuran esineb meile 6. suuruse tähena ja selgeil kuu-Maal. Seepärast helendab planeedi väike ketas väga tuhmilt ja tema peal võib isegi tugevaimate pikksilmade abil näha õige vähe. Sellest hoolimata on kaheldamatult kindlaks tehtud planeedi tugev lapikus, mis on võrdne ligikaudu $\frac{1}{12}$-ga, olles järelikult tugevam kui Jupiteril. Spektraalsete vaatluste järgi on tehtud kindlaks ka pöörlemise aeg, mis osutub pisut pikemaks kui Saturnil, nimelt 10 tundi 50 minutit. Planeedi pöörlemise telg asetseb täiesti ebaharilikult: ta peaaegu lamab oma orbiidi tasapinnas (või ekliptika tasapinnas, sest nurk nende kahe tasapinna vahel on väiksem kui 1^0), nii et Uuran pöörleb „lamades küljeli".

Siit järgneb omapärane aastaaegade vahetus sellel planeedil. Et Uurani telg säilitab pidevalt ühe ja sama

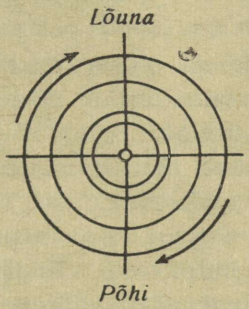
suuna, siis planeedi 84-aastase tiirlemise perioodi jooksul möödub see kaks korda Päikesest. Seepärast muutub selle perioodi jooksul Päike seal „põhjanaelaks" kord ühele poolkerale, kord teisele. Planeedi polaarsetes piirkondades on mõnede aastakümnete jooksul katkestamatu päev ja niisama kaua aega kestab siis „talveöö".

Ebatavalise telje asetuse tõttu muutub pikksilmas ka planeedi kuju. Kui Uurani telg on suunatud otse Päikese poole ja Uuran asetseb opositsioonis, siis näeb maine vaatleja Uurani poolust nähtaval kettal peaaegu selle keskel ja planeet näib täiesti ümmargusena. Pärast 21 aastat, kui Uuran on sooritanud veerandi oma tiirust, läbib Päike planeedi ekvaatori tasapinna. Sel ajal asetsevad planeedi mõlemad poolused ketta äärtel, kuid mitte põhja ja lõuna pool, vaid idas ja läänes. Siis omab Uuran tugevamate pikksilmade abil vaadelduna niisamasugust kuju nagu Jupiter väikese pikksilmaga vaadelduna: lapik ketas ja üks-kaks ekvatoriaalset vööti; erinevus on vaid selles, et need vöödid ei kulge ekliptikaga rööbiti nagu Jupiteril, vaid asetsevad risti sellega.

Uuranil on avastatud neli väga nõrka kaaslast. Kõik nad tiirlevad ühes tasapinnas, mis peab olema väga lähedane planeedi ekvaatori tasapinnale (joon. 59). Kaaslaste orbiitide tasapinna kallet planeedi enda orbiidile võib kindlaks määrata suure täpsusega; see osutub *suuremaks* täisnurgast ja nimelt 98°. Seda võib kujutleda endale teisiti nii: kaaslased tiirlevad ümber planeedi *vastupidises* suunas kaldega 82°. Niisamasugusel viisil võib kaaslase kohta, mis liigub täpselt planeedi orbiidi tasapinnas (s. o. kal-

dega 0°), kuid vastupidises suunas, ütelda, et tema orbiit omab 180°-st kallet; liikumise suunda siis juba mainida ei tarvitse.

On väga võimalik, et ka Uurani ekvaatori tasapind, mille asetust on vaatluste teel väga raske kindlaks määrata, omab samuti kallet 98° ümber. Sel juhul tuleb tunnistada, et Uuran pöörleb oma telje ümber suunas, mis on vastupidine planeetide süsteemi kõikide ülejää-



Joon. 59. Uurani kaaslaste orbiitide asetus maapealsele vaatlejale 1939. a. novembris.

nud kehade pöörlemisele, ja kaldega 82° (kui tema ekvaatori kalle oleks olnud täpselt 90°, siis poleks olnud ei otsest ega ka vastupidist pöörlemist).

Neptuun.

See kauge planeet, oma mõõtmetelt peaaegu ühesugune Uuraniga, on tähelepanuväärne peamiselt oma avastamise ajaloo poolest, planeedist endast teame aga väga vähe. Tugevate pikksilmade abil võib näha tema ümmargust ketast 2″ läbimõõduga ja ei midagi rohkem. Kuid siiski teame temast rohkem kui Veenusest, sest

on läinud korda kindlaks määrata tema pöörlemise perioodi.

Seda teostati spektroskoopiliselt 1928. a. Licki observatooriumi hiigla refraktori abil. Doppleri printsiibi järgi mõõdeti ära planeedi ketta äärtel asetsevate punktide lähenemise ja eemaldumise kiirus. Nende kiiruste järgi leidsid Moore ja Menzel, et Neptuuni pöörlemisperiood on ligikaudu 15 tundi, s. o. pikem kõigi teiste hiidplaneetide omist, kuid tunduvalt lühem Maa pöörlemisperioodist.

Pöörlemine toimub otsesuunas nagu kõigil teistel planeetidel (peale Uurani). See osutus ebameeldivaks üllatuseks astronoomidele. Nad ootasid vastupidist pöörlemist, kuna ainuke meile tuntud Neptuuni kaaslane tiirleb vastupidises suunas. Tema puhul on see vastupidine liikumine isegi teravamalt väljendatud kui Uurani kaaslaste puhul: tema orbiidi kalle on kõigest 40^0 (või 140^0 teise lugemisviisi järgi).

See kaaslane on iseendast küllaltki tähelepanu vääriv. Otsustades tema heleduse järgi, peab ta olema Kuust suurem, võib-olla on isegi suurem kui Merkuur. Ta on võrdlemisi planeedi lähedal, kõigest planeedi seitsme läbimõõdu kaugusel, ja tiirleb täpselt ringjoont mööda. Üldiselt ei ole ta sugugi sarnane kaugete vastupidises suunas liikuvate Jupiteri ja Saturni kaaslastega. Seepärast võis arvata, et tema liikumise suund ja planeedi pöörlemise suund peaksid olema ühesugused nagu Uuranilgi. Kuid selles suhtes pole Neptuun nähtavasti sarnane oma „kaksikuga" — Uuraniga.

Neptuun liigub taevas nii aeglaselt, et igal aastal tema opositsioon Päikesega hilineb vaid kahe ööpäeva võrra. 1944. a. oli opositsioon 25. märtsil Neitsi täht-

kujus. Leida Neptuuni taevas on tunduvalt raskem kui Uuranit, sest Neptuun omab kõigest 8. suuruse tähe heledust; tema vaatlemiseks on tarvis erilist teleskoopiliste tähtede kaarti.

Pluto.

Pluto avastamine. Neptuuni hiilgav avastamine Uurani liikumise kõrvalekaldumiste järgi andis lootust, et Neptuuni liikumise uurimine võimaldab omakorda viia meid veel mõne kaugema planeedi jälile. Seepärast tehti möödunud sajandi lõpul mitu katset avastada Neptuuni liikumises kõrvalekaldumisi teooriast, et siis nende järgi „ennustada" uut planeeti.

Kõik need katsed lõppesid ebaõnnestumisega. Neptuun liigub nii aeglaselt, et esimeste vaatluste ajast alates ei ole teinud veel ühtegi täistiiru ümber Päikese. Seepärast tähtsaim suurus, mis määrab kindlaks planeedi liikumise — tema tiirlemisperioodi, ei ole meile veel päris täpselt teada. Niisugustel tingimustel ei või igasugune lahkuminek Neptuuni tegeliku ja väljaarvutatud liikumise vahel toimuda mitte ainult tundmatute kehade poolt tekitatavatest häiretest, vaid lihtsalt ka sellepärast, et liikumine meile tuntud kehade mõjul oli ehk välja arvutatud mitterahuldavalt. Tuleks ainult parandada Neptuuni liikumise teooriat ja lahkuminekud kaoksid.

Seda arvestades pöördusid „planeedikütid" Uurani juurde tagasi, mille teooria oli tuntud palju paremini, kuna ta avastamise ajast alates oli jõudnud juba joonistada peaaegu kaks täit tiiru. Kuid seevastu on ta palju kaugemal oletatavast Neptuuni-tagusest planeedist, mis-

pärast suuri häireid tema liikumises oodata ei tule. Tuletan meelde, et kõik tähtsamad Uurani kõrvalekaldumised olid seletatavad pärast Neptuuni avastamist, ja kui viimase mõju võeti arvesse, siis selgus, et Uuran liigub peaaegu täpselt Leverrier' teooria järgi: lahkuminek Uurani vaadeldava asukoha ja väljaarvutatu vahel ei saavutanud kunagi 2", s. o. planeedi ketta raadiust, vaid enamalt jaolt oli isegi alla 1". Niisugused suurused on ainult natuke suuremad vältimatuist tabelite ebatäpsustest ja vaatluste võimalikest vigadest. Märgime võrdluseks, et lahkuminekud, millede järgi Leverrier avastas Neptuuni, tõusid kuni 40"-ni, s. o. olid kümneid kordi suuremad.

Sellele vaatamata leidsid mõned arvutajad viimase kolmekümne aasta jooksul võimaliku olevat panna need väikesed kõrvalekaldumised tundmatu planeedi häirete arvele. Sarnlevalt Leverrier'ga ja Adams'iga ennustasid nad planeedi asukohta taevas, kuid seal teda ei osutunud. Üheks neist arvutajatest oli Lowell, tuntud Marsi uurija. 1915. a. avaldas ta natuke aega enne oma surma oletatava Neptuuni-taguse planeedi kohta kaks kõige tõenäolisemat orbiiti ja juhatas kaks piirkonda Zodiaagis (üks peaaegu 180^0 teisest), milledes võiks asetseda planeet.

Planeedi otsingud algasid Lowelli observatooriumis alles 1929. a. Observatooriumi noor kaastööline T o m b a u g h, võrreldes kaht ülesvõtet Kaksikute tähtkujus, märkas 19. veebruaril 1930. a., et üks väga nõrk täheke on kahe fotografeerimise aja vahel pisut edasi liikunud. Täheke asetses 3^0 kaugusel kohast, mis oli juhatatud Lowelli poolt, ja liikus täpselt nii, nagu pidi liikuma selline kauge planeet. Varsti selguski, et see on

tõesti uus planeet, mis asetseb Päikesest poolteist korda kaugemal kui Neptuun ja teostab ühe tiiru 250 aasta jooksul. Teda nimetati Plutoks, kreeka allmaailma jumaluse nime järgi.

Uue planeedi orbiit on väga omapärane. Tema ekstsentrilisus on niivõrd suur, et tema orbiit läheb osaliselt isegi Neptuuni orbiidi sisse, sarnlevalt sellega, kuidas Eerose orbiit läheb Marsi orbiidi sisse. Orbiidi kalle ekliptikale on samuti suurem kui ülejäänud suurte planeetide puhul. Niisugused väljavenitatud ja kallakkad orbiidid esinesid seni ainult asteroididel.

Pluto heledus on üsna väike. Ta on nähtav 15. suuruse tähena, s. o. nõrgemana kõikidest kehadest planeetide süsteemis, välja arvatud kaks Uurani kaaslast ja Jupiteri kauged kaaslased. Mingisuguseid ketta tunnusmärke pole tema kohta näha isegi kõige tugevamate pikksilmadega. See tähendab, et ta on tunduvalt väiksem Maast ja on vist lähedane oma mõõtmetelt Marsile või isegi Merkuurile. Hiidplaneetide keskel ei asetse ta sugugi mitte omal kohal. Selleks, et Pluto osa päikesesüsteemis ei näiks nii erandlikuna, võib esitada järgmise planeetide jaotuse skeemi.

„Maakera grupi" nelja planeedi taga järgneb asteroidide vöö, milledest läbimõõdu poolest kõige suuremad on korda 20 väiksemad suurimaist selle grupi planeetidest.

Samal viisil järgneb nelja hiidplaneedi taga „üliasteroid" Pluto, mis on samasuguse ekstsentrilise orbiidiga, kui on Eeroselgi, kusjuures tema läbimõõt on samuti umbes 20 korda väiksem suurima hiidplaneedi läbimõõdust.

Kas on Neptuuni taga veel teisi „üliasteroide", seda meie ei tea. Seepärast vaatame esitatud skeemile esialgu kui mugavale reeglile planeetide süsteemi ehituse meelespidamiseks.

Pluto avastamise hinnang. Lowelli hüpoteetiline „planeet X" pidi tema arvutuste kohaselt omama $6\frac{1}{2}$ korda suuremat massi, kui on Maa mass. Ainult niisuguse tunduva massi puhul võib ta kauge Uurani liikumises esile kutsuda neid väikesi kõrvalekaldumisi, mis olid võetud kogu arvutuse aluseks. Kuid Pluto ei saa omada isegi Maa omaga võrdset massi. Kui Pluto oma läbimõõdult oleks ühesugune Marsiga ja kui tema tihedus võrduks Maa tihedusega, siis oleks tema mass kõigest $\frac{1}{4}$ Maa massist. Mingisuguseid märgatavaid häireid Uurani liikumises niisugune väike planeet esile kutsuda ei saa ja avastatud väikesed kõrvalekaldumised on põhjustatud millestki muust.

Niiviisi tuleb Neptuuni-taguse planeedi avastamist ühe nende punktide lähedal, milledele juhiti tähelepanu taevas, tunnistada õnnelikuks juhuseks. Kuid siiski jääb Lowellile see au, et tema töö õhutas vaatlejaid otsinguile, mis viisid niisuguse huvitava taevakeha avastamiseni.

VIII peatükk.

Komeedid ja „lendtähed".

Põhja poolkera elanikkonnal pole 1910. a-st saadik võimalust olnud imetleda heledat komeeti, kuid nõrgad komeedid, mis on nähtavad ainult pikksilmaga, ilmuvad ka meie ajal niisama sagedasti kui varemaltki. 1925. a. võisid astronoomid näha isegi 12 komeeti — rekordiline arv kogu pikksilma olemasolu aja jooksul.

Komeedid erinevad planeetidest esmajärjekorras oma liikumise poolest. Kõik planeedid, mis on nähtavad palja silmaga, on tuntud ammust ajast ja neid vaadeldakse pidevalt; uusi heledaid planeete ei esine. Samal ajal aga „uusi" komeete, s. o. niisuguseid, milliseid kunagi keegi pole vaadelnud, ilmub väga sageli ja nende ilmumine osutub ootamatuseks isegi astronoomidele. Tihtipeale märgatakse neid täiesti juhuslikult, näiteks astronoomiliste vaatluste puhul, milledel on hoopis teised eesmärgid. Sageli avastatakse komeedid inimeste poolt, kel pole mingisugust sidet astronoomiaga, kui neil õnnestub heita pilk sellele kohale taevas, kus tähtede keskel on parajasti nähtav hele komeet. Komeete võib avastada ükskõik millises taevapunktis, seejuures mitte ainult Zodiaagi tähtkujude vöös, kus alatasa liiguvad

palja silmaga nähtavad planeedid. Joonistades taevasfääril tee, mis harilikult pole sugugi sarnane planeedi teega ja on kallutatud ekliptikale ükskõik millise nurga all, nõrgeneb tingimata mõne nädala või kuu jooksul iga komeet ja muutub nähtamatuks pikksilmaga.



Joon. 60. 1858. a. suur komeet.

Veel ilmsem on vahe planeedi ja komeedi kuju vahel. Teravate piirjoontega ketta asemel esineb komeet heleda pilvekesena või tähena, mis on ümbritsetud uduga. Komeedi seda osa nimetatakse peaks ja tähekest

tema keskel tuumaks. Helendav udu venib mõnede komeetide juures ühele poole pika ribana, mis on nagu hele suitsujuga või helgiheitja kiir. See ongi komeedi saba, milles endiste aegade ebausk nägi kas taeva luuda või jumala viha mõõka (vt. joon. 60).

Kuid komeetide kõige tähelepanuväärsem omapärasus on nende muutlikkus. Planeetide ja planeetide kaaslaste, nende hulgas ka meie Kuu kuju muutlikkus on suuremalt osalt näilik; tegelikult muutub ainult planeedi valgustamine Päikese poolt ja tema kaugus meist. Komeedid aga muutuvad tegelikult. Näiteks kõige tuntum osa komeedist, tema saba, tekib ainult lühikeseks ajaks, siis kui komeet on Päikese lähedal, seejuures kaugeltki mitte iga komeedi puhul.

Komeetide liikumine.

Muistsel ajal arvati, et komeedid on meile kõige lähemal kõikidest taevakehadest. Paljud pidasid neid isegi maisteks atmosfäärilisteks nähtusteks. Suure vaatleja Tycho Brahe katse mõõta kaugust kuni komeedini jäi tagajärjetuks: komeet osutus liiga kaugel asetsevaks, „kaugemal kui Kuu", nagu otsustas Tycho. Sellesamaga arvati komeedid maistest kehadest ümber taevakehadeks, kuna Aristotelese õpetuse järgi maisesse „kuualusesse" maailma pidi kuuluma ainult see, mis asetses lähemal kui Kuu. Sada aastat hiljem tõestas Newton, et komeetide liikumist — nagu planeetidegi liikumist — juhib Päikese külgetõmbejõud.

Komeedid ilmuvad kaugetest maailmaruumi piirkondadest, kus nad pole nähtavad isegi tugevaimate pikksilmade abil; sinna nad ka eemalduvad. Seepärast võib iga

komeeti jälgida ainult väikeses osas tema teest, seni kui ta on lähedal Päikesele ja Maale. Vaatluste järgi selles osas osutub harilikult, et komeet liigub mööda *parabooli*.

See on samasugune kõverjoon, mille joonistab, nagu näitas Galilei, viltu heidetud pall või kivi; selle lihtsaimaks kujutiseks on iga purskkaevu joake.

Peamine parabooli erinevus meile tuntud ellipsist seisneb selles, et parabooli otsad ei ühine, kui palju neid ka ei pikendataks. Järelikult kui komeet oleks lennanud parabooli joont mööda, siis poleks ta olnud alatiseks päikesesüsteemi liikmeks. Niisugune komeet käändub ümber Päikese üksainus kord, läheb siis minema ja ei pöördu enam kunagi tagasi.

Kuid parabooli matemaatilistest omadustest järgneb, et kohata komeetide orbiitide keskel kas või ainult ühte täiesti täpset parabooli on täiesti ebatõenäoline, nii nagu on ebatõenäoline kohata planeetide orbiitide keskel täiesti täpset ringi. Ja tõesti — poolteise tuhande meile tuntud planeedi orbiitide seas ei leidu ühtegi ringilist orbiiti, kõik nad on osutunud ellipsiteks.

Asi seisneb selles, et matemaatiliselt eksisteerib *lõpmatu* arv ellipsi kujusid, mis erinevad üksteisest ainult ekstsentrilisuse suuruse poolest (ekstsentrilisusest oli meil juttu IV peatükis). Ring aga on *üks* neist loendamatuist ellipsitest; see on ellips, mille ekstsentrilisus võrdub täpselt nulliga, s. o. 0,000 . . . , kusjuures kõik loendamatud kümnendkohad koma järel peavad olema nullid. Muuseas igasugust suurust, sealhulgas ka orbiidi ekstsentrilisust, võime kindlaks määrata vaatlustest ainult ligikaudselt, leida ainult mõned tema esimestest kümnendkohtadest. Juhtus, et need kümnendkohad

osutusid nullideks ja seepärast loeti ekstsentrilisus võrdseks nulliga. Kuid on täiesti ebatõenäoline, et k õ i k järgmised kohad osutuksid ka nullideks. Näiteks Jupiteri II ja III kaaslase orbiitidele peeti varem ekstsentrilisus võrdseks 0,00-ga. Kuid siis olid teada ainult kaks kümnendkohta pärast koma. Nüüd teame ekstsentrilisust sada korda täpsemalt, kuna määrati veel kindlaks kaks kümnendkohta, kusjuures osutus, et $e_2 = 0{,}0003$, $e_3 = 0{,}0015$. Tähendab, orbiidid ei ole ringid, vaid ellipsid, kuigi lähedased ringile.

Samal viisil kujutab ka parabool endast üht ellipsi kuju, nimelt ellipsit, mille ekstsentrilisus on võrdne 1,0-ga, kusjuures kõik järgnevad kümnendkohad on nullid.

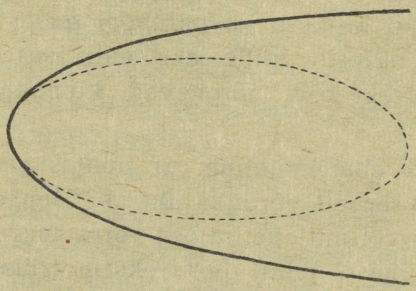
On täiesti ebatõenäoline, et mingisuguse komeedi ekstsentrilisus täpselt võrduks ühega. Tõenäoliselt on ta kas tuhandiku või miljondiku osa võrra suurem või väiksem ühest. Esimesel juhul oleks ekstsentrilisus, oletame, 1,001 ja teisel juhul — 0,999. Esimesel juhul pole see mitte parabool, vaid hüperbool, s. o. kõver, mille otsad lähevad laiali veel tugevamini kui paraboolil. Teisel juhul on meil tegemist ellipsiga, mis aga on erakordselt tugevasti välja venitatud.

Praegusel ajal võib pidada tõestatuks, et looduses esineb peaaegu eranditult teine juht: komeedi orbiidid on ellipsid — ebaharilikult välja venitatud, kuid suletud kõverjooned (vt. joon. 61). Komeedid on niiviisi siis meie päikesesüsteemi püsivaiks liikmeiks.

See osa elliptilisest orbiidist, mille komeet läbib oma mõnekuuse nähtavuse ajal, ei erine paljude komeetide puhul paraboolist. Et aga matemaatilisest küljest on paraboolne orbiit palju lihtsam elliptilisest, siis astro-

noom-teoreetik arvutab harilikult ka välja komeedi liikumise nii, nagu liiguks ta parabooli joont mööda. See-juures teab ta väga hästi, et komeedi orbiit on tõenäoliselt elliptiline ja et paljude tuhandete aastate pärast pöördub ta tagasi Päikese juurde, kuid täpselt seda tagasipöördumise aega pole praegu võimalik kindlaks määrata.

On aga olemas komeete, millede elliptilised orbiidid ei ole väga tugevasti välja venitatud, nii et nad peavad



Joon. 61. Ellips ja parabool.

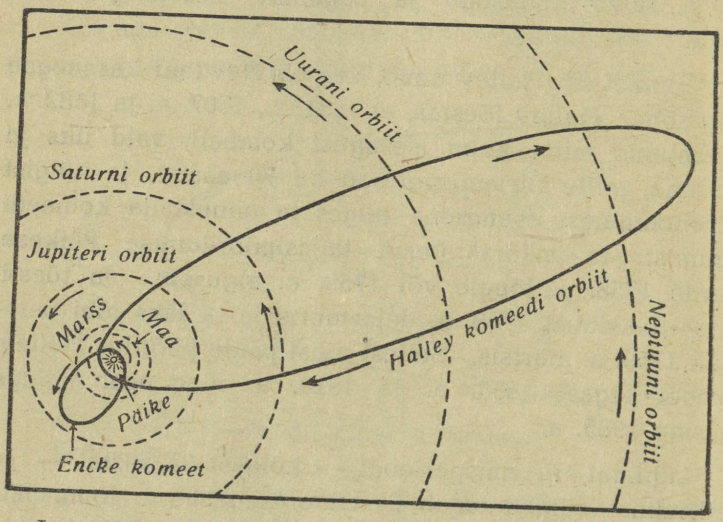
tagasi pöörduma Päikese juurde väikeste ajavahemikkude pärast. Niisuguseid komeete nimetatakse perioodilisteks. Paljusid neist (üle 30) on juba vaadeldud mitmete tagasipöördumise ajal Päikese juurde. Kõik nad on, välja arvatud üks erand, väga nõrgad. Selleks erandiks on tuntud Halley komeet (vt. joon. 62). Vanaaegsetes kroonikates, peamiselt hiina omades, on kirjeldatud kümned tema tagasipöördumised, alates 240. a. enne meie ajaarvamist. Kõikidel oma ilmumistel oli ta väga hele ja kutsus esile ebausuhirmu kui saladuslik taevalik ilmutis. Tema üks ilmumine oli 1456. a., kui türklased vallutasid Konstantinoopoli ja ähvardasid

Euroopat. Komeet hirmutas ära mõlemad sõdivad pooled. Eurooplased nägid tema sabas türklaste kõverat mõõka, türklased aga kristlaste risti. Mõned tema ilmumised on märgitud ka vene kroonikais, alates 1066. a-st. Sel aastal kirjutab kroonik: „Oli läänes ilmutis, täht ülisuur, kiired otsekui verised ..., see ilmutis ei tähenda head: sellest tuleb kodusõdu ja paganate sissetung Venemaale".

Komeet sai Halley nime, kes oli Newtoni kaasaegne ning sõber. Halley tõestas, et 1531. a., 1607. a. ja 1682. a. ei ilmunud mitte kolm isesugust komeeti, vaid üks ja seesama, mille tiirlemisperiood oli 76 aastat, ja kõigist astronoomidest esimesena julges ta ennustada komeedi ilmumist: ta määras tema tagasipöördumise Päikese juurde 1758. a. lõpule või 1759. a. algusele. Ja tõesti avastati komeet 1758. a. detsembris ja ta läks läbi periheeli 1759. a. märtsis. Sellest ajast peale pöördus Halley komeet tagasi 1835. a. ja 1910. a. ning peab jällegi naasma 1985. a.

Lühimat tiirlemisperioodi — kõigest 3½ aastat — ja väikseimat ellipsit omab Encke komeet (vt. joon. 62), enamikul perioodilistel komeetidel on aga tiirlemisperiood 5 kuni 8 aastat. Neid komeete nimetatakse „Jupiteri komeetide perekonnaks", kuna nad kõik oma kaugeimas orbiidi punktis lähenevad selle planeedi orbiidi ligidale. On ilmne, et nad on Jupiteriga kuidagi seotud. On usutav, mõnel juhul isegi kaheldamatu, et Jupiteri võimas külgetõmme andis nende komeetide orbiitidele nende praeguse kuju; varemalt võisid need olla isegi „paraboolsed". On aga ka teine arvamus, nimelt et selle perekonna komeedid mingisugusel viisil tekkisid Jupiterist.

Täiesti iseäraliku komeedi avastasid 1927. a. astronoomid Schwassmann ja Wachmann. Komeet liigub planeedi tüüpi orbiiti mööda, s. o. peaaegu ringi mööda, Jupiteri ja Saturni orbiitide vahel; seepärast võib seda komeeti vaadelda igal aastal täpselt nagu planeetigi, kuid kahjuks ainult kõige tugevamate pikksilmade abil.



Joon. 62. Halley ja Encke komeetide liikumine planeetide süsteemis.

Kõikide komeetide orbiitide tasapinnad lähevad läbi Päikese nagu planeetide orbiitide tasapinnadki. Kuid samal ajal, kui kõikide suurte planeetide orbiitide tasapinnad moodustavad endi vahel vaid mõnekraadised nurgad ja keskmiselt on lähedased maakera orbiidi tasapinnale (ekliptikale), on komeetide orbiitide tasapinnad kallutatud ekliptikale kõikvõimalike nurkade all, alates 0°—180°.

Perioodiliste komeetide orbiidid omavad võrdlemisi väikest kallet, suuremas osas vähemat kui 30^0, nagu on väikestel planeetidel. Niisugused komeedid, arusaadav, tiirlevad ümber Päikese samas suunas kui planeedidki, s. o. p ä r i p i d i.

Mitteperioodiliste komeetide hulgas esinevad sageli kalded, lähedased näiteks 90^0-le. Niisuguse kaldega komeet liigub tasapinnas, mis on peaaegu risti suurte planeetide liikumise tasapinnaga, nii et on raske ütelda, millises suunas liigub ta planeetide süsteemis, kas päri- või vastusuunas.

Lõppeks on mitteperioodilisi komeete orbiitide kaldega, mis on peaaegu võrdne 180^0-ga. Muidugi liiguvad need komeedid päikesesüsteemis planeetide liikumisele vastu, nende liikumine on v a s t u p i d i n e. On tähelepanuväärne, et niisugust vastupidist liikumist omab ka ü k s perioodiline komeet ja seejuures kõige tähtsam, nimelt Halley komeet. Komeedi orbiidi kalle on 162^0. Võib öelda ka teisiti, et tema orbiidi kalle ekliptikale võrdub 18^0-ga, kuna $180^0 - 18^0 = 162^0$, kuid ta liigub vastupidi.

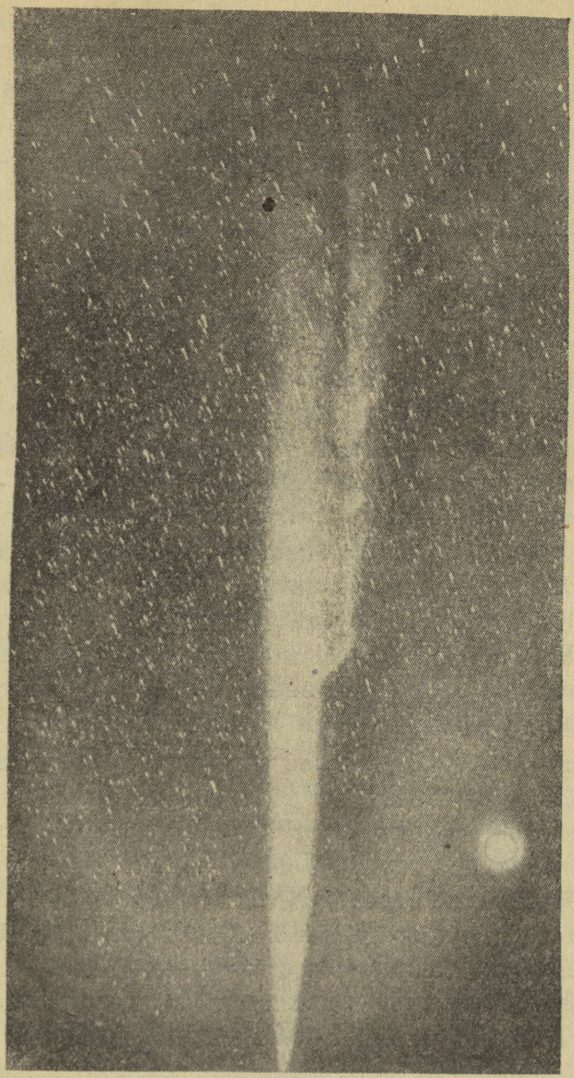
Komeetide mõõtmed ja massid.

Komeetide orbiidid läbivad planeetide süsteemi kõikvõimalikes suundades. Seepärast tulevad komeedid sageli planeetidele palju lähemale, kui üks planeet võib läheneda teisele. Niisugustel kohtumistel kutsub planeet komeedi liikumises esile tugevad häired ja komeedi orbiit muutub mõnikord kuni tundmatuseni. Planeet ise aga ei tunne komeedi poolt vähimatki häiret, otsekui oleks komeedi mass võrdne nulliga. Nulliga ta muidugi ei

võrdu, kuid uuemate hindamiste järgi ei ulatu isegi ühe miljondiku osani maakera massist.

Seejuures on aga komeetide mõõtmed kolossaalsed. Need on meie süsteemi suurimad taevakehad. Isegi nõrgad teleskoopilised komeedid, mis on täiesti ilma sabata, on mitu korda suuremad kui Maa. Tuntakse mitut komeeti, millede pead üksi olid mahu järgi suuremad kui Päike. Sabad ei tule kõne allagi: tihtipeale on nende pikkus kümneid, mõnikord aga ka sadasid miljoneid kilomeetreid. Kõrvutades komeetide hiiglaslikke suurusi nende tühiselt väikeste massidega, jõuame otsusele, et nende tihedus on võrratult väiksem maakera atmosfääri tihedusest, ja niiviisi on komeedid päikesesüsteemi kõige hõredamaiks liikmeiks.

See järeldus leiab kinnitust komeetide haruldases läbipaistvuses: mitte ainult läbi saba, vaid ka läbi komeedi pea on tähed nähtavad ilma nende heleduse nõrgenemiseta. 1910. a. maikuus läks Halley komeet (joon. 63) täpselt Maa ja Päikese vahelt läbi. Komeedi pea, niikaua kui teda võis vaadelda öises taevas, oli väga hele ja näis suuremana kui Päike. Kui aga varemalt väljaarvutatud momendil saabus „Päikese varjutus komeedi poolt", siis osutus, et Päike omas täiesti harilikku kuju ja mingisuguseid komeedi tunnusmärke polnud märgata isegi tugevaimate pikksilmade abil. See oli eriti rabav veel selle poolest, et komeedi kogu saba oli sel momendil suunatud Maa poole ja Päikese kiired ei tunginud läbi mitte üksi komeedi peast, vaid ka tema sabast mitmete miljonite kilomeetrite ulatuses. Ja kõik see osutus absoluutselt läbipaistvaks ja otsekui mitteeksisteerivaks.



Joon. 63. Halley komeet 1910. a.

Komeetide puhul on pandud tähele teisigi nähtusi, mis tõendavad, et komeetidel on oma loomuse poolest väga vähe ühist planeetidega: juhtus näiteks, et komeet peaaegu vaatleja silmade ees jagunes osadeks, muutus kaheks või kolmeks eraldi komeediks. On teada isegi komeetide täieliku lagunemise juhtumeid, mis lõppesid komeedi kadumisega; neist räägime lendtähtede puhul.

Komeetide ehitus.

Kõik säärased nähtused viisid järgmisele komeetide ehituse teooriale. Isegi komeedi peamine osa, tema tuum, võib vaevalt olla ühtne tahke keha; kõige tõenäolisemalt koosneb ta suurest hulgast üksikuist kehadest — rahnudest, kividest ja isegi liivaterakestest, mis lendavad koos otsekui putukate parv. Nende kehade vahel tegutseb newtonlik külgetõmme, tõsi küll nõrk, sest et kehade massid on tühiselt väikesed. Kuid siiski ei lase vastastikune külgetõmme parve liikmeil aja jooksul igale poole laiali lennata, seni kui nende peale ei hakka avaldama mõju mingisugune tugevam kõrvaljõud.

Oma tiirlemisaja enamas osas, seni kui parv on kaugel Päikesest, jäävad kivid tumedaks ja külmaks ja komeet pole nähtav ühegi teleskoobiga. Sel määral, kuidas parv läheneb Päikesele, muutub ta nähtavaks kõigepealt päikesekiirte tugevneva valgustuse tõttu. Sel ajal on tal ümmarguse udulise laigu kuju. Needsamad päikesekiired soojendavad parve ja kutsuvad temas esile protsessi, mida nimetatakse „aurumiseks": kividest hakkavad eralduma helendavad gaasid, mis ümbritsevad tuuma läbipaistva atmosfäärina. Nagu on näidanud spektraalanalüüs, eraldub komeedi osakestest algul

mürgine gaas tsüaan, seejärel süsinik ja süsivesinik. Kui komeedi orbiit on selline, et ta võib ulatuda Päikesele väga lähedale, siis kuumeneb komeedi tuum niivõrd, et tekivad naatriumi, raua ja teiste elementide aurud. Sel korral võib komeet muutuda lühikeseks ajaks heledamaks kui Veenus ja teda võib näha isegi päeval. Niisugused „päevased komeedid" ei ole just väga haruldased; meie sajandil näiteks ilmusid nad juba kaks korda — 1910. ja 1927. a.

Kui gaaside aurumine muutub väga intensiivseks, siis võib märgata, et see toimub peamiselt sellel tuumapoolel, mis on pöördunud Päikese poole. Väljapaiskunud gaaside massid ei jää püsima komeedi pea ümber. Nad alluvad mingisuguse tõukejõu mõjule, mille allikaks on Päike. Selle jõu mõjul liiguvad gaasid kogu aja selles suunas, mis on vastupidine Päikese suunaga. Nii tekib komeedi saba. Juba ammu märgati, et see on alati suunatud Päikesest eemale, nii et komeet, eemaldudes Päikesest, liigub, saba ees. Olgu tähendatud, et komeedi tuumale see tõukejõud ei mõju ja ta jätkab liikumist ainult Päikese newtonliku külgetõmbe mõjul. Komeedi saba võib sel viisil võrrelda suitsuga veduri korstna kohal. Tema koosseis, nagu suitsusamba koosseiski, uuendub pidevalt: saba, mida vaatleme täna, koosneb uutest osakestest; osakesed aga, milledest koosnes eilne saba, on juba valgunud laiali maailmaruumi. Suurima pikkuse saavutab saba varsti pärast seda, kui komeet on läbinud periheeli, misjärel hakkab saba järkjärgult vähenema ja komeet eemaldub Päikesest niisamasuguse ümmarguse laigukesena, nagu ilmuski.

Milline jõud tõukab siis tolmukübemekesed ja gaasi molekulid komeedi peast sabasse ja seejärel kihutab

need kaugemale maailmaruumi? Kõige tõenäolisemalt on see lihtsalt Päikese valgus. Praegu teame, et valgus avaldab rõhku kõikidele tema poolt valgustatud esemeile. Suuremate mõõtmetega esemeile on see rõhk tühine, võrreldes nende kaaluga, kuigi kuulsal vene füüsikul L e b e d e v'il läks korda seda avastada laboratooriumis ja isegi mõõta. Kuid näiteks tolmukübemekesele, mis lendab planeetide-vahelises ruumis, on Päikese valguse rõhu jõud mitu korda suurem Päikese külgetõmbest, ja lõpptulemuseks on see, et tolmukübemeke tõugatakse eemale Päikesest, mitte aga ei tõmmata külge. Gaasi molekulidele mõjub valguse rõhk palju tugevamini kui tahkeile tolmukübemekestele.

