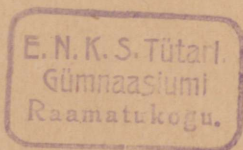


DR. W. NERNST

MAAILM
UUEMATE UURIMUSTE
VALGUSES

TÖLKINUD

E. OISSAR



EESTI KIRJANDUSE SELTSI KIRJASTUS
TARTUS

ÕESTI KIRJANDUSE SELTSI
KOOLIKIRJANDUSE-TOIMKOND

NOORSOO KIRJAVARA NR. 132
POPULAARTEADUSLIK SEERIA

A-4957 III

1649⁶

DR. W. NERNST

MAAILM UUEMATE UURIMUSTE VALGUSES

TÖLKINUD

E. OISSAR

5.209
4480
IV

1 9 2 7

EESTI KIRJANDUSE SELTSI KIRJASTUS
TARTUS

J. Mällo trükk, Tartus.

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

33782

Eessõna.

Käesoleva väikese töökese oluline sisu on edasi anda loengut, mis ma pidasin 19. veebruaril k. a. Preisi Teaduste-Akadeemia poolt korraldatud populaarsete kõnede seerias ja mida ma kordasin varsti pärast seda mõnede täiendustega Viini Insenerideühingus, seega enam eriteadlaste ringis, samuti ka Praha Uraanias. Need ettekanded andsid ülilmõnusa juhuse kõnelda mitmesuguste astronoomidega minu poolt ettekantud ideede üle ja niiviisi vähendada jämedate vigade hädahoitu, mis alati esile tuleb siis, kui uurija teotseb oma erialast kaugemal olevate küsimustega. — Peale selle võib igatahes öelda, et otse füüsikalise keemia uurija peaks olema hästi ette valmistatud, kui on tarvis seisukoht võtta niihästi füüsika kui ka keemia alasse kuuluvais kosmilistes küsimustes.

Näis kasulikuna sissejuhatuse kujul teha üldisi eelmärkusi minu loengu sisust kui ka viimast täiendada märkustega. Niihästi sissejuhatuse kui ka märkused on enam eriteadlaste jaoks, kuna selle töökese peaosale püüdsin anda enam populaarse vormi. Säärase korralduse tõttu pole muidugi võimalik kõrvaldada kordumisi, aga vahest see kergendab arusaamist, kui üksikuid küsimusi korduvalt seletada mitmesugustest vaatepunktidest. — Niihästi kirjanduse muretsemisel kui ka korrektuuride lugemisel aitab mind härra dr. P. Günther.

W. Nernst.

Berliin, september 1921.

Sisu:

	Lk.
Eessõna	5
Sissejuhatus. Probleemide fikseerimine	7
Maailm uuemate uurimuste valguses	10
Täiendused	37
Ilmaruumi temperatuur	37
Raadioaktiivsete protsesside ümberpöördavus	38
Gravitatsioonenergia ja soojus	39
Kinnistähede eluiga	40
Uraan lõhkeainena	51
Päikese energiakiirgus	51
Meteoriitide keemiline koosseis	51
Valguseetri nullpunkti-energia	53
Nii-nim. H e s s i - kiirgus	53
Planeetide ja kaksiktähtede tekkimine	54

Sissejuhatus. Probleemide fikseerimine.

Kui ma aastal 1886 Grazis studeerisin, pidas prof. Boltzmann Viini Teaduste-Akadeemias oma ametisseastumis-kõne termodünaamika teise lause üle¹⁾. Ta märkis selles muu seas, et kõik katsed universumi soojussurmast päästa on jäänud tagajärjeta, ja et ka tema ei tahtvat mingit sellelaadilist katset teha.

See koht, mida ma üliõpilasena lugesin, avaldas minusse suurt mõju ja sest saadik kiindus mu pilk küsimusse, kas ei leidu kuskil pääseteed. Sest kahtlust selles, et termodünaamika teise lause ülalnimetatud järeldus on suurimal määral ebatõenäone, võib küll vaevalt tõsiselt kaitsta; palju enam peab kosmose iga loodusteaduslik teooria välja minema sellest, et maailm asub täiesti termodünaamika eelnimetatud järelduse vastu statsionaarses olekus, seega lahkub kosmosest keskmiselt kustumise läbi sama palju tähti kui uusi hõõguma lööb²⁾.