Veel enne valguse rõhu avastamist näitas teine väljapaistev vene teadlane B r e d i h h i n, et saba kuju järgi võib kindlaks määrata tõukejõu suurust. Kui see on suur, siis eemalduvad komeedi osakesed Päikesest väga kiiresti, kiirustega kümneid kilomeetreid sekundis, ja saba on peaaegu sirge, otsekui prožektori kiir. Niisuguseid sabasid nimetas Bredihhin I tüüpi sabadeks. Nende puhul ületab Päikese tõukejõud külgetõmmet 20 ja rohkem korda. Nüüdisaegseil andmeil koosnevad säärased sabad süsiniku ja lämmastiku hapendeist. Nõrgemate tõukejõudude puhul liiguvad osakesed sabas võrdlemisi aeglaselt ja saba on kõver, rohkem või vähem tagasi kalduv (komeedi liikumise vastu). Neid sabasid nimetas Bredihhin II ja III tüüpi sabadeks; neil on tõukejõud ainult pisut suurem kui Päikese külgetõmme ja mõnikord isegi väiksem (III tüübi puhul). Sellised sabad koosnevad nähtavasti väikestest kõvadest tolmukübemekestest.

Et ühes ja samas komeedis on niihästi kõvad tolmukübemekesed kui ka mitmesugused gaasid, siis tekib sageli komeedil mitu erinevat tüüpi sabasid. Nad harguvad lehvikukujuliselt; lehvik asetseb alati komeedi orbiidi tasapinnas. Viimasel ajal on tõestanud nõukogude astronoom S. V. Orlov, et komeedi sabade loomus on veelgi mitmesugusem, kui arvas Bredihhin. Tal tuli lisada kolmele Bredihhini tüübile veel 0 tüüp ja IV tüüp. 0 tüüpi sabades on tõukejõud veel kümneid ja sadasid kordi suurem kui I tüüpi sabades, IV tüüpi sabades aga vastupidi võrdub tõukejõud nulliga, nii et osakesed neis liiguvad ainult Päikese külgetõmbe mõjul.

Komeetide lagunemine.

Päikesesüsteemi ajaloos on praegune ajajärk kahtlemata komeetide lagunemise ajastu. See lagunemine kulgeb mitut teed.

Kõigepealt võib ütelda, et komeedid „auravad ära" (kuigi „äraauramine" neis ei sarnle vee auramisega selle soojendamisel). Igal lähenemisel Päikesele eritavad komeedid aure ja gaase, mis komeedisse enam tagasi ei pöördu. Just sellepärast on kõik lühiperioodilised komeedid nõrgad ja sabadeta: nad on käinud Päikese juures võib-olla tuhandeid kordi, tuhandeid kordi eritanud gaase, ja praegusel ajal pole neis materjali saba tekitamiseks peaaegu järele jäänudki.

Peale selle komeedid jagunevad: ühest suurest komeedist saab kaks või rohkem väikest. Säärasest jagunemisest on tuntuim juhtum ühe väikese perioodilise komeediga, mille avastas XIX sajandi algul austria astronoom-asjaarmastaja Biela. 1846. a. jagunes see komeet

peaaegu astronoomide silmade ees kaheks samakujuliseks komeediks (vt. joon. 64). Kaugus nende vahel kasvas pidevalt, senikaua kui sai komeete jälgida, saavutades peaaegu suuruse, mis võrdub Maa kaugusega Kuust. 1852. a. pöördusid mõlemad komeedid tagasi ja kaugus nende vahel oli muutunud veel suuremaks. See oli Biela komeedi viimne ilmumine. Kuigi ta pidi pöörduma tagasi Päikese juurde iga 6½ aasta järel, pole teda enam nähtud ja teda peetakse kadunuks.



Joon. 64. Biela komeet, mis jagunes kaheks 1846. a.

Seesama Biela komeet võimaldas juba pärast kadumist avastada veel kolmanda lagunemisprotsessi, mis toimub komeetides: nad h a j u v a d maailmaruumi; meteoriitse parve maht, millest koosneb komeedi tuum, suureneb aja jooksul. 1872. a. pidi Biela komeet tulema Maale eriti lähedale, kuid leida teda ei õnnestunud. Seevastu sama aasta 27. novembril vaadeldi paljudes kohtades suurepärast „lendtähtede sadu". Nagu hiljem selgus, liikusid meteooride kehad, mis lendasid sel puhul Maa atmosfääri, Biela komeedi orbiiti mööda. Tõenäoliselt lagunes komeet lõplikult ja muutus niinimetatud meteooride vooluks.

Iga aasta 24. novembri ümber, kui Maa läbib Biela komeedi orbiiti, langevad meie atmosfääri veel tema

viimased jäägid — mõnikümmend lendtähte, mis liiguvad ammu lagunenud komeedi orbiidil.

Peale Biela komeedi on teada veel mõned juhud, kus perioodiline komeet pöördus regulaarselt tagasi Päikese juurde, seejärel aga kadus ja enam ei ilmunudki. Mõned perioodilised komeedid, mis veel pöörduvad tagasi, on oma esimesest ilmumise ajast alates niivõrd nõrgenenud, et nüüd saab neid näha ainult kõige tugevamate pikksilmade abil.

Niisiis pole komeedid pikaealised, nende tulevik on võrdlemisi lühike. Aga minevik? Otsustades kõige järgi, mida me teame nende loomusest, ei või nende minevikki olla nii kestev kui planeetidel, millede iga arvatakse ulatuvat miljarditesse aastatesse. Seepärast on põhjust väita, et komeedid on tekkinud pärast planeete, võib-olla isegi palju hiljem, kuid sellest, mil kombel nad võisid tekkida, me praegu midagi kindlat ei tea.

Viimasel ajal seoses perioodiliste komeetide kaheldamatu nõrgenemisega on elustunud vana hüpotees, nagu oleksid komeedid tekkinud Jupiterist. Mainitud hüpoteesi järgi on komeedid selle hiiglasliku planeedi mingisuguste pursete produkt, kusjuures komeetide tekkimine sel teel peaks toimuma ka meie päevil. Selle hüpoteesi peamine raskus seisneb selles, et väljaheidetav mass peab liikuma kiirusega, mis on suurem kui 60 km/sek, muidu langeb ta tagasi Jupiterile või jälle moodustab planeedi kaaslase. Kuid seni ei suuda meie kujutleda, milline jõud võiks tekitada niisuguse kiiruse.

Rohkem tõenäoline näib olevat praegusel ajal S. V. Orlovi meteoriitne hüpotees. Selle hüpoteesi kohaselt tekib komeet kahe taevakeha, näiteks väikese planeedi ja suure meteoriidi kokkupõrkest (näiteks võiks

olla tegu Tunguska meteoriidi taolise meteoriidiga, millest kõneleme edaspidi). Niisuguse kokkupõrke puhul peab purunema väikesteks kildudeks säärane planeet, mille läbimõõt on vaid mõned kilomeetrid, kusjuures killud hakkavad planeetide süsteemis liikuma kõiki võimalikke orbiite mööda.

Kujutleme nüüd, et üks kildude parv lendas säärast orbiiti mööda, et lähenes Päikesele ja soojenes tema kiirtes. Soojenemise tulemusena hakkavad killud eritama gaase, meteoriitne parv mähib enda gaasikestasse ja tekibki komeet.

Kas komeedid on hädaohtlikud?

Komeetide ilmumine tekitas varem hirmu kui „taevane märguanne", kui „jumala viha" märk. On arusaadav, et kõikide aegade usukultuste kuulutajad püüdsid seda hirmu suurendada omakasu otstarbel.

Hiljem hakati kartma komeetide füüsilist mõju Maale, peeti neid epideemiate, põua ja muude viletsuste põhjustajateks. Erandina, muide, omistati komeetidele ka heategevat mõju. Nii näiteks mainitakse Puškini „Jevgeni Oneginis" „komeedi veini". See on seoses 1819. a. komeediga, mille ilmumine prantsuse viinamarjaaednikkude arvates põhjustas selle aasta veini kõrge kvaliteedi. Kui aga sai teatavaks, kui kaugelt Maast mööduvad komeedid, siis hajusid sedalaadi ebausklikud arvamused, vähemalt haritud rahvaliikmete hulgas.

Kuid püsima jäi järgmine kaalutlus. Komeetide arv on määratu suur ja nende teed läbivad planeetide süsteemi kõikvõimalikes suundades. Kas ei või seepärast mingisugune komeet kokku põrgata planeediga, näiteks

Maaga. Niisugune kokkupõrkamine on täiesti võimalik, kuigi vähe tõenäoline, sest isegi hiiglaslike komeetide, veel rohkem aga planeetide mõõtmed on üliväikesed võrreldes planeetide-vahelise ruumiga.

Mis toimuks siis niisugusel kokkupõrkel? Otsustades selle järgi, mis juhtus Biela komeediga, piirduks asi suurepärase lendtähtede sajuga ja suure hulga üsna kahjutute meteooride langemisega. Tõsine katastroof on võimalik ainult sel korral, kui komeedi tuumas oleksid rahnud kaalult näiteks kümneid tonne. Meie atmosfäär ei saa täielikult pidurdada selliste hiigla masside lendu ja need lõikuksid maakera pinnasse kui ülihiiglaslikud kahurimürsud. Mis selle juures võib toimuda, sellest kuuleme hiljem, kui räägime 1908. a. langenud Tunguska meteoriidist.

Sageli küsitakse: kas ei või komeet „riivata" oma sabaga Maad? Niisugused sündmused peaksid juhtuma palju sagedamini kui Maa kohtumine komeedi tuumaga, kuna sabad omavad hiiglaslikke mõõtmeid; seepärast on kohtamist sabaga õigem nimetada „Maa läbimiseks komeedi sabast". Viimane kord toimus säärane läbimine 21. mail 1910. a., kui Maa oli mõne tunni Halley komeedi saba sees. Seejuures ei pühkinud komeedi saba ära Maa atmosfääri ega mürgistanud teda kahjuliku tsüaaniga, nagu kardeti. Seda saba lihtsalt nagu ei olnudki: ei füüsikalised, keemilised ega astronoomilised uurimised avastanud temast mingisuguseid jälgi. Maa tihe atmosfäär osutus äärmiselt hõreda saba suhtes läbitungimatuks soomuseks.

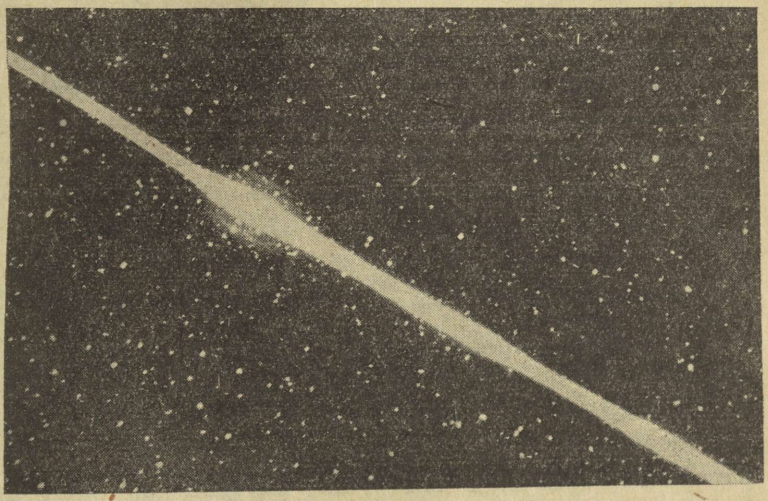
„Lendtähed".

„Lendtähed" on väga ebaõnnestunud nimetus, sest midagi ühist tähtedega neil ei ole. Tähed on erakord-

selt kauged hiiglaslikud päikesed. Samal ajal on „lendtähed" vaid üksnes heledad sähvatused, mis tekivad kivikeste või isegi liivaterakeste auruks muutumisest ja ärapõlemisest Maa atmosfääris, kuna nendest, võib öelda, otse kubiseb õhuta maailmaruum. Nende väikeste kivikeste ja terakeste teaduslik nimetus on meteoorsed kehad. Läbi niisuguste meteoorsete kehade parve lendab Maa nagu jalgpall läbi kihulaste parve. Kuigi kaugused meteoorsete kehade vahel on tuhandeid kilomeetreid, siiski on nende kehade vahed väiksemad kui maakera läbimõõt. Maa lendab ümber Päikese väga suure kiirusega, 30 km sekundis, peale selle liiguvad ka meteoorsed kehad ise, joonestades ümber Päikese kõikvõimalikke orbiite. Seepärast jõuab juba ühe sekundi jooksul vähemalt 20—30 meteoorset keha paiskuda vastu Maad kiirustega, mis on sadasid kordi suuremad kahurimürskude kiirusest.

Kuid Maa pind on niisuguse kosmilise pommitamise eest kaitstud atmosfääriga, mis on meteoorsetele kehadele tugevaks piduriks. Sattunud atmosfääri, kaotab meteoorne keha vähema kui sekundi kestel peaaegu kogu oma kiiruse. On arusaadav, et niisuguse kiire pidurdamise puhul kuumenevad nii meteoorne keha kui ka teda ümbritsev õhk väga kõrge temperatuurini, nii et meteoorne keha peaaegu silmapilkselt muutub auruks. See hetkeline hiilgav sähvatus kujutabki endast „lendtähe" ehk meteoori nähtust; sähvatus ise toimub väga kõrgetes atmosfääri kihtides, enamasti 70—100 km kõrgusel maakera pinnast. Niiviisi võib iga meteoori näha ainult üks kord — tema meteoorse keha viimsel olemismomendil (vt. joon. 65).

Harukordsetel juhtudel, kui meteoorne keha on väga suur, ei jõua ta ära põleda oma lennu ajal; siis lendavad tema kuumenenud ja ülessulanud killud kuni Maani ja ajalehtedes ilmub vahel teade mõne meteoriidi langemise kohta. Vahel kaaluvad nad palju tsentnereid ja äärmiselt harva isegi kümneid tonne. Enamasti ei ole



Joon. 65. Ülesvõte heledast meteoorist.

nende langemise hoog väga tugev; on olnud juhtumeid, millal meteoriit ei ole suutnud purustada isegi jõe jääd, kuid võib konstateerida ka vastupidiseid juhtumeid, nagu kuuleme allpool.

Lennu ajal paistab meteoriit tulekerana ehk boliidina, mõnikord täiskuu suurusena, ja valgustab heledalt kogu taevast. Pärast boliidi lendu on sageli kuulda mürinat, mis on tugevam kõige kõvemast müristamisest.

See toimub meteoriidi poolt kokkusurutud õhu värisemisest meteoriidi kiire lennu ajal.

Igal aastal leitakse ja tuuakse muuseumidesse keskmiselt 5—6 meteoriiti, kuid neid langeb palju rohkem — aastas mitu tuhat. Vilumata silmale on enamik meteoriite täiesti harilikud kivid; nad koosnevadki neistsamadest elementidest nagu maised mineraalid, kuid mõningate tunnuste järgi eraldab vilunud mineraloog meteoriidi kivist otsekohe. Eriti kerge on tunda meteoriite, mõnikord väga suuri, mis koosnevad peaaegu täielikult puhtast rauast. Seepärast ongi avaldatud arvamust, et inimesed tutvunesid enne meteoriitide rauaga ja alles hiljem hakkasid teda välja kaevama maa seest.

Meteoorsed voolud.

Selgel kuuvalgeta ööl võib näha tunni jooksul vähemalt 6 meteoori. Kuid mõnikord ilmub neid palju rohkem. Näiteks võib igal aastal 10.—12. augusti paiku lugeda tunnis mõnikümmend meteoori. Kui tähelepanelikult vaadelda, siis võib kergesti märgata, et kuigi need augustikuu meteoorid ilmuvad kogu taevavõlvil, harguvad nende nähtavad teed siiski igale poole ühest taevasfääri punktist, nimelt Perseuse tähtkujust. Seepärast nimetatakse neid meteoore perseiididekss. Samasugust nähtust võib tähele panna ka aasta teistel päevadel. Nii võib 16.—17. novembril näha meteoore, mis lendavad Lõvi tähtkujust ja mis omavad leoniidide nimetust. Niisugust meteooride ilmumist kindlatel kuupäevadel nimetatakse meteooride vooluks ja punkti taevasfääril, kust need meteoorid väljuvad, voolu radiandiks. Radiant omab

alati kindlat asukohta mingisuguses tähtkujus, tõuseb ja loojub koos temaga. Kui radiant on seniidis, siis langevad kõik meteoorid vertikaalselt.

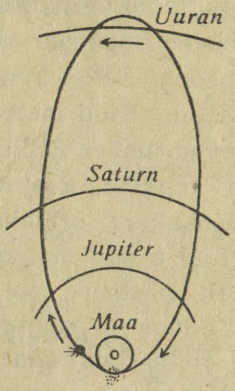
Radiandi nähtus tähendab, et kõik voolu meteoorid liiguvad rööbiti teid pidi — otsekui lindude parv või mesilaste sülem. Neid nimetataksegi meteooride parveks. Meteooride rööbiti kulgevad teed näivad meile harguvatena ühest punktist sama perspektiivi nähtuse tõttu, nagu raudteerööpmed, kui neid vaadata piki raudteed, näivad meile harguvatena ühest punktist.

Maa kohtub iga meteooride parvega iga aasta kindlatel kuupäevadel, teiste sõnadega, alati ühes ja samas punktis oma aastasel teel. Selles ruumiosas meteooride parv justkui ootab Maad. Kuid meteoorid ei saa seista liikumata. Nad tiirlevad ümber Päikese elliptilist orbiiti mööda katkestamatu rongina, kusjuures nende orbiit ühes kohas lõikub maakera orbiidiga. Läbides seda punkti kohtab Maa igal aastal meteoore, kuid iga kord uusi. See on täpselt niisama, kui näiteks Moskvas tahaksime üle sõita Sadovoje ringtänavast, kus peame alati läbima autode rodu, kuid iga kord koosneb see rodu teistest masinatest.

Kui meteoorid asetsevad enam või vähem ühetasaselt kogu elliptilisel rõngal, siis paneme Maa pealt vaadeldes tähele igal aastal peaaegu samajõulist meteooride voolu. Seda võib konstateerida eriti perseiidide suhtes. Leoniidid — vastupidi — on aga ühes oma orbiidi osas tihedalt koos hiigla pilve kujul, millega Maa kohtus iga 33—34 aasta tagant — XIX sajandil 1833. ja 1866. aastal. Neil aastail nähti tõelisi „tulevihmu". Niisugused „vihmad" pakuvad hämmastavat vaatepilti. Muutub valgeks otsekui tugeva välgusähvatuse puhul, tähti pudeneb kui

lumehelbeid tuisus ja nende arvu määrata on absoluutselt võimatu.

Leoniidide parv on praegu väga hästi läbi uuritud. Tema tiirlemisperiood võrdub $33\frac{1}{4}$ aastaga; tema elliptilise orbiidi kaugeim osa (arvates Päikesest) läheb Uurani orbiidi taha (vt. joon. 66). Meteooride tihendus ulatub piki orbiiti peaaegu $\frac{1}{10}$ osani ellipsi ringist. Meteoorid ei asetse seal siiski nii tihedasti, nagu võiks oodata: kuubi kohta, mille serv on 150 km, tuleb keskmiselt ainult üks meteoor.



Joon. 66. Leoniidide meteooride parve orbiit.

Meteooride voolude tekkimine hakkas selguma pärast itaalia astronoomi Schiaparelli avastusi 1867. a. Ta tõestas, et augustikuu meteoorid-perseiidid liiguvad täpselt 1862. a. ilmunud komeedi orbiiti mööda. Selle komeedi tiirlemise periood on 120 aastat. Varsti pärast seda selgus, et leoniidid tiirlevad teise perioodilise (1866. a.) komeedi orbiiti mööda, kusjuures selle komeedi tiirlemisperiood on $33\frac{1}{4}$ aastat. On ilmne, et mõlemad meteooride voolud on tekkinud komeetidest. Komeedid lagu-

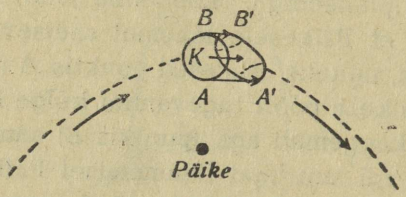
nevad järk-järgult. Väikesed kehakesed, milledest koosneb komeedi tuum, jaotuvad aja jooksul kogu tema orbiiti mööda ja moodustavad lõppude lõpuks elliptilise „meteooride rõnga".

Milline jõud põhjustab siis komeetide lagunemise meteooride parveks? Meenutagem, et komeet ise pole tõelikult muud midagi kui meteooride parv, ainult suhteliselt tihedam ja tema osakeste vahel esineb märgatav külgetõmme. Kui see parv läheneb Päikesele, mõjub temale tugevamini jõud, mida nimetatakse loodeliseks (tõusu-mõõna) jõuks, vaatamata sellele, et komeedil on vähe sarnasust planeediga. Loodeline jõud, nagu teame, seisneb selles, et Päikesele lähemal asetsevad komeedi parve osakesed, näiteks osakesed punktis *A* (vt. joon. 67) tõmmatakse Päikese poolt tugevamini külge kui komeedi keskpunkt *K*, kaugemad aga (punktis *B*) samavõrra nõrgemini. Komeedi suurimal lähenemisel Päikesele (periheelis) võib Päikese loodeline jõud kergesti ületada komeedi osakeste nõrga vastastikuse külgetõmbe. Niiviisi osakesed punktides *A* ja *B* vabanevad komeedi keskpunkti *K* külgetõmbest ja hakkavad liikuma ümber Päikese kui iseseisvad komeedikesed. Seejuures vastsündinud komeedike *A'* — kui kõige lähedasem Päikesele — saab Kepleri seaduste kohaselt suurema kiiruse kui vana komeet *K* ja läheb ette komeedi orbiiti mööda, komeedike *B'* jääb aga maha (vt. joon. 67). Igal lähenemisel Päikesele kordub see uuesti ja komeediline parv, mis varem oli ümmargune, venib ikka rohkem välja piki orbiiti.

Seda pandigi tähele heleda 1882. a. komeedi puhul, mis möödus haruldaselt Päikese lähedalt. Kui komeet hakkas eemalduma, siis osutus, et tema tuum algul venis

välja orbiiti mööda ja seejärel jagunes neljaks eri tuumaks, mis liikusid hanereas, kusjuures kaugus nende vahel üha suurenes. On välja arvutatud, et komeet pöördub tagasi XXVII sajandil nelja lahusoleva väheldase komeedina, kusjuures vaheaeg nende vahel on mõnikümmend aastat.

Seda teooriat kinnitas hiilgavalt Biela komeedi muutumine meteooride parveks. Praegu tunneme veel mõnd meteooride voolu, mis on seoses komeetidega, muu hulgas kaht voolu, mis on tekkinud Halley komeedist.



Joon. 67. Komeetide lagunemise seletus (nooled näitavad kiiruse suurust ja suunda).

Meteooride voole loetakse sadadena, kuid paljude nende esivanemad-komeedid on tundmatud. Võib arvata, et need komeedid lagunesid lõplikult juba palju aega enne astronoomiliste vaatluste algust. Kuid on võimalik, et kaugeltki mitte kõik meteooride voolud pole tekkinud komeetidest, vaid omavad mingisugust teist päritolu. Arvatakse, et meteoorid võivad tulla isegi tähtede-vahelisest ruumist. See on eriti tõenäoline meteooride puhul, mis ei kuulu vooludesse, ja heledate boliidide (vt. joon. 68) kohta, millede teed arvutuste kohaselt enamikus ei osutu ellipsiteks, vaid lahtisteks kõverateks — h ü p e r b o o l i d e k s.



Joon. 68. Hele boliid Kalifornia kohal.

Meteooride parvede orbiidid alluvad planeetide tugevaile häireile. Kõige enam tuntud (ja kõige kurvema astronoomidele-asjaarmastajatele) näite neist häiretest esitab leoniidide vool, mis on andnud „tulevihma" peaaegu terve tuhande aasta jooksul. Tihedam osa sellest parvest läheb nüüd Maast kaugelt mööda, mispärast meteooride sadusid, mida oodati 1899. ja 1933. a., ei olnud märgata.

Meteoriitide osa maailmaehitises ja teaduses.

On välja arvutatud, et kogu maakera atmosfääris sütib ööpäeva jooksul vähemalt 2 miljonit meteoori, mis on nähtavad palja silmaga ja mis ei kuulu meteooride voolude hulka (niisuguseid on enamus). Lisame siia juurde veel meteooride voolud ja teleskoobiga nähtavad meteoorid, meenutame tuhandeid meteoriite, mis langevad igal aastal ja jäävad leidmatuks, hindame hariliku meteoori massi kas või üheks grammiks, ja me tuleme otsusele, et igal aastal langeb Maa peale tuhandeid, pigemini isegi kümneid tuhandeid tonne meteoorset ainet. See massi juurdekasv on tühine, võrreldes Maa massiga. Kui aga oletada, et meteoriidid langesid Maale ja teistele maailmakehadele niisama kui praegu miljonite aastate jooksul, siis ei paista ebausutavana hüpotees, et meteoriidid kujutavad endast materjali, millest on tekkinud taevakehad.

Niiviisi osakesed, mida oleme pidanud taevakehade lagunemise produktiks, võivad igaveses mateeria arenemise protsessis osutuda ka materjaliks nende tekkimisel uutes vormides.

Sellest nähtub, kui tähtis on meteooride uurimine universumi ehituse väljaselgitamisel. Kuid needsamad meteoorid aitavad meil lahendada mitte vähem tähtsat praktilist küsimust meie stratosfääri ehituse üle. Nimelt on tehtud vaatluste toimetamisel meteooride üle viimaseil aastail mitu ootamatut avastust. On osutunud näiteks, et 50 km kõrgusel on õhu temperatuur tunduvalt k õ r g e m null kraadist, ja 80—100 km kõrgusel puhuvad pidevalt läänetuuled kiirusega, mis korda kolm ületavad kõige tugevama orkaani kiiruse.

Nende nähtuste uurimises omab üht esimestest kohtadest maailmas nõukogude „meteoorlaste" kollektiiv, mis on formeeritud peamiselt õppivast noorsoost.

1908. a. Tunguska meteoriit.

1908. a. 30. juuni hommikul kukkus umbes tuhat kilomeetrit põhja pool Irkutskit läbipääsmatusse soisesse taigasse harukordsete mõõtmetega meteoriit. Tema langemisega kaasus plahvatus, mis oli kuuldav vähemalt 1000 km kaugusele. Peaaegu niisama kaugele oli näha (vaatamata päikesepaistelisele ilmale) kukkumise kohal ka hele valgus — „tulepurse" umbes 20-kilomeetrise kõrgusega. Ilmselt ei leidnud meteoriit oma hiigla massi tõttu peaaegu mingit takistust Maa atmosfääris ja põrkas vastu maakera pinda kiirusega mitukümmend kilomeetrit sekundis. Kogu tema liikumise energia muutus peaaegu silmapilkselt soojuseks. Tekkis hirmsajõuline plahvatus, nii et seismograafid (maaväringuid registreerivad aparaadid) hakkasid liikuma ja märkisid üles „maaväringu". Niisuguseid ülesmärkimisi leiti hiljem isetöötavate seismograafide lintidelt mitte üksnes Irkutskis, vaid ka Taš-

kendis, Tbilises ja koguni Saksamaal Jenas, mis on langemise kohast rohkem kui 5000 km kaugusel. Ja õhuvärisemist märkisid isekirjutavad baromeetrid kuni Inglismaani ja isegi kuni Ameerikani.

Tsaarivalitsuse ajal jäi see haruldane nähtus peaaegu teadmatuks. Alles 1927. a. alates teostati rida ekspeditsioone äärmiselt raskesti juurdepääsetavasse meteoriidi langemise rajooni; nende ekspeditsioonide peaorganiseerijaks oli L. A. Kulik. Temal läks korda selgitada, et plahvatuse jõuga oli põlist taigat maha murdunud mitme tuhande ruutkilomeetri ulatuses. Kahesaja-aastaste mändide tüved lamavad praegugi otsekui mahaniidetud põldvili, ladvad plahvatuse tsentrumist väljapoole. Langemise kohal on märgata veel praegugi metsapõlemise jälgi ja on avastatud kümneid veega täidetud lehtreid kuni 60-m-se läbimõõduga. Inimohvreid plahvatuse puhul nähtavasti ei olnud; on andmed ainult põdrakarjade hävinemise kohta. Meteoor, mis tõenäoliselt purunes tükkideks ja kaevus soisesse pinda, on seni leidmata.

Siberi meteoriidi langemise päev on paljudele (teiste hulgas ka selle raamatu autorile) jäänud meelde teisest taevas esinenud nähtusest: kuuvalguseta öö 30. juunil vastu 1. juulit osutus erakordselt valgeks. Krimmis, Ukrainas ja Lääne-Euroopas oli sellistes laiustes seni olematu „valge öö", kogu taevas oli otsekui kaetud läbipaistva helendava pilvega.

Kui oletada, et meteoor oli mingisuguse komeedi tuumaks, siis võis helendav pilv olla tema sabaks, mis embas Maad sel päeval igast küljest.

IX peatükk.

Päike.

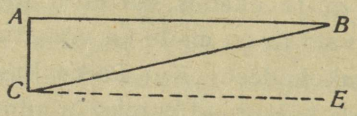
Päike pole mitte üksnes võrratult heledam teistest taevakehadest, vaid ta on meile ka võrratult tähtsam kõigist muist taevakehadest. Kui Päike kustuks, muutuks Maa väga kiiresti külmunud keraks ja mingisugused nüüdisaja tehnika saavutused ei päästaks inimkonda vältimatust hävingust. Inimene teadis uduselt Päikese tähtsust juba esimestel kultuuriastmetel ja väljendas oma teadlikkust sellega, et kummardas Päikest kui jumalust.

Kuid Päikese tõelise koha maailmaehitises avastas alles uusim teadus. Päikesesüsteemi suhtes ei ole Päike mitte lihtsalt keskseks kehaks. Võib ütelda, et ta ise on juba peaaegu kogu päikesesüsteem. Temasse üksi on koondatud peaaegu kogu süsteemi a i n e ; ainult tühine jääk, vähem kui $\frac{1}{700}$ Päikese massist, langeb kõikide planeetide, nende kaaslaste ja komeetide arvele, kõikide kohta kokkuvõetult. Veel tähtsam on, et Päike on ainuke meie süsteemi e n e r g i a a l l i k a s, mis pidevalt kiirgab kõigis suundades hiigla hulgal soojust ja valgust. Päikese kiirte kitsas kimbuke, mis langeb osaks planeedile Maale, loob ja hoiab alal elu kogu tema pinnal.

Kuid tähtede maailma suhtes on Päike harilik täht, niisamasugune kui miljonid teised.

Kaugus Päikeseni ja selle mõõtmine.

Kättesaadamatu eseme kauguse mõõtmine põhineb kõigile tuntud nähtusel: kui liikuda vasakule, siis ese otsekui liiguks paremale; ja see näiline nihkumine on seda suurem, mida lähemal on ese. Seepärast toimib kauge maise eseme B kauguse mõõtmiseks geodeet, kes asetseb punktis A, näiteks nii (vt. joon. 69). Ta määrab



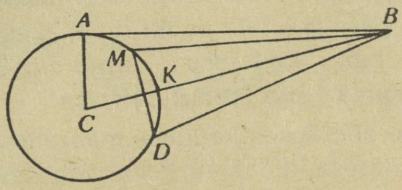
Joon. 69. Kuidas välja arvutada kaugust kättesaadamatu esemeni.

kindlaks AB suuna eseme B poole, seejärel läheb punkti C, mis asetseb ristisuunas joonega AB, ja märgib, millise nurga võrra kaldus kõrvale ese B vaatleja nihkumise tagajärjel. Kui ese oleks väga kaugel, siis ka punktis C oleks ta nähtav endises suunas, s. o. joonel CE, rööbiti AB-ga, ja mingisugust nihkumist poleks märgata. Kuid nüüd on ta nähtav CB suunas, mis CE sihiga moodustab nurga BCE või sellega võrdse nurga ABC. Seda nurka nimetatakse parallaksiks ja vahemaad AC baasiks. Kui mõõdaksime parallaksi ABC kraadides ja minutites ja baasi AC meetrites või kilomeetrites, siis on kolmnurgast ABC trigonomeetria reeglite järgi kerge välja arvutada eseme B kaugust A-st või C-st.

Kui näiteks parallaksi nurk võrdub 1^0-ga, siis on eseme kaugus 57,3 korda suurem baasist. Kui aga paral-

laks võrdub ainult 1″-ga, siis on kaugus suurem baasi omast 206 265 korda ja joone *AB* pikkus tuleks meie joonisel üle 2 km (joonisel võrdub baas 1 cm-ga). Üldiselt, mida kaugemal asetseb ese, seda väiksem on parallaks (sama baasi puhul).

Kuid mida väiksem on nurk, seda raskem on teda mõõta. Seepärast tuleb võtta väga suurte kauguste mõõtmisel ka suur baas. Kõige suurem baas Maa peal on natuke väiksem kui maakera läbimõõt. Kuid taevakehade kauguste arvutuste hõlpsuse huvides arvestatakse baasina alati Maa raadiust. Joonisest 70 on näha, et



Joon. 70. Taevakeha parallaks.

taevakeha sel juhul vaatlevad just kui kaks kujuteldavat astronoomi *A* ja *K*. Vaatlejale *K* on taevakeha täpselt lagipunktis (seniidis) ja vaatlejale *A* — horisondil.

Võrreldes seda joonist eelmisega veendume, et baasiks tõesti on Maa raadius *CA*.

Ainult nurka *ABC*, mis on moodustatud säärasel viisil, nimetataksegi taevakeha parallaksiks. Kuid mõõdetakse tegelikult igasuguseid teisi nurki. Näiteks üks astronoom *M* vaatleb taevakeha mingisugusest Euroopa observatooriumist ja teine *D* samal momendil Lõuna-Aafrikast. Baasiks neile on kaugus *MD*. Nende vaatluste võrdlemisest arvutatakse välja nurk *MBD* ja seejärel ka nurk *ABC*, s. o. parallaks.

Selle viisi järgi on vaadeldud palju kordi Kuud ja tema parallaks saadi pisut väiksem kui 1^0. Järelikult Kuu kaugus äsjatoodud arvude järgi tuleb pisut suurem kui 57,3 maakera raadiust, nimelt 60 maakera raadiust. See on kõige suurem kõikidest tuntud parallaksidest ja Kuu järelikult on meile kõige lähem taevakeha.

Kui aga katsuti samal viisil mõõta Päikese parallaksi, siis osutus, et see on palju väiksem ja moodustab ainult 8 kuni 10″. Täpsemalt teda mõõta on väga raske, sest Päikese vaatluste ajal deformeerib Päikese soojus instrumendi seadeldist. Kui võtta parallaks 10″, siis peab Päikese kaugus olema 20 600 maakera raadiust ehk 132 miljonit km, aga parallaksi 8″ puhul on Päikese kaugus juba 165 miljonit km. Ebatäpsus nurga mõõtmisel ainult 2″ annab kauguse vahe 30 miljonit km.

Niisugune ebatäpsus kauguse määramisel Maast kuni Päikeseni on täiesti lubamatu, sest see suurus on astronoomiliseks ühikuks. Nagu juba kõnelesime peatükis väikeste planeetide üle, oskavad astronoomid ükskõik millise momendi jaoks koostada täpse päikesesüsteemi plaani, kusjuures kõik kaugused väljendatakse Maa kauguse murdosades Päikesest. Seepärast on tähtis teada seda ühikut võimalikult täpselt.

On ilmne, et selleks on küllaldane täpselt mõõta ükskõik missugune kaugus planeetide vahel (mitte aga kaaslaste vahel) päikesesüsteemis ja juba selle järgi välja arvutada astronoomiline ühik. Kõige sobivam on selleks vaadelda väikest planeeti Eerost mitmesugustest maakera punktidest tema kõige lähemal asetsemise ajal. Lõunapoolsele vaatlejale asetseb planeet tähtede keskel pisut põhja pool, põhjapoolsele — pisut lõuna pool. Selle näilise nihke järgi määratakse kindlaks planeedi parallaks

ja parallaksi järgi tema kaugus kilomeetrites. Sellest saadakse kergesti ka Päikese kaugus ja parallaks.

Näiteks 1901. a. lähenes Eeros Maale üldse 0,32 astronoomilise ühiku kauguseni. Eerose vaatlustest tol ajal saadi tema parallaks 27″,5. Päikese parallaks võrdub:

$$27'',5 \times 0,32 = 8'',80.$$

Päikese kaugus, s. o. astronoomiline ühik on: 206 265 : 8,80 = 23 440 maakera raadiust ehk 6378 km × × 23 440, mis võrdub 149½ miljoni km-ga. Selles arvus võib veel olla viga kuni 100 tuhat km.

Võrreldes maiste kaugustega on kaugus kuni Päikeseni tohutu. Ta on 3700 korda suurem maakera ümbermõõdust; kõige kiirem lennuk lendaks selle vahemaa ära neljakümne aastaga. Valgus läbib selle vahemaa 8 minuti 18 sekundi jooksul.

See kaugus muutub aasta kestel. Ta muutub sellepärast, et Maa ei tiirle mitte ringi, vaid ellipsit mööda. Jaanuaris on ta 2½ miljoni km võrra lähemal Päikesele, juulis sama võrra kaugemal. Kuid kõige suurem vahe on ainult 3% keskmisest kaugusest, mispärast see ei avalda mingisugust mõju aastaaegade vahetusele.

Päikese mõõtmed.

Pärast seda, kui kaugus kuni Päikeseni oli mõõdetud, kujunes tema läbimõõdu kindlaksmääramine päris lihtsaks aritmeetiliseks ülesandeks. Oli tarvis ainult mõõta Päikese läbimõõdu nurksuurus, s. o. nurk joonte vahel, mis on tõmmatud meie silmast Päikese alumise ja ülemise servani. See nurk on pisut üle poole kraadi, keskmiselt 32′4″. Sellest, millest me kõnelesime eelmises

paragrahvis parallaksi ja baasi kohta, on kerge tuletada reegel: kui mingisugune ese on meist eemaldatud kaugusele, mis võrdub 57,3-ga tema läbimõõdust, siis on see ese meile nähtav 1^0-se nurga all. Seepärast kui Päikese nurkläbimõõt oleks võrdunud poole kraadiga, siis oleks tema kaugus täpselt kaks korda suurem, s. o.

$$57{,}3 \times 2 = 114{,}6 \text{ Päikese läbimõõtu.}$$

Kuid Päikese nurkläbimõõt on poolest kraadist pisut suurem. Täpsem arvutus annab Päikese kauguse, mis võrdub $107\frac{1}{2}$ tema läbimõõduga. Jagades juba meile tuntud Päikese kauguse $107\frac{1}{2}$-ga, leiame, et Päikese läbimõõt võrdub ligikaudu 220 Maa raadiusega ehk 110 maakera läbimõõduga. Hirsiterake ja arbuus — niisugused on Maa ja Päikese võrdlevad mõõtmed.

Päikese maht on suurem Maa mahust $110 \times 110 \times 110$ korda, s. o. 1 331 000 korda.

Võiks arvata, et Päike on niisama palju kordi raskem Maast. Kuid IV peatükis me nägime, et Päikese mass on Maa massist *ainult* 330 000 korda suurem. See tähendab, et Päike ei koosne niisugusest raskest ainest kui Maa. Tema tihedus on ainult pisut suurem kui veerand kogu maakera tihedusest tervikuna. Maakera tihedust väljendatakse arvuga $5\frac{1}{2}$, teiste sõnadega — maakera kaalub $5\frac{1}{2}$ korda rohkem, kui oleks kaalunud samasuguste mõõtmetega veest kera. Tähendab, Päikese tihedus on võrreldes maakera tihedusega neli korda väiksem, s. o. tema tihedus on umbes 1,4. See lihtne arvutus laseb teha meil tähtsa järelduse: Päike ei saa olla tahke keha.

Päike — gaasiline kera.

Nüüdisaegne astrofüüsika on mõõtnud ära Päikese pinna temperatuuri ja saanud arvu 5700. Niisuguse temperatuuri puhul peab kõige raskemini sulav aine muutuma mitte üksnes vedelikuks, vaid isegi auruks ja gaasiks. Nii ka tegelikult on: sama astrofüüsika on teostanud Päikese spektraalse keemilise analüüsi. Osutub, et Päike koosneb neistsamadest keemilistest elementidest kui meie Maagi, kuid kõik need elemendid on Päikese peal gaasilises olekus. Niiviisi on Päike nagu meie õhkki mitmesuguste g a a s i d e segu. Päike koosneb tulistest ja seepärast helendavaist raua, alumiiniumi, kaltsiumi (lubja peamine koostusaine), süsiniku ja teiste kõvimate ja raskeimini sulavate maiste metallide ja mineraalide aurudest. On seal ka meie maised gaasid, näiteks vesinik ja hapnik, kuid muidugi tulises olekus. Ühesõnaga, kui viskaksime meie Maa hiigla laboratooriumi põletisse, siis selle katse juures ilmuks kindlasti spekter samadest joontest, milliseid vaatleme Päikese spektris.

Päikese väike tihedus ongi seletatav sellega, et Päike on täielikult gaasiline. See on g a a s k e r a. Kesktõmbejõu tagajärjel suruvad välised kihid sügavamaid nii, et Päikese keskmised osad on hirmsa rõhu all; tulised gaasid on seal erakordselt tihendatud ja nende tihedus on palju suurem vee tihedusest. Mida kaugemale kesk-punktist, seda hõredamaks muutub Päikese gaas, nii et Päikese tihedus on keskmiselt pisut suurem vee tihedusest.

Gaasilise kera näitena võib esitada meie atmosfääri. Kuigi see atmosfäär omab madalat temperatuuri ja tsentraalse gaasilise tihenduse koht on temas asendatud

tahke keha Maaga, on siiski maise atmosfääri kera ja Päikese vahel mõnesugune sarnasus.

Eelkõige Päike, sarnlevalt meie atmosfääriga, ei oma järsult piiritletud pinda. Hõrendatud gaasid tema kõige välimistes osades muutuvad järk-järgult hõredamaks, ja kus lõpeb Päike ja kust algab tühi maailmaruum, seda ei saa täpselt ütelda.

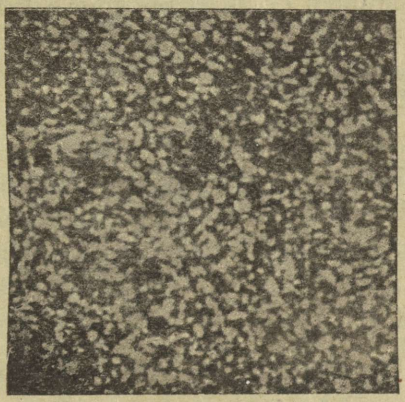
Alles hiljuti avastati, et meie atmosfäär koosneb mitmest kihist (troposfäär, stratosfäär, ionosfäär), milledel on mitmesugused füüsikalised omadused. Samasugune kihilisus avastati Päikese peal veel varemini kui Maa peal. Päikese tulises gaasilises massis eristame mitut kontsentrilist „kesta", milledele on antud nimetused, mis samuti lõpevad „sfääriga", nagu edaspidi näeme.

Kolmas ühine joon Päikese ja meie atmosfääri vahel on Päikese gaasiliste kestade läbipaistvus, tänu millele võime vaadelda nähtusi, mis toimuvad mitmesugustes Päikese kihtides. See läbipaistvus muuseas pole mitte täielik, nii et Päikese sisemusse võime vaadata võrdlemisi väikeses ulatuses. Kõige sügavam kest, millest kaugemale meie instrumendid enam ei suuda tungida tulisesse Päikese massi, on saanud nimetuse fotosfäär, s. o. valgusesfäär.

Lõppeks Päikese gaasilised massid, niisama nagu maise atmosfääri gaasid, ei ole kunagi rahulikus olekus. Kuid liikumised ja muundumised, mis neis toimuvad pidevalt, on võrreldamatult komplitseeritumad ja grandioossemad meie äikestest ja orkaanidest.

Mis on näha Päikese peal teleskoobi abil?

Päikese tundmaõppimine, niisama nagu maise atmosfäärigi tundmaõppimine, on käinud seestpoolt väljapoole. Kõigepealt tutvus teadus Päikese võrdlemisi paksu kestaga — fotosfääriga. See on ka arusaadav. On ju fotosfäär heledaim ja märgatavaim kõigest sellest, mida näeme maailmaruumis — see on läikiv päikeseketta pind.



Joon. 71. Osa Päikese fotosfäärist.

Fotosfääri piiravad ülejäänud kestad kaovad täiesti tema pimestavasse valgusse ja harilikes tingimustes pole nad nähtavad ühegi teleskoobiga.

Hea pikksilma abil võib märgata, et fotosfäär omab teralist ehitust: tema kuju meenutab riisiputru (vt. joonis 71). Fotosfäär muutub kogu aja, tema üksikud terakesed (tegelikult — hiiglasuured tulepilved) sünnivad ja kaovad mõne minuti jooksul. Neid võib võrrelda lainete harjadega, millegagi peene virvenduse näol igavesti mässava tuleookeani pinnal.

Aegajalt algab ühes või teises fotosfääri punktis mingisugune füüsikaline või keemiline protsess, mis kutsub esile temperatuuri alanemise. Tulised gaasid sel kohal jahenevad 1000—2000° võrra. Nende läige muutub vähem pimestavaks ja Päikese peale tekib tume laik (vt. joon. 72). Väheste päevade või isegi tundide jooksul laieneb tumenemine pindalale, mis on mitu korda suurem kogu Maa pinnast. Mõnikord saavutab see tumenemine niisugused mõõtmed, et laiku on võimalik näha ka palja silmaga, näiteks Päikese loojangul. Nii on vanas vene kroonikas a-st 1371 märgitud: „on ilmutised Päikese peal, mustad kohad mööda Päikest otsekui naelad". Täiesti väljaarenenud suur laik näib meile süvendina fotosfääris, näib lehtritaolisena, tumeda põhja ja heledamate laugete külgedega. Laigud muutuvad pidevalt. Vahel liituvad mitu väikest laiku kokku üheks suureks, vahel — vastupidi — jaguneb suur laik paljudeks väikesteks (vt. joon. 73).

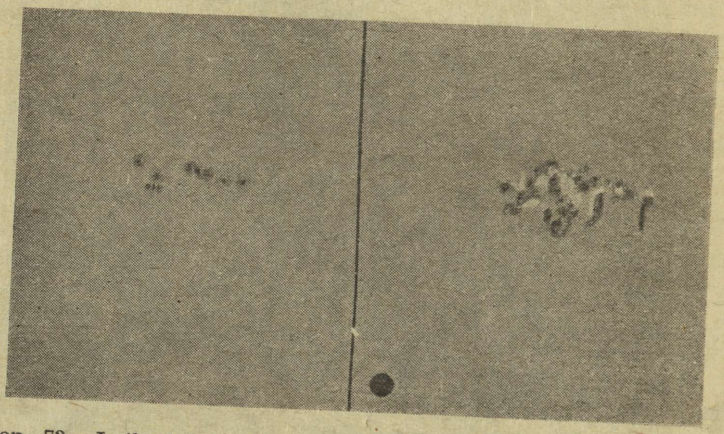
Mõne kuu jooksul, vahel isegi mõne päeva jooksul kaob igasugune laik.

Laigud avastati otsekohe, kui Päikesele suunati esimest korda pikksilm. Esimesena nägi neid Galilei 1610. a. Osutub, et kõik laigud liiguvad aeglaselt mööda Päikese ketast idast läände (s. o. vasakult paremale). Galilei järeldas sellest, et Päike pöörleb oma telje ümber nagu meie Maa, seejuures samas suunas. Kuid väikene Maa pöörleb kiiresti — 24 tunni jooksul, aga hiiglasuur Päike teeb ühe täispöörde 25 ööpäeva jooksul. Kui mingisugune laik kadus täna Päikese läänepoolse ääre taha, siis alles 12—13 päeva pärast võib oodata tema ilmumist idapoolse ääre tagant.



Joon. 72. Suur Päikese laik.

On tähelepanuväärne, et laigud, mis on erinevatel kaugustel Päikese ekvaatorist, pöörlevad isesuguste aegadega. Ainult Päikese ekvaatoril asetsevad laigud teevad täispöörde 25 ööpäeva jooksul; kõik ülejäänud fotosfääri punktid jäävad neist maha, ja mida suurem on kaugus ekvaatorist, seda tugevam on mahajäämine.



Joon. 73. Laikude grupi tekkimine; vasema ja parema ülesvõtte vaheaeg oli 24 tundi. Musta ringina all on kujutatud Maa (võrdluseks).

Laiustel, mis on üle 40^0, ei ilmu laigud miskipärast kunagi, nii et Päikese nende osade pöörlemise aega näib olevat võimatu kindlaks määrata. Kuid siin tuleb meile abiks spektroskoop: vaadeldes spektraalseid jooni ida- ja läänepoolsel ketta äärel, võib Doppleri reegli järgi mõõta kiirust, millega Päikese ääre punktid meile lähenevad või meist eemalduvad. Selle kiiruse järgi pole enam raske välja arvutada pöörlemise aega. Osutub, et pöörlemise aeglustumine jätkub ka edasi ja et pooluste endi juures ulatub periood kuni 34 ööpäevani.

Päikese eri vööde gaasimasside ebaühtlane pöörlemine on üks paljudest mõistatustest, mida Päike esitab nüüdisaja teadusele. Selle lahendust tuleb otsida kõige tõenäolisemalt Päikese mineviku ajaloost, mitte aga tema praegusest ehitusest.

Päikese laigud ja nendega seoses olevad nähtused.

Kahesaja aasta jooksul pärast Galileid teati Päikese laikudest ainult seda, et mõnikord on neid vähem, mõnikord rohkem. Alles 1843. a. avastas saksa apteeker Schwabe, et laikude arvu muutumises esineb korrapärane perioodilisus.

On aastaid, mil Päikese peal kuude jooksul ei teki ühtegi laiku. Seda aega nimetatakse laikude miinimumiks. Selle möödudes hakkavad laigud ilmuma ikka sagedamini ja aasta 4 pärast saabub maksimum. Siis võib Päikese peal rea kuude jooksul iga päev näha terveid laikude gruppe. Seejärel hakkab laikude arv vähenema, kuid mitte nii kiiresti, kui suurenes, ja aasta 7 pärast, arvates maksimumist, saabub uus miinimum. Kogu periood miinimumist kuni järgmise miinimumini on keskmiselt 11 aastat. Näiteks oli viimane maksimum 1939. a. ja sellele eelnev miinimum 1934. a. Uut maksimumi tuleb oodata 1950. a. Muide, neid ennustusi ei saa teha niisuguse täpsusega, nagu see on võimalik teiste taevanähtuste puhul, kuna perioodi pikkus osutub mõnikord 1—2 aasta võrra pikemaks või lühemaks.

Spektraalne analüüs mitte üksnes ei avastanud Päikese laikude loomust, vaid näitas, et see on komplitseeritum, kui varem arvati. Osutus, et laigud kujutavad endast otsekui hiiglaslikke magneteid. Selle avastuse tegi

1908. a. ameerika astrofüüsik H a l e, tuginedes Zeemani nähtusele (spektrijoonte lõhenemine magnetväljas asetseva valgusallika puhul). Hale märkas, et Päikese laigu spektris on jooned lõhenenud kord kaheks, kord kolmeks jooneks, see aga näitabki, et laigus on tegevuses magnetilised jõud.

Kuid iga magnet koosneb kahest poolusest — „põhja-" ja „lõunapoolusest"; ainult ühe poolusega magneteid pole olemas. Ja Hale pööras tähelepanu sellele, et laigud Päikese peal on sageli kahekordsed, kusjuures iga paari plekid asetsevad peaaegu samal paralleelil: üks laik ida, teine lääne pool. Kui ta hakkas määrama niisuguste paaris laikude magnetismi, siis leidis, et mõlemad laigud paaris omavad alati vastupidist magnetismi, nii et k a k s i k l a i k u võib tõesti võrrelda magnetiga. Kuid edasi sattus ta reale kummalistele seadustele.

Osutus, et 1908. a. Päikese p õ h j a p o o l s e l poolkeral iga paari eesmine (s. o. läänepoolne) laik kujutas endast magneti l õ u n a p o o l u s t ja tagumine (s. o. idapoolne) p õ h j a p o o l u s t. Lõunapoolsel poolkeral oli vastupidi: kõik eesmised laigud omasid põhjapoolset magnetismi. See seadus kehtis 5 aastat. Kuid 1913. a. saabus miinimum: laigud kadusid mõneks kuuks. Kui nad aga hakkasid uuesti ilmuma, siis oli Hale hämmastunud: uue laikude tsükli magnetism osutus vastupidiseks möödunud tsükli magnetismile. Kõik eesmised laigud p õ h j a p o o l s e l poolkeral omasid nüüd p õ h j a p o o l s e t magnetismi ja lõunapoolsel poolkeral lõunapoolset. Uus asetusviis jäi muutumatuks kuni järgmise miinimumini 1923. a. Sel aastal muutus magnetism jälle samaks, milline ta oli olnud 1913. a. 1934. a. miinimumile järgnes aga tsükkel, mis vastas 1913.—1923. a. tsüklile.

Tumedate laikude arvu suurenemisega kasvab ka rohkem heledate fotosfääri kohtade, nn. faklite arv; sagenevad samuti tuliste gaaside pursked Päikese ülemistes kihtides, milledest kõneleme edaspidi.

Üldiselt tugevneb maksimumi aastail kõikide jõudude tegevus, mis võimutsevad Päikese peal. Seepärast nimetatakse laikude maksimumi aega Päikese tegevuse maksimumiks. See tegevus allub perioodilistele tõusudele ja mõõnadele, kord tugevneb, kord alaneb. Tegevuse tõusu aastail muutub Päike nähtavasti mõnevõrra tulisemaks kui ülejäänud ajal. Kuid paljuaastased meteoroloogilised vaatlused, mida on teostatud üle kogu maakera, on näidanud, et laikude maksimumi aastad oma ilmastiku poolest millegagi ei erine. Nad on kord soojad, kord külmad, kord kuivad, kord niisked, täiesti nii nagu teisedki aastad. Niiviisi ei anna ennast tunda Päikese temperatuuri mõju Maa peal ja ei avalda ilmastikule märgatavat mõju.

Kuid seevastu on väga märgatav Päikese tegevuse tõusu ja mõõna mõju maisele magnetismile. Laikude miinimumi aastail on magnetnõel, mis näitab põhja, võrdlemisi rahulik ja reisija võib teda usaldada. Kuid laikude maksimumi ajal nõel „tembutab", nagu ütlevad merimehed, s. o. ta kõigub tihti ja korrapäratult. Teaduse keeles nimetatakse seda nähtust „magnetiliseks tormiks". Kahtlemata on samuti side Päikese laikude arvu ja virmaliste sageduse vahel, kuna viimased, nagu teame, kaasuvad alati magnetiliste tormidega. Virmaliste maksimumi ja miinimumi aastad Maa peal langevad täpselt ühte Päikese laikude maksimumi ja miinimumiga.

Virmalised on õhu helendamine umbes 100 km kõrgusel. Neid kutsub esile atmosfääri ülemiste kihtide

pommitamine mingisuguste peenimate elektriseeritud osakestega, mis lendavad siia Päikeselt. On selge, et Päikese tegevuse maksimumi perioodil paisatakse Päikese poolt neid osakesi maailmaruumi ohtrasti.

Mida on näha ümber Päikese varjutuse ajal?

Kui vaatleme Päikest läbi tahmastatud klaasi, siis esineb ta meile niisama teravapiirilise kettana nagu täiskuu. Näib, et pimestavalt valge fotosfäär on viimane Päikese kest. Tegelikult aga on fotosfääri valge kera ümbritsetud tormiliselt liikuva kestaga, mis koosneb hõredaist tuliseist gaasidest. Tänu spektraalanalüüsile tunneme selle kesta loomust palju paremini kui särava fotosfääri oma. Kuid näha võib teda ainult täielikkude päikesevarjutuste ajal, siis kui must Kuu ketas katab üleni Päikese ketta.

Kuna Kuu asetseb väljaspool meie atmosfääri piire, siis kaitseb ta varjutuse ajal Päikese eest niihästi vaatleja silmi kui ka atmosfääri tema kohal. Seepärast ei kao täieliku varjutuse momendi alguses mitte üksnes Päikese valgus, vaid ka maakera atmosfääri valgus, taevas pimeneb nagu öösel ja tähed saavad nähtavaks. Samal hetkel ilmub musta Kuu kera ümber haruldaselt ilus hõbepärliline sära ebakorrapärast ja keerulist vormi igale poole laialiminevate kiirtega. See on P ä i k e s e k r o o n, mille pärast peamiselt korraldataksegi ekspeditsioone sellesse piirkonda, kus on nähtav täielik varjutus (vt. joon. 40, lk. 189).

Kuni praeguse ajani on sedasama Päikese välist kesta korda läinud rahuldavalt vaadelda ainult täieliku varjutuse kallitel piiritletud sekunditel. Niipea kui Kuu edasi



Joon. 74. Kromosfääri ülesvõte.

nihkub ja välgatab esimene päikesekiir, kaob kroon jäljetult kuni järgmise täieliku varjutuseni.

Mitte üksi kroon ei tõmba endale tähelepanu varjutuse ajal. Kuu ääre tagant, kõige alumises krooni osas, kerkivad Päikeselt roosakad tulekeeled. Pikksilma abil ja fotoülesvõtetel on näha, et nad embavad kogu päikeseketast kitsa äärisena, meenutades punavärvuselist rohtu. See krooniga võrreldes kitsas kestake on saanud nimetuse kromosfäär, s. o. punane sfäär (vt. joon. 74). Mitmes kohas kerkivad sellest „rohust" üles hiigla kõrgusele tulest „põõsad" ja „puud", nõndanimetatud Päikese protuberantsid. Nad näivad väikestena; varjutuse ajal on ainult kõige suuremad neist nähtavad palja silmaga, kuid tegelikult on igaüks neist tulefontaanidest palju suurem kogu maakerast.

Lõppeks kromosfäärist veel allpool on päris õhuke kiht, mis moodustab ülemineku heledale fotosfäärile. Teda nimetatakse ümberpööravaks kihiks. Seda kihti võib samuti vaadelda varjutuse ajal, kuid hoopis isesugusel viisil. Et aru saada sellest viisist, tuleb meenutada seda, mis oli öeldud Päikese spektri kohta. Sellega seletub ka nimetus „ümberpöörav kiht".

Päikese spektraalne uurimine.

Juba teame, et Päikese spekter on niinimetatud neeldumisspekter: hele vikerkaarne vööt, mis on läbi lõigatud paljude tumedate joontega. See tähendab, et hele valgus väga tuliselt Päikese kehalt läbib gaasilise kesta, Päikese atmosfääri, mis koosneb kõikvõimalikest madalama temperatuuriga gaasidest. Kui atmosfääri poleks, siis oleks spekter ühtlane — vikerkaarevärviline riba ilma mingi-

suguste katkestusteta. Kui aga, vastupidi, oleks olnud ainult Päikese atmosfäär, siis oleks selle spekter koosnenud üksikuist heledaist mitmevärvilistest joontest mustal foonil.

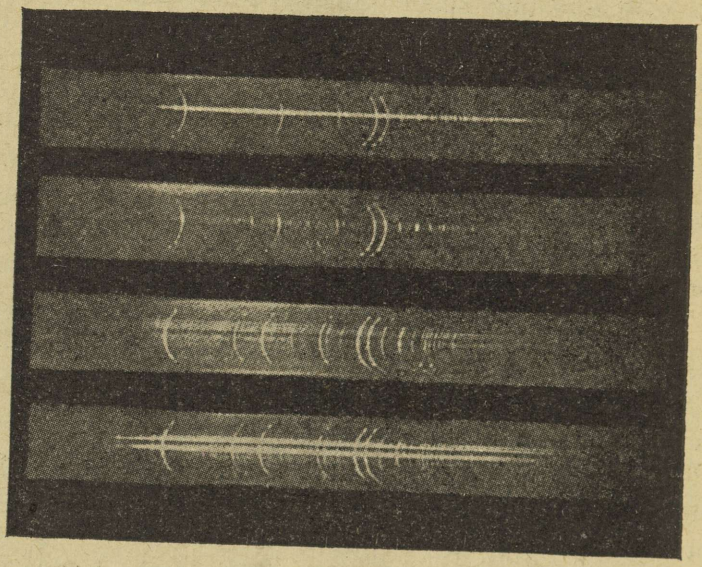
Atmosfäär, olgugi nõrgal määral, hoiab kinni tulise keha kiired, teostab niinimetatud valguse neeldumist. Iga gaas neelab teatud „omad" kiired ja annab pidevas spektris oma grupi tumedaid jooni samades värvustes ja samadel kohtadel, kus asetsevad tema heledad jooned. Näiteks annab naatrium kahekordse joone spektri kollases osas, raud — mitusada joont kõikvõimalikes värvides. Et keemilisi elemente on 92 ja paljude nende spekter sisaldab tuhandeid jooni, siis osutub Päikese spekter äärmiselt komplitseerituks ja temas on fotografeeritud mitukümmend tuhat tumedat joont.

Päikese pidev spekter on tema fotosfääri spekter. Seepärast peeti teda varem kõvaks või vedelaks sulatatud massiks. Praegu teame, et fotosfäär kui ka kogu Päike on gaasitaoline. Kuid tulised gaasid, milledest koosneb fotosfäär, on nii tugevasti ioniseeritud, et fotosfäär on täiesti läbipaistmatu ja annab joonspektri asemel pideva spektri. Tumedad jooned aga tekitab läbipaistev gaasiline kiht, mis asetseb otse fotosfääri peal. Iseenesest annaks ta spektri üksikuist heledaist joontest. Kuid tema heledad jooned muutuvad tumedateks, sest ta neelab ära fotosfääri valguse. Seepärast saigi see kiht endale ümberpöörava kihi nimetuse. Ta on päris õhuke; tema paksus ei ületa 400—600 km. Kõrgemal ta kord-korralt hõreneb ja läheb üle kromosfääriks.

Need kaks kihti moodustavadki selle, mida nimetatakse Päikese atmosfääriks. Spektraalne ana-

lüüs annab meile nimelt nende kihtide koosseisu, mitte aga hiilgava fotosfääri oma.

Ainult täielike päikesevarjutuste ajal võib näha ümberpöörava kihi spektrit tema loomulikul kujul, s. o. heleda joonspektrina. Selleks on tarvis suunata spektroskoop sinna Päikese ääre kohale, mis viimasena kaob Kuu



Joon. 75. Sähvatusspektri ülesvõte.

ketta taha. Seni kui on nähtav kas või üks punktike heledast fotosfäärist, näeme harilikku spektrit tumedate joontega. Kuid sel momendil, kui kaob viimane Päikese säde, kustub hele pidev spekter, ja enne tumedatena paistnud jooned, vastupidi, sähvatuvad mitmevärvilise tulevärgina, muutuvad heledaks (vt. joon. 75). Seda ilusat sähvatust võib vaadelda kõigest 2—3 sekundit, sest ümberpöörav

kiht on väga õhuke ja Kuu oma liikumisel katab tema kiiresti.

Ka kromosfääri võidi varemalt uurida ainult täieliku varjutuse ajal. Kuid 1868. a. inglane Lockyer ja prantslane Janssen üheaegselt ja sõltumatult teineteisest, näitasid, et kromosfääri võib vaadelda igal ajal, kuid mitte pikksilmaga, vaid spektroskoobi abil. Selleks on tarvis suunata spektroskoop taeva punkti üsna Päikese lähedale, nii et spektroskoobi pilu peaaegu puudutaks Päikese ketast. Kui spektroskoop on küllaldaselt tugev, siis Päikese poolt valgustatud taevavõlvi pideva spektri vikerkaarsel foonil eristuvad kromosfääri ja protuberantside palju heledamad jooned. Me näeme niiviisi protuberantside spektrit. Nende spektrite järgi määrati otsekohe kindlaks, et protuberantsid koosnevad tuliseist vesiniku ja kaltsiumi aurudest.

Varsti õpiti spektroskoobis nägema ka protuberantse endid. Selleks oli tarvis laiendada spektroskoobi pilu sel määral, et ta muutuks neljakandiliseks aknakeseks. Siis näeme iga spektraalse joone asemel selle aknakese kujutist ja sellel otsekui pilti raamis protuberantsi. Protuberantsi kujutisi saame niipalju, kuipalju jooni on tema spektris, ja nad on mitmesugustes värvides. Nad võivad olla aga ka mitmesugust vormi, kuna vesiniku joonte valguses on nähtavad ainult need protuberantsi osad, milledes helendub tugevasti vesinik, ja kaltsiumi valguses need, kus helendub kaltsium.

Kromosfääris toimuvad kogu aja nähtused, millede kõrval ka kõige kohutavamad maapealsed katastroofid näivad tühistena. Kromosfääri tulekeeled ulatuvad kõrgusteni, mis on ligikaudu võrdsed Maa läbimõõduga,

protuberantsid aga lendavad veel kümneid kordi kõrgemale, kiirustega mitusada kilomeetrit sekundis.

Üht kõige suuremat protuberantsi vaadeldi 1928. a. (vt. joon. 76). Tunni ja veerandi jooksul tulekeel, korda kakskümmend suurem Maa mahust, lendas 910 000 km kõrgusele, milline kõrgus on rohkem kui 70 maakera läbimõõtu, ja jätkas tõusmist veel kõrgemale, kuid pilved katsid teda. Millised jõud paiskavad kogu aja Päikeselt ainet niisuguste hiigla kiirustega, on seni jäänud teadmatuks.



Joon. 76. Protuberants 19. novembril 1928. a.

Lockyeri ja Jansseni avastus võimaldas uurida kromosfääri ainult Päikese ketta äärte juures, n. ö. „profiilis". Seejuures ümbritseb kromosfäär kogu valget fotosfääri kera, kuid jääb absoluutselt nähtamatuks iga teleskoobiga vaadelduna. Ja siiski tehti 25 aasta pärast veel üllatavam avastus: leiutati väga komplitseeritud spektraalsed riistad, mis võimaldasid tundma õppida kromosfääri Päikese ketta e e s. Vaatleja, kes vaatab Päikesele niisuguse riistaga, ei näe heledat fotosfääri üldse, kuid näeb seevastu hästi aga nähtamatut kromosfääri.

Kui niisugune riist on seadistatud fotografeerimiseks, siis nimetatakse teda s p e k t r o h e l i o g r a a f i k s; kui tema abil aga vaadeldakse, siis — s p e k t r o -

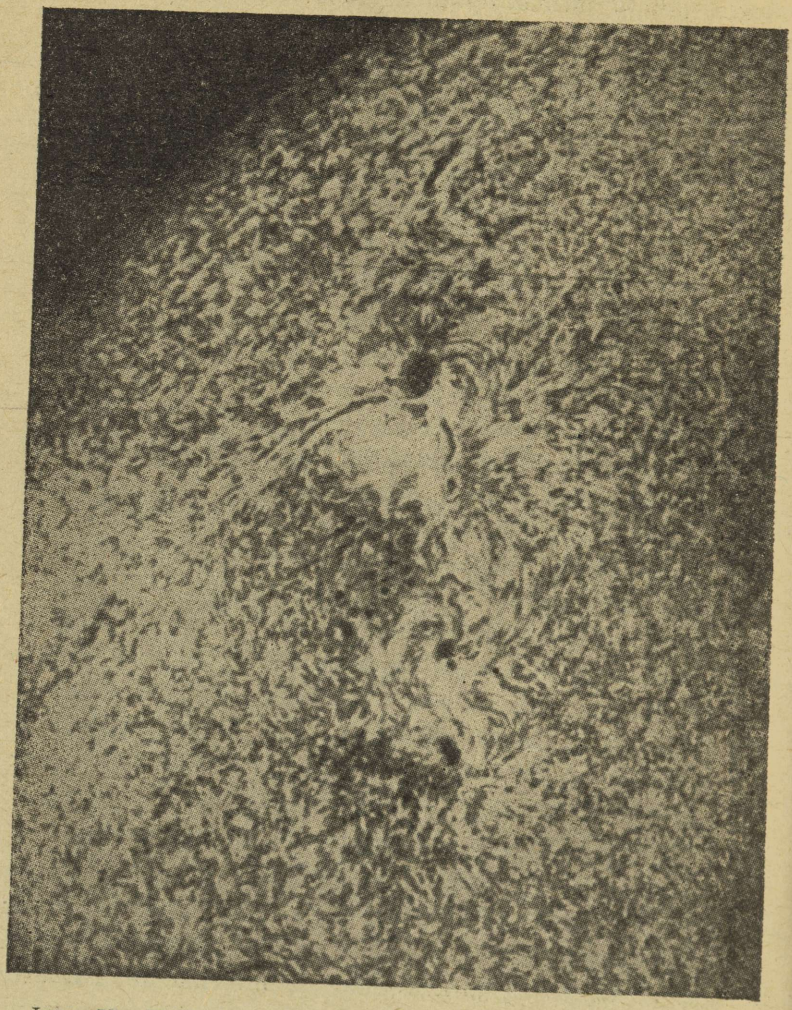
helioskoobiks. Esimene riist leiutati varem, seejuures jällegi mitme õpetlase, nende hulgas ka Hale'i poolt. Teise riista ehitas Hale alles 30 aastat hiljem.

Mõlemad riistad erinevad vähe teineteisest ja täidavad üht ja sama ülesannet. On nõutav, et Päikese liitvalgusest eraldataks mingisugune üks lihtvalgus, s. o. valgus, mille kõik lained omavad üht ja sama pikkust. Teiste sõnadega, tuleb instrumenti lasta ainult ühe mingisuguse elemendi spektraalse joone valgus ja kõikide teiste ülejäänud kiirte eest lihtsalt katta.

III peatükis juba nimetasime, et Päikese spektri jooned ei ole sugugi absoluutselt mustad, vaid heledad, kuid nende heledus on väiksem pideva spektri heledusest. Mõned neist annavad küllaldaselt valgust fotografeerimiseks ja silmaga vaatlemiseks. Spektrohelioskoop annabki võimaluse näha Päikest mõnesuguse niisuguse joone valguses. Kujutleme, et riist on „seatud" punasele vesiniku joonele. Siis näeme okulaaris punases valguses heledana neid kohti Päikesel, kus kiirgab vesinik eriti heledalt. Kogu ülejäänud Päikese pind paistab meile tumedana. Niiviisi uurime tugevasti kuumutatud vesiniku masside asetumist Päikesel vaatlemismomendil, jälgime nende liikumist ja suurust.

Niisamasuguseid vaatlusi võib teha kaltsiumi, raua ja teiste ainete aurude üle. Nende vaatluste tulemuseks on palju huvitavaid avastusi.

On osutunud näiteks, et kromosfäär sarnlevalt fotosfääriga koosneb üksikuist heledaist terakesist. Neileanti nimetus „flokkulid", mis tähendab „helbed". On võimalik, et need on „tulekeeled", mida näeme Päikese äärel, ainult ülalt vaadatuna. Sageli võib tähele panna, kuidas ümber Päikese laikude on flokkulid haaratud



Joon. 77. Tuliste vesinikumasside keerislik liikumine Päikese laikude ümber.

keerislikust liikumisest. See andis põhjust oletusele, et mõned laigud kujutavad endast keeriseid, mis on sarnased maise atmosfääri tsükloonidega (vt. joon. 77).

Päikese kroon.

Kõige välisem Päikese kestadest, kroon, on ka kõige mõistatuslikum. Siin pole ka midagi imestada: kuna kroon on nähtav ainult täielike varjutuste ajal, siis spektroskoobi avastamisest saadik saadi teda vaadelda üldises kogusummas mitte üle 2—3 tunni.

Krooni spektris on leitud mitu heledat joont, mis ei kuulu ühelegi maisele ainele. Järelikult kuulub krooni koosseisu mingisugune tuline gaas, mis Maa peal on tundmata. Üksvahe arvati, et see on uus, meie laboratooriumides veel avastamata keemiline element, ja anti talle juba ette nimetus „koroonium". Kuid nüüd peetakse kaheldamatuks, et koroonium on üks meile juba tuntud elementidest, kuid asub mingisugustes erilistes tingimustes, milliseid Maa peal pole veel saavutatud, mispärast tema spekter on moonutatud tundmatuseni. Nähtavasti on see tugevasti ioniseeritud raud.

Et kroon ei ole lihtne gaasiline atmosfäär, vaid on mingisuguses erilises seisukorras, nähtub sellest, et tema tihedus on võrratult väiksem isegi kõige kõrgemate maakera atmosfääri kihtide tihedusest. Meenutagem, mis toimub meteoorse kehaga, kui ta lendab nendesse meie atmosfääri kihtidesse, mis on s a j a d t u h a n d e d korrad hõredamad kui maakera pinnal: ta paiskub vastu seda hõrendatud atmosfääri peaaegu kui vastu kõva keha, tema kiirus 100 km/sek langeb otsekohe peaaegu nullini ja lühema kui sekundi jooksul põleb ta ära jää-

gita. Teisest küljest on teada mitu juhtu, kui komeet (s. o. meteooride kogum) lendas läbi Päikese krooni. Näiteks 1843. a. läbis komeet mitme tunni jooksul Päikese kõige tihedamaid krooni kihte peaaegu kromosfääri juurest, kusjuures tema kiirus oli korda viis suurem keskmisest meteooride kiirusest ja vastupanu liikumisele järelikult $5 \times 5 = 25$ korda suurem. Ja mis siis juhtus? Komeediga ei juhtunud mitte midagi: ei tema kuju ega liikumine muutunud mõnevõrragi, otsekui oleks ta tormanud läbi absoluutselt tühja ruumi.

Kuid see „tühi ruum" helendab täieliku varjutuse ajal peaaegu niisama heledalt kui täiskuu. Spektroskoop näitab meile, et seal on ka osakesi, mis peegeldavad tagasi fotosfääri valgust. Nad ei lange Päikesele, vaid, vastupidi, kanduvad temast ikka kaugemale helendavate jugade ja kiirte näol, meenutades ühest küljest komeetide sabasid, teisest küljest — elektronide voolu Crookes'i torus. Jõud, mis paiskab need osakesed eemale Päikesest, on samuti tundmata; see võib olla elektrostaatiline (jõud, mis tõukab eemale ühesuguste märkidega elektrilised laengud), aga võib ka olla valguse tõukejõud, nagu komeetide sabade puhul.

Krooni uurimine on äärmiselt tähtis mitte ainult astronoomiale, vaid ka füüsikale. Seepärast otsivad õpetlased juba ammu vahendeid, kuidas oleks võimalik vaadelda krooni ka siis, kui pole varjutust, kuid alles 1930. a. läks prantsuse astronoomil L y o t'l korda näha krooni pikksilma abil. Vaatlusi tegi ta kõrgel mäel, kus õhk on väga hõre, ja mõtles välja teravmeelseid viise, kuidas vähendada fotosfääri ja taevafooni valguse segavat mõju. Kuid seni saab vaadelda tema viisiga ainult heledamat krooni osa, nn. sisemist krooni. Seepärast jääb

vaatlemine täielike varjutuste ajal endiselt tarvilikuks ja täieliku varjutuse vöötmele sõidab endist viisi iga kord kokku palju teaduslikke ekspeditsioone.

Päikesevarjutus 19. juunil 1936. a.