Praegu ei või küll kahelda, et maailmas energia töövõime hävimise põhjuseks praktiliselt niihästi kui ilma erandita on kiirgus, kusjuures energia teatavasti rändab kõrge kuumusega materias eetermerre; hüpotees, mis peab tasuma töövõime kaotuse, mille termodünaamika teine lause postuleerib überpöörmatute protsesside kohta, ei suuda järjelikult seda teha valguseetris (või, kui tahtakse, „tühjas ruumis“) sisalduva energia abiksvõtmiseta.

1) Populäre Schriften, lk. 25 (Leipzig, Ambr. Barth).

2) Seda vaadet pooldab samuti otsustavalt prof. Arrhenius oma teoses „Werden der Welten“.

Sellelaadilise hüpoteesi olen 1912. a. Münsteri looduseuurijate koosolekul peetud ettekandes¹⁾ „Zur neueren Entwicklung der Thermodynamik“, kuigi enam-vähem mööda minnes, arendanud järgmiste sõnadega:

„Elementide radioaktiivse lagunemise avastus on meid tutvustanud võimsate energia-allikatega, millest meil varemini polnud mingisugust ettekujutust; oletame — iga teine kujutus oleks ilmsesti täitsa meelevaldne —, et kõik elemendid võivad radioaktiivselt laguneda ja et suurem osa elemente lõhustub lihtsamateks algosadeks liiga aeglaselt, et võimaldada lagunemise jälgimist mõõtmise abil, siis jõuame tulemusele, et iga elemendi aatomeis on kogutud energiavarud, millega võrreldes neis sisalduv soojus, s. t. aatomite kineetiline energia ja sellega seotud potentsiaalne energia kui ka esineda võiv keemiline energia on kaduv-väike.

Kuid radioaktiivsed protsessid pakuvad termodünaamikule veel teise üllatava momendi, nimelt ümberpöörmatuse-nähtuse. Kuna näiteks kuitahes keerulist keemilist protsessi, mis läheb ühes sihis, võime kohaste katsetingimuste muutuste abil kahtlemata viia niikaugemale, et ta ka vastupidises sihis läheb, siis pole meil radioaktiivsel muundusel seevastu kõige vähematki peatuspunkti selleks, et on võimalikud niisugused katsetingimused, mis laseksid lagunemisproduktidest taas moodustuda uraani või mõnd teist radioaktiivset elementi; isegi radioaktiivse lagunemise kiirust ei suuda meie väliste katsetingimuste, eriti ka mitte temperatuuri läbi vähimalgi määral muuta. Edasi aga tingib see asjaolu, et termodünaamika teine lause, mis leiab rakendust ainult ümberpöördavates protsessides, on esiotsa võimetu radioaktiivsuse vastu, vähemalt mis puutub nende protsesside kvantitatiivset käsitlust.

Aga vahest ehk võidakse radioaktiivsed nähtused ühendada teises suhtes termodünaamika teise lausega.

¹⁾ Verhandlungen der Gesellschaft deutscher Naturforscher u. Ärzte 1912, I.

Teatavasti viib nimelt termodünaamika teine lause, kõige ilma kohta tarvitusele võetuna, väga fataalsele järeldusele, ja kõiki katseid universumi sellest järeldusest päästa tuleb tänini lugeda luhtaläinuks. Kui nimelt soojuse tagasimuutumine tööks, või — mis sedasama tähendab — liikuvate masside elavaks jõuks, on täitsa võimatu või ainult osalt võimalik, ja kui ümberpöörduvalt looduses kõik protsessid nii lähevad, et suurem või vähem tööhulk muutub soojuseks, seega — nagu veel võib tähistada — degradeeritud energiaks, siis lähevad maailmas kõik protsessid selles sihis, et säärane degradatsioon ikka enam levib; sellest järgneb, et kaovad kõik pingjõud, mis veel võiksid tööd teha, ja seega peaksid viimaks ilmas lõppema kõik nähtavad liikumised.