Eriti rikkalikku teaduslikku materjali andsid 1936. a. 19. juuni päikesevarjutuse vaatlused. Täieliku varjutuse riba oli tol korral peaaegu eranditult meie Liidu territooriumil, Musta mere äärest kuni Vaikse ookeanini. Sellele ribale, pikkusega üle 7000 km, oli varakult paigutatud üle kümne suure, rikkalikult varustatud nõukogude ekspeditsiooni (kaasa arvamata hulk väikesi), kellede töö, vastupidiselt välismaistele ekspeditsioonidele, toimus rangelt kooskõlastatud plaani järgi.

Nii näiteks oli meie ekspeditsioonide töö plaani paigutatud tähtis teema liikumiste ja muutuste uurimiseks Päikese kroonis. On arusaadav, et üks vaatleja kaheminutise krooni nähtavuse korral mingisuguseid muutusi märgata ei saa. Kuid meie astronoomid kasutasid ära selle asjaolu, et Kuu vari vajas üle 2 tunni, et läbida maad Tuapsest kuni Habarovskini. Seepärast Kaug-Ida vaatleja fotografeeris krooni kaks tundi hiljem kui Musta mere äärne, ja üksteisest nii suure ajavahemikuga lahutatud ülesvõtete võrdlemine võis anda lootust liikumiste avastamiseks mõistatuslikkudes krooni kiirtes ja jugades.

Kuid selleks on hädavajalik, et mõlemad ülesvõtted oleksid tehtud täpselt ühesuguste riistadega. Peale selle oli, nagu alati, ebaõnnestumiste riisiko pilviste ilmade pärast. Seepärast valmistasid meie optikatehased kuus täiesti ühetüübilist pikafookuselist aparaati Päikese

krooni fotografeerimiseks (koronograafid). Need aparaadid jaotati piki varjutuse riba. Pilves oli ilm ainult kahes vaatlusjaamas. Ülejäänud nelja koronograafiga tehtud ülesvõtete võrdlus andis huvitavad andmed kogu krooni pöörlemise kohta ümber telje koos kogu Päikesega, liikumiste ja muutuste kohta üksikutes krooni kiirtes ja nende seose kohta nende all olevate moodustistega fotosfääris ja kromosfääris.

Selle varjutuse vaatlused olid hiilgavaks saavutuste ülevaatuseks mitte üksnes meie teadusest, vaid ka meie optikatööstusest, mis tsaariajal ei valmistanud isegi prilliklaase.

Einsteini efekt.

Teiseks tähtsaks teemaks nõukogude 1936. a. ekspeditsiooni plaanis oli E i n s t e i n i e f e k t i kontrollimine, s. o. tema üldise relatiivsusteooria kontrollimine gravitatsiooni mõju suhtes valguskiirtele. Selle teooria järgi kiir, mis läheb massiivsest kehast mööda, peab mõnevõrra muutma oma suunda; kiire kõverdumine on tühine, kuid ta on seda tugevam, mida suurem on keha mass ja mida lähemalt läheb kiir pinnast mööda. Seepärast saab Einsteini efekti avastada ainult sellise tähe vaatlemisel, mis asetseb taevas üsna Päikese ketta lähedal. Niisugune täht asetseb tegelikult kaugel Päikese taga. Et aga valguskiir, mis tuleb tähe juurest Maa peale, läheb päris lähedalt Päikese pinnast mööda, siis peab ta tema võimsa tõmbejõu mõjul kõverduma, otsekui tõmbuma Päikese külge, ja täht näib meile nihkununa oma normaalsest asukohast. Einstein arvutas välja, et isegi päris Päikese ketta ääres asetseval tähel peab nihkumine olema kõigest 1″,7.

Kontrollida seda tähelepanuväärset järeldust võib muidugi ainult siis, kui Päike on täielikus varjutuses. Selle eesmärgiga tehti kõikide varjutuste aegadel, alates 1919. a-st, tähtedest, mis ümbritsesid Päikest, ülesvõtteid. Tähtede ülesvõtete mõõtmine esimeste varjutuste puhul näitas, et niisugune nihkumine on tõesti olemas ja omab isegi Einsteini poolt ennustatud ligilähedast suurust — umbes 2″. Kuid aja jooksul selgus, et vaadeldav nihkumine on teoreetilisest s u u r e m.

See määrati lõplikult kindlaks prof. A. A. M i h h a i l o v'i ülesvõtetega, mis tehti 1936. a. Habarovski lähedal. Mõne kuu pärast, kui Päike siirdus taeva teise osasse, fotografeeriti tähti, mis ümbritsesid Päikest varjutuse ajal, uuesti samast kohast ja sama instrumendiga, kuid nüüd juba öösel. Mõõtmine ja tähtede asukoha võrdlemine päevastel ja öistel ülesvõtetel näitas, et tegelik Einsteini efekt on poolteist korda suurem teoreetilisest ja on 2″,7. On huvitav, et see suurus ühtib täielikult modifitseeritud relatiivsusteooria tulemustega, mis on saadud kõige viimasel ajal.

Päikeseenergia ja elu Maa peal.

Kõik järeldused Päikese soojuse ja tema temperatuuri kohta põhinevad katsel, mis näib väga lihtsana. Tuleb panna Päikese kiirte alla, risti nendega, plaat või lauake ja mõõta, kuipalju soojust saab Päikeselt iga ruutsentimeeter nende pinnast ühe minuti jooksul. Tegelikult on see katse väga keeruline. Täpset arvu läks korda saada alles meie sajandil. See osutus võrdseks peaaegu 2 kaloriga 1 cm^2 kohta minutis. Niisugune hulk soojust võib tõsta 1 g vee temperatuuri kõigest 2^0 võrra.

Näib, et seda pole sugugi palju. Kuid niisugune hulk soojust langeb ju igale ruutsentimeetrile, mis on Maa peal asetatud risti Päikese kiirtega. Kui oleks võimalik Päikest ümbritseda sfäärilise kestaga, mille raadius võrduks kaugusega Päikesest kuni Maani, siis osutuks, et iga cm^2 sellest kestast saaksid needsamad 2 kalorit minutis. Kogu see tohutu soojusehulk lendab otsejoones Päikese pinnalt, mis omab samuti sfääri kuju. Kuid Päikese raadius on väiksem meie kujutletavast sfäärist 215 korda ja Päikese pind on väiksem tema pinnast 215^2, s. o. 46 225 korda. Järelikult iga ruutsentimeeter Päikese pinnast ei saada maailmaruumi ehk, nagu kõneldakse, ei kiirga mitte 2 kalorit minutis, vaid 46 225 korda rohkem, s. o. üle 1500 kalori sekundis.

Selle arvu grandioossus saab piltlikumaks, kui soojusühikud viime üle teistesse mõõtudesse. On ju soojus üks selle liikidest, mida teadus nimetab energiaks (s. o. omaduseks teha tööd). Seepärast võib tema kohta kasutada energia jäävuse seadust. See seadus kõneleb, et energia ei teki ega kao, vaid ainult läheb ühest vormist teise, näiteks soojusenergiast liikumisenergiaks, elektrienergiaks jne. Energia muundumine toimub täpsete matemaatiliste reeglite järgi. Kui näiteks soojusenergia muundub liikumisenergiaks, siis iga tuhande kalori soojusenergia „kadumine" „loob" 425 liikumisenergia (ehk „mehhaanilise töö") ühikut, niinimetatud „kilogramm-meetrit". Vastupidi 425 kilogramm-meetrit (võrdub 425 kg tõstmise tööga ühe meetri kõrgusele) tööd annab 1000 kalorit soojusenergiat. Meenutagem, et kui jõumasin suudab tõsta 1 sekundi jooksul 75 kg ühe meetri kõrgusele, siis öeldakse, et tal on ühe hobusejõu võimsus.

Jagades arvu 425 arvuga 75 ja korrutades 1,5-ga, muudame 1500 kalorit sekundis hobusejõuks. Saame 8½ HJ ühele ruutsentimeetrile. See tähendab, et Päikese kiirguse energia on niisugune, nagu töötaks iga fotosfääri ruutmeetri pinnal jõuseadeldis võimsusega 85 000 HJ. Võrdluseks märgime, et see on ligikaudu Volhovi hüdroelektrijaama võimsus.

Oma energiat kiirgab Päike vahet pidamata külma maailmaruumi igas sihis. Sellest hiigla energiavoolust haarab iga planeet ainult tühise osa. Maa osaks näiteks tuleb kitsas kiirtekimbuke, mis toob endaga ühe kahe miljardiku osa kogu Päikese kiirgamisest.

Päikesekiirte poolt toodav soojus on peaaegu ainuke energiaallikas kõikide maiste nähtuste jaoks. Kui Päike oleks kustunud, siis ei oleks külmunud Maal toimunud mingisugust liikumist, mingisuguseid sündmusi vahest peale maaväringute ja meteoriitide langemise, mis ei olene Päikese kiirgamisest. Kõik ülejäänud mitmesugused nähtused maal, merel ja õhus saavad oma alguse Päikese kiirte soojusest. Ainult Päikese kiirte tegevusest lähevad liikuma maakera atmosfääri õhumassid, tekivad õhuvoolud ehk tuuled, mis kannavad hiigla energia koguseid.

Sama Päikese kiirte energia aurutab vee meredest ja ookeanidest ja tõstab selle mitmete kilomeetrite kõrgusele, kus see tiheneb pilvedeks. Sealt langeb ta alla vihma ja lume näol ning loendamatute joakeste ja jõgedena jookseb tagasi ookeani. Neis liikuvais veemassides peituvad hiigla energia tagavarad; nüüdisaegne tehnika nimetab neid „valgeks söeks" ja kasutab neid laialt. Kuid palju suurem hulk sellest energiast kulub lõhkumistööks maiste mannerde uhtumisel. Maa kamara ajaloo sadade

miljonite aastate jooksul on palju mägede seljandikke maha uhutud kuni mäejalgadeni, palju meresid on täidetud liivaga. Ja kõike seda tegid Päikese kiired. Päike lõhub mäed ja muudab maakera pinda. Päike töötabki meie võimsates hüdrojaamade turbiinides.

Siirdume nüüd teiste masinate juurde, mis ei tööta „valge söega", vaid hariliku musta söega või mingisuguse muu küttega. Niisuguste masinate tööallikaks on kütteaine soojusenergia. Järelikult ka kütteaines, näiteks puudes, peitub mingisugune energiatagavara. Kust said puud selle? Osutub jällegi, et Päikeselt. Puu, nagu igasugune roheline taim, neelab („hingab sisse") oma lehtede kaudu õhus leiduvat süsihappegaasi, mis koosneb süsinikust ja hapnikust. Päikese kiirte mõjul eraldub rohelises lehes hapnikku süsihappegaasist ja läheb tagasi õhku, ja järele jääb süsinik.

Sellest (erilise aine klorofülli mõjul, mis annab rohelise värvuse taimede lehtedele) ehitub (kasvab) osa osakese järel taime keha. Niiviisi jääb taimedesse — võiks öelda, konserveerub — tunduv osa Päikese kiirte ja soojuse energiat, kuid uue energia, keemilise energia kujul. See energia jääb puusse selle ajani, kuni teda ei visata ahju. Siis ühinevad süsiniku osakesed jälle hapnikuga ja varjatud keemiline energia muutub jälle soojuseks. Niiviisi puuhalgu põletades ei loo me uut energiat, vaid ainult vabastame selle osa Päikese energiast, mis oli kunagi neelatud elusa taime poolt. Võib öelda, et iga taim on Päikese energia tagavaraladu.

Kui põletada puitu aurumasina küttekoldes, siis me ei vabasta lihtsalt Päikese energiat, vaid sunnime teda töötama endile. Ta veab ronge ja paneb käima masinaid vabrikuis ja tehaseis. Tõsi küll, masinate küttekoldeis

põletatakse sagedamini kivisütt ja naftat kui puitu. Kuid kivisüsigi on tekkinud taimedest, mis kasvasid Maa peal sajad miljonid aastad tagasi, nn. kivisöe-ajastul. Nii omab ka nafta vaieldamatult orgaanilist päritolu, kuid tekkis pärast kivisütt ja palju keerulisemal teel.

Niiviisi, kui elektrijõujaam töötab kivisöe abil, siis elektrilampidest paistavad meile needsamad kiired, milledega Päike miljonid aastad tagasi valgustas inimtühje kivisöe-ajastu metsi.

Jääb veel ainult üks maiste nähtuste piirkond — see on loomade ja inimeste elu.

Igasugune elav organism kujutab endast äärmiselt keerukat masinat, mille tegevuses on kõik peensusteni allutatud füüsika seadustele, esimeses järjekorras energia jäävuse seadusele. Tema eluprotsessis toimub pidev energia ümberkujundamine, mida ta saab mingisugusest allikast. Loomadele ja inimesele on niisuguseks allikaks toit, mis koosneb taimedest või loomadest, kes toituvad taimedest. Meie organismis allub toit kõikvõimalikkudele keemilistele muutustele. Kõige tähtsam neist muutustest on see, et toidus sisalduvad süsiniku osakesed ühinevad hapnikuga nagu põlemise puhul masina küttekoldes ja neis varjatud Päikese kiirte energia osakesed vabanevad uuesti, kuid seekord avaldub see energia komplitseeritud soojuse eraldumise protsessis, mida nimetame e l u k s.

Niiviisi on kogu elu Maa peal loodud Päikese kiirte poolt. Õhust, veest ja mullast saavad olendid ainult ainet, millest on ehitatud nende kehad. Kuid energia saavad nad Päikeselt. Võib ütelda, et nende igaühe elu on üks Päikese kiirte energia loendamatute muutuste avaldustest.

Nüüdisaja teaduse suur probleem.

Inimkonna ajaloost teame, et Päike valgustab ja soojendab praegu täpselt niisama kui tuhandeid aastaid tagasi. Kuid veel vanem Maa ajalugu, mida loevad geoloogid kivististelt, ütleb, et sajad miljonid aastad tagasi enne inimese tekkimist oli Maa ilmastik k e s k m i s e l t niisamasugune kui praegugi. Olid ajastud, millal ilmastik tunduval osal maakera pinnast oli soojem kui meie ajal; olid ka külmemad ajastud. Kuid need muutused toimusid nähtavasti mingisuguste maiste põhjuste mõjul, mitte aga Päikese temperatuuri muutuste tõttu. Nad ei olnud ka väga suured, nii et inimene oleks võinud Maa peal elada ükskõik millisel geoloogilisel ajastul, mis meile on teada.

Niiviisi ei ole Päike märgatavalt jahenenud isegi sadade miljonite aastate jooksul, vaatamata soojuse hiigla voolule, mida ta pidevalt lähetab maailmaruumi. On ilmne, et seda soojuse kulu kogu aeg täiendatakse mingisugusest allikast.

Milline on see allikas? Et vastata sellele küsimusele, analüüsisid füüsikud kõiki soojuseallikaid, mida tunneme Maa peal, näiteks põlemist, gaasimasside kokkusurumist, radioaktiivsust ja muud. Kõik need allikad osutusid mitteküllaldasteks; nad võimaldavad Päikese „elule" — nii möödunud kui ka tulevasele — mitte pikema kestuse kui kaks- kuni kolmkümmend miljonit aastat.

Praegusel ajal peetakse kõige tõenäolisemaks, et Päikese soojus tekib kergeima elemendi — vesiniku — raskemaiks elementideks muutumise tagajärjel.

Kõneldes spektraalsete joonte tekkimisest juba märkisime, et vesiniku (elemendi nr. 1 Mendelejevi tabelis)

aatom omab peale aatomi tuuma veel ainult üht elektroni, heeliumi (elemendi nr. 2) aatomis on aga väljaspool tuuma kaks elektroni. Veel enam, meie teame nüüd, et kõikide elementide aatomi tuumad koosnevad nn. prootonitest, s. o. vesiniku aatomi tuumadest, ja sama suure massiga, kuid elektrilaenguta osakestest — neutronitest. Ühtede ja teiste arv on iga elemendi puhul isesugune ja on täpselt teada. Näiteks heeliumi aatom, mis on lihtsaim element vesiniku elemendi järel, koosneb kahest prootonist, kahest neutronist ja kahest välimisest elektronist. Need kaks prootonit ühes kahe neutroniga moodustavadki heeliumi aatomi tuuma ehk alfa-osakese.

Sellest tehti kohe järeldus, et rohkem komplitseeritud elementide aatomid võivad laguneda lihtsamaiks aatomeiks ja vastupidi, et lihtsamad aatomid võivad liituda komplitseeritumaiks, — teiste sõnadega, et keemilised elemendid võivad muutuda ühest teiseks. Elementide lagunemise juhud on meile teada juba radioaktiivseist aineist; need toimuvad ka Maa peal, näiteks muutub raadium aja jooksul seatinaks. Kuid komplitseeritud aatomite tekkimist lihtsamaist (nn. elementide s ü n t e e s) pole Maa peal veel vaadeldud; selleks pole nähtavasti meie juures meie ajastul soodsaid tingimusi.

Kas pole niisuguseid tingimusi vahest tulises Päikese massis? Vahest võib seal toimuda kas või lihtsaim mõeldavaist elementide sünteesi protsessidest, nimelt nelja vesiniku aatomi ühinemine üheks heeliumi aatomiks? Kui see vesiniku muutumine heeliumiks seal tõesti toimub, siis oleks see küllaldaseks allikaks, mis sünnitab Päikese soojust.

See järgneb ühest keemilisest faktist, mis varem näis mõistatuslikuna. Vesiniku nn. aatomkaal ei ole täpselt

neli korda väiksem heeliumi aatomkaalust, nagu see peaks olema teoreetiliste kaalutluste kohaselt: ta ei võrdu 1-ga, vaid 1,008-ga. Seejuures on heeliumi aatomkaal 4,00, mitte aga 4,032. Niiviisi kui prootonitest (vesiniku tuumadest) tekib 4 grammi heeliumi, läheb otsekui kaotsi 0,032 grammi massi. Kuid praegu teame, et see mass ei lähe kaotsi, vaid muutub soojuseks. Nüüdisaegne füüsika on ühendanud kaks suurt looduseseadust — massi jäävuse seaduse ja energia jäävuse seaduse: mass võib mõningal juhul „kaduda", kuid iga „kadunud" massi grammi arvel tekib määratu hulk soojust, mis on miljoneid kordi suurem sellest, mida meile võib anda gramm mingisugust ainet ükskõik millise keemilise reaktsiooni puhul.

See mõte oli väljendatud juba ammu, kuid polnud selge, mil viisil ja millistes tingimustes võib toimuda niisugune vesiniku aatomite ühinemine heeliumi aatomiks. Alles kõige viimaseil sõjaeelseil aastail näidati füüsikute poolt, seni muidugi ainult teoreetiliselt, komplitseeritud, kuid täiesti täpne tee nelja prootoni „pakkimiseks" heeliumi aatomiks. Seda aatomi tuumade reaktsiooni nimetatakse Bethe ahelreaktsiooniks. Osutub, et esimesed kaks prootonit peavad algul järjekorras ühinema ioniseeritud süsiniku aatomi tuumaga, mis annab „raske" süsiniku aatomi tuuma ja nn. positroni ehk positiivse elektrilaenguga elektroni, seejärel lämmastiku aatomi tuuma. Alles pärast veel kahe prootoni ühinemist saadakse algul „kerge hapniku" aatom ja positron ja lõppeks heeliumi aatom ja jällegi süsiniku aatomi tuum.

Soojusehulk, mis eraldub niisuguse reaktsiooni puhul, on niivõrd suur, et see kindlustab Päikese kiirgamise

muutumatuse palju pikemaks tähtajaks, kui kõik endised teooriad.

Astronoomid, füüsikud ja geofüüsikud tegelevad üha rohkem Päikesega. Viimasel ajal on paljudes observatooriumides, nii meil kui ka välismaal, korraldatud isegi eriline „Päikese teenistus", mis jälgib kõiki Päikese tegevuse ilmutusi niisama regulaarselt, kui „ilmastiku teenistus" jälgib ilmastikku. See Päikese teenistus ei pea avastama mitte üksnes Päikese loomuse, vaid lahendama ka küsimuse sellest, kuidas mõjuvad Päikese peal toimuvad muutused Maa elule.



X peatükk.

Tähtede maailm.

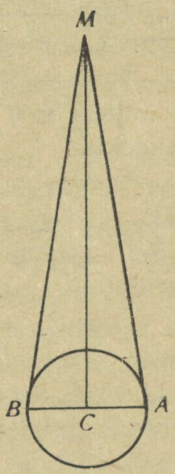
Muistne astronoomia tegeles peaaegu eranditult Päikese, Kuu ja planeetide liikumise uurimisega. Tähistaevas oli ainult fooniks, millel toimusid kõik need liikumised, tähed aga olid vaid lihtsaiks liikumatuiks märgisteks taevafoonil. Nende märgiste järgi oli hõlpus leida teed merel ja kõrves, samuti jälgida planeetide liikumist. Pärast õpiti tähtede järgi määrama aega, koha geograafilist laiust ja pikkust. Sellega piirduski tähtede osatähtsus astronoomias kuni XVIII sajandini, isegi kuni XIX sajandini; tähtedest endist ei teatud peaaegu midagi.

Praegu on meile teada, et tähed on hiiglasuured tulised kehad, kauged *päikesed*, sageli võimsamad ja tulisemad kui meie Päike. Paljude nende ümber võivad tiirelda — nagu ümber meie Päikese — planeetide perekonnad, mis seni on nähtamatud nõrkade maiste pikksilmade abil. Seepärast on astrofüüsikale iga täht nagu Päikegi väärtuslikuks kosmiliseks laboratooriumiks, milles mateeria allub protsessidele, mis on teostamatud meie nüüdisaegseis laboratooriumes. Uurides tähe füüsikalisi omadusi avastab astrofüüsik *mateeria ehituse* seadusi.

Me teame samuti, et kõik need loendamatud päikesed liiguvad, olles allutatud samale suurele gravitatsiooniseadusele, mis valitseb ka planeetide süsteemis. Need tähtede liikumised esitavad astronoomile-teoreetikule rea ülesandeid meie tähesüsteemi liikumise ja ehituse kohta, seejärel samasuguseid ülesandeid ka teiste tähesüsteemide kohta, s. o. nad esitavad suure ülesande maailma ehitusest.

Kaugused tähtedeni.

Kaugused tähtedeni arvutatakse välja sama „geodeetilise" meetodi järgi, millega on määratud kindlaks Päikese ja planeetide kaugused, s. o. väikese nurga mõõtmise — parallaksi — ja mingi sirgjoone — baasi — järgi. Kuid tähed on niivõrd kaugel, et isegi Maa läbimõõt on selles ülesandes liiga väikeseks baasiks. Õnneks on meie kasutada veel palju suurem baas — maakera orbiidi läbimõõt, mis on ligikaudu võrdne 300 miljoni kilomeetriga. Maa liikumine ümber Päikese viib iga astronoomi poole aasta jooksul ühest baasi otsast teise, oletame *A*-st *B*-sse (vt. joon. 78). Seepärast kui täht oleks olnud niivõrd kaugel, et tema kaugus oleks olnud 206 265 korda suurem kui Maa kaugus Päikesest (*CA*), siis (nagu on seletatud peatükis Päikese üle) esimese tähesuuna (*AM*) ja teise tähesuuna (*BM*) vahel (pool aastat hiljem) oleks nurk 2″. Poolt sellest



Joon. 78. Kuidas määratakse kindlaks kaugus kuni täheni.

nurgast, s. o. nurka *MC* ja *MA* vahel, nimetatakse tähe aastaseks parallaksiks; tähe *M* puhul võrdub aastane parallaks niiviisi 1 sekundiga.

Kujutletava tähe kaugust, kui tähe parallaks võrdub sekundiga, nimetavad astronoomid parsekiks ja võtavad selle tähtede kauguste mõõtmisel ühikuks. Järelikult on parsek 206 265 astronoomilist ühikut. Selle määratu maa läbib valgus $3\frac{1}{4}$ aasta jooksul.

Täht, mis on meist eemaldatud ühe parseki kaugusele, on tõesti kujuteldav, sest kuni praeguse ajani pole leitud ühtegi tähte, mis oleks nii lähedal. Isegi kõige lähemate tähtede parallaksid on väiksemad kui sekund, seega on kaugused suuremad kui 1 parsek.

Reegel kauguse arvutamiseks parallaksi põhjal on väga lihtne: tuleb 1″ jagada parallaksiga.

Näiteks Siiriuse, kogu taeva kõige heledama tähe parallaks on 0″,37; järelikult on tema kaugus $1 : 0{,}38 = 2{,}6$ parsekit.

Valgus läbib selle vahemaa $2{,}6 \times 3\frac{1}{4} = 8{,}6$ aasta jooksul. Siirius on üks lähemaist tähtedest. Kõige lähemalt tähelt, Tsentauruse alfalt (meil nähtamatu), tuleb valgus meieni $4\frac{1}{3}$ aastat.

Niisiis selleks, et mõõta tähe kaugust, tuleb mõõta nurk, mis on alati väiksem sekundist, ja mida kaugemal asub täht, seda väiksem see on. Esimest korda õnnestus tähtede parallaksi mõõtmine kuulsal astronoomil Bessel'il 1838. a. Ta märkas ja mõõtis parallaksi 0,3 sekundit ühel tähel Luige tähtkujus.

Nüüdisaegne vaatluste tehnika võimaldab mõõta parallakse, mis on 20 korda väiksemad. On osutunud, et tähti niisuguse parallaksiga on võrdlemisi vähe; isegi tähed, mis on nähtavad palja silmaga, on enamasti kau-

gemal kui 50—100 parsekit, nii et nende parallaksid ei allu o t s e s e l e mõõtmisele. Õnneks avastati XX sajandil mitu k a u d s e t viisi tähtede kauguste hindamiseks.

Kaugus tähtede vahel on miljoneid kordi suurem tähtede endi läbimõõtudest. Kujutleme endale tähtede maailma mudelit, milles kõik kaugused on miljon miljonit korda vähendatud. Siis muutub maailmaruum helendavate kerakeste kogumiks, millest enamik ei ole suuremad kui liivaterake, ja ainult harva kohtaksime suuremaid kerasid, võib-olla isegi kuni 1 m läbimõõduga. Meie Päike osutuks heledaks terakeseks - $1\frac{1}{2}$ millimeetrise läbimõõduga ja Maa — mikroskoopiliseks tumedaks tolmukübemekeseks, 15 cm kaugusel Päikesest. Kuid alles 40 km kaugusel leiaksime lähima valge terakese — kõige lähema tähe Tsentauruse alfa. Ja nii jätkub see edasi, kuna Päike ei asetse sugugi mitte kõige tähtede-vaesemas maailmaosas.

Mitte millegagi võrreldamatu tähistaeva pilt omab veel üht iseärasust, mida kusagil mujal ei leidu: see pilt pole seotud kindla ajamomendiga. Mida kaugemal asetseb täht, seda kauemat aega tuleb temalt valgus. Seepärast on üks täht nähtav meile sellisena, milline ta oli 10 aastat tagasi, teine niisugusena, nagu ta oli tuhat aastat tagasi jne. On taevakehi, mis on nähtavad isegi palja silmaga ja mida vaatleme seesuguses olukorras, nagu nad olid sajad tuhanded aastad tagasi, s. o. ajal, mil polnud veel inimesi Maa peal. Lõppeks avastab meile pikksilm tähtede süsteemid, milledest (nüüd on see tõestatud) näeme seda, mis oli sajad miljonid aastad tagasi, arvates meie ajast.

Niiviisi imetledes tähistaevast heidame pilgu mitte üksnes ruumi, vaid ka aja kaugematesse sügavustesse.

Tähtede arv ja heledus.

Pikksilma abil on tähed nähtavad väikeste kettakestena, millede läbimõõte võib isegi mõõta, nagu mõõdame planeetide ketaste läbimõõte. Kuid tähtede puhul ei ole need „kettad" reaalsed: need luuakse pikksilma poolt; ja mida parem on pikksilm, seda väiksem on ketas. Seepärast on õigem ütelda, et kõik tähed on pikksilmaga vaadelduna heledad punktid ja erinevad üksteisest ainult heleduse ja värvuse poolest.

Heleduse poolest on kõik palja silmaga nähtavad tähed juba ammu liigitatud kuude klassi, milledele on antud ebaõnnestunud nimetus — s u u r u s. Nüüdisaegne teadus, mis tegeleb heleduste mõõtmistega, nn. fotomeetria, on viinud läbi selle „suurustesse" liigitamise rangelt matemaatiliselt. 2. suuruse täht on $2\frac{1}{2}$ korda nõrgem 1. suuruse tähest, 3. suuruse täht on niisama palju kordi nõrgem 2. suuruse tähest, tähendab, on nõrgem 1. suuruse tähest $2\frac{1}{2} \times 2\frac{1}{2}$, s. o. $6\frac{1}{4}$ korda jne. Ühesõnaga, tähtede heledused moodustavad nn. geomeetrilise progressiooni. Täpselt võttes ei ole iga suuruse klass nõrgem eelmisest mitte 2,5, vaid 2,512 korda. Niisiis kui üks täht on teisest heledam 5 s u u r u s e v õ r r a, siis tähendab see, et ta on heledam t ä p s e l t 100 k o r d a, kuna $(2{,}512)^5 = 100$. Selle reegli peame meeles järgmiseks arvutuseks.

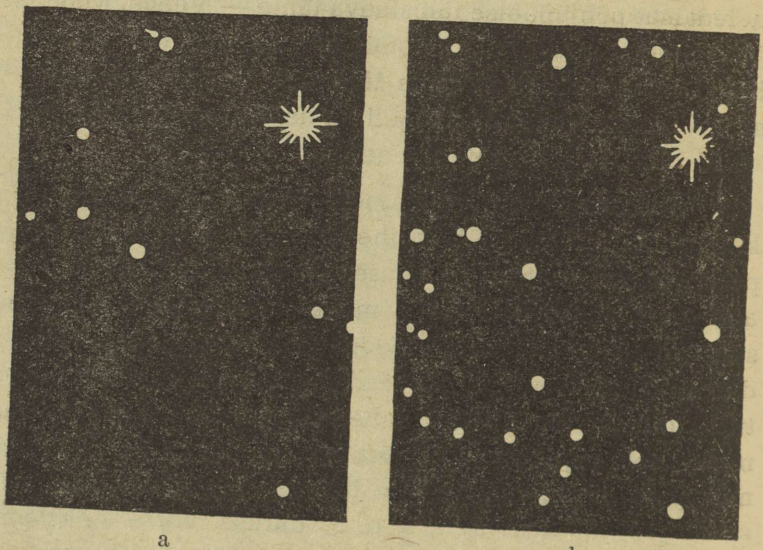
Suurustesse jaotamist kasutatakse ka teleskoopiliste, palja silmaga nähtamatute tähtede puhul. Neid nimetatakse 7., 8. jne. suuruse tähtedeks. Suure reflektoriga fotoülesvõtetel leiame kuni 21. suuruse tähti. Nad on 1. suuruse tähtedest 20 suuruse võrra nõrgemad, s. o. sada miljonit korda, sest $100 \times 100 \times 100 \times 100 = 100\,000\,000$.

Tähe nähtav suurus ei ütle midagi veel tema tegeliku heleduse kohta, sest täht võib näida heledamana ainult sellepärast, et ta on meile võrdlemisi lähedal. Selleks, et võrrelda tähtede tegelikku heledust, tuleb teada nende kaugust. Et nähtav heledus väheneb kauguse suurenemisega lihtsa seaduse järgi, siis võib välja arvutada, millist nähtavat „suurust" omaksid mitmesugused tähed, kui nad kõik paigutada ühesugusele kaugusele meist. Niisuguseks normaalse kauguse ühikuks on võetud 10 parsekit. Ligikaudu seesugusel kaugusel asetsevad kolm kõige heledamat põhjapoolse tähistaeva tähte — Veega, Kapella ja Arktuur. Need on null-suuruse tähed, s. o. $2\frac{1}{2}$ korda heledamad esimese suuruse tähtedest, kuid vana traditsiooni järgi nimetatakse sageli ka neid, isegi veel heledamaid tähti 1. suuruse tähtedeks.

Eemaldame kõigepealt meie Päikese „normaalsele" kaugusele; ta muutub tagasihoidlikuks 5. suuruse täheks; peaaegu samasuguse heledusega on Tsentauruse alfa, mis aga oma läheduselt näib meile heledamana esimese suuruse tähtedest; nõrgeneksid ka kõik ülejäänud lähedased tähed. Vastupidi, kauged tähed (neid aga on võrratult rohkem) muutuvad lähendamisel heledamaks, ja meie poolt kujutletavas taevas näeme arvutu hulga tähti, mis pole heledamad mitte üksnes Siiriusest (mis on miinus 2. suuruse täht, s. o. 3 suuruse võrra heledam 1. suuruse tähest), vaid ka planeedist Veenusest (miinus 4. suurus). Näiteks Riigel Orioni tähtkujus saab „absoluutse suuruse" vähemalt m i i n u s 5, seega on ta 10 suuruse võrra ehk 10 000 korda heledam Päikesest. Kahtlemata on tähti, mis on veel mitu korda heledamad, kuid nende kaugused on seni veel täpselt teadmata.

Niiviisi kõigub tähtede tõeline heledus erakordselt suurtes piirides. Meie Päike on keskmise heledusega täht, sest peale Päikesest heledamate tähtede on vähemalt niisama palju tähti, mis on nõrgemad Päikesest sajad ja tuhanded korrad.

Mida nõrgemad on tähed (nähtava heleduse järgi), seda suurem on nende arv. Seda võib näha järgnevast tabelikesest, mis annab meile mitmesuguste suurustega tähtede arvu mõlemal taevapoolkeral, põhjapoolsel ja lõunapoolsel.



a b

Joon. 79. Osa tähistaevast Luige tähtkujus: a) palja silmaga vaadeldav (8 tähte), b) binokliga vaadeldav (30 tähte).

Tabeli esimese veeru tähed on palja silmaga nähtavad tähed (normaalse nägemise puhul). Neid on k o g u taevas 7000 ümber. Tähendab, s a m a a e g s e l t võib

taevavõlvil näha kõigest kolme tuhat tähte, mitte sugugi aga miljoneid, nagu mõnikord arvatakse.

Suurus	Tähtede arv	Suurus	Tähtede arv	Suurus	Tähtede arv
1	20	7	15 000	11	1 200 000
2	46	8	45 000	12	3 200 000
3	134	9	138 000	13	9 000 000
4	458	10	410 000	14	23 000 000
5	1476				
6	4840				



Joon. 80. Seesama osa tähistaevast, mis on joonisel 79 (Barnardi foto järgi). Esimese suuruse täht (Luige α, ülal paremal) on fotoplaadi ülevalgustamise tagajärjel välja tulnud valge kettana.

Pikksilmad avastavad tõesti meile miljoneid, isegi sadasid miljoneid tähti; tähti, mida näeme ülesvõtetel,

mis on tehtud hiigla reflektoritega, peab olema vähemalt miljard (vt. joon. 79 ja 80).

Näib, et pole mõttetumat tööd, kui lugeda tähti, milledel, nagu öeldakse, „pole lõppu". Aga siiski on see lugemine võimaldanud meil teha tähtsaid järeldusi maailma ehituse kohta. Võrreldes arvusid viimases tabelis (lk. 337) märkame, et iga suuruse tähtede arv on peaaegu kolm kuni neli korda suurem kui eelseisva suuruse tähtede arv. Kui aga loetlemist jätkata edasi, siis selgub, et 17. suuruse tähti on rohkem kui 16. suuruse tähti vaid kõigest kaks korda ja 21. suuruse tähti on rohkem kui 20. suuruse tähti isegi ainult poolteist korda. Selle seaduse täpne matemaatiline uurimine on näidanud, et nõrgemate tähtede arvu kasv ka edasi väheneb; mõne meile seni veel tundmata suuruse puhul ei muutu järgneva suuruse tähtede arv mitte enam suuremaks, vaid koguni väiksemaks eelmisest suurusest; viimaks meie tabel lõpebki: tähti, mis on nõrgemad mingisugusest viimasest suurusest, enam üldse ei olegi.

Millise suuruse puhul see saabub või — teiste sõnadega — mitmest reast koosneb täielik tabel, me seni veel ei tea. Kuid tähtede üldist summat kõikides ridades võib juba praegu ligikaudu kindlaks määrata. See summa peab olema mitukümmend miljardit, ligikaudu 30 miljardit — hiigla arv, kuid mitte lõpmatu.

Sellest tuleneb tähtis järeldus: tähtede maailm, mille sees asetseb meie päikesesüsteem, ei sisalda mitte lõpmata arvul tähti ja ei oma mitte lõpmatuid mõõtmeid, kuigi need mõõtmed on väga suured. Tähtede maailm kujutab endast otsekui „saart" lõpmatus maailmaruumi ookeanis.

Külmil öil säravad tähed ilusasti kõigis värvides, „vilguvad". See vilkumine tekib õhu voolustest meie atmosfääris. Tegelikult helendavad tähed täiesti rahulikult; suuremal osal neist on lihtne valge värvus, väiksemal osal — kollane või punane.

On vajalikuks peetud väljendada tähtede värvust arvuga — värvi-indeksiga. Sellest arvust üksi on küllalt, et välja arvutada tähe temperatuuri. Ja kui on veel teada tähe kaugus, siis oskab teoreetiline astrofüüsika nende andmete järgi kindlaks määrata suuruse, mis pole värvusega näilikult kuidagi ühenduses, nimelt tähe läbimõõdu kilomeetrites.

Veel rohkem tulemusi annab tähe valguse analüüs spektroskoobi abil. Väikene kui punkt, venib tähe teleskoopiline kujutis spektroskoobis pikaks mitmevärviliseks lindiks, mis on läbi lõigatud tumedate põikijoontega nagu Päikese spektris. See tõestabki, et iga täht on kauge Päike, tuline isehelendav keha, mis on ümbritsetud hõreda gaasitaolise kestaga ehk atmosfääriga. Spektrijoonte järgi võib teada saada selle atmosfääri keemilist koostist ja füüsikalisi omadusi. On osutunud, et tähtede aine koosneb neistsamadest elementidest kui Päike ja Maa, kuid ühtede tähtede spektrites on tähelepandavamad ühed elemendid, teiste spektrites — teised. Seletatakse seda tähtede temperatuuri erinevusega.

Mitte kõik tähtede spektrid pole kaugeltki sarnased joonte arvu ja asukohtade järgi Päikese spektriga, kuid spektrid pole ka lõpmatult mitmesugused. Nad on jaotatud mitmeks klassiks, mis märgitakse ladinakeelsete kirjatähtedega. Juhuslikel põhjustel ei tarvitata kirja-

tähti, milledega on märgitud klassid, mitte alfabeedilises järjekorras, vaid nimelt nii: (O), B, A, F, G, K, M, (R, N). Tähti klassidest, mis on näidatud sulgudes, esineb väga harva.

Esimesse kolme klassi kuuluvad valged tähed, klassidesse F ja G kollased; alates K-st järgnevad punakad ja punased. Niiviisi on spektraalsete klasside järjekord alanevate temperatuuride järjekord.

Kõige tulisemad on sinakasvalged tähed O ja B, nende pinna temperatuur on üle 15 000—20 000°.

Nende spektrites on näha gaasi heeliumi jooni; tänu äärmiselt kõrgele temperatuurile, osutub ta sageli ioniseerituks. Klassi B nimetatakse mõnikord Orioni tüübiks, kuna 7 peatähest Orioni tähtkujus kuuluvad 6 sellesse klassi.

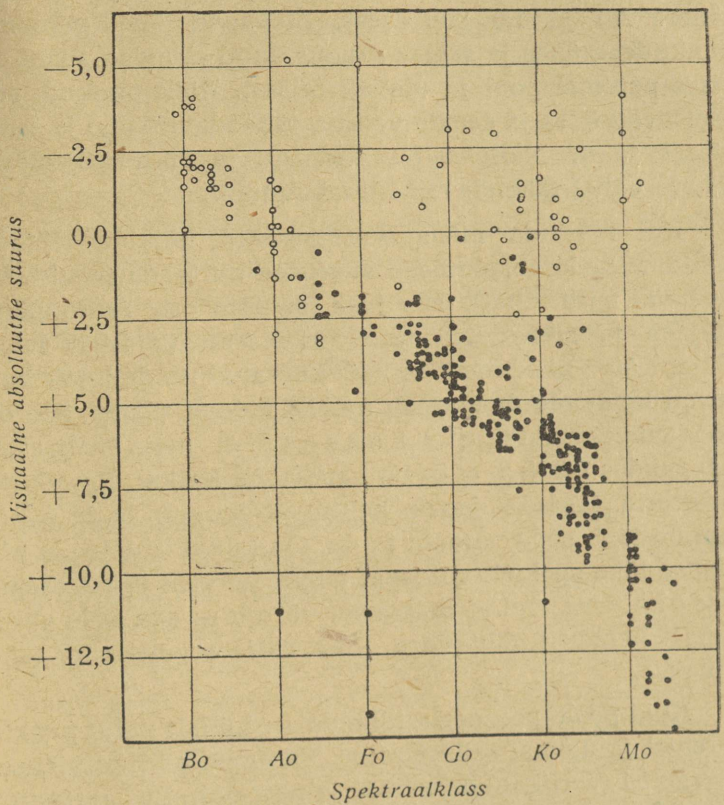
Mõnevõrra külmemad on A klassi tähed, millisesse klassi kuulub Siirius; nende temperatuur on ligikaudu 10 000°. Nende spektrites torkavad silma laiad korrapäraselt asetsevad vesiniku jooned.

Meie Päike (temperatuur 6000° ümber) kuulub juba kollaste tähtede G klassi. Selle tähetüübi spekter on kirju tuhandeist metallide joontest.

Lõppeks viimase klassi punased tähed on ainult pisut tulisemad kõige tulisemaist laboratooriumi ahjudest (temperatuur 3000° ümber). Niisuguste madalate temperatuuride puhul hakkavad elemendid juba astuma omavahel ühendusse ja mõningate keemiliste ühendite jooned on tegelikult avastatudki nende tähtede spektrites.

On avastatud tähelepanuväärne side tähtede spektri ja nende tegeliku heleduse vahel. Kõige paremini on see nähtav diagrammis, mis on koostatud ameerika astronoomi Russel'i poolt ja esitatud joonisel 81.

Nummerdame ruudulisel paberil ruudud nii, kuidas nummerdatakse malelaua ruudud: horisontaalsed — tähtedega, vertikaalsed — numbritega. Tähed tähendavad



Joon. 81. Russeli diagramm.

spektrite klasse — mida enam paremale poole, seda punasemad, ja numbrid tähendavad tähtede absoluutseid suurusi — mida kõrgemale, seda heledamad. Märgime

veel, et ka spektrite klassid ja tähtede suuruse klassid jaotatakse allklassidesse, mis märgitakse kümnendikmurdudega, nii et võib olla täht näiteks A3 klassis absoluutse suurusega 1,5: ta on mõnevõrra punasem ja nõrgem tähest A0 ja 1,0 suurusest. Mõlemad tähed märgime punktidega ühes ja samas ruudus, kuid esimene punkt on pisut paremal pool ja alamal teisest. Kõik punktid, mis asetsevad ühes ja samas veerus, tähendavad ühe ja sama klassi tähti. Näiteks punktid A0 ja F0 vertikaalsete joonte vahel tähendavad klassi A tähti.

Kui märkida niisugused punktid kõikide tähtede kohta, millede absoluutsed suurused on teada (neid tähti on nüüd mitu tuhat), siis jääb suurem osa ruute päris tühjaks ja mõnedesse tuleb mõnisada ja isegi tuhat tähte. Kõige tihedamalt on täis külvatud ruudud, mis kulgevad ligikaudu diagonaali mööda pideva ribana. See on nõndanimetatud tähtede p e a s e e r i a: meie Päike asetseb ruudus G0 + 5, s. o. ligikaudu rea keskel. Ilmselt on peaseeria tähtede jaoks kehtimas reegel: mida punasem on täht, seda nõrgem ta on. On küllaldane teada niisuguse tähe spektrit või isegi ainult värvust ja me saame teada ka tema tõelise heleduse; võrreldes aga seda absoluutset heledust nähtavaga, võib välja arvutada ka tähe kauguse.

Kuid peale peaseeria tähtede on küllalt palju punkte paremal ja ülemal sellest reast. Vaatame näiteks viimast veergu M (vertikaaljoonel M0 ja paremal), kus asetsevad kõige punasemad tähed. Me näeme, et see veerg on täidetud ainult ülemises ja alumises osas. Tähendab, M klassi tähed jagunevad oma tõelise heleduse poolest kaheks täiesti erinevaks grupiks. Esimesse kuuluvad h i i d t ä h e d, mis on heledamad Päikesest sadasid ja

isegi tuhandeid kordi, teise — k ä ä b u s t ä h e d, mis on nõrgemad Päikesest samuti sadasid kordi; punaseid tähti aga, mis oma heleduselt oleksid lähedased Päikesele, nähtavasti ei olegi.

Hiiglasteks ja kääbusteks jagunevad ka kollased tähed, kuid heleduse vahe on seal väiksem. Näiteks ei erine Päike ja Kapella värvuse ja spektri poolest peaaegu sugugi, nii et varemalt nimetasid astrofüüsikud Kapellat Päikese teisikuks. Kuid tegelikult on Kapella G klassi hiidtäht ja meie Päike ainult kääbustäht, nõrgem Kapellast 150 korda. Ainult B klassi Orioni tähed on kõik hiidtähed ja isegi ü l i h i i d t ä h e d. Näiteks Riigel (Orioni β) on Päikesest heledam vähemalt 20 000 korda. Muide niisuguseid ülihiidtähti esineb harva ka kõikides teistes ülejäänud klassides.

Eriti huvitavad on punased ülihiidtähed. Me teame nüüd kindlasti, et need on hiiglased mitte üksi heleduse, vaid ka mõõtmete poolest. Samas Orioni tähtkujus on niisugune punane ülihiiglane, nimelt Orioni α (Betelgeuse). See on esimene täht, mille puhul 1920. a. läks korda avastada reaalse ketta tunnusmärke, kuid mitte silmaga vaadeldes, vaid erilise riista — interferomeetri — abil, mis on leiutatud tuntud füüsiku M i c h e l s o n'i poolt. Ketta läbimõõt oli mõni sajandik sekundist; selle järgi arvutati välja ka tähe läbimõõt kilomeetrites. Osutus, et läbimõõdult on Betelgeuse suurem Päikesest ligikaudu 300 korda.

Veel suurem on punane Antaares hiilgavas lõunapoolses Skorpioni tähtkujus. Tema läbimõõtu hinnatakse 450 Päikese läbimõõdule. Kui asetada see täht meie planeetide süsteemi keskele Päikese asemele, siis võtaks

ta enda alla kogu ruumi, milles tiirlevad 4 sisemist planeeti, nende hulgas ka Maa ja Marss.

Nende gaasiliste hiigelkerade tihedus peab olema väga väike, miljoneid kordi väiksem Päikese tihedusest ja tuhandeid kordi väiksem maakera atmosfääri tihedusest. Kuid punased hiiglased on ikkagi tähed, mitte udukogud. Russeli arvamuse järgi on need kõige nooremad tähed, mis on kujunenud võrdlemisi „hiljuti" tegelikest udukogudest. Varemalt pidasid astrofüüsikud vastupidiselt kõiki punaseid tähti „vanadeks" kustuvaiks taevakehadeks nende võrdlemisi madala temperatuuri tõttu.

Russeli hüpoteesi järgi tõmbub gaasiline keha, kiirates pinna pealt, kokku ja muutub väiksemaks. Kuid kokkusurumise tagajärjel soojenevad gaasid tähe sisemuses ja tema temperatuur tõuseb. Niiviisi muutub täht üha tulisemaks, valgemaks, ja paljude miljonite aastate jooksul käib ta läbi vastupidises korras spektraalsed klassid M, K, G, F, A kuni Orioni klassini B, milles ta saavutab kõrgeima temperatuuri. Kuigi tähe mõõtmed kogu aja vähenevad, siis seevastu kiirgab tema pind üha heledamini, nii et üldine valgusehulk muutub vähe ja täht jääb hiiglaseks, vähemalt heleduse poolest. Punkt, mis kujutab tähte Russeli diagrammis, liigub horisontaaljoont mööda paremalt vasakule, seni kui satub peaseeriasse.

Pärast seda algab tähe langus. Soojuse kogusest, mis areneb edasisel kokkutõmbumisel, ei piisa enam, et katta soojusekadusid maailmaruumi; tähe temperatuur langeb, pind tumeneb ja üldine heledus väheneb. Nüüd käib täht läbi normaalses järjekorras samad spektri klassid A, F, G, K, M, liikudes alla mööda peaseeriat,

ja kaob meie silmist väikese tiheda punase tähena, olles miljoneid kordi nõrgem kui algul.

Niiviisi on selle teooria järgi Päike aeglaselt hanguv vana täht, kääbus, Kapella aga, mis kuulub sama spektri klassi, leegitsema lööv noor hiiglane.

Russel arvas (tol ajal, kui ta esitas selle hüpoteesi), et tähe energia tekib gaasilise kera kokkutõmbumise tagajärjel. Nüüd on aga selge, et sellest allikast igatahes ei piisa. Tähtede energia allikaks on nähtavasti elementide muutumise sama protsess, mis on Päikese energia allikaks.

On väga võimalik, et täht kaotab aja jooksul tunduva osa oma mateeriast maailmaruumi. Seepärast mida nõrgem on punane kääbustäht, seda väiksem peab olema ka tema mass. Nii on ka osutunud tegelikult nende väheste tähtede puhul, millede massi on läinud korda kindlaks määrata. Kuid enne on tarvis seletada, kuidas arvutatakse välja tähtede massi.

Tähtede mass ja tihedus.

Peatükis gravitatsioonijõu kohta saime teada, et taevakeha kaaluda on väga kerge, kui tema ümber tiirlevad teised kehad. Ümber tähtede tiirlevad kahtlemata planeedid, mis seni on meile kättesaadamatud; kerge on välja arvutada, et kujutletavad astronoomid lähima tähe Tsentauruse α planeetidel veel ei tea planeetide olemasolust meie Päikese süsteemis, kui nende pikksilmad on samajõulised meie Maa astronoomide omadega.

Kuid seevastu esineb tähtede maailmas väga sageli juhtumeid, et ümber päikese tiirleb teine päikene, seejuures umbes samas kauguses, nagu asetsevad Päikesest

meie planeedid. Sageli on mõlemad päikesed, nii peapäike kui ka ta kaaslane, peaaegu ühesuurused, nii et nende ühine raskuskese, mille ümber tiirlevad mõlemad kehad, asetseb peaaegu neid ühendava sirgjoone keskkohas.

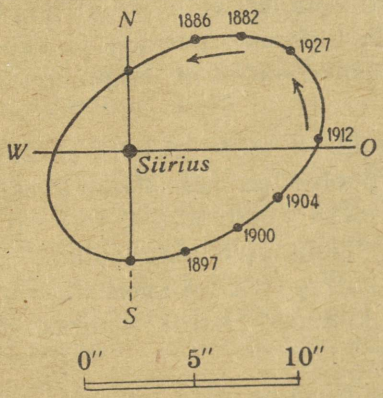
Niisuguseid *kaksiktähti* on praegusel ajal teada kümneid tuhandeid; palja silmaga ja nõrga pikksilmaga näib kaksiktäht tavalise üksikpunktina, ainult tugevam pikksilm jagab tema kaheks eraldi täheks. Kui üks neist päikestest on punakas, siis näib teine värvuse kontrasti tagajärjel sinisena või rohelisena, ja selline täht on väga ilusaks vaatepildiks.

Lõppeks on olemas veel tähepaare, kus kaks päikest tiirlevad teineteise ümber, olles niivõrd teineteise lähedal, et isegi tugevaima pikksilmaga vaadeldes paistab ainult üks täht. Kuid niisuguste tähtede puhul võib märgata spektri muutumist, mis tekib meile tuntud Doppleri printsiibi põhjal. Kui täht oma tiirlemisel ümber mõlema tähe süsteemi raskuskeskme lendab meist eemale, on tema jooned kõrvale kaldunud normaalsest asukohast spektri punase otsa poole, aga mõne aja pärast, kui täht hakkab meile lähenema, nihkuvad nad violetse otsa poole. Neid kaksiktähti nimetatakse *spektrilisteks kaksiktähtedeks*. Nende tundmaõppimine on armastatumaid uurimiste teemasid nüüdisaja spektroskopistidel. Kuid pöördume tagasi harilike kaksiktähtede juurde.

Algul arvati, et tähtede lähedus tähepaaride puhul on ainult näilik, et tegelikult üks täht asetseb kaugel teise taga. Alles XIX sajandi algul tõestas Herschel, et mitmes paaris üks täht joonestab teise ümber elliptilise orbiidi vastastikuse gravitatsioonijõu mõjul. Sellest ajast peale on mõned kaksiktähed väga hästi läbi uuri-

tud. On kindlaks määratud nende tiirlemisperioodid ja kaugus Päikesest, järelikult ka orbiitide mõõdud. See võimaldab ühtlasi kindlaks määrata mõlema tähe massi sama Kepleri III seaduse alusel Newtoni poolt parandatud kujul, mida me rakendame ka planeetide kaalumiseks.

Näiteks hele Siirius omab nõrka lähedast kaaslast, mis on nähtav ainult väga tugevate pikksilmadega (vt.



Joon. 82. Siiriuse kaaslase nähtav liikumine 50 aasta jooksul. 1890-st kuni 1897. a-ni ei olnud kaaslane eraldatav tema läheduse tõttu peatähele.

joon. 82). Tegelik kaugus nende vahel on keskmiselt 20 astronoomilist ühikut, s. o. pisut suurem kaugus kui Päikeselt Uuranini, ja tiirlemise aeg on 50 aastat. Seejuures tiirleb Uuran ümber Päikese palju aeglasemalt, nimelt 84 aastat. Järelikult on külgetõmbejõud ja muidugi ka kehade mass selles kauges süsteemis tunduvalt suurem kui meie Päikese külgetõmme ja mass. Kuid mitu korda? Et saada vastust sellele küsimusele, tuleb

kauguse kuup jagada tiirlemise aja ruuduga, s. o. $20^3 : 50^2 = 8000 : 2500 = 3{,}2$. Niisiis on üldine Siiriuse ja tema kaaslase mass $3\frac{1}{5}$ korda suurem Päikese massist. Arvutus täpsemate andmetega annab 3,4, millest nõrga kaaslase arvele tuleb peaaegu 1 Päikese mass ja Siiriuse enese arvele 2,4.

Märgime, et praeguse ajani oskavad astronoomid välja arvutada ainult *kaksiktähtede* massi, kuid kaugeltki mitte kõikide, vaid ainult nende omi, millede puhul on teada tiirlemise periood ja kaugus meist. Niisuguseid juhtumeid on seni kogunenud ainult mõned kümned.

On osutunud, et mitte üksnes absoluutse heleduse, vaid ka massi poolest on meie Päike keskmise suurusega täht. Enamik tähti omab massi, mis on lähedane Päikese massile. Siiani pole leitud tähte, mis oleks väiksema massiga kui $\frac{1}{10}$ Päikese massist, samuti esineb Päikese massist kümneid kordi suuremaid masse väga harva.

Üldiselt on reeglina õige, et mida nõrgem on täht, seda väiksem on ka tema mass. Kuid 1924. a. avastati niivõrd usutamatu erand sellest reeglist, et see algul näis kõigile trükiveana või aprillinaljana.

Kõne on samast Siiriuse kaaslasest, niinimetatud Siiriusest B. Ta annab peaaegu täpselt 10 000 korda vähem valgust kui peatäht (Siirius A), kusjuures on aga tema mass kaks ja pool korda väiksem viimasest. Seepärast arvati algul, et see on tume hiidplaneet, suuruselt võrdne meie Päikesega, mis helendub Siiriuse A poolt saadava peegelduva valgusega. Kuid Mount-Wilsoni observatooriumi spektrogrammid tõestasid, et Siirius B on helenduv keha ja tema pind on valgem ja heledam meie

Päikese pinnast. Ometi annab ta valgust korda kolmsada vähem kui Päike. Sellest järgneb, et tema läbimõõt on väga väike, ainult 4 korda suurem Maa läbimõõdust. Ja sellesse väikesesse mahtu on surutud aine mass, mis on peaaegu võrdne Päikese massiga. Sellega on seletatav selle kummalise tähe tiheduse jaoks astronoome hämmastama pannud arv 40 000; nii mitu korda on aine, millest koosneb Siirius B, raskem veest; 2000 korda on see aine tihedam kui kuld, mis on üks kõige raskematest metallidest.

Nüüdisaegne teoreetiline astrofüüsika on juba selle usutamatu fakti seletanud, kuid ta on kuulutanud seda isegi ette. Tähtede sisemuses, ütleb ta, peab temperatuur olema mõõdetav miljonite kraadidega. Niisuguse temperatuuri puhul ioniseeruvad aatomid tugevasti, s. o. kaotavad peaaegu täielikult kõik oma elektronid, alates neist, mis on tuumast kõige kaugemal. Et aga aatomi läbimõõt on kõige kaugem elektroni orbiidi läbimõõt, siis muutuvad ioniseeritud aatomid palju väiksemaks ja võivad olla üksteisele lähendatud võrratult tihedamini kui normaalses gaasilises olukorras. Seepärast võib ioniseeritud tulist gaasi kokku suruda niisuguse määrani, et ta muutub tihedamaks kõige raskemast metallist ja jääb siiski gaasiks.

Varsti selgus, et Siirius B on ainult esimene, kuid kaugeltki mitte kõige ebaharilikum esindaja terves tähtede klassis, mida nimetatakse *valgeteks kääbusteks*. 1935. a. avastati Kassiopeia tähtkujus väike 13. suuruse kääbus; mõõtmetelt ei ületa ta Marssi, kuid massilt on ta peaaegu kolm korda raskem Päikesest. Tema tihedus osutub ligikaudu 2 miljonit korda suuremaks kulla tihedusest. Üks kuupsentimeeter niisuguse

tihedusega ainet kaaluks Maa peal 36 tonni. Kui selle väikese päikese ümber tiirleks planeet just tema pinna lähedal, teeks ta ühe täieliku tiiru 2 sek. jooksul.

Lõppeks on raskusjõud niisuguse valge kääbuse pinnal 3 miljonit korda suurem kui Maa peal. Seepärast peab tähe ümber oleva atmosfääri tihedus kahekordistuma laskumisel atmosfääri sisemusse iga 15 cm järel (Maa peal kahekordistub see iga 5 km järel). Selle taevakeha atmosfääri kihi paksus võib olla kõigest 3—4 m ümber, kuna edasi omab tuline gaas niivõrd suurt tihedust, et teda võib nimetada juba fotosfääriks. Võib-olla omabki seepärast see täht spektrit, millist seni pole võidud näha ühegi tähe puhul, mis aga tegelikult on kõige lihtsam kõigist võimalikest: pidev spekter ainsagi jooneta. Spektraalne klassifikatsioon nägi ette ka sellise juhu ja märkis selle juba varakult kui tüübi O0 (täht O ja null).

Valged kääbused esitavad üht kõige hämmastavamat näidet aine seisukorrast, mis seni on täiesti teostamatu maistes laboratooriumides.

Muutlikud tähed.

Meile kõige lähedasema tähe peal — meie Päikese peal — toimuvad kogu aja tormilised ja komplitseeritud muutused. Niisamasugused muutused peavad toimuma ka muude tähtede peal. Mõnede päikeste peal on nad isegi nii suured, et muudavad märgatavalt ü l d i s t taevakeha heledust või tema spektrit. Ainult neid muutusi me saamegi vaadelda ja nimetame niisugust taevakeha m u u t l i k u k s täheks. Muutlikke tähti on praegu teada kümne tuhande ümber.

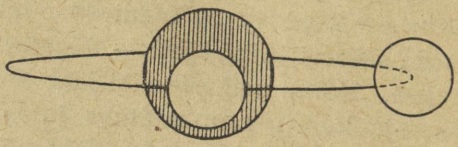
Mõned muutlikud tähed muutuvad nii ebakorrapäraselt, et nende heledust pole võimalik ennustada isegi lähima aja peale. Niisuguseid tähti muide pole palju ja nende heleduse kõikumine ei ole suur.

Suurema osa muutlikkude tähtede heledus muutub korrapäraselt, kindlate perioodide järel. Näiteks säilitab hele täht Algol Perseuse tähtkujus peaaegu 2½ ööpäeva jooksul muutumatut heledust 2,3 tähesuurust, seejärel aga nõrgeneb ta järk-järgult 5 tunni jooksul kuni 3,5 suuruseni (s. o. kolm korda) ja sama pika aja jooksul pöördub ta uuesti tagasi oma endise heleduse juurde. Perioodi pikkus on 2 päeva 20 tundi 49 minutit. Tuntakse mitut sada säärast tüüpi tähti — Algoli tüüpi, nagu neid nimetatakse. Kõigil neil tähtedel jääb heledus perioodi suurema aja kestel muutumatuks ja korrapäraste vaheaegade järel saabub mõnevõrdne tähe nõrgenemine, tema miinimum, kuid ainult lühikeseks ajaks. Veomehe tähtkujus asetsevad kõrvuti kaks tähelepanuväärset seda tüüpi tähte ζ (dseeta) ja ε (epsilon). Esimesel nendest on perioodi pikkus 2 aastat 8 kuud, teisel koguni 27 aastat, kusjuures viimase puhul kestab miinimum ligi 2 aastat.

Algoli tüüpi tähtede loomus on põhjalikult läbi uuritud. Praegu teame, et nad kõik ei ole tegelikult muutlikud, vaid ainult kaksiktähed. Heleduse nõrgenemine toimub siis, kui nõrgem täht (kaaslane) varjutab heledama, nii nagu Kuu varjutab Päikese varjutuse ajal. Seepärast nimetatakse seda tüüpi tähti ka varjutus- ehk kattumismuutlikeks (vt. joon. 83). Ilmselt peab paljudel Algoli tüüpi tähtedel iga perioodi kestel olema mitte üks, vaid kaks miinimumi: kui kaaslane poolperioodi järel ise läheb peitu peatähe taha, siis läheb

mingisugune kogus valgust samuti kaduma. Algoli teistkordne miinimum on nii väike, et ta pole silmaga märgatav, kuid ta on olemas ja avastati alles hiljuti elektrilise fotomeetri abil.

Kui vaadelda varjutusmuutlikku tähte veel ka spektrograafi abil, siis saame teada üllatavalt palju selle kaksiktähe loomusest, mida ei saa kaheks lahutada ühegi pikksilma abil. Ei selgu mitte üksnes orbiit, mille joonestavad kaks päikest teineteise ümber, vaid selguvad ka nende mõõtmed, massid, tihedused, mõnikord isegi



Joon. 83. Mis tegelikult toimub muutliku tähe Tsefeuse U-ga: kaks päikest — suur, kuid tuhm, ja väike, kuid hiilgav — varjavad teineteist järjekorras iga 30 tunni järel.

nende pöörlemine oma telgede ümber ja lapikus. Mõned neist kaksiksüsteemidest on osutunud väga vähe sarnasteks meie Päikese süsteemiga.

Näiteks Veomehe ξ miinimumi vaatlustest 1934. a. selgus, et selle tähe kaaslane on punane ülihiidtäht, mille läbimõõt on peaaegu võrdne Maa orbiidi läbimõõduga. Peatäht osutus läbimõõdult korda 40 väiksemaks, kuid omas palju heledamat valget pinda. Ühe ööpäeva jooksul liikus punane ülihiidtäht valge päikese ette (osaline varjutus) ja kattis selle siis täielikult 38 päevaks (täielik varjutus). Pärast valge tähe varjutuse lõppemist võis teda mõne päeva jooksul vaadelda läbi kaaslase hõreda atmosfääri, mis andis tugevaid ioniseeritud kalt-

siumi spektrijooni. Seejuures selgus, et punane t[illegible]dtäht pöörleb ümber oma telje; mõõdeti ka pöörlemise k[illegible]irust. Kõik see selgus spektrogrammidest, silmaga vaadeldes jäi aga täht endiselt üksikuks punktiks, ainult miinimumi ajal lõi ta nõrgalt punetama ja muutus poole suuruse võrra nõrgemaks.

Veel tähelepanuväärsemad on t õ e l i s e d muutlikud tähed, milledel tõesti toimuvad mingisugused võimsad füüsikalised muutused. Neid jaotatakse kahte peaklassi — t s e f e i i d i d ja p i k a p e r i o o d i l i s e d muutlikud.

Tsefeiidid said oma nimetuse tähe Tsefeuse δ (delta) nimest. Nende heledus — erinevalt eelmise klassi tähtedest — muutub kogu aja, kuigi samuti väga korrapäraselt. Muutumise periood on sageli harukordselt lühike: 1934. a. avastati Veevalaja tähtkujus täht perioodiga kõigest 1 tund 28 minutit. Veerand tunni jooksul muutub ta kaks korda heledamaks. Pikema kui 50-päevase perioodiga tsefeiide pole siiani veel avastatud.

Kõik tsefeiidid on palju heledamad kui Päike; need on hiidtähed, ja igaüks neist hiigla päikestest kogu aja kord heleneb, kord tumeneb, kord süttib, kord kustub, seejuures matemaatilise korrapärasusega. Olgu mainitud, et heleduse suurenemine toimub tunduvalt kiiremini kui vähenemine.

Et see tõesti on nii, tõestab jällegi spektroskoop. Tsefeiidil ei muutu üksnes heledus, vaid ka spekter. Heleduse maksimumi ajal näitab täht alati tulisemate tähtede (näiteks A tüüpi) spektrit kui miinimumis (F või G); järelikult kõrgeneb tema temperatuur mõne tunni jooksul sadade ja isegi tuhandete kraadide võrra, misjärel langeb võrdlemisi aeglaselt.

Mispärast siis toimuvad tsefeiidide süttimised täpselt ühesuguste ajavahemikkude tagant? Nähtavasti on tsefeiidide temperatuuri muutumine seotud mingisuguse väga korrapärase perioodilise liikumisega. Kuid see pole pöörlemine, vaid võnkumise liik: tähe gaasiline kera pulseerib kogu aja, s. o. kord paisub, kord tõmbub kokku; füüsikast aga on teada, et gaasi mahu muutumisel muutub tõesti ka tema temperatuur.

Ilmselt pakuvad tähed-tsefeiidid määratu suurt huvi füüsika vaatepunktist: ülikuuma gaasi hiigla mass pulseerib õhutus ruumis. Kuid ka nendele astronoomidele, kes ei tunnegi huvi astrofüüsika vastu, on tsefeiidid erakordselt tähtsad, sest nad võimaldavad mõõta t ä h t e d e k a u g u s i, seejuures nii suuri, millised pole sugugi kättesaadavad vanade „astronoomiliste" vahenditega. Veel üks hea näide sellest, kui tihedalt on seotud omavahel näilikult kõige erinevamad teaduseharud.

1912. a. tegi Harwardi observatooriumi (USA-s) kaastööline Henrietta L e a v i t t ühe suurema XX sajandi astronoomilise avastuse. Ta märkas, et tsefeiidide muutuse perioodi ja nende t õ e l i s e heleduse vahel on järgmine seos: mida aeglasemalt pulseerib tsefeiid, seda heledam ta on, s. o. seda suurem on ta mõõtmetelt. Seda tuligi oodata; kuid seos osutus imestusväärselt täpseks, nii et perioodi pikkuse järgi võib kohe kindlaks määrata tähe absoluutset heledust. Näiteks on kõige lühemate perioodidega (alla ööpäeva) tsefeiidid heledamad Päikesest „ainult" 100—200 korda, kuid pikaperioodilised, s. o. 25—40-päevase perioodiga ülihiidtähed ületavad meie Päikese oma heleduse poolest 3—4 tuhat korda.

Mereteedel on tuletornid, millede valguse heledus muutub kogu aja korrapäraselt. Tsefeiidid ongi niisugus-

teks vilkuvateks tuletornideks kaldata maailmaruumi ookeanil: astronoomile piisab näha üht tsefeiidi kauges tähtede süsteemis ja otsekohe määrab ta oma asukoha selle süsteemi suhtes.

Näiteks 1925. a. läks lõppeks korda suure 100-tollise reflektoriga näha (muidugi fotodel), et niinimetatud „udukogu" Andromeda tähtkujus tegelikult ei olegi „udu" või „gaas", vaid tuhandete pisimate tähtede kogumik. Algul polnud võimalik otsustada, kas need tähed on lähedasteks kääbusteks või kaugeteks hiiglasteks, sest udukogu kaugus oli teadmata. Kuid tähtede hulgas leidus mitu muutlikku tsefeiidi pikema perioodiga kui 40 päeva. Niisuguse perioodiga tsefeiidid on heledamad kui Päike 9 tähesuuruse võrra, s. o. 4000 korda. Seejuures näivad nad 18. suuruse tähtedena, nii et silmaga pole nad nähtavad ühegi pikksilma abil. Lihtne aritmeetiline arvutus näitas, et tähed näivad meile niivõrd nõrkadena sellepärast, et nad asetsevad meist üle 250 000 parseki kaugusel. Niisuguse vahemaa läbib valgus 800 000 aasta jooksul.

See arvutus kutsus algul esile kahtluse. Loomulikult tekivad küsimused: kas on õige, et ka maailmaruumi kaugemais piirkondades on tsefeiidide heledus seotud nende perioodidega samade seaduste järgi nagu meie tähtede süsteemis? Kas on tõsi, et tähtede heledus nõrgeneb ainult kauguse tõttu või, teiste sõnadega, kas tähtede-vaheline ruum on tegelikult täiesti läbipaistev? Esimene seisukoht on nähtavasti õige tingimusteta, kuid teine ainult tingimisi: maailmaruum ei ole tõesti täielikult läbipaistev, kuid ainult mõnedes suundades, ja nüüd on need suunad meile teada. Selles taeva osas, kus asetseb Andromeda udukogu, võib ruumi pidada peaaegu läbipaistvaks. Nii-

viisi kaugus kuni udukoguni oli tsefeiidide järgi määratud küllaltki täpselt.

Tsefeiide ja Algoli tüüpi muutlikke tähti leidub nüüdisaegsetes nimestikkudes sadadena. Veel rohkem on registreeritud muutlikke tähti, mis kuuluvad kolmandasse — pikaperioodiliste muutlikkude — klassi. Selle tüübi kõige heledam täht on kuulus Miira (s. o. „imestusväärne") Vaala tähtkujus, mida on kirjeldatud isegi värssides. Miira muutlikkus avastati juba Kepleri ajal. Tähe heledus muutub vahet pidamata 2. kuni 8. suuruseni 10—12 kuu jooksul, nii et täpset perioodi tal ei ole.

Sedasama pannakse tähele teistegi pikaperioodiliste muutlikkude puhul: pidev heleduse muutumine, pikk ja muutlik periood ja hiigla vahe — sajad korrad — suurima ja väikseima heleduse vahel. Nende muutumiste põhjus pole kuni siiani selge. Teame ainult, et kõik need tähed on punased, erakordselt hõredad tohutute mõõtmetega ülihiidtähed. Tõenäoliselt need gaasilised kerad nagu tsefeiididki tõmbuvad kogu aja kokku ja paisuvad, kuid mitte nii korrapäraselt. Peale selle peavad nende tähtede peal toimuma mingisugused murrangulised muudatused, sarnased nähtustega Päikese peal, kuid ulatuselt veel grandioossemad.

Kui seda tüüpi päikeste ümber tiirlevad planeedid, siis vaevalt võib nende peal areneda elu, mis sarnaneks meie Maa eluga.

„Uued" tähed.

On juhtumeid, millal hästi tuntud tähtkujus ilmub järsku liigne täht, mida varem pole märgitud ühelegi tähekaardile. Kuid selle uue tähe ilmumise pärast ei tar-

vitse veel kaarti parandada, sest täht helgib, jäädes ikka ühele ning samale kohale, kõige rohkem mõned kuud ja kaob siis tingimata ja tähtkuju võtab oma hariliku ilme.

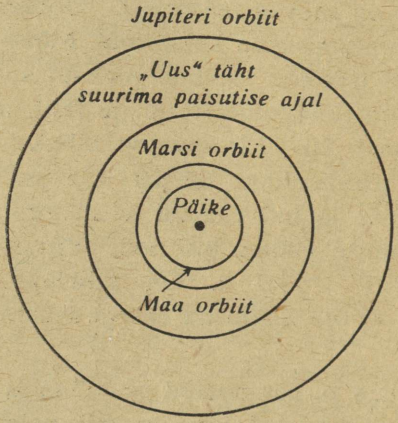
Nii kujutleti „uue tähe" ilmumist noil aegadel, kui ei olnud üksikasjalisi tähtede katalooge ja fotosid. Nüüd aga teame, et need tähed polegi „uued": vanadel ülesvõtetel võib „uue" tähe kohal peaaegu alati leida nõrka tähte, milliseid on taevas miljoneid. Ootamatult toimub selle tähega grandioosseim katastroof. Mõne päeva jooksul, vahel isegi mõnede tundide jooksul suureneb tema heledus kümneid tuhandeid kordi, ja täht, mis alles eile oli veel, oletame, 10.—12. suuruse täheks, osutub täna üheks kõige heledamaks täheks taevas. Niisuguseid „uusi" 1. suuruse ja heledamaid tähti on XX sajandil ilmunud juba mitte vähem kui neli: viimaseks neist oli Herkulese „Uus" 1934. a. On tähelepanuväärne, et 1604.—1901. a. ei ole märgitud ühtegi säärase heledusega „uut" tähte.

Nõrgemaid, s. o. kaugemaid „uusi" tähti peab süttima mitukümmend igal aastal, kuid enamik neist jääb märkamata või avastatakse tagantjärele vanadel fotoülesvõtetel.

Pole midagi imestusväärset selles, et heleduse kasvu pole algusest peale seni veel korda läinud jälgida. Harilikult märgatakse „uut" tähte alles siis, kui ta on saavutanud oma heleduse maksimumi ja hakkab juba nõrgenema. Heleduse langus toimub hoopiski aeglasemalt kui tõus, hulgaliste ajutiste taassüttimistega, kuid mõne aasta möödudes jõuab täht alati oma esialgse heleduse juurde tagasi.

Milles seisnevad need katastroofid, mida nimetatakse „uue" tähe ilmumiseks, pole täpselt veel selgitatud. Vaat-

lused nende spektrite üle on viinud järgmisele oletusele. Mingil tundmatul põhjusel hakkab tavaline kääbustäht, sarnane meie Päikesega, järsku uskumatu kiirusega paisuma. Mõne ööpäeva või tunni jooksul muutub kääbus hiiglaseks, tema helendav pind suureneb kümneid tuhandeid kordi ja niisama palju kordi kasvab ka tähe poolt kii-

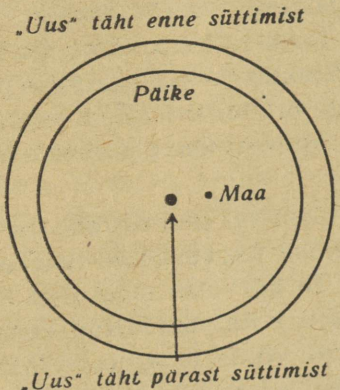


Joon. 84. Herkulese „uue" tähe oletatavad mõõtmed (1934. a.) tema suurima heleduse momendil, võrreldes planeetide orbiitide mõõtmetega.

ratud valgusehulk (vt. joon. 84). Tähe paisumine lõpeb sellega, et välimised gaasikihid eralduvad temast ja tormavad kohutava kiirusega igas suunas laiali maailmaruumi. Tähe ümber tekib kerakujuline gaasist kest, mida mõnikord läheb korda näha „uue" tähe ülesvõtetel; võib isegi märgata, et ta aegapidi paisub ja nõrgeneb. Samal ajal hakkab kesta sisse jäänud tähe keskmine osa kokku tõmbuma senikaua, kuni muutub ebahariliku tihedusega

väikeseks täheks — juba meile tuntud valgeks kääbuseks (joon. 85).