Selle järeldamisviisi tõelisusele ei saa vastu vaielda, ja tuleb juba ette täitsa võimatuks kuulutada, et diffusioon, soojusejuhtivus, masside tõmbejõud, milles osa elavat jõudu peab muutuma soojuseks, elektrilised protsessid, üldse kõik protsessid, mis üksikult täitsa alistuvad teisele termodünaamika lausele, kombineerituna võiksid õigel arvutusel anda tulemuse, mis oleks vastolus termodünaamika teise lause ülalnimetatud üldnõudega.

Ka radioaktiivse lagunemise nähtused on ilmselt energiadegradatsiooniga seotud protsessid ja sellepärast ei või ülalnimetatud tulemuses põhimõtteliselt mitte midagi muuta, kuigi aatomeis kogutud energiahulgad tähendavad universumi töövõime enneaimamatut kasvu; seeläbi võib küll maailma n. n. soojussurma edasi lükata, kuid mitte takistada tema lõplikku tulekut. Veel enam, peab ütleva, et elementide lagunemise teooria seadis ülalnimetatud energiadegradatsiooni kõrvale samuti vahet pidamata esineva materiadegradatsiooni ja nii ainult veel kahekordistas väljavaated terve ilma jumalatehämärasele.

Kõigest sellest hoolimata näib pääsmine võimalik olevat, kui oletame, et radioaktiivsele lagunemisele mõjub vastuprotsess, kui näiteks kujutleme, et kuigi universumi

kõigi elementide aatomid aja jooksul täieliselt lahustuvad ürgsubstantsiks, mida peame küll identifitseerima n. n. valguseetriga, selle hüpoteetilise vahemeediumiga, et aga selles meediumis võivad esineda, nagu kineetilise teooria järele gaasiski, kõik võimalikud, isegi kõige ebatõenäosamad konstellatsioonid, et sel teel taas moodustub mõne elemendi (kõige tõenäosemalt isegi kõrge aatomikaaluga elemendi) aatom.

See protsess tarvitseb tegelikult üliharva esineda, nagu esiteks selgub harilikkude keemiliste elementide määratupikast elueast ja teiseks ülisuurest hõredusest, milles leidub ilmaruumis materia (keskmiselt iga saja kilomeetri kohta nööpnõelapea-suurune ainekübe!). Kahjuks pole selle tõttu kõige vähematki lootust eksperimentaalselt käsitleda praegu oletatud raadioaktiivse lagunemise ümberpööramise nähtust ja nii soetada äsjaskitseeritud mõttekäigule katsepärast alust. Kuid siiski näis mulle huvi pakkuvat see näpunäide, et praegu on ometi võimalik kaugeltki mitte liiga ebatõenäone vaade, mille järele maailmas olemasolev materia ühes oma energiaga asub teatavas inertses olekus, ja et sellepärast igasuguse sündmustiku täieline lõpp ei tarvitse möödapääsmata olla meie praeguse loodusekäsituse järeltõlkeks.“

Vahepeal on muidugi mõnigi uus väljavaade lisatud, eriti kõneleb mõnigi asjaolu selle kasuks, et minu teada esimest korda ülalnimetatud ettekandes leiduv oletus, mille järele valguseetrit peab kujutlema täidetuna võimsate energiahulkadega, ka igasugusel muul loodusevaatlusel näib pea möödapääsmata tarvilikuna. Järgneva ettekande peasisu moodustab minu ülalnimetatud kosmilise hüpoteesi lähem põhjendus ja edaspidine rakendus.

Maailm uuemate uurimuste valguses.

Võimsaimate muljete hulka, mis võivad mõjuda inimesse, kuulub taevaalaotuse vaatlus selgel ööl; loodusrahvad pidasid tähti osalt paljaiks tulisädemeiks ja osalt

pooldasid tähekultust; rooma inkvisitsioongi veel uskus rändtähti demonite võimuses olevat; isegi nii silmapaistev, moodsa uuringu lävel seisev astronoom kui Tycho de Brahe ei põlanud just taevas valitsevat konstellatsiooni tuleviku ennustuseks kasutada; moodis kultuurinimene on veendunud, et kinnistähed on enamasti meie Päikese sarnased moodustised, ja et kinnistähed ega planeedid üldse iseäranis ei hooli inimsaatuses. Edasi kuulub viimaste aastasadade astronoomilise uuringu tulemuste hulka, et meie Päike moodustab liikme määramatus, umbes läätsekujulises tähtparves, mille äärekujulist piiritelu näeme Linnuteena.