Tähe süttimine tema muutumisel „uueks" saab muidugi saatuslikuks tema planeetidele: nad on sunnitud mõne tunni jooksul muutuma auruks. Et aga nende hiiglaslikkude maailma katastroofide põhjused on seni teadmata, siis tekib loomulikult küsimus: kas on meie Päike kindlustatud hädaohu vastu saada kunagi „uueks"



Joon. 85. Herkulese „uue" tähe oletatavad mõõtmed, kuni süttimiseni ja praegusel ajal, võrreldes Päikese ja Maa mõõtmetega.

täheks? Õnneks on alus arvata, et säärased katastroofid ei teki mitte kõikide tähtedega, vaid ainult erilise klassiga, mille hulka aga Päike ei kuulu.

Planeetide süsteemid ümber tähtede.

Kui meile lähima tähe ümber tiirleb planeet samasuguse absoluutse heledusega nagu meie päikesesüsteemi hiiglane Jupiter, siis peaks olema niisugune pla-

neet Maalt nähtav mitte heledamana kui 22. suuruse tähekesena. Näha niisugust nõrka kaaslast ja pealegi heleda kesktähe vahetus läheduses, on nüüdisaja pikksilmadega täiesti võimata.

Kuid on teine tee tähtede ümber olevate planeetide süsteemide avastamiseks. Ta põhineb sellel, et nähtamatud planeedid, mis kaugetes süsteemides tiirlevad nagu meiegi planeedid päikesesüsteemis, ei tiirle mitte ümber kesktähe — päikese, vaid ümber kogu süsteemi raskuskeskme. Selle raskuskeskme ümber peab joonestama orbiidi ka kesktäht — ainuke meie poolt nähtav süsteemi liige. Selle orbiidi mõõtmed on üldiselt sedavõrra suuremad, mida suurem on planeetide mass suhteliselt tähe massiga.

Just sel teel tõestaski suur astronoom B e s s e l sada aastat tagasi Siiriuse (taeva kõige heledama tähe) kaaslase olemasolu. Ta kõrvutas omavahel Siiriuse otsetõusud, mis olid palju kordi mõõdetud mitme aastakümne jooksul. Seejuures võttis ta arvesse tähe omaliikumise (millest tuleb kõne edaspidi). Kõik niiviisi parandatud Siiriuse otsetõusud pidid olema ühesugused. Selle asemel aga osutusid koordinaatide vahel, mis olid kindlaks määratud erinevatel aastatel, süstemaatilised „ebasobivused", kaldumised kord ühele, kord teisele poole. Need kõikumised kujunesid lubamatult suureks, võrreldes selle täpsusega, milleni oli Bessel viinud mõõtva astronoomia; erinevus oli rohkem kui veerand sekundit. Seepärast ei saanud neid seletada vaatluste vigadega. Nende muutumiste periood oli ligikaudu 50 aastat. Ja Bessel võttis endale julguse ennustada, et heleda Siiriuse A lähedal peab olema pikksilmadele kättesaadamatu hiiglaslik tume keha Siirius B, s. o. planeet. Siiriuse A asukoha

muutumised on seletatavad tema tiirlemisega ümber nende kahe keha ühise raskuskeskme perioodiga 50 aastat.

Besseli oletus, nagu me juba nägime, leidis hiilgava kinnituse, kuid Siiriuse kaaslane ei osutunud mitte tumedaks planeediks, vaid isehelendavaks kehaks, täheks, mille mass on ainult 2½ korda väiksem Siiriuse A massist. Seesama kordus ka teise heleda tähe Prootsioni kaaslasega, mis Besseli ennustuse järgi pidi olema „tume": seegi osutus peaaegu samasuguseks, võrdlemisi suure massiga heledaks täheks. Et tähtede ümber oleks niisuguste mõõtmetega kehasid, nagu on meie süsteemi planeedid, selle kohta puudusid kuni viimase ajani igasugused andmed. Alles 1938. a. avastas rootsi astronoom Holmberg nagu Besselgi süstemaatilised ebakõlad kümne lähima tähe asukohtade määramistes, milliseid tähti viimastel aastatel eriti tihti oli vaadeldud parallaksi määramise eesmärgiga. Nüüdisaegne vaatlustehnika võimaldab palju suuremat tähtede asukohtade määramise täpsust, kui see oli võimalik Besseli ajal, ja avastada palju väiksemaid kõrvalekaldumisi. Kaheksa tähe puhul kümnest osutusid need kõrvalekaldumised perioodilisteks, perioodiga 1½ kuni 3 aastat, s. o. palju lühemaks kui Siiriuse puhul; nelja puhul nende hulgast läks korda isegi ligikaudu kindlaks määrata nähtamatute kaaslaste massid.

Kõige huvitavama ja nähtavasti kõige täpsema tulemuse sai Holmberg „Tsentaurus Lähedase" kohta. Nii nimetatakse hiljuti avastatud 10½ suuruse tähekest, mis asetseb meist samal kaugusel kui lähim täht Tsentauruse α ja omab temaga täiesti ühesugust liikumist maailmaruumis. See punane kääbustäht, absoluutselt heleduselt

10 000 korda nõrgem Päikesest ja massilt ligikaudu $\frac{1}{10}$ Päikese massist, omab Holmbergi järgi nähtamatut kaaslast, mille mass moodustab umbes $\frac{1}{500}$ Päikese massist. Kuid keha, millel on niisugune mass, ei saa enam pidada täheks, vaid planeediks: tema mass ületab Jupiteri massi pisut vähem kui kaks korda.

Holmberg teostas peale selle ligikaudseid esialgseid uurimisi veel 240 meile lähedal oleva tähe kohta ja avastas nendest 25%-l perioodilisi ebakõlasid asukohtades. Need vihjavad tumedate kaaslaste olemasolule nende tähtede läheduses. Niiviisi ei osutu süsteemid, mis on sarnased meie päikesesüsteemiga, sugugi haruldasteks maailmaruumis.



XI peatükk.

Maailma ehitus ja evolutsioon.

Linnutee — suur tähtede süsteem.

Muutlikud tähed tsefeiidid näitasid esmakordselt astronoomidele, et taevakehade kaugusi võib kindlaks määrata ka mõõtmata väikesi nurki-parallakse. Pärast avastati veel teisigi tähtede kauguste mõõtmise viise nende nähtava heleduse järgi. Just need „fotomeetrilised" viisid heitsidki valgust Linnutee tähtede süsteemi loomusesse.

Linnutee on eriti ilus pimedatel suve- ja sügisöödel. Linnutee helendav vöö kulgeb siis peaaegu täpselt läbi seniidi horisondist horisondini, Veomehest põhjas kuni Amburini lõunas. Ta jätkub ka allpool horisonti ja vöötab taeva täieliku rõngana, millest NSVL-i lõunapoolseis osades võib kogusummas näha umbes kaht kolmandikku. See rõngas jagab taeva kaheks võrdseks poolkeraks. Geomeetrite keeles kujutab see rõngas endast niiviisi „taevasfääri *suurt ringi*".

Linnutee on niisama muutumatu kui tähtkujudki. Võib koostada tema kaardi ja see jääb õigeks tuhandete aastate jooksul. Kuuta öil on näha, et ta omab väga

komplitseeritud ehitust. Kõige heledamate piirkondade kõrval esinevad temas peaaegu mustad vahekohad, mida merimehed vanasti nimetasid „söekottideks". Torkab silma Linnutee jagunemine kaheks eraldi haruks tema kõige heledamas „suvises" osas (Luige, Kotka, Amburi tähtkujudes). Vastaspoolne osa, mis on nähtav meil talvel, on palju kahvatum suvisest, nii et ta võib kergesti jääda ka märkamata.

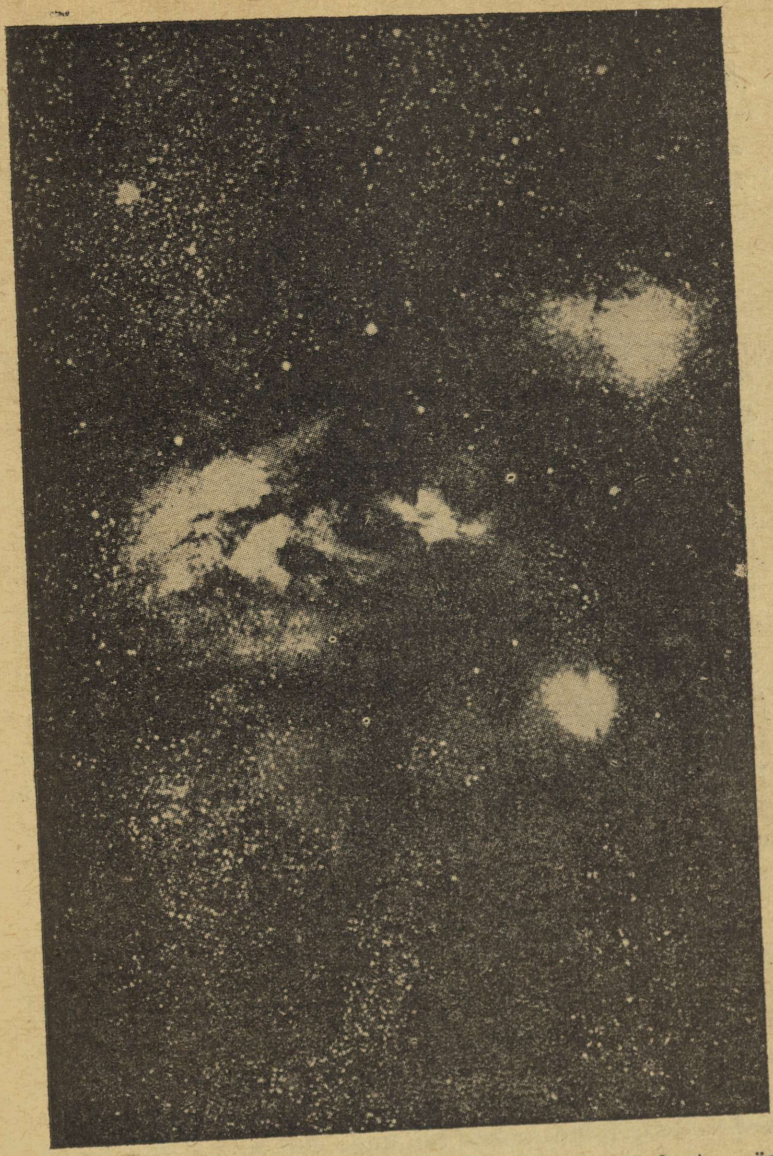
Pikksilmaga vaadates kaob Linnutee ära. Ta osutub miljonite nõrkade tähtede hiiglaslikuks kuhjumiks (vt. joon. 86). Nende tähtede lugemine taeva mitmes kohas ja nende kauguste hindamine fotomeetrilisel teel on võimaldanud teha tähtsaid järeldusi:

1) Linnutee (kreeka keeles Galaktika) on m e i e tähtede süsteem ja Päike on selle süsteemi lihtliige, nagu Maa on planeetide süsteemi lihtliige.

2) Linnutees (Galaktikas) pole lõpmatut arvu tähti ja ta ei oma lõpmatuid mõõtmeid. Ükskõik millises suunas me ka ei lendaks, hiljem või varem lendaksime ikka välja tema piiridest.

3) See tõik, et Linnutee hele lint vöötab kogu taeva suure ringina, tähendab, et kõik Galaktika tähed asetsevad ruumis, mis omab kihi või lameda, umbes ümmarguse piruka kuju. Kihi paksus on palju väiksem tema pikkusest ja laiusest.

On ilmne, et Päikeselt, mis asetseb kuski Galaktika sisemuses, peab olema näha kõige vähem tähti suunas, mis on risti „piruka" tasapinnaga, tema ülemise ja alumise „koorikuga", sest et neis suundades lõpeb tähtede kuhjum võrdlemisi meie lähedal. Palju rohkem tähti näeme ükskõik millises suunas, mis on paralleelne kihi tasapinnaga. Siin ulatub tähtede kuhjum palju kauge-



Joon. 86. Osa Linnuteest Maokandja tähtkujus udude ja „söe-kottidega“ (ülesvõte).

male, peale selle on tähed Galaktika keskmise tasapinna lähedal koondunud palju tugevamini kui teistes ruumi osades. Sellest järgneb, et suunad, mida mööda on näha kõige rohkem tähti, peavad asetsema taevas rõngakujuliselt. See ongi Linnutee vöö.

Galaktilised täheparved ja udukogud.

Galaktika süsteemi kuuluvad tähed ei asetse kaugeltki mitte ühtlaselt. Mitmetes kohtades on nad kuhjunud tugevamini kui meie Päikese ümbruskonnas, moodustades niinimetatud täheparved.

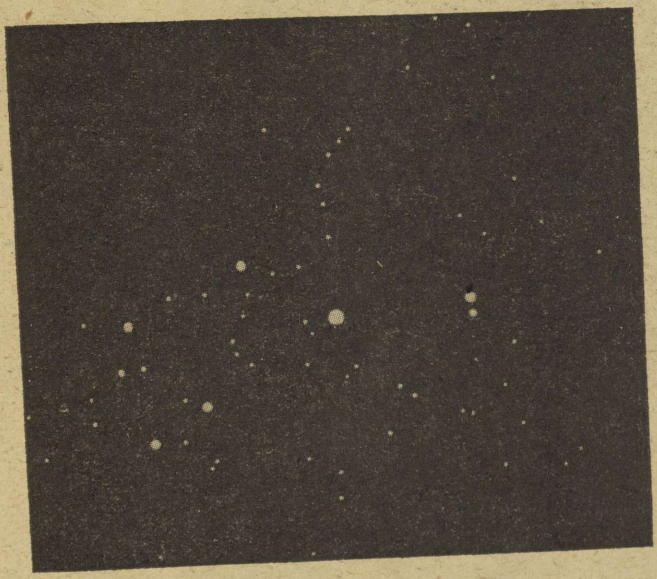
Kõige tuntumaks täheparveks on Plejaadid Sõnni tähtkujus (vt. joon. 87). Siia on poolteist sada tähte 2. kuni 16. suuruseni koondunud ruumi keskele, mida läbib valgus umbes 30 aastaga. Kõige heledamad tähed parves on valged B tüüpi hiidtähed, mis on sadasid kordi heledamad kui Päike. See on üks kõige lähedasemaist täheparvedest, kust jõuab valgus meieni umbes 400 aasta jooksul.

Kõigis seda tüüpi täheparvedes ei ole tähed paigutatud sugugi nii ligistikku, nagu see näib esimese mulje järgi. Seepärast nimetatakse neid hajutatud täheparvedeks. On olemas, nagu kuuleme edaspidi, palju tihedamaid täheparvi, kuid Galaktikas eneses neid ei ole.

Peale tähtede on Galaktika süsteemis mitusada gaasi- ja tolmuudukogu, osalt helendavaid, osalt täiesti tumedaid. Tumedat udukogu võib avastada ainult sel korral, kui ta asetseb heledal Linnutee tähtede foonil. Et tolmumassid nagu suitsupilvedki ei lase läbi nende taga asetsevate tähtede valgust, siis joonestuvad udude piirjooned tähtede foonil musta laiguna. Nii seletatakse praegu

Linnutee „söekotte", mida varem peeti tõelisteks lõhedeks tähtede süsteemis (vt. joon. 86).

Kui aga gaasi- või tolmuudukogu lähedal asetseb hele täht, näiteks valge hiidtäht, siis muutub udu helendavaks. Tähe valgus esmajoones lihtsalt peegeldub udus;



Joon. 87. Plejaadid (ülesvõte).

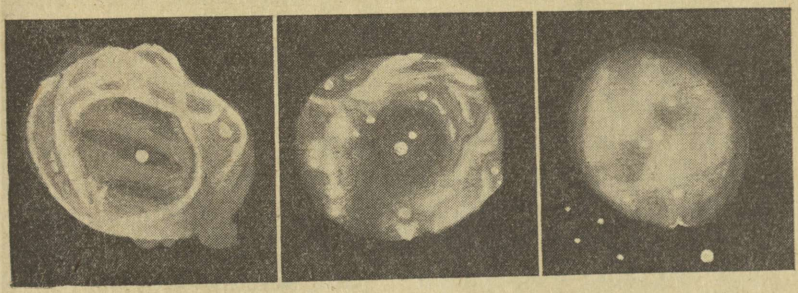
peale selle kutsub valgus udu hõredais gaasides esile helendumise — fluorestseerimise; see on nähtus, mis on hästi tuntud füüsikuile, eriti neile, kes uurivad nähtusi, mis toimuvad vaakuumis. Ja udukogud ongi niisuguseks vaakuumiks, ainult miljonid kui mitte biljonid kordi veel rohkem hõredad kui kõige täiuslikum vaakuum meie laboratooriumides.

Sellega on seletatav, et kõige suuremad udukogud asetsevad taevas B klassi kuuluvate valgete tähtede lähe-



Joon. 88. Orioni suur udukogu.

dal (parimaks näiteks niisugusest lähedusest on kuulus Orioni udukogu). Nähtavasti kutsub nende tähtede valgus, mis on rikas violetseist kiirtest, udukogude gaasides esile eriti tugeva helenduse. Niisuguste udukogude mõõtmed on tohutu suured, nii nagu on seda tähtede kaugused. Kogu Orioni tähtkuju, kogu Plejaadide täheparv on emmatud ja läbi põimitud uduse aine vooludega — kord helendavaga, kord tumedaga, mis ulatub kümnete parsekiteni (vt. joon. 88).



Joon. 89. Planetaarsed udukogud (joonised ülesvõtete järgi).

Peale nende hiigla udukogude, mis omavad väga mitmesugust ebakorrapärast kuju, on Galaktikas veel udukogusid, mis sarnlevad oma kujult planeetide ümmarguste või laperguste ketastega. Neid nimetatakse seepärast planetaarseteks udukogudeks (vt. joonis 89). Niisuguse udukogu keskel asetseb harilikult nõrk täheke, nagu arvatakse — valge kääbus, ja udukogu gaasiline kest meenutab kesta, mis tekib „uute" tähtede ümber. Niiviisi omavad need udud mingisugust seost kahe kõige mõistatuslikuma taevakehade klassiga ja tõmbavad seepärast endile astrofüüsikute erilist tähelepanu.

Galaktika kuju ja mõõtmed.

Linnutee süsteem, kaasa arvatud ka täheparved ja gaasilised udukogud, kujutab endast ameerika astronoomide väljenduse järgi „universumi saart" maailmaruumi ookeanis. Millised on siis selle saare mõõtmed, tema täpne kuju, teda koostavate päikeste arv? Milline on Päikese asukoht selle tähtede süsteemi keskel? Kõigile neile küsimustele on raske anda täpset vastust, kuna me asetseme selle tähtede kuhjumi sisemuses, kus, võib öelda, puude tõttu ei näe metsa.

Niikaua kui puudusid fotomeetrilised kauguste mõõtmise vahendid, peeti galaktikasüsteemi võrdlemisi „väikeseks", läbimõõduga mitte rohkem kui 10—15 tuhat valgusaastat. Hiljem laskuti vastupidisesse äärmusse ja ameerika astronoom S h a p l e y, kes kasutas esimesena tsefeiide kauguste mõõtmisel, leidis Linnutee läbimõõduna 300 tuhat valgusaastat. Kuid seejuures ei arvestatud maailmaruumi mittetäielikku läbipaistvust: tähe nõrkust seletati ainult tema suure kaugusega, kuid tegelikult asetseb ta lähemal ja näib nõrgemana tema valguse neelamise tagajärjel mingisuguse tähtede-vahelise vine poolt. Hiljem on see viga parandatud ja nüüd võetakse omaks, et Linnutee suurim läbimõõt on umbes 100 tuhat valgusaastat ehk 30 000 parsekit. Niisugused on Linnutee mõõtmed. Aga milline on tema kuju?

Võiks arvata, et Linnutee jaoks kõlbaks kettakujuline vutlar, sarnane taskukella korpusega, kuid ainult väga lamedaga, mille paksus on korda 10 väiksem kui läbimõõt. Päike asetseb kella sisemuses, kuid mitte keskel, vaid umbes selle koha peal, kuhu on kinnitatud sekundiosuti. Oletame, et kogu kella siseruum on ligi-

kaudu ühteviisi täidetud tähtedega. On ilmne, et päikesesüsteemist näeme kõige vähem tähti suunaga üles, kella klaasi poole, ja suunaga alla, kella tagakaane poole, kuna neis suundades on süsteemi piirid eriti lähedal. Palju rohkem tähti näeme piki kella mehhanismi. See ongi Linnutee vöö. Kuid mitte kõik selle vöö osad ei ole ühtemoodi rikkad tähtedest. Kõige rohkem peab olema tähti selles osas, mis asetseb number XII suunas; selles sihis ulatub süsteem ka kõige kaugemale; peale selle on samal pool veel süsteemi keskpunkt, mille ümber, nagu on teada, asetsevad tähed tihedamini kui ruumis meie ümbruses.

See „galaktiline keskpunkt" asetseb Amburi tähtkujus, kõige laiemas ja heledamas Linnutee *suvises* osas. Kahjuks pole see aga meile nähtav, sest ta on kaetud võimsate tumedate udukogudega, mis, nagu teada, jaotavad Linnutee kaheks haruks. Tegelikult on need kaks haru vaid üheainsa laia heleda vöö kaks äärt, kuna vöö keskmine osa on varjatud tumeda mateeria pilvedega. Et Linnutee keskpunkt asetseb just selles suunas, on tõestatud mitmete täiesti iseseisvate meetoditega. Vastaspool asetsev *talvine* Linnutee osa Kaksikute tähtkuju lähedal on palju vaesem tähtedest, seepärast ka kahvatum; meie kujutletaval taskukellal vastab see suunale number VI.

Päikese kaugus Linnutee keskpunktist võrdub ligikaudu 30 tuhande valgusaastaga, kusjuures kogu süsteemi raadius on 50 tuhat valgusaastat. Niiviisi asetseme mõnevõrra lähemal süsteemi servale kui tema keskpunktile.

Linnutee tegelik kuju erineb kettast niisama palju, kuipalju kella mehhanismi kuju erineb tema korpuse

kujust. Erinevus ei esine siin mitte üksnes kujus, vaid ka selles, et Linnutees niisama kui kella mehhanismis toimub liikumine. On arusaadav, et kellarataste liikumise ja tähtede tiirlemise vahel pole midagi ühist, kuid ühte juhuslikku kokkusattumust maksab siiski märkida: tähtede süsteemis nagu taskukellaski on ülekaalus liikumised piki süsteemi peatasapinda ja seejuures, kui vaadata põhjapoolselt poolkeralt, on liikumine suunatud samale poole, kuhu liiguvad kellaosutid. Siirdume nende liikumiste vaatlemisele.

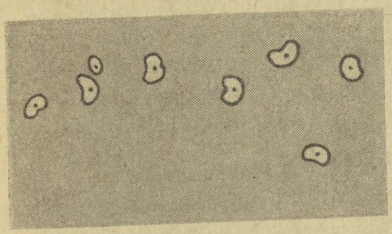
Tähtede liikumine.

Muiste nimetati tähti liikumatuiks. Ja tõesti jäävad tähtkujude figuurid palja silmaga vaadeldes muutumatuks tuhandete aastate jooksul. Neid nägid niisamasugustena, nagu nad on praegu, niihästi Egiptuse püramiidide ehitajad (5000 aastat tagasi) kui ka jääaja inimesed, nagu seda tõendavad kujutised, mis nende poolt on jäetud koobaste seintele ja mammuti kontidele (vt. joon. 90). Tegelikult aga liiguvad kõik tähed ja tähtkujude üldpiltki peab muutuma. Mõnekümne tuhande aasta jooksul võtab enamik meile tuttavaid tähegruppe teise kuju, kuid me võiksime neid siiski veel ära tunda. Sadade tuhandete aastate jooksul muutuvad nad juba tundmatuseni (vt. joon. 91).

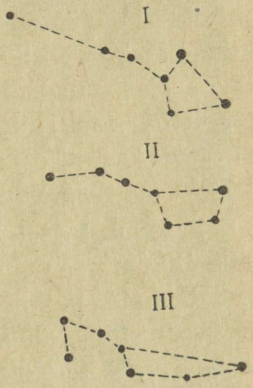
Tähtede liikumise avastas Halley 1718. a. Võrreldes tähtede asukohti tema ajal asukohtadega, mis on märgitud Ptolemaiose tähtede kataloogis 1½ tuhat aastat varem, märkas ta mõnede heledate tähtede koordinaatides suurt muutust. Näiteks Arktuur nihkus selle aja

jooksul lõuna poole peaaegu kraadi võrra, s. o. Kuu kahe läbimõõdu võrra.

Ka nüüd määratakse tähtede liikumist samal viisil — tähtede asukohtade võrdlemisega mitmesugustel ajajärkudel. Niiviisi tähtede kataloogid, milledes on märgitud tähtede asukohad, säilitavad oma teadusliku väärtuse



Joon. 90. Suure Vankri tähtkuju kujutis jääaja amuletil. Millise kujutisega joonisel 91 on see sarnane?



Joon. 91. Suure Vankri tähtkuju peatähed:
I — 50 000 aastat tagasi,
II — praegusel ajal,
III — 50 000 aasta pärast.

väga pika aja jooksul, ja hiigla töö, mis on tehtud astronoomide poolt nende kataloogide koostamisel, ei lähe asjata kaduma.

Kuid on veel teinegi tee tähtede liikumiste avastamiseks, seejuures niisuguste liikumiste avastamiseks, milliseid meridiaanring ega fotografeerimine avastada ei saa. See on spektraalne viis mõõta kiirust, millega täht läheneb meile või eemaldub. Selliste „radiaalkiiruste"

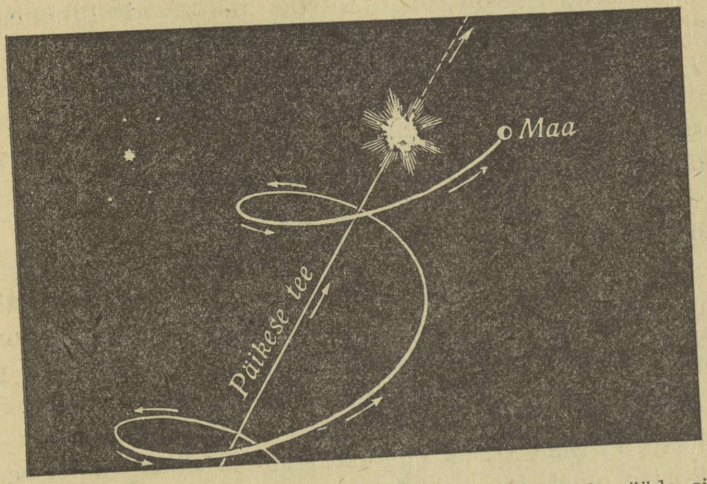
mõõtmine on näidanud, et enamiku tähtede kiirus on mõnedest kilomeetritest kuni mõnekümne kilomeetrini sekundis. Siiski hiigla kauguste tõttu on nende nähtav omaliikumine (isegi heledatel tähtedel) vähem kui üks kümnendik sekundit aastas, ja mida nõrgemad on tähed, s. o. mida kaugemal nad asetsevad, seda väiksemad on nende nähtavad omaliikumised ja seda raskem on neid märgata. On muide ligi kümmekond tähte, mis liiguvad kümneid kordi kiiremini. Suurimat omaliikumist, nimelt 10″ aastas, omab Barnardi poolt avastatud 10. suuruse täht Maokandja tähtkujus; temal läheb tarvis vähem kui 200 aastat, et nihkuda edasi taevas Kuu ühe läbimõõdu suuruse võrra.

Praegusel ajal on meile teada mõnekümne tuhande tähe liikumine. On arusaadav, et kõik need tähed asetsevad meie päikesesüsteemi „lähimas ümbruskonnas". Mõnikord nimetatakse neid meile lähedasi tähti kohalikuks tähtede süsteemiks, sest see moodustab mingisuguse väikese osa suurest galaktilisest süsteemist.

Nende poolteise kuni kahesaja aasta jooksul, millal on vaadeldud tähtede liikumisi, näivad need täiesti sirgjoonelistena ning mingisugust kõverust nende sihtides pole veel korda läinud märgata. Nad näivad ka küllalt ebakorrapärastena: ükskõik millises taevapiirkonnas võib leida tähti, mis liiguvad igas võimalikus suunas.

Sellele vaatamata läks korda märgata üht tähtsat seaduspärasust neis liikumistes juba siis, kui olid teada kõigest mõnekümne tähe liikumised. Seda tegi Herschel 1783. a. Ta arutles niiviisi. Et tähed liiguvad, siis ka Päike kui üks tähtedest peab samuti liikuma, ja selles edasiliikumises viib ta endaga kaasa kogu planeetide

süsteemi (vt. joon. 92). Kui tähed oleksid liikumatud ja liiguks ainult päikesesüsteem, siis oleksid tähtede endi nähtavad omaliikumised meie süsteemi liikumise vastupeegeldus. Seepärast läheksid tähed, mis asetsevad sellel taevapoolel, kuhu meie liigume, laiali igas suunas ühest kindlast punktist, nii nagu lähevad laiali suure linna



Joon. 92. Kogu päikesesüsteemi liikumise tagajärjel mööda sirgjoont Herkulese tähtkuju poole liigub Maa selle tähtkuju poole kruvijoont mööda.

tuled, kui me ööse sõidame selle poole, tähed aga, millest meie eemaldume, koonduksid kokku. Niisugust nähtavat taevakehade liikumist, mis tekib vaatleja enda liikumisest, nimetatakse parallaktiliseks liikumiseks. Et aga tähed ise ka liiguvad, siis koosneb nende nähtav liikumine kahest liikumisest — „parallaktilisest" ja „omast". Herschel püstitas hüpoteesi, et tähtede „omad" liikumised on täiesti korrapäratud, s. o. et liikumised

kõikides suundades esinevad ühevõrra sagedasti. Niiviisi, kui võtta paljude tähtede keskmine liikumine, siis liikumiste liitmisel kompenseeruksid „omad" liikumised omavahel peaaegu täielikult, parallaktilised aga jäävad ja Päikese liikumise suunda võib määrata samuti kui liikumatute tähtede puhul.

Herschel leidis, et tähtede nähtavad liikumised hargnevad igale poole Herkulese tähtkujust, järelikult asetseb selles tähtkujus punkt, mille poole on suunatud päikesesüsteemi liikumine, tema apeks. Herscheli järeldus leidis kinnitust paljude hilisemate töödega. Mõõdeti isegi meie süsteemi lennu kiirust apeksi poole ja see osutus 20 km sekundis, s. o. poolteist korda väiksemaks Maa lennu kiirusest ümber Päikese.

Kuid igasugust liikumise kiirust võime määrata ainult võrreldes millegagi. Me ütleme: „Maa kiirus tema tiirlemisel ümber Päikese võrdub 30 km-ga sekundis ja on suunatud 90^0 lääne poole Päikesest", kuid seejuures tuleb juurde lisada: „kui oletada, et Päike on liikumatu". Siis see on Maa kiirus Päikese suhtes. Mille suhtes aga Päike ise omab kiirust 20 km sekundis? Vastus on niisugune: mõne tuhande meie lähedal asetsevate ja samuti liikuvate tähtede raskuskeskme suhtes. Ja kui oletada, et see lähedaste tähtede kogumi raskuskese on liikumatu, siis omavad kõik kogumi tähed tema suhtes mingisugust kindlamääralist kiirust. Ühe kiirus nende hulgast, meie Päikese kiirus, moodustabki 20 km sekundis ja on suunatud Herkulese tähtkujus olevale punktile, heleda Veega lähedal.

Veega ise liigub ka meie tähtede kogumis, mispärast läheneme temale igas sekundis mitte 20 vaid 14 km võrra. Kui meie suveõhtul imetleme Veegat, mis vilgub

seniidi lähedal, maksab meelde tuletada, et täna oleme talle rohkem kui 1 miljon km lähemal kui eile ja 400 milj. km võrra lähemal kui möödunud aastal. Kuid Veega nähtav heledus jääb muutumatuks veel tuhandete aastate jooksul, sest tuhanded miljonid kilomeetrid, võrreldes kaugustega isegi kuni kõige lähemate tähtedeni, on tähtsusetu suurus.

Nii liigub meie Päike tähtede kogumis, mida nimetatakse kohalikuks süsteemiks. Kuid taevalaotuses ei ole midagi liikumatut, seepärast omab ka kohalik süsteem tõenäoliselt mingisugust liikumist. Kas poleks võimalik juba nüüd määrata kindlaks seda liikumist kogu suure galaktilise süsteemi keskpunkti suhtes? Seda ülesannet läks korda lahendada alles möödunud aastakümnel, kui hakati uurima kõige kiiremate tähtede liikumist.

Ammu oli teada mõnikümmend tähte, mis lendavad maailmaruumis meie Päikese suhtes kiirusega 100 kuni 300 km sekundis ja isegi veel kiiremini. Nende vastu erilist huvi ei tuntud, kuni pandi tähele, et need „kiirjooksjad" tormavad kõik ligikaudu ühele poole, ühele taevapoolkerale, mille keskkohas asetseb tähtkuju „Laevaahter" (taeva lõunapooluse lähedal). Pärast selgus, et need kiirjooksjad kuuluvad mitmesugustesse taevakehade füüsikalistesse klassidesse, milledel ei ole omavahel midagi ühist, nagu on näiteks hiidtähed — lühiperioodilised tsefeiidid ja väikesed punased kääbused. Punased kääbused-kiirjooksjad tungivad oma lennul läbi meie kohaliku süsteemi võrdlemisi lähedastel kaugustel Päikesest. Kuid samas sihis ja peaaegu sama kiirusega lendavad ka hiiglaslikud kerakujulised täheparved, mis on laiali paisatud kaugele galaktilise süsteemi piiride taha ja milledest kõneleme edaspidi.

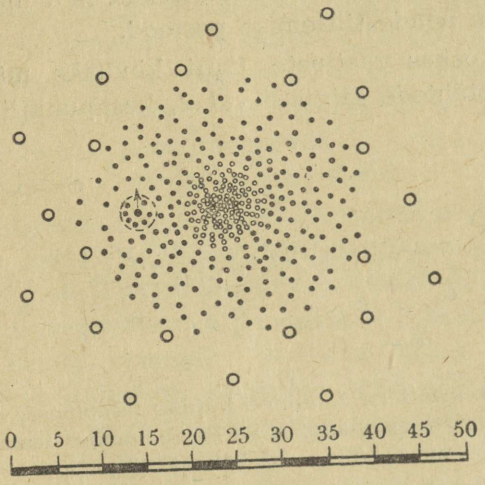
Teaduse ajaloos juba kohtusime täiesti samasuguse juhtumiga: kõikide taevakehade, lähedaste ja kaugete, ühesugune ööpäevane liikumine näis kummalisena, kuni Kopernikus seletas selle ära Maa pöörlemisega. Niisamasugune seletus kipub nagu iseenesest esile ka kiirete tähtede suhtes. Tegelikult on need tähed peaaegu liikumatud; meie Päike aga koos teda ümbritseva kohaliku tähtede süsteemiga tormab hiigla kiirusega neist mööda punkti poole, mis on diametraalselt vastupidine Laevaahtri tähtkujule. Seda punkti võib nimetada kohaliku süsteemi apeksiks ehk „tõeliseks" Päikese apeksiks. See asetseb Tsefeuse tähtkujus, kõige põhjapoolsemas Linnutee osas, mitte kaugel taeva põhjapoolusest.

Et kindlaks määrata selle lennu kiirust, oletati, et kerakujuliste täheparvede „ülisüsteem" on liikumatu. Siis osutus, et kogu tähtede kogum, mida nimetatakse kohalikuks süsteemiks, lendab Tsefeuse tähtkuju suunas keskmise kiirusega ligi 300 km sekundis. Kuid mitte kõik kogumi tähed ei oma täpselt säärast kiirust. Päike näiteks lendab kilomeetrit 20 kiiremini ja kaldub seejuures pisut Veega poole, mis lendab kaugel ees. Selles seisnebki Herscheli poolt avastatud Päikese liikumine apeksi poole; võrreldes pealiikumisega osutub ta päris tähtsusetuks.

Mis liikumine see siis on, milles tormavad ühes suunas terved süsteemid, mis koosnevad kümnetest tuhandetest tähtedest? Pöörame tähelepanu kahele asjaolule: esiteks on selle liikumise suund Linnutee tasapinnas, ja teiseks moodustab ta täpselt täisnurga suunaga Galaktika keskpunkti, sest Linnutee kaar Tsefeusest kuni Amburini võrdub 90^0-ga, ja me tuleme tähtsale järeldusele: kogu meie „kohalik süsteem" tiirleb ümber kauge

galaktilise keskpunkti sarnlevalt sellega, kuidas planeedid tiirlevad ümber Päikese. Selle tähelepanuväärse avastuse tegi 1927. a. hollandlane Oort, kuulsa Kapteyni, nüüdisaja tähtede astronoomia rajaja õpilane.

Oorti galaktilise pöörlemise teooria seisneb järgmises. Me teame, et galaktilise süsteemi kesk-

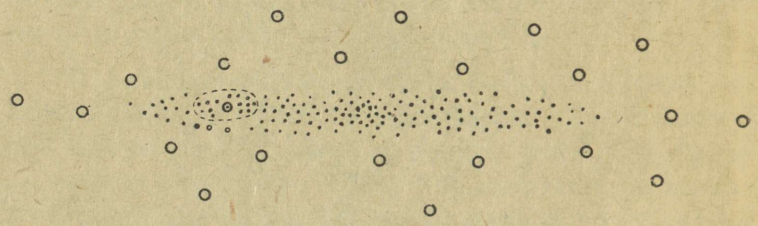


Joon. 93. Linnutee skemaatiline plaan: ● — Päike; punktiiriga ümber tema on märgitud „kohalik tähtede süsteem"; see tervikuna tiirleb ümber Linnutee keskpunkti — suunas, mis on näidatud noolega. Väikesed ringikesed on kauged kerakujulised täheparved, millest kõneleme edaspidi. All mõõtkava tuhandetes parsekites.

kohas on tihendus — piirkond, milles tähed asetsevad tunduvalt tihedamini kui ülejäänud kohtades. See päikeste keskne kogum omab niisugust massi, et tema gravitatsioon on peamiseks jõuks, mis korraldab tähtede süsteemi liikumist. Selle jõu mõjul joonestavad tähed orbiite, mis sarnanevad planeetide orbiitidega ümber

Päikese. Nende orbiitide tasapinnad nagu planeetide orbiitide tasapinnadki on kõik omavahel lähedased ja kõik tiirlemised toimuvad ühes suunas, nii et võib ütelda, et kogu Linnutee ketas pöörleb galaktilises tasapinnas. Kuid see ketas ei pöörle nii nagu tahke keha, vaid umbes nii, kuidas pöörleb planeetide süsteem: mida kaugemal on tähed keskpunktist, seda aeglasemalt nad liiguvad, seda suurem on nende tiirlemise periood.

Oort oskas vaatluste järgi kindlaks määrata seda erinevust tähtede kiiruste vahel, keskpunktile lähemate



Joon. 94. Skemaatiline Linnutee kujutis tasapinnas, mis on risti eelmise joonise tasapinnaga; ● — Päike; ümber tema punkteeritud ovaalina — „kohalik süsteem".

ja kaugemate vahel, ning selle erinevuse järgi arvutas ta välja suuna külgetõmbe keskpunktile ja tema kauguse Päikesest. Suund osutus jällegi Amburi tähtkuju poole ja kaugus oli umbes 10 000 parsekit, s. o. 33 000 valgusaastat. Päikese täistiiru periood moodustab vähemalt 200 miljonit aastat, nii et selle aja jooksul, kui arenes elu Maa peal, jõudis kogu meie planeetide süsteem teha juba mitu tiiru. Liikumine toimub piki Linnutee tasapinda idast läände (vt. joonised 93 ja 94).

Kohaliku tähtede süsteemi liikumist võib tõenäoliselt võrrelda väikeste planeetide ehk asteroidide liikumi-

sega ümber Päikese. Kujutleme, et meie asetseme ühel neist planeetidest ja et meile on nähtavad ainult lähemad asteroidid-teekaaslased ja üldse pole näha ei tähti ega Päikest. Kui kõik planeedid oleksid lennanud ühes suunas ja ühesuguste kiirustega, siis oleksid nad kõik paistnud meile liikumatutena, kuid seda nad ei ole. Ühed planeedid lähevad vähehaaval meist ette, teised jäävad maha, osa planeete (nende liikumise tõttu ellipsitel, mitte aga ringidel) lähenevad järk-järgult nähtamatule Päikesele, teine osa aga — vastupidi — eemaldub temast. Ainult need kiiruste vahed meie planeedi ja ülejäänute vahel avastamegi „omaliikumise" ja „radiaalkiiruse" näol meie planeetide-teekaaslaste puhul.

Aegajalt tormaksid meist mööda tohutute kiirustega ja peaaegu ühes ja samas suunas „taevakehad-kiirkäijad". Need on Jupiteri perekonda kuuluvad komeedid. Nad liiguvad tugevasti väljavenitatud ellipseid mööda, kusjuures nende orbiitide Päikesest kõige kaugemal olevad punktid (afeelid) asetsevad väikeste planeetide piirkonnas. Neis punktides liiguvad komeedid väga aeglaselt. Kuid meile näib, et nad lendavad meile kiiresti vastu selles suunas, mis on vastupidine meie liikumise suunale ümber Päikese. Samal viisil on tõenäoliselt seletatav „tähtede-kiirjooksjate" liikumine: nende orbiidid ümber galaktilise keskpunkti erinevad kohalikku süsteemi kuuluvate tähtede orbiitidest niisama tugevasti kui komeetide orbiidid planeetide omadest.

Linnutee pöörlemise teooria kujutab endast ainult esimest sammu tähtede maailma liikumise seaduste tundmaõppimiseks. Linnutee tegelik ehitus on muidugi palju komplitseeritum kui lihtne „ketas keskse tihendusega". Kuid süsteemi peamised jooned — ligilähedased mõõt-

med, tema keskpunkti asukoht, Päikese asukoht ja liikumine — on nähtavasti selgitatud. Seepärast kutsuvad paljud Oorti „tähtede süsteemi Kopernikuseks".

Täheparved väljaspool Galaktikat.

Kujutleme, et lendame otse Linnutee keskpunkti suurima kiirusega, mis üldse on looduses — valguse kiirusega. Nii harvalt kui ka asetsevad tähed meie Päikese lähemas ümbruskonnas, kuid 1—2 tuhat aastat lennates märkame, et need hakkavad hõrenema veel rohkem, ja meile näib, et tähtede süsteem varsti lõpeb. Kuid varsti saame aru, et ei lõpe mitte suur Linnutee süsteem, vaid ainult meie „kohalik süsteem" — mingisugune teisejärguline tähtede tihendus, mille sisemuses asetseb meie Päike. Amburi tähtkujus helkivad pilved on ikkagi veel kaugel ees. Varsti hakkab meile tähti ikka sagedamini vastu tulema ja 20 tuhande aasta pärast saabume piirkonda, kus tähed asetsevad 5—10 korda tihedamini kui kohalikus süsteemis. Seejärel tuleb meil läbida rida hiiglaslikke tumedaid udukogusid ja 30—35 tuhande aasta pärast jõuame kõige tihedamasse Linnutee osasse — G a l a k t i k a k e s k p u n k t i.

Selle keskosa ehitus ei ole veel selge, kuid vaevalt kohtame seal midagi muud peale tähtede kuhjumite ja tolmu- ja udumasside. Oletame, et meil läks korda lennata läbi nende kuhjumite, isegi mitte kõrvale pöörates sirgjoonelt. Pärast Galaktika keskpunkti hakkab tähtede süsteem uuesti hõrenema, kuid kulub veel vähemalt 50 tuhat aastat selleni, kui kogu Linnutee jääb meie selja taha ja meie ees avaneb piiritu tühja ruumi pimedus.

Niisugune on esimene mulje. Kuid vaadates hoolega tähtedeta taevasse, näeme seal hulga heledaid udulaike. Need on uued välisgalaktilised päikeste kogumid, uued „universumi-saared", sarnased selle saarega, mille just oleme jätnud maha. Muide pole just tarvidust välja lennata meie Linnutee piiride taha, et näha neid väljaspool Galaktikat asetsevaid maailmu. Paljud neist on tuntud juba varemalt, nad on sisse kantud kataloogidesse, ühed „täheparvede", teised „udukogude" nime all, kuid mitte sugugi niisuguste parvede ja udukogude all, milledega oleme juba tutvunud.

On ammu tähele pandud, et peale hajutatud täheparvede, mis koosnevad kümnetest ja sadadest tähtedest, leiduvad veel eriti tihedad tähtede kuhjumid, mis on võrratult rikkamad tähtede poolest. Neid nimetatakse kerakujulisteks täheparvedeks ehk kerasparvedeks (vt. joon. 95). Seejärel näitas spektraalanalüüs, et peale udukogude, mis annavad gaasi spektri, esinevad sageli udukogud pideva spektriga, nagu see on Päikesel ja tähtedel. Neid udukogusid võib nimetada valgeteks, erinevalt rohekatest gaasi- ja tolmuudukogudest. Praegu teame, et kõik hajutatud parved ja gaasilised udukogud asetsevad meie galaktika sisemuses ja et kõik kerasparved ja valged udukogud — vastupidi — on tema piiride taga. Seepärast nimetatakse tähtede süsteemi kaht viimast klassi harilikult välisgalaktilisteks süsteemideks.

Meile lähimateks välisgalaktilisteks süsteemideks on tähtede kerasparved — kerakujulised või kergelt lapikud, erakordselt tihedad kuhjumid sadadest tuhandetest tähtedest tugeva tihendusega keskel. Üllatav on, niiöelda, nende ühetüübilisus; näib, et üks kerasparv erineb



Joon. 95. Kerasparv Herkulese tähtkujus.

teisest ainult selle poolest, et üks on mõnevõrra rohkem, teine mõnevõrra vähem lapik, kõiges muus on nad aga otsekui täiesti ühesugused.

Kerasparvede läbimõõdud on kõigest 100—200 valgusaastat ja selles ruumis on tähti tuhandeid kordi tihedamini kui meie Päikese ümbruskonnas. Tegelikult võib tähtede tihedus olla seal palju suurem, kuid nõrku tähti me veel vaadelda ei saa. Kõik kerasparved on niivõrd kaugel, et näha saab neis ainult kõige heledamaid hiidtähti. Nende hiidtähtede hulka kuuluvad kõigepealt muutlikud tsefeiidid, millede järgi ongi mõõdetud kaugusi nende kerasparvedeni.

Need kummalised väikesed kompaktsed galaktikad piiravad meie hiigla Galaktikat sümmeetrilise kobarana, mille keskpunkt ühtib Galaktika keskpunktiga. Neist galaktikaist asetsevad kõige kaugemad üle 20 000 valgusaasta eemal Päikesest. Linnutee sisemuses puuduvad nad täielikult.

Niisiis ei ole kerasparved täiesti iseseisvateks tähtede süsteemideks; nad moodustavad otsekui Linnutee ümbritsuse või tema jätku. Neid võrreldakse väikeste suvituskohtadega ümber suurlinna. Meie Linnutee miljardite päikeste võimas külgetõmme juhib nende liikumist ja nad tiirlevad ümber Linnutee kui kaaslased ümber planeetide; neid on avastatud üle saja. Et aga uusi seda tüüpi parvi juba enam kaua juurde ei avastata, siis on nende süsteem meile peaaegu täielikult tuntud kuni kõige kaugemate liikmeteni.

Välisgalaktilised udukogud.

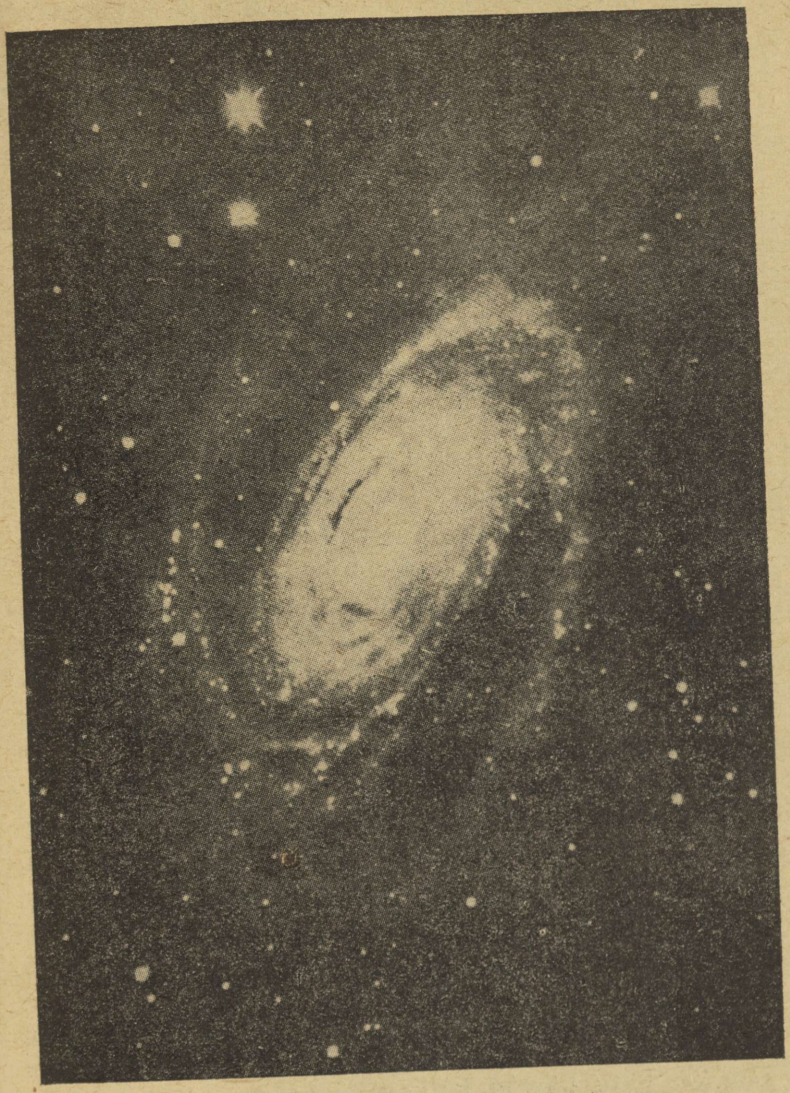
Täielikuks vastandiks kerakujulistele täheparvedele on välisgalaktilised udukogud (või, nagu

peatselt näeme, „väärudukogud"): neid osutub seda rohkem, mida tugevam on vaatlusinstrument. Palja silmaga on meie laiustel nähtav ainult üks selline udukogu Andromeda tähtkujus, kuid juba Herschel avastas oma peegelteleskoopidega tuhandeid niisuguseid udukogusid. Nende tõeline uurimine algas siiski alles fotograafia kasutamisele võtmisega.

Et kõikide nende udukogude spekter on täiesti samasugune kui tähtedel, siis arvati juba ammu, et tegelikult kujutavad nad endast väga kaugeid tähtede kuhjumeid.

Paistis, et sellele räägib aga otsustavalt vastu nende kuju. Tõesti väga paljud udukogud osutusid fotografeerimisel s p i r a a l s e t e k s. Niisuguse udukogu ülesvõttel on näha, et ümmargusest tsentraalsest tihendusest väljub kaks juga helendavat udulist ainet (vt. joon. 96). Need joad keerduvad mõlemad ühele poole, jagunedes mõnikord väiksemateks harudeks või üksikuteks tompudeks ja hargnedes ikka kaugemale kesksest tuumast. Näis olevat peaaegu väljaspool kahtlust, et need joad koosnevad gaasist või tolmust, sarnledes suitsusammastega, ning et udukogu kujutab endast midagi hiiglasliku keerise taolist ja asetseb võib-olla meile võrdlemisi lähedal. Kuid mispärast annavad need hõredad massid niisamasuguse spektri kui Päike?

Mõistatus lahendati alles 1925. a. Sel aastal tehti maailma suurima sajatollise reflektoriga Wilsoni mäel ülesvõtteid kõige heledamaist spiraalseist udukogudest — Andromedas ja Kolmnurgas. Saadud negatiividel lahutusid mõlemate udukogude harud (mitte aga tsentraalne tuum) tuhandeiks väiksemaiks tumedaiks punktideks, mis sarnlevad 17. ja 18. suuruse tähtedega. Kuid kas tõesti on need punktid tähed? Selle küsimuse lahenda-



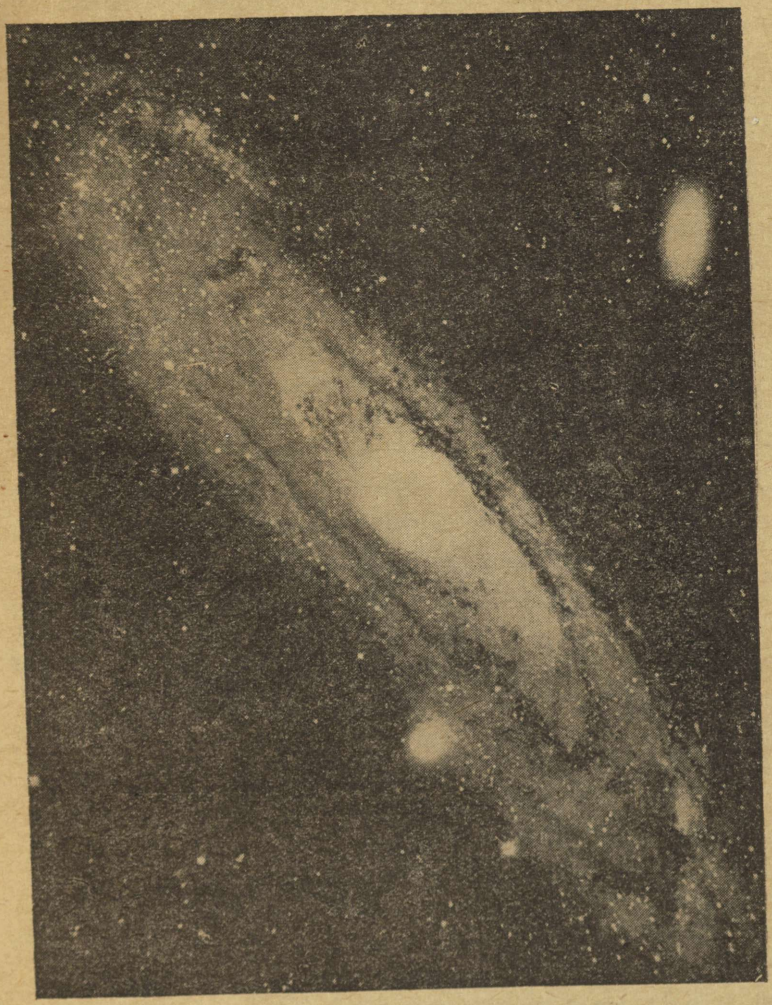
Joon. 96. Spiraalne udukogu Suure Vankri tähtkujus.

miseks hakati võrdlema punkti punkti järel ülesvõtteil, mis olid tehtud erinevatel päevadel, kuni selgus, et mõned tuhandeist punktidest erinevail negatiividel osutusid erineva heledusega (või, õigemini väljendades, erineva tumedusega). Astronoom H u b b l e hakkas jälgima kahtlasi muutuvaid punkte ja avastas, et need on muutlikud tähed samast tsefeiidide klassist, millede järgi, nagu teame, võib määrata kindlaks kaugusi.

Nüüd selgus kõik. Spiraali joakesed ja udutombud ei koosne gaasidest või tolmukübemekestest, vaid miljonitest päikestest, mis on kaasa kistud mingisugusest üldisest tiirlemisliikumisest, ja kogu Andromeda udukogu on hiiglaslikuks tähtede süsteemiks, mis on täielikult sarnane meie Linnuteega, nii-öelda „Galaktika nr. 2". Tutvume selle udukoguga lähemalt (vt. joon. 97).

Andromeda udukogu, ehk astronoomilises tähistuses M 31, asetseb meist 250 tuhande parseki kaugusel; selle vahemaa läbib valgus rohkema kui 800 tuhande aastaga. Süsteemi suurim läbimõõt on ülesvõtete järgi 12—14 tuhat parsekit. Kuid ülesvõtete uurimisel mikrofotomeetriga saadakse tunduvalt suurem läbimõõt, umbes 30 tuhat parsekit; järelikult on selle udukogu läbimõõt peaaegu võrdne meie Linnutee läbimõõduga.

Udukogu M 31 ei sarnane meie Linnuteega mitte ükskes oma mõõtmetelt. Temas nagu meie Linnuteeski toimuvad pidevalt hiiglaslikud maailmakatastroofid, mida nimetatakse „uute" tähtede ilmumiseks. Seejuures osutub isegi nende süttimise tegelik heledus samasuguseks nagu meie „uutel" tähtedel: nad süttivad keskmiselt kuni miinus 6-nda absoluutse suuruseni, s. o. umbes kuni 30 tuhande kordse Päikese heleduseni. Kuid määratu kauguse tõttu näivad kõik selle kauge maailma tähed



Joon. 97. Suur spiraalne Andromeda udukogu; tema kõrval kaks väikest elliptilist udukogu.

meile nõrgematena oma absoluutsest heledusest 22 suuruse võrra. Seepärast paistavad ülesvõtteil ka „uued" tähed Andromeda udukogus nõrkade punktidena, mitte 16. suurusest heledamatena. Niisuguseid „uusi" tähti ilmub selles süsteemis igal aastal vähemalt 30, umbes niisama palju kui meie Linnuteeski. Nüüdisaegsed astronoomid on juba lakanud imetlemast nende mõistatuslike katastroofide arvu ja grandioossust ja nimetavad neid isegi „harilikeks" uuteks tähtedeks.

Kuid 1885. a. tõid valguslained Maa peale teate sellest, et just Andromeda udukogu keskkohas süttis täiesti ebaharilik uus täht. Teda märgiti Andromeda S-ks. Mõne päeva jooksul omandas ta meie jaoks peaaegu 7. suuruse heleduse ja oli nähtav isegi kõige nõrgemate pikksilmadega. Tema absoluutne heledus võrdus

$$7 - 22 = -15 \text{ (miinus 15)}.$$

Meenutagem, et Päike oma absoluutse heleduse järgi on pluss 5. suuruse täht. Niisiis moodustab heleduste vahe Andromeda S ja Päikese vahel 20 suurust (sarnlevalt sellega, kuidas vahe temperatuuri pluss 5^0 ja miinus 15^0 vahel on 20^0), see aga tähendab, nagu arvutasime lk-l 334, et Andromeda S oli süttimisel heledam Päikesest 100 miljonit korda.

Niisuguseid „ülihiiglaslikke uusi" ehk — nagu neid lühidalt nimetatakse — „üliuusi" tähti on avastatud hiljem ka mõnedes teistes udukogudes, kuid meie Linnutees pole neid seni tähele pandud. Kui niisugune täht süttiks, oletame, niisugusel kaugusel, kui on Siirius, siis valgustaks ta meie taevast sadasid kordi heledamini kui täiskuu ja muudaks öö päevaks.

Veel tähelepanuväärsem sarnasusejoon Linnutee ja udukogu M 31 vahel seisneb selles, et viimane on samuti

ümbritsetud võrdlemisi väikeste kerasparvede kobaraga. Isegi nende parvede arv on niisama suur kui meie Linnutee parvede oma — pisut üle 100, kuid iga parve mõõtmed on nähtavasti tunduvalt väiksemad kui meie kerasparvedel. On selles kauges maailmas ka tolmuudukogusid, mis neelavad valgust niisama kui Linnutee „söekotid"; on olemas samuti heledad gaasiudukogud, segatud valgete B-tüüpi hiidtähtede kuhjumitega — omamoodi meie Orioni jäljendamine.

Niisugune Linnutee sarnasus Andromeda udukoguga viib mõttele, et need kaks tähtede süsteemi on sarnased ka muus suhtes. Seepärast peab süsteemi M 31 tundmaõppimine avastama meile ka meie Linnutee ehituse, millele meie ei saa vaadata „linnulennult". On väga võimalik, et meie tähtede süsteemi „kettakujuline" maht on tegelikult täidetud võimsate spiraalsete harudega, mis koosnevad miljarditest päikestest. Linnutee „pöörlemine" seisneb selles, et mitte üksnes kogu spiraal ei tiirle, vaid võib-olla keerutab ka enda lahti. Osa sellest spiraalsest harust, mille sisemuses liigub Päike, esineb meile „kohaliku süsteemina". Lõppeks Linnutee kesktuum, mis on varjatud meie eest hiiglaslike tolmuudukogudega, võib olla sarnane M 31 süsteemi kesktuumaga. See tuum, mis oma läbimõõdu poolest moodustab peaaegu kümnendiku osa tervest udukogust, on mitu korda heledam spiraalsetest harudest ja on seni veel tähtedeks lahutamata. Tõenäoliselt koosneb ta suurest hulgast kääbustähtedest, mis on sarnased meie Päikesega.

Sügisõhtutel tõusevad Andromeda ja Pegasuse heledad tähed idapoolses taevas, moodustades figuuri, mis meenutab Suurt Vankrit suurendatud kujul. Andromeda tähtede beeta (β), müü (μ) ja nüü (ν) kohal võib kuuval-

geta öil palja silmaga leida M 31 udukogu heledat laiku (vt. joon. 98). Allpool Kolmnurga tähtkujus on binokliga näha heleduse poolest teine spiraalne udukogu M 33, mis asetseb meist peaaegu niisama kaugel. Andromeda udukogu vaadeldes ei tohi unustada, et me näeme teda säärases seisukorras, milles ta oli 800 tuhat aastat tagasi, ja et umbes samasugune kuju on kogu meie Linnuteel, kui keegi vaatab siia sellest kaugest tähtede maailmast.

Kõik välisgalaktilised „udukogud" ei ole spiraalsed. Väga tunduv osa neist, võib-olla isegi enamik, omab lihtsamat kuju — ümmargust või elliptilist (vt. joon. 99, üle-



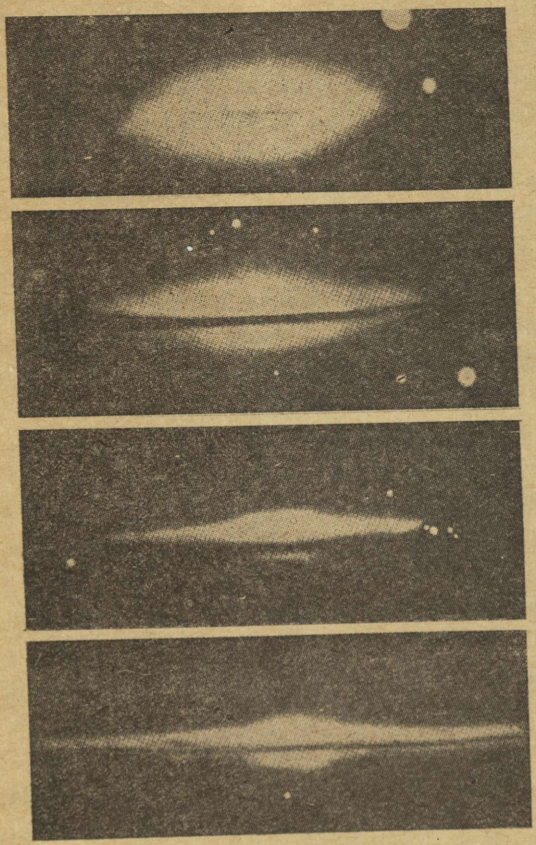
Joon. 98. Kuidas leida taevas Andromeda udukogu (M 31).

mine). Ilmselt on nad kera- või kettakujulised. Isegi kõige paremate ülesvõtetel pole neis udukogudes näha mingisuguseid detaile — ei spiraalset ehitust ega üksikuid heledaid punkte. Seepärast on mõned uurijaist kahelnud kuni viimase ajani, kas tõesti elliptilised udukogud koosnevad tähtedest.

Kuid nende pidev spekter kõneleb arvamuse kasuks, et need on ikkagi tähtede süsteemid, kuid väga tihedad ja koosnevad eranditult kääbustähtedest [1]. Lähim neist on M 32, üks kahest Andromeda udukogu kaaslasest (vt.

[1] Nüüd on õnnestunud ka mõned elliptilised udukogud lahutada tähtedeks. (Toimetus.)

joon. 97). Tema läbimõõt on palju väiksem peasüsteemi omast, kuid siiski on see ligikaudu tuhat valgusaastat. Fotomeetriliste uurimiste järgi on sellesse võrdlemisi väikesesse ruumalasse koondatud umbes 20 miljonit päi-



Joon. 99. Sellist kuju omavad spiraalsed udukogud, kui nad on pöördunud meie poole küljega (ülemine udukogu ei ole spiraalne, vaid elliptiline).

kest. Niiviisi on see kauge tähtede maailm võrratult „kompaktsem" meie Linnuteest. Kui Päikese ümbruskonnas on teatavas ruumalas keskmiselt üks täht, siis süsteemis M 32 on selle keskkoha läheduses niisama suures ruumalas mitu tuhat tähte. Ja siiski on keskmine kaugus tähtede vahel selles süsteemis korda 50 suurem kaugusest Päikesest Plutoni, nii et tähtede kokkupõrked ka seal on vähe tõenäolised. Kuid tähistaeva pilt vaatlejale Galaktikas M 32 peab olema haruldaselt suurepärane: vaatleja näeks seal kümneid taevakehi, mis on heledamad kui Veenus, ja tuhandeid tähti, mis on heledamad kui Siirius.

Meie galaktiline süsteem sarnaneb Andromeda udukoguga veel selle poolest, et temal nagu Andromeda udukogulgi on kaks kaaslast kahe väikese galaktika kujul. Mõlemad need galaktikad kuuluvad tähtede süsteemide kolmanda ning viimase tüübi, *korrapäratute* välisgalaktiliste udukogude hulka. Need on kuulsad meile nähtamatud Magalhães'i Pilved taeva lõunapooluse lähedal. Nad tõmbasid endile portugali merimeeste tähelepanu juba XV sajandil kui „Linnutee küljest ärakistud tükid", kuigi nad asetsesid sellest kaugel, taevapiirkonnas, mis on väga vaene tähtede poolest. Suurim neist, läbimõõduga üle 7^0, ei kao isegi kuuvalgel. Ülesvõtetel kujutavad nad endist sadasid tuhandeid nõrku tähti, suurt hulka täheparvi ja gaasilisi udukogusid. Magalhãesi Pilvedes avastatud arvukate tsefeiidide järgi on korda läinud kindlaks määrata nende kaugust suure täpsusega. Mõlema pilve kohta saadi see ühesugune ja nimelt 31 tuhat parsekit, s. o. 100 tuhat valgusaastat. Niiviisi on Magalhãesi Pilved meile lähimateks välisgalaktilisteks süsteemideks (kui jätta arvestamata mõned

kerasparved). Suure Pilve läbimõõt on umbes 4 tuhat parsekit, Väikese Pilve läbimõõt — kaks korda väiksem.

Peamiseks Suure Pilve tähelepanuväärsuseks on tema kõige heledam täht, korrapäratu muutlik Kuldkala S. Maksimumis on ta pisut nõrgem 8. suurusest ja palja silmaga on ta nähtamatu, kuid tema absoluutne heledus on peaaegu miinus 9 suurust, järelikult on ta nelisada tuhat korda heledam Päikesest. See on kõige heledam täht kõigist meile tuntuist. Samuti on tähelepanuväärne oma mõõtmetega üks selle pilve gaasilistest udukogudest. Kui ta oleks olnud meie Orioni udukogu kaugusel, siis oleks ta võtnud enda alla kogu tähtkuju ja oleks andnud rohkem valgust kui noorkuu sirp; kuid selle kauge maailma astronoomidele on efektseimaks vaatepildiks muidugi meie Linnutee.

„Suur universum".

Kõigile on teada, milliste määratute jõupingutuste hinnaga avastas inimkond, et Euroopa maad moodustavad osa mandrist, s. o. suurest saarest, mis on igalt poolt piiratud ookeaniga, et see saar ei ole ainuke ja et kõik saared koos neid embava ookeaniga moodustavad Maa kerakujulise keha pinna.

Paistab, et veel raskem oleks teada saada, kas mitte meie Maa ise ei ole mingisuguse suure ulatuslikuma süsteemi koostusosaks. Kuid tegelikult osutus see ülesanne kergemaks: polnud veel kõik mandrid avastatud, aga juba teadsime, et Maa on üks planeetidest, mis tiirlevad ümber Päikese, ja et ta kuulub p ä i k e s e s ü s t e e m i, mille ehitus varsti avastati tähelepanuväärse täielikkusega.

Seejärel selgitati põhilistes joontes Linnutee tähtede süsteemi ehitus, millesse kuulub tavalise tähena Päike koos oma planeetidest saatjaskonnaga. See osutus võimalikuks sellepärast, et taevakehad omavad tühiselt väikesi mõõtmeid, võrreldes nende omavahelise kaugusega, ja sellepärast, et ruum kõigis suundades nende vahel on haruldaselt läbipaistev. Seepärast, kuigi Päike oma planeetidega asetseb Linnutee miljardite teiste päikeste täielikus tihnikus, jõuavad kuni meieni valgusekiired kõige kaugemaist tähtede süsteemidest. Selleks, et avastada Linnutee loomust, tuli ainult osata püüda kinni need kiired ja dešifreerida nende poolt toodud teated.

Kuid viimaseil aastail dešifreeriti valgusmärgid, mis võimaldasid meil vaadata palju kaugemale maailmaruumi sügavustesse ja astuda järgmine, veel grandioossem samm. Praegu on järjekorda seatud küsimus tundma õppida süsteem, mille liikmeteks on mitte rohkem ega vähem kui terved linnuteed ehk galaktikad. Selle „galaktikate galaktika" jaoks on välja mõeldud just mitte väga õnnestunud nimetus „Suur Universum".

Valgusmärgid, mis kutsusid esile niisuguse suure ülesande püstitamise, on väikeste udukogude kujutised ülesvõtetel, mis on tehtud hiigla reflektoritega. On osutunud, et mida nõrgemad on udukogud, seda suurem on nende arv. Seesama reegel on kehtiv ka tähtede kohta: selle peatüki algul nägime, et mingisuguse „tähesuuruse" tähtede arv on kolm korda suurem eelmise suuruse tähtede arvust, kuid nõrgemate udukogude arv kasvab tunduvalt kiiremini. Seepärast, kuigi 14. suurusest heledamaid udukogusid pole üle 2000, niisuguse heledusega tähti aga miljoneid, jõuab udukogude arv, lähenedes

äärmistele suurustele, mis on kättesaadavad nüüdisaja instrumentidele, peaaegu järele tähtede arvule ja esimeste arv ulatub kümnetesse miljonitesse. Ülesvõtetel leiame mõnedest taevaaladest tillukesi nõrku, uduseid 20.—21. suurusega laigukesi isegi rohkem kui teravapiirilisi punkte — tähti. Kõik need laigukesed on nõrgad udukogud. Et nad ülesvõtetel on tähtedega segamini ja kujult neist vähe erinevad, siis peeti neid kunagi tõesti „väikesteks" ja võrdlemisi lähedasteks. Arvati näiteks, et iga niisugune udukogu on, nagu väljendas Herschel, udune täht, s. o. päike, mida ümbritseb tolmupilv.

Nende uduste täpikeste tõeline loomus avastati alles 1925.—1926. a., kui Hubble mõõtis ära esimesed kaugused välisgalaktiliste udukogudeni. Algul tegi ta seda muutlikkude tsefeiidide järgi, kuid pärast avastati kauguste määramiste viisid ka niisuguste udukogude jaoks, milledes üksikuid tähti pole näha. Pärast seda läks universumi mõõtmine edasi hiigla sammudega.

Praegusel ajal on tõestatud, et kui välja arvata mõnisada „galaktilist" udukogu, mis meile juba läbi-läbi on teada, siis kujutavad kõik ülejäänud kümned miljonid endast iseseisvaid „välisgalaktilisi" tähtede süsteeme, samasuguseid universumi-saari, nagu on meie Linnutee. Nad asetsevad meist tuhandeid, mõnikord ka miljoneid kordi kaugemal kui tähed, milledega kõrvuti nad tulevad ülesvõtetele. Nagu meie Päike on tavaline täht Linnutee süsteemi miljonite tähtede keskel, nii on meie Linnutee tavaline galaktika „Suure Universumi" miljonite galaktikate keskel.

Need loendamatud universumi-saared pole lõpmatult mitmesugused. Nad moodustavad ainult kolm suurt klassi: elliptilised (E), spiraalsed (S) ja korrapäratud ehk

irregulaarsed (I). Kõigi kolme klassi esindajad asetsevad meie Linnutee lähemas ümbruskonnas, nii et meil oli võimalus nendega hästi tutvuda. Klassi S näidiseks on suur Andromeda udukogu M 31, klassi E näidiseks — tema kaaslane M 32 ja klassi I näidiseks — kaks Magalhãesi Pilve. Niisugune galaktika tüüpide ühetaolisus tõestab veel kord, et kogu universumis allub mateeria ühtedele ja samadele seadustele.

Enamiku galaktikate mõõtmed kõiguvad 300 ja 3000 parseki vahel, s. o. 1000 kuni 10 000 valgusaastani. Niiviisi kuuluvad meie Linnutee ja Andromeda udukogu väga suurte süsteemide hulka, milliseid esineb harva. Kaugused galaktikate vahel, kui võrrelda neid galaktikate mõõtmetega, ei ole nii suured kui kaugused tähtede vahel; need kaugused galaktikate vahel ei moodusta mitte miljoneid galaktikate läbimõõte, vaid ainult sadasid, sageli on isegi tunduvalt väiksemad.

Ameerika astronoom Shapley pööras tähelepanu sellele, et galaktikad moodustavad sageli k u h j u m e i d, mis tuletavad meelde hajutatud täheparvi, kuid võrratult suuremais mõõtmeis. Neid galaktikate kuhjumeid nimetas ta „üligalaktikaiks". Kõige märgatavam üligalaktika asetseb Veroonika Juuste ja Neitsi tähtkujus. See kuhjum kulgeb 10^0 laiuse ribana tuntud tähtkujust Veroonika Juuksed otse lõunasse ja lõpeb Kaarna tähtkuju ja Spiika (Neitsi α) vahel. Isegi asjaarmastajate täheatlastes on selles ruumis märgitud kuni 20 udukogu. Shapley uurimuste kohaselt koosneb see kuhjum vähemalt 300 galaktikast, mis asetsevad ruumis läbimõõduga vähemalt 2 miljonit valgusaastat. See kuhjum on üks meile lähemaist: valgus tuleb sealt „ainult" 8 miljonit aastat. Seepärast näivad ka udukogud, milledest koos-

neb kuhjum, meile üsna heledatena — 8. kuni 15. suuruseni, ja mõned neist on nähtavad ka kõige nõrgemate pikksilmadega.