Kunstiteose mõju inimese vaimusse süvendatakse alati refleksioonidega, mis pääsevad võimule tagapool selge teadvuse läve, ja sellest tulebki, et iga suur kunstiteos ergutab järelemõtlevale vaatlusele. Saadakse tugev tõuge tagapõhjas uinuva tunde kohta selgusele jõudmiseks.

Kuid mida tuleb pidada taevalaotuse vaatlemise võimsa esteetilise mõju põhjuseks? Kõige pealt küll meie Maa sündmustiku lõpmatu tähtsusetuse tunnet võrreldes mõõtmatu ruumiga, „milles, nagu rohi öösi, idaneb maailmade müriaade“; kuid iseäranis ruumi ja aja kahekordse lõpmatuse mõte, mis vapustab vaatlejat tumeda aimusena.

Linnutees asuvate päikeste valgus tarvitab uuemate mõõtmiste järele meie juurde jõudmiseks kümneid tuhandeid aastaid, ehk küll valguse kiirus (300 000 km sek.) määratult ületab kõik meile tuntud kiirused; Linnutee kõige kaugemate tähtede kaugust võib arvata isegi kuni kolmekümne tuhande valgusaastani. Tõenäoselt on aga meie vaatlustel pikksilmaga veel nähtavad ilmasüsteemid, mille kaugus on võrratult suurem, ja mis — nagu meiegi Linnutee — moodustavad tähtparvi. Täitsa kindlaks ei saa seda vaadet lugeda, sest on võimalik, et asjaomased moodustised siiski veel kuuluvad meie Linnutee-süsteemi. On aga kindel, et suuremas kauguses Päikesest, s. t. meie

Linnutee-süsteemi piiril kahaneb õige tugevasti teatavas ruumalas leiduv tähtede hulk, n. n. tähtede-tihedus, nii et meie Linnutee-süsteemi faktiliselt tuleb pidada üheks tähtparveks keset ilmaruumi.

Samuti nagu meie ruumimõistet, mis, võrreldes maa-pealsete kaugustega, tuleb kohandada täitsa uutele mõõdetele, kui vaatleme taevaalaotust, samuti maksavad maailma sündmustiku kohta ka hoopis teissugusesse suurusejärku kuuluvad ajad kui need, mis mängivad osa inimesoo ajaloos, n. n. maailma-ajaloos. Seal mõõduandvate ajavahemikkude määramine on muidugi palju raskem kui ruumiliste kauguste leidmine, ja järgnevate vaatluste tähtsaks osaks on selgitada, mis ütlevad selle kohta uue-
mad uurimused.

Siin tekib küsimus, kas meie ruumi ja aja kogemuspärased mõisted nii võimsal mõõdete muutusel kindlasti säilitavad oma esialgse tähenduse; niikaugele kui loodus-
uuring on võinud seda katseliselt kontrollida, on see tõsi. Aga kas ka meie edaspidiseid, väga väikeseulatuseliste mõõtmiste varal saadud katse tulemusi, mille sadestusi leiame füüsika- ja keemiaseadustes, võib muutmata maailmale üle kanda? Seda oletati kinnistähete taeva ehituse vaatlusel ja, seevõrra kui kontrollida võidi, igatahes samuti õigusega. Täitsa kindel pole see muidugi kaugelki veel mitte. Tuleb möönda, et meie ruumiliselt ja ajaliliselt väga väikestes mõõdetes läbikatsutud looduse-
seaduste ülekandmine probleemidele, mis meile esitab taevaalaotuse vaatlus, vahest ehk võib viia ebaõigetele või vähemalt ebatäpsatele järeldustele. Seda tuleb sellelaadiliste küsimuste juures arvestada. Ja sellele lisaneb veel teine suur raskus. Maailma-teooria põhjeneb selle aja teadmisel, mil ta tekkis. Nii pidi Helmholtz, kui ta ehitas edasi Kanti ja Laplace'i hüpoteesi, mis tema muide täitsa õigustatud ütlust mööda on loodusuuringu õnnelikumaid võtteid, loobuma sellest sügavast tunnetusest, mis toonud sellistesse küsimustesse raadioaktiiv-

suse avastus. Ja praegu ei julge keegi väita, et tuleviku rüpes ei uinu teisi sama tähtsaid avastusi.

Oma tänasele ülesandele, luua loodusteaduslikul alusel kujutus taevakehade tulevikust ja minevikust, võime seepärast asuda tugeva tagasihoiuga. Helmholtz, kes väga intensiivselt teotses kosmiliste küsimustega, lausub selle kohta järgmist (Vorträge u. Reden II, lk. 58): „Vahest näib liiga ebamõõdukana, et meie, kelle vaatluste ring on piiratud ruumiliselt meie mõistusega väikesel Maal, mis ainult tolmu kübe meie Linnutee-süsteemis, ajalisel lühikese inim-ajaloo kestusega, teeme katset seadusi, mis loetud välja kitsast, meile kättesaadavast tõsiasi- alast, maksvaks teha kogu mõõtmatu ruumi ja aja ulatuse kohta.“ Kuid edasi lisab ta õigusega juurde, et just sellised vaatlused võivad olla abiks loodusteadusliku meetodi piiride ja antud ajal leitud seaduste tähtsuse selgitamisel.

Kant-Laplace'i teooria tuum, kuivõrra see säilinud aja hävitavast mõjust ja nagu teda praegu mõistame, seisab järgmises. Kuskil ilmaruumis kuhjub materiat, gaasi või tolmu, alguses lõpmata hõredalt. Newtoni massidegravitatsiooni läbi järgneb kontraktsioon, mis ühenduses võimsa töö tegemisega selle jõu poolt. Nagu siis eriti Helmholtzil jõu säilivuslause varal õnnestus näidata, lööb mass seejuures tuliselt lõõmama ja moodustab suure udutähe, ka hiiglastäheks kutsutud, ja nagu neid taevas näha, kuigi mitte just suurel arvul. Edaspidisel kokkutõmbumisel tõuseb tihedus ja temperatuur, tekib valges säras kiirgav kinnistäht, mis kannab „kääbustähe“ nime. Siis tuleb jahtumine. Valge sära muutub kollakaks ja siis punakaks, viimaks lõpeb helendusjõud, tekiavad tumedad tähed, mis meie otsesele tajumisele tähelepanemata jäävad, kuid mille olemasolu heleda tähe tumeda saatjana on õnnestunud tõendada ja ka massi poolest paljude kaksiktähtede juures uurida. Punased tähed on kas väga heledad — siis on nad väga suure ulatusega, nõrgasti

hõõguvad udutähed, — või väga tumedad, siis on nad tihedad, juba tugevasti jahtunud päikesed. Kirjeldatud astmete järjekorda võime taevas arvurikastel eksemplaridel uurida. Igatahes näib olevat ka üksikuid erandeid, mis kirjeldatud skeemisse täitsa ei sobi. Sellepärast ei või kinnitada, et kõik tähed on täpsalt läbi teinud nimetatud arenemiskäigu, vaid tuleb pidada võimalikuks, et üksikutel tähtedel on olnud oma eriline saatus. See ei või vähendada *Kant-Laplace*'i hüpoteesi tähtsust, sest ta annab meile nii-öelda tähe normaalse arengu. Meie Päike oma kollaka valgusega asub seega alaneval harul; kinnistähena on ta oma kõrgustäpist juba ammugi läbi samunud.

Kui gaasmassi kontraktsioonil kõige pealt eraldusid ringid, mis hiljemini keradeks koondusid, siis tekkisid planeedid oma kuudega. Selle küsimusega teotses esimesena *Laplace*, kuid selle käsituse läbiviimine pakub — nagu näitasid hilisemad uurijad — üksikasjus praegugi veel suuri raskusi, kui opereerida ainult Newtoni jõuseadusega. Hiljemini näeme, et planeetide tekkimise protsessil mõjusid tõenäoselt kaasa tugevad elektrostaatilised jõud, nii et edaspidised arvutused peab asetama pisut muudetud alusele. Kuidas sellega ka ei ole, aga planeetide teede palju üllatavaid korrapärasusi saab seletada ainult nii, et planeedi mass oli kord kogutud udutähesse. Seda selgesti tunnetada ja põhjendada on küll *Kanti* töö suurim teenus, ja selle juures pole iialgi tõsiselt kaheldud. Hilisemate vaatluste peatulemust siin juba ette teatades ütlen, et suurtes joontes ja täies ulatuses tuleb kinni pidada nimelt *Kant-Laplace*'i hüpoteesist, et seda aga üksikutes oasdes peajasjalikult umbes viimaste viieteistkümnede aasta uute tunnetuste nõudmiste tõttu on vaja olulistest punktides täiendada.

Viimaste aastakümnete katsetamiskunsti peenene mine — tagajärgede poolest kahtlemata nüüdisaja loodus teadusliku epohhi tähtsaim edusamm — on kõige hiilga

vamal viisil maksvusele pääsnud ka tähistaeva uuringul. Meie Linnutee-süsteemi on niikaugemale uuritud, et tema helenduvate tähtede arvu võib teatava kindlusega arvata võrdseks ligi poole miljardiga. Suure arvu tähtede jaoks teame nende kaugused Päikesest, omaliikumised, temperatuuri ja läbimõõdu. See kõik kõlab lihtsalt, aga vaevalt võib kujutella, kui palju peenemõttelisi vaatlusi ja teoreetilist teravmõttelisust tuli rakendada, et koguda neid andmeid arvurikkalt tähekataloogidesse. Me ei tohi unustada, et kinnistähed ilmuvad pikksilmas planeetide vastandina ulatuseta valgustäpikestena, ja sellepärast võidi näiteks tõeline läbimõõt leida ainult kaudsel teel. Aeg muidugi ei luba neid meetodeid kas või mööda minneski skitseerida, aga et tõendada, kui tagajärjekalt tänapäev nende edaspidise arendamise kallal töötatakse, tahan vähemalt nimetada, et praegu õnnestus prof. Michelsonil Ameerikas isegi otsekohe valguse interferentsnähtuste abil imestamisväärilise täpsusega tähekettaid mõõta.

Paljudest tähelepanu-väärilistest tulemustest, mis annud tähistaeva hoolikas vaatlus, üllatab eriti järgmine. Kaugelt suurema hulga tähtede mass kõigub ainult silmatorkavalt kitsais piirides; tuleb küll ette tähtede masside vahesid, kuid selgus, nagu prof. L u d e n d o r f f Potsdamis tõendas, et väga kuumad valged tähed omavad keskmiselt suuremat massi, mis ka kergesti arusaadav; mida suurem mass, seda kõrgemal kuumusel võib ta ka kondenseeruda; kuid need lahkumineku pole suured; arvudes on need 10^{33} — 10^{34} grammi. Kuidas seda mõista, näeme hiljemini. Esialgse K a n t - L a p l a c e'i teooria seisukohast on see käitumine muidugi arusaamata, sest see ei suuda mitte midagi öelda mateeria hulkade kohta, mis juhuslikult kuhjunud kuskil ilmaruumis, et mõneks helenduvaks päikeseks tiheneda. Kuid ses ei tule muidugi mitte näha vastolu selle teooriaga.

Teisiti on lugu valitsevate teooriate kolme edaspidise järeldusega, mis neid küll otsekohe ümber ei lükka, kuid

suurimal määral kahtlaseks teevad; ma arvan siin nimelt n. n. termodünaamilist ilmaprobleemi, edasi teist ilmaprobleemi, mida nimetaksin „raadioaktiivseks ilmaprobleemiks“ ja lõpuks n. n. „kosmilist ilmaprobleemi“. Siin on tegemist õieti lihtsate, aga täitsa fundamentaalsete vaatlustega.

Lähtume seejuures järgnevast kujutlusest. Looduseuuriija võib