Üks kõige kaugematest galaktikate kuhjumitest avastati 1931. a. Lõvi tähtkujus, mitte kaugel heledast Regulusest. Pindalal, mis võrdub Kuu kettaga, asetseb rohkem kui 250 äärmiselt nõrka udukogu läbimõõtudega mõned sekundid ja heledusega 17. kuni 19. suuruseni. Kaugust selle kuhjumini hinnatakse 105 miljonile valgusaastale.

Välisgalaktiliste udukogude liikumiste uurimine viis väga kummalise nähtuse avastamiseni. Pandi tähele, et kõikide galaktikate puhul, välja arvatud 2—3 kõige lähedasemat, on spektrijooned nihutatud oma normaalseist kohtadest spektri punase otsa poole. Meile tuntud Doppleri printsiibi järgi tähendaks see, et udukogud e e m a l d u v a d meist, ja nihkumise suuruse järgi võib mõõta eemaldumise kiirust. Kuid peatselt selgitasid Hubble ja teised astronoomid, et udukogude eemaldumise kiirus on seda suurem, mida kaugemal on udukogud Päikesest, ja väga kaugete galaktikate puhul saavutab see kümneid tuhandeid kilomeetreid sekundis. Siit järgneb kummaline tulemus, et tähtede süsteemid nagu lendaksid laiali igale poole. Võib arvata, et mingisugust udukogude „laialilendamist" tegelikult pole ja et joonte „punanihked" nende spektrites ei teki mitte eemaldumisest, vaid mingisugusest muust põhjusest.

On võimalik, et „punanihke" seletus antakse füüsika uue osaga — lainete mehhaanikaga, mille järgi valgus ei kujuta endast mitte üksnes lainet, mis levib ruumis, vaid ka mõnesuguste energiaosakeste — valguskvantide — edasikannet. Lennates miljoneid aastaid läbi

galaktikate-vahelise ruumi võib kvant kaotada osa oma energiast. Peatükis astrofüüsika üle nägime, et energia vähenemine on samaväärne valguse võngete sageduse vähenemisega, s. o. laine pikkuse suurenemisega. Seda lainete pikkuse suurenemist märkame täiesti samasuguse spektraalsete joonte nihkumise näol punasele otsale, mida pannakse tähele ka taevakeha eemaldumisel. Milline põhjus võis vähendada kvantide energiat, seda me veel ei tea, kuid on kerge kujutleda, et see vähenemine on seda suurem, mida pikem on kvanti tee maailmaruumis. Seepärast on spektraalsete joonte nihkumine seda suurem, mida kaugemal on udukogu, mida vaadeldaksegi tegelikult.

Kahtlemata lahendatakse punanihke mõistatus õige varsti. Selle tagatiseks on kaugete galaktikate uurimise hiigla edu äsja möödunud kahekümne aasta jooksul. Piisab ütlemisest, et on juba kindlaks määratud kaugused udukogudeni, milledelt tuleb valgus kuni 400 miljoni aasta jooksul. Need udukogud muidugi ei erine millegagi meile lähedaste tähtede süsteemidest, ja kui me kanduksime kõige kaugemal asetsevale udukogule, ei oleks me põrmugi lähenenud maailmaehitise piirile. Seda piiri pole olemas — universum on lõpmatu.

Taevakehade evolutsiooni küsimus.

Maailm on lõpmatu mitte üksi ruumilt, vaid ta on igavene ka ajas: temal ei ole olnud algust ega tule ka lõppu. Ta on alati koosnenud ja koosneb ka tulevikus materiaalist, mis liigub maailmaruumis. Selline on materialistliku loodusteaduse põhiprintsiip.

Kaasaegne kujutlus mateeriast erineb tublisti endiste materialistide kujutlustest. Varemalt arvati, et mateeria koosneb *aatomitest*, kõige väiksematest osakestest, mida enam ei saa pihustada veel väiksemateks osadeks. Aatomid on igavesed ja muutumatud, nad ainult liituvad ja lahutuvad lõpmata mitmekesistes kombinatsioonides. See ongi mateeria jäävuse seadus ehk *massi muutumatuse seadus*, mis siiamaani moodustas praktilise keemia aluse. Praegu teame, et aatomid ei ole viimaseiks „jagamatuiks" osakesteks: igaüks neist kujutab endast tervet elektronide, prootonite ja teiste osakeste süsteemi.

Veel rohkem, mingisuguse keha massi ei peeta nüüd ainult aine koguse mõõduks kehas, vaid ka selle energia mõõduks, mida sisaldab keha oma ainес. Mass ja energia on ekvivalentsed, nagu öeldakse; energia omab massi. Massi muutumatuse seadus ühtib niiviisi teise maailmaseadusega — energia *jäävuse* seadusega.

On võimalik, et teadus lähemal ajal näitab, millisel viisil tekkis ja tekib aine (s. o. aatomid), näiteks kas elektrist või kiirgusenergiast. Kuid see ei ole „mateeria tekkimise" avastus, vaid jällegi kirjeldus, kuidas maailma mateeria läheb üle ühest vormist teise. Mateeria ise aga eksisteerib igavesti, ei teki ega hävine, vaid läheb ainult üle lõpmata mitmekesistesse vormidesse täpsete loodusseaduste järgi.

Seepärast on küsimus taevakehade ja Maa tekkimisest küsimus sellest, kuidas nad moodustusid igavesti eksisteerivast mateeriast muutumatute füüsikaliste seaduste mõjustusel, mis valitsevad tema muutumist. Et aga maailma kehade tekkimist pole veel kunagi vaadeldud,

siis võib vastata sellele küsimusele enam või vähem usutava arvamuse ehk teadusliku hüpoteesi kujul.

Meie Maa minevik.

Inimesed on päris hiljutised Maa elanikud. Niinimetatud inimkonna elu ajalooline ajastu hõlmab kõigest mõnd aastatuhandet. On tõsi, sellele ajastule eelnes palju pikem eelajalooline ajastu, mille jooksul inimene aeglaselt arenes poollooma seisukorrast kuni esimeste kultuuri astmeteni. See ajajärk kestis vähemalt sadasid aastatuhandeid. Kuid ka see ajajärk on tühiselt lühike, võrreldes selle osa Maa ajalooga, mis oli möödunud enne inimese ilmumist, s. o. kuni ajastuni, mil üks liik suuri ahve hakkas kõndima tagumistel jalgadel, õppides tarvitama peale hammaste ja küünte veel kive ja kaikaid ja tänu sellele osutus võitjaks halastamatus võitluses olemasolu eest.

Selle ajaloo mälestusmärgid on säilinud Maa põues kivististe — ammu kadunud loomade ja taimede jäänuste — näol. Õpetlased — geoloogid ja paleontoloogid — oskavad lugeda nendelt kivististelt Maa kõige vanemat ajalugu, niisama kui teised õpetlased — ajaloolased ja arheoloogid — taastavad muistse rahva elu tema kultuuri jäänuste järgi. Geoloogid on teinud selgeks, et elu Maa peal arenes sadade miljonite aastate jooksul, enne kui ilmus inimene. Mida iidsem on ajajärk, seda tugevamini erinevad siis elanud olevused nüüdisaegsetest. Kõige kaugematel aegadel leiame elu aga ainult Maa meredes. Mandrid on küll juba olemas, kuid need tõusevad ookeanidest kui määratu suured, absoluutselt elutud graniitse maakera koore väljaulatuvad osad. Lõp-

peks vaadates tagasi veel kaugemasse minevikku, miljardeid aastaid tagasi, näeksime kogu Maad tuliselt vedelana, mis pole veel kattunud selle maa koorega, millel hiljem tekkisid ookeanid sadestunud veeaurudest.

Mida kaugemale tungime minevikku, seda udusemaks muutub meile maailma pilt. Lõppeks saabub silmapilk, millal geoloogia ei saa meile enam midagi anda, mispärast oleme sunnitud pöörduma kaasabi saamiseks astronoomia poole; astronoomia viib aga küsimuse Maa evolutsioonist seosesse veel üldisema küsimusega, — kogu päikesesüsteemi evolutsioonist.

Planeetide süsteemi tekkimine Laplace'i järgi.

Kõige tuntum hüpoteesidest, mis seletab päikesesüsteemi tekkimist, kuulub Laplace'ile. See suur teadlane, range matemaatik-materialist, esitas oma oletuse tema enda sõnade järgi „ettevaatusega, mis on tarvilik kõigeks, mis pole vaatluste või arvutuste tulemuseks". Seepärast ei esitanud ta seda mitte oma peateoses „Taevamehhaanika", vaid populaarses „Maailmasüsteemi käsitluses", ja sealgi „märkuse" näol päris raamatu lõpus.

Millised planeetide süsteemi iseärasused võivad heita valgust tema tekkimisele? Need iseärasused on tõesti tähelepanuväärsed:

1) Kõik planeedid tiirlevad ümber Päikese peaaegu ühes tasapinnas ja kõik ühes suunas.

2) Samas suunas tiirlevad ka peaaegu kõik planeetide kaaslased.

3) Päikese ja planeetide pöörlemine ümber oma telje toimub jällegi samas suunas.

4) Planeetide ja kaaslaste orbiidid on oma kujult lähedased ringidele.

Meie süsteemi kõikide liikumiste ühesuunalisus ei või olla juhuslik. Et aga kaugused planeetide vahel on väga suured, siis on selge, et nende ühesugune liikumine ei ole esile kutsutud nende vastastikustest külgetõmmetest praegusel ajal, vaid selle põhjust tuleb otsida kaugest minevikust. On tõenäoline, et kõik meie süsteemi liikmed moodustasid kunagi ühe hiigla keha, mis pöörles sellessamas suunas, milles praegu tiirlevad planeedid.

Laplace ja varem veel filosoof K a n t väljendasid mõtte, et niisuguseks kehaks võis olla udukogu, kerakujuline, tihedam keskosas ja hõredam pinna läheduses (säärased udukogud olid juba kirjeldatud Herscheli poolt). Keskset tihendust nimetab Laplace Päikeseks ja ülejäänud udukogu — tema atmosfääriks. Selles atmosfääris oli auru kujul kogu see aine, millest praegu koosnevad planeedid. Udu täitis kogu praeguse planeetide süsteemi ruumi, oli tulises olekus ja pöörles ümber telje. Kõrge temperatuuri ja udu pöörlemise põhjuste üle ei esita Laplace mingisuguseid arvamusi. Temale on see lihtsalt etteantud süsteemi a l g s e i s u n d, lähtepunkt järgnevateks arutlusteks, mis on haruldaselt lihtsad ja selged.

Pinnalähedase jahenemise tagajärjel tõmbub tuline udukogu kokku, tema raadius väheneb. Seejärel peab mehhaanika seaduste järgi udukogu pöörlemise kiirus s u u r e n e m a, et jääks muutumatuks pöörlemise hulk, s. o. kiirus, korrutatud raadiusega. Kuid kiiruse suurenemisega suureneb ka niinimetatud tsentrifugaalne jõud, mille mõjul masinate hoorattad mõnikord purunevad tükkideks. Tsentrifugaalse jõu tagajärjel muutub pöörlev gaasiline kera algul pooluste juures lapikuks, nagu on

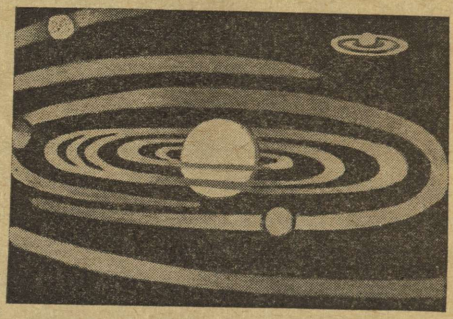
pöörlemisel muutunud lapikuks Jupiter ja isegi Maa; seejärel võtab ta ketta või läätse kuju (kuju, mille saame, kui kaks taldrikut servipidi kokku paneme).

Kuid kokkutõmbumine ikka jätkub, pöörlemise kiirus, ühes sellega aga ka tsentrifugaalne jõud kogu aja suurenevad ja lõppeks saabub kriitiline moment: ümberringi, piki ketta teravat äärt, s. o. udukogu ekvaatorit mööda muutub tsentrifugaalne jõud võrdseks kogu massi kesktõmbejõuga. Siis kaotavad udukogu välimised ekvatoriaalsed osad kaalu ja eralduvad kitsa pöörleva vöö kujul, ülejäänud sisemine osa aga jätkab kokkutõmbumist.

Kohe pärast esimest vööd eraldub teine, mõnevõrra väiksema raadiusega vöö, seejärel kolmas jne. Kui osakeste eraldumine toimuks kogu aja täiesti ühtlaselt, siis liituksid kõik loendamatud kitsad vöökesed ja moodustaksid laia rõnga ekvaatori tasapinnas, sarnlevalt õlgkübara tasase servaga või Saturni rõngaga. Kuid mõned vöödest osutuvad tihedamaks kõrvalseisvaist, nad tõmbavad enda külge ümbritsevad osakesed, ja järk-järgult jaguneb ühine lai rõngas reaks kontsentrilisteks „Laplace'i rõngasteks" hiigla vahemaadega üksteise vahel. Iga rõnga raadius võrdub ühe praeguse suure planeedi orbiidi raadiusega. Järelikult, mida kaugemal on planeet Päikesest, seda varem on ta tekkinud, seda vanem on ta.

Hiljem puruneb pöörlev rõngas, sest tema tihedamad osad tõmbavad enda juurde hõredamaid. Saadakse mitu gaasilist tompu, mis tiirlevad üht ja sama ringorbiiti mööda. Need tombud kogunevad aja jooksul üheks massiks, mis jätkab liikumist ümber Päikese rõnga raadiuse kaugusel. Nii tekivad planeedid. Algul on nad veel gaasitaolises olekus (vt. joon. 100).

Edasi näitab Laplace, et planeedi mass peab peale tiirlemise ümber Päikese saama veel ka samasuunalise pöörlemise ümber oma telje. Seepärast kordub planeedi massiga vähemal kujul seesama protsess, mis toimus kogu Päikese udukoguga: kokkutõmbumine, rõngaste eraldumine ja nendest väikeste omaette kehade — planeetide kaaslaste — tekkimine. Üheainukesel planeedil osutus üks rõngastest väga ühtlaseks; seepärast ei moodustanud



Joon. 100. Oletatav planeetide süsteemi tekkimine Laplace'i järgi.

ta jahenemisel mitte suurt kaaslast, vaid loendamatu hulga väikesi osakesi, mis on jaotatud üle kogu endise gaasilise rõnga ruumi. See on Saturni rõngas.

Jeans'i hüpotees ja tähtede süsteemide evolutsioon.

Laplace'i hüpotees seletas hästi ära kõik planeediliste liikumiste iseärasused. Oma lihtsuse ja ülevaatlikkuse tõttu peeti teda ligi saja aasta jooksul peaaegu niisama usaldusväärseks kui Kopernikuse süsteemi. Kuid hiljem avastati astronoomilisi nähtusi, mis rääkisid Laplace'i hüpoteesile vastu ja mõned tema arutlustest

osutusid ekslikeks. Seepärast peetakse praegusel ajal tõenäolisemaks hüpoteesi, mis on rajatud hoopis teisel printsiibil, nimelt äkilisel maailma katastroofi ideel.

Seda katastroofi kujutlevad õpetlased mitut moodi. Kõige rohkem tuntud on pilt, mis on kirjeldatud Jeans'i poolt. Oma matemaatiliste uurimiste põhjal peab ta vähe-usutavaks, et üksik udukogu ilma teiste kehade kaas-mõjuta võiks järk-järgult muutuda suureks kehaks (päikeseks), mis on ümbritsetud väikestest kehadest (pla-neetidest). Udukogu peaks pigemini tihenema üheks kehaks — päikeseks või täheks. Kui aga udukogu pöör-les väga kiiresti, siis ei pidanud ta purunema mitte rõngasteks, nagu oletab Laplace, vaid kaheks, vahest ka mitmeks peaaegu ühesuguse suurusega lahusolevaks tombuks. Tekib kaksiktäht, milliseid on nii palju uni-versumis.

Jeansi järgi tihenes meie Päike omaette taevakehaks ja oleks jäänud selleks igavesti, kui tema peale ei oleks mõjunud väline jõud. Miljardid aastad tagasi möödus Päikesest teine täht niivõrd lähedalt, et mõne aja jooksul tõmbas ta enda poole temale lähedasi Päikese pinna osi tugevamini, kui tõmbas neid osi Päikese enda tsentraalne mass. Seepärast eraldus osa Päikese kestast ja kandus maailmaruumi gaasilise joana, mis oli suunatud teise päi-kese poole. Viimase eemaldumisel katkes aegapidi purs-kumine. Kuid mitte kogu ärarebitud aine ei langenud tagasi Päikese peale: osa sellest hakkas tiirlema ümber Päikese kooldunud udulise haruna. See gaasiline haru asendab Jeansil Laplace'i rõngaid. Aja jooksul, oma osade vastastikuse külgetõmbe mõjul, lagunes ta üksi-kuiks gaasilisteks tompudeks — tulevasteks planeeti-deks, mis jahenedes omandasid vedela ja seejärel tahke

oleku. Nende kehade orbiidid olid algul väga välja venitatud ellipsiteks, nii et planeedid teataval ajal tulid väga lähedale Päikesele. Niisuguste lähenemiste puhul rebis Päikese tõmbejõud neilt omakorda väiksemate mõõtmetega gaasilisi jugasid, milledest hiljem tekkisid planeetide kaaslased. Pärastpoole lähenesid planeetide orbiidid oma kujult ringidele, sest planeedid liikusid gaasilises atmosfääris ja nende liikumine muutus järk-järgult hõõrumise tõttu. Lõppude lõpuks hajus atmosfäär ja planeetidevaheline ruum jäi peaaegu tühjaks ja läbipaistvaks.

Jeansi hüpotees põrkab samuti kokku raskustega, näiteks kaaslaste tekkimise seletamisel. Jeansi teooria peamine puudus seisneb aga selles, et ta loob meie päikesesüsteemi jaoks täiesti erandliku osa maailmaehitises. Tõelikult on tähtede kaugused nii tohutud, et tähtede erakordsed lähenemised, millede puhul ainult võivadki tekkida planeedid, on äärmiselt ebatõenäolised. Seepärast ei moodusta meie süsteemiga sarnased planeetide süsteemid selle hüpoteesi järgi universumis mitte reeglit, vaid kõige harukordsema erandi. Niisugune järeldus näis varemaltki ebausutavana, praegu aga võib teda pidada lihtsalt ebaõigeks. Nagu juba rääkisime, on kõige viimaseil aastail tõestatud, et paljude tähtede ümber tiirlevad planeedid, kuigi nad pole veel nähtavad meie pikksilmadega. Et päästa Jeansi hüpoteesi sellest vastuväitest, arvatakse, et planeetide süsteemide tekkimine ümber tähtede toimus varsti pärast tähtede endi tekkimist. Mingisugune hiigla udukogu, arvatavasti spiraalne, jagunes tihenedes üksikuteks tompudeks-tähtedeks, mis algul asetsesid palju väiksematel kaugustel üksteisest kui praegu. Seepärast pidid tähtede tihedad lähenemised juhtuma siis tunduvalt sagedamini kui praeguses hõredas

universumis. Niisugune „poolkokkupõrge" juhtuski meie Päikesega, kui ta tormas kõrvuti miljonite teiste tähtedega veel noore ja võrdlemisi tiheda spiraalse udukogu harus.

Selle arutluse üldine idee on õpetlik: nähtavasti ei tule meie päikesesüsteemi tekkimise küsimust lahendada mitte isoleeritult, vaid koos meie Linnutee kogu tähtede süsteemi ehituse ja tekkimise küsimusega.

Praegusel ajal pole niisugust planeetide süsteemi tekkimise hüpoteesi, mis leiaks säärast peaaegu üldist tunnustust nagu Laplace'i hüpotees aastat viiskümmend tagasi. On võimalik, et teaduse edasisel arenemisel elustub see hüpotees jällegi mingisugusel uuel kujul, ehkki tema põhilisel alusel: enda hooleks jäetud pöörlev mass muutub planeetide süsteemiks ainult oma sisemiste jõudude mõjul ilma mingisuguse välise kaasmõjuta.

Me juba nimetasime, et nähtavasti just nii tekivad kaksik- ja mitmiktähed. Võib endale samuti kujutleda, et pöörlevaist massidest, kuid palju grandioossemaist, tekivad terved galaktikad, hiiglaslikud tähtede süsteemid. Algastmes vaatleme neid kerakujuliste välisgalaktiliste udukogude näol. Seejärel muutub kera ikka rohkem ja rohkem lapikuks ning läheb üle kettaks; need on sageli esinevad elliptilised udukogud. Veel hilisemas staadiumis toimub ketta ekvaatoril aine eraldumine, mitte aga Laplace'i rõnga kujul, vaid spiraalsete harude näol. Tekivad spiraalsed tähtede süsteemid, millede hulka arvatavasti kuulub ka meie Linnutee.

Niisugune tähtede süsteemide evolutsiooni pilt kerkib iseendast meie silmade ette mitmesuguste välisgalaktiliste udukogude ülesvõtete võrdlemisel (vt. joon. 98). Teaduslikult võib seda põhjendada alles pärast seda, kui

me paremini teame neist jõududest, mis avaldavad tegevust gaasi- ja tolmuudukogude sisemuses udukogu muutumisel tuliste tompude — tulevaste päikeste — parveks.

Täpselt niisama saab meile selgemaks ka see, kuidas üksik udutomp muutub päikesesüsteemiks, kui on läbi uuritud tema *sisemised jõud*, eriti jõud, mis tegutsevad meie Päikese sisemuses.

Siiani võtsid kosmogooniliste hüpoteeside loojad oma arutlustes arvesse peaaegu eranditult gravitatsiooni. Seepärast võib nende poolt loodud hüpoteese nimetada *mehhaanilisteks*. On arusaadav, et need olid puudulikud; parimal juhul andsid need ainult kõige kohmakama ning lihtsustatud skeemi taevakehade evolutsiooni protsessist. Nende hüpoteeside asemele ilmuvad juba meie endi nähes füüsikalised hüpoteesid. Need on vanade mehhaaniliste hüpoteeside loomulikuks arenemisfaasiks. Rööbiti gravitatsioonijõu mõju arvestusega püüavad need uued teooriad arvestada tähtede sisemise energia kosmogoonilist osa, jõudude mõju, mis on tegevad tähtede aatomite vahel; need jõud omavad peaaegu kindlasti siseaatomlikku päritolu.

Niisiis püstitab taevakehade tekkimise küsimus meie ette sellesama ülesande, mille püstitab ka Päikese soojuse allikate küsimus, nimelt aatomi sisemise ehituse ülesande. Üks astrofüüsik ütles: „Tee tähtede tundmiseks läheb läbi aatomi."

Lisad.

Tabel I.

Suurte planeetide elemendid.

Planeet	Tiirlemise aeg ümber Päikese		Keskmine kaugus Päikesest		Orbiidi ekstsentrilisus	Orbiidi kalle kraadides	Mass (Maa=1)	Tihedus (Maa=1)	Ekvaatori läbimõõt		Lapikus	Pöörlemise aeg ümber telje	Kaaslaste arv
	ööpäevades	aastates	astron. ühikutes	miljonites km-tes					Maa=1	km-tes			
Merkuur	87,97	—	0,387	58	0,206	7	0,04	0,69	0,39	4 970	0	88 p.?	—
Veenus	224,70	—	0,723	108	0,007	3	0,82	0,88	0,96	12 300	0	?	—
Maa	365,26	1 a.	1,000	149	0,017	0	1	1	1	12 756	$\frac{1}{293}$	23 t. 56 m. 4 s.	1
Marss	686,98	1 a. 322 p.	1,524	228	0,093	2	0,11	0,72	0,53	6 780	0 ?	24 t. 37 m. 23 s.	2
Jupiter	4 332,59	11 a. 315 p.	5,203	778	0,048	1	317	0,24	10,9	139 060	$\frac{1}{15}$	9 t. 50 m.	11
Saturn	10 759,20	29 a. 167 p.	9,539	1 426	0,056	2	95	0,13	9,0	114 000	$\frac{1}{10}$	10 t. 14 m.	9
Uuran	35 686,29	84 a. 7 p.	19,191	2 869	0,047	1	15	0,23	4,0	51 200	$\frac{1}{12}$	10 t. 50 m.	4
Neptuun	60 188,71	164 a. 280 p.	30,07	4 495	0,009	2	17	0,29	3,9	49 700	?	15 t. 25 m.	1
Pluto		249 a.	39,5	—	0,25	18	?	?	?	?	?	?	
Päike							332 000	0,26	109	1 380 000	0	25 p.	

Tabel II.

Kõige heledamad tähed (heleduse järjekorras).

Tähistus	Nimetus	Nähtav suurus	Omaliikumine	Parallaks	Kaugus valgusaastates	Spekter
*Suure Peni α	Siirius	—1,6	1″,32	0″,38	8,6	A
Argo Laeva α	Kanoopus	—0,9	0,01	—	—	F
*Tsentauruse α		+0,1	3,68	0,76	4,3	G
Lüüra α	Veega	0,1	0,36	0,12	26	A
*Veomehe α	Kapella	0,2	0,43	—	—	G
Karjuse α	Arktuur	0,2	2,28	—	—	K
*Orioni β	Riigel	0,3	0,02	—	—	B
*Väikese Peni α	Prootsion	0,5	1,25	0,29	11	F
Eridani α	Ahernar	0,6	0,08	—	—	B
*Tsentauruse β		0,9	0,04	—	—	B
Kotka α	Altair	0,9	0,65	0,20	16	A
*Orioni α	Betelgeuse	(0,9)	0,03	—	—	M
*Lõuna Risti α		1,0	0,05	—	—	B
Sõnni α	Aldebaran	1,1	0,19	—	—	K
*Neitsi α	Spiika	1,2	0,05	—	—	B
Kaksikute β	Polluks	1,2	0,63	—	—	K
*Skorpioni α	Antaares	1,2	0,04	—	—	M
Lõuna Kala α	Fomalhaut	1,3	0,38	0,13	25	A
*Luige α	Deeneb	1,3	0,00	—	—	A
Lõvi α	Regulus	1,3	0,24	—	—	B
*Lõuna Risti β		+1,5	0,06	—	—	B
	Päike	—26,7				G

Nimestikku on paigutatud kõik 1. suuruse tähed (21). Kaksiktähed on märgitud tärnikesega. Omaliikumine on antud aasta kohta. Aastased parallaksid on suured ainult 7 tähel, ülejäänutel on need liiga väikesed kauguse arvutamiseks küllaldase täpsusega. Viimases veerus on märgitud spektri tüüp.

Sisukord.

		Lk.
I peatükk.	**Sissejuhatus**	3
	Taevas ja inimene	3
	Astronoomia tekkimine praktilise elu vajadustest	5
	Tähed ja tähtkujud	7
	Maa ja taeva pöörlemine	10
	Astronoomilised koordinaadid	13
	Omaliikumisega taevakehad	14
	Zodiaak ja ekliptika	17
	Maailma pooluste liikumine ehk pretsessioon	18
	Planeetide süsteem	20
II peatükk.	**Astronoomilised instrumendid ja vaatlused**	22
	Mis on astronoomiline vaatlus?	22
	Pikksilm	29
	Nüüdisaegne refraktor	37
	Astronoomilise pikksilma ekvatoriaalne seadeldis	39
	Peegelteleskoobid ehk reflektorid	42
	Meie aja suurimad teleskoobid	45
	Vaatleva astronoomia ülesanded	50
	Meridiaanring ja ekvatoriaal	52
	Päevapildistamine astronoomias	57
III peatükk.	**Taevakehade füüsilise uurimise meetodid ja instrumendid**	61
	Valguse analüüs	61
	Liht- ja liitvalgus	62
	Pidev spekter	64
	Joonspektri šifreeritud pealdis	65
	Elementide spektrid	67

Lk.

Kuidas tekivad spektraaljooned 69
Taevakehade spektraalanalüüs 74
Mida võib veel välja lugeda taevakehade spektrist? 76
Ionisatsioon 77
Doppleri printsiip 79
Spektraalaparaadid 81
Taevakehade fotomeetria 83

IV peatükk. **Kogumaailmse gravitatsiooni seadus** 87
Kuidas vanasti seletati taevakehade liikumist . . . 87
Liikumised Maal ja maailmaruumis 90
Gravitatsiooniseaduse tähtsus teaduses ja kultuuri ajaloos 96
Kopernikuse süsteem 97
Kepleri seadused 100
Galilei ja Giordano Bruno 106
Newton ja gravitatsiooni avastamine 109
Kepleri seaduste parandamine Newtoni poolt . . . 113
Planeetide kaalumine 115
Gravitatsiooni üldsus ja Maa kaalumine 116
Taevamehhaanika 117
Planeetide süsteemi stabiilsus 122
Planeetide süsteemi stabiilsuse põhjus 124
Neptuuni avastamine 125
Seletamatud kõrvalekaldumised gravitatsiooniseadusest 130
Kuidas arvutatakse taevakehade liikumist 132
Planetaarium 135

V peatükk. **Kuu** 139
Kuu taevakehana universumis 139
Kuu liikumine 141
Kuu liikumise muutlikkus 143
Milleks arvutatakse Kuu liikumist 144
Kuu faasid 147
Kuu nähtavus mitmesugusel ajal 150
Kuu valgus ja Maa valgus 151
Kuu pöörlemine ümber telje 154
Mis on näha Kuul? 156

Lk.
Maailm ilma vee ja õhuta 162
Miks ei ole Kuul atmosfääri? 164
Kuu pinna ehituse küsimus 165
Kuu kraatrid ja „lendtähed“ 167
Meteoriitsed kraatrid Maa peal 170
Kuu mõju Maale 171
Kuu ja looded (tõus ja mõõn) 173
Masin loodete ennustamiseks 177
Looded ja muutused Maa-Kuu-süsteemis 179

VI peatükk. **Kuu- ja päikesevarjutused** 182
Kuuvarjutused 183
Päikesevarjutused 186
Varjutuste ennustamine 191

VII peatükk. **Planeedid** 194
Planeetide süsteemi ehitus 194
Merkuur 197
Veenus 202
Kaksikplaneet „Maa-Kuu“ 210
Marss 211
Väikesed planeedid 226
Hiidplaneedid 236
Jupiter 240
Jupiteri kaaslased 243
Saturn ja tema rõngas 248
Uuran 254
Neptuun 257
Pluto 259

VIII peatükk. **Komeedid ja „lendtähed“** 263
Komeetide liikumine 265
Komeetide mõõtmed ja massid 271
Komeetide ehitus 274
Komeetide lagunemine 277
Kas komeedid on hädaohtlikud? 280
„Lendtähed“ 281
Meteoorsed voolud 284
Meteoriitide osa maailmaehitises ja teaduses . . . 290
1908. a. Tunguska meteoriit 291

Lk.

IX peatükk. **Päike** 293
Kaugus Päikeseni ja selle mõõtmine 294
Päikese mõõtmed 297
Päike — gaasiline kera 299
Mis on näha Päikese peal teleskoobi abil? 301
Päikese laigud ja nendega seoses olevad nähtused . . 305
Mida on näha ümber Päikese varjutuse ajal? . . . 308
Päikese spektraalne uurimine 310
Päikese kroon 317
Päikesevarjutus 19. juunil 1936. a. 319
Einsteini efekt 320
Päikeseenergia ja elu Maa peal 321
Nüüdisaja teaduse suur probleem 326

X peatükk. **Tähtede maailm** 330
Kaugused tähtedeni 331
Tähtede arv ja heledus 334
Tähtede füüsikaline ehitus 339
Tähtede mass ja tihedus 345
Muutlikud tähed 350
„Uued“ tähed 356
Planeetide süsteemid ümber tähtede 359

XI peatükk. **Maailma ehitus ja evolutsioon** 363
Linnutee — suur tähtede süsteem 363
Galaktilised täheparved ja udukogud 366
Galaktika kuju ja mõõtmed 369
Tähtede liikumine 372
Täheparved väljaspool Galaktikat 382
Välisgalaktilised udukogud 385
„Suur universum“ 395
Taevakehade evolutsiooni küsimus 400
Meie Maa minevik 402
Planeetide süsteemi tekkimine Laplace'i järgi . . . 403
Jeans'i hüpotees ja tähtede süsteemide evolutsioon . 406

Lisad 411
Tabel I. Suurte planeetide elemendid 411
Tabel II. Kõige heledamad tähed (heleduse järjekorras) 411

Vastutav toimetaja
A. Koskel.
Tehniline toimetaja
H. Seletus.

Ladumisele antud 19. II 48.
Trükkimisele antud 19. IV 48.
Paberi kaust 56×79.1/16. Trükipoognaid 26 + lisa 1/4. Autoripoognaid 16,2. Arvestuspoognaid 18,5. MB 01389. Laotihedus trpg. 30 100. Tiraaž 4 200. Trükikoja tellimus nr. 396.
Trükikoda „Hans Heidemann“
Tartu, Vallikraavi 4.

Hind rbl. 15.—

Н. Ф. Полак, Общедоступная астрономия.

На эстонском языке.
Эгосиздат „Научная Литература“, Тарту.



RK „TEADUSLIKU KIRJANDUSE" KIRJASTUSEL 1947/48. AASTAL ILMUNUD POPULAARTEADUSLIKUD TEOSED.

	Lk.	Hind
Bajan, O., Esimesed Kesk-Aasia uurijad	76	Rbl. 3.—
Dorfman, V. A., Elus ja eluta loodus	44	„ 2.—
Dzerdzejevski, B. L., Õhumeri	42	„ 3.—
Frolov, J. P., Jutustusi füsioloogiast	140	„ 6.—
Iljin, M., Jutustusi asjadest	343	„ 15.—
Iljin, M., Mäed ja inimesed	240	„ 5.—
Iljin, M., ja Segal, J., Kuidas inimesest sai hiiglane	196	„ 6.—
Ivanovski, M., Päikese perekond	194	„ 8.75
Joffe, A. F., Elektrilaeng	46	„ 2.—
Katšinski, N., Mulla tekkimine ja elu	76	„ 2.50
Keller, B. A., Kuidas tekkis elu maakeral	44	„ 2.—
Kostõkov, J., Imelamp	120	„ 5.—
Kunitski, R. V., Päev ja öö. Aastaajad	37	„ 2.—
Lunkevitš, V. V., Kohutavad loodusnähtused	138	„ 8.—
Makarenko, A., Raamat lastevanemaile	410	„ 12.—
Netšajev, I., Jutustusi elementidest	160	„ 8.—
Orlov, V., Leiduri saladus	165	„ 6.50
Polak, I., Aeg ja kalender	50	„ 2.—
Polak, I., Astronoomia kõigile	416	„ 15,—
Poljakov, G. I., Närvisüsteemi evolutsioon	97	„ 5.—
Russel, H. N., Päikesesüsteem ja selle tekkimine	126	„ 10.—
Saveljev, L., Jäljed kivil	334	„ 10.—
Subbotin, M., Maakera tekkimine ja iga	48	„ 2.—
Svešnikov, M. P., Klaasi saladused	217	„ 12.—
Veitkov, F., Elektri edukäik	388	„ 14.—
Piiper, J., Pilte ja hääli Eesti loodusest	192	„ 12.—
Fučik, J., Viimne raamat	148	„ 3.50

Ilmumas:

	Trükipoognaid ca
Aristov, G., Maa ja meri	4½
Bubleinikov, F., Maa aarded	5
Darwin, Ch., Naturalisti reis ümber maailma purjekal „Beagle"	25
Fersman, A. E., Jutustusi teadusest ja selle loojaist	35
Kogumik „Vestlusi loodusest ja inimesest"	17
Novikov, N. I., Elu tekkimine maakeral	2
Perelman, J., Elav matemaatika	11
Perelman, J., Huvitav füüsika I	17
Safonov, V., Elu mõistatus	15
Serebrovski, A., Jutustusi bioloogiast	10
Zavadovski, B., Eluprotsesside keemilised regulaatorid	3
Tumerman, L., Valgus ja selle allikad	4

Lugejale.

Palume lugejaid avaldada oma arvamusi RK „Teadusliku Kirjanduse" kirjastusel ilmuvate populaarteaduslike teoste sisu, tehniliskunstilise kujunduse jne. kohta ning teha omapoolseid ettepanekuid, milliseid konkreetseid teoseid või milliste alade käsitlust soovitakse meie populaarteaduslikus sarjas näha.

Arvamused ja ettepanekud saata RK „Teaduslikule Kirjandusele", Ülikooli 18, Tartu.

HIND RBL. 15.—

Ilmumas:

	Trükipoognaid ca
Aristov, G., Maa ja meri	4½
Bubleinikov, F., Maa aarded	5
Darwin, Ch., Naturalisti reis ümber maailma purjekal „Beagle"	25
Fersman, A. E., Jutustusi teadusest ja selle loojaist	35
Kogumik „Vestlusi loodusest ja inimesest"	17
Novikov, N. I., Elu tekkimine maakeral	2
Perelman, J., Elav matemaatika	11
Perelman, J., Huvitav füüsika I	17
Safonov, V., Elu mõistatus	15
Serebrovski, A., Jutustusi bioloogiast	10
Zavadovski, B., Eluprotsesside keemilised regulaatorid	3
Tumerman, L., Valgus ja selle allikad	4

Lugejale.

Palume lugejaid avaldada oma arvamusi RK „Teadusliku Kirjanduse" kirjastusel ilmuvate populaarteaduslike teoste sisu, tehniliskunstilise kujunduse jne. kohta ning teha omapoolseid ettepanekuid, milliseid konkreetseid teoseid või milliste alade käsitlust soovitakse meie populaarteaduslikus sarjas näha.

Arvamused ja ettepanekud saata RK „Teaduslikule Kirjandusele", Ülikooli 18, Tartu.

HIND RBL. 15.—

I. F. POLAK

ASTRONOOMIA KÕIGILE

V-32056

POPULAARTEADUSLIK SARI

I. F. POLAK

ASTRONOOMIA KÕIGILE

RK

„TEADUSLIK KIRJANDUS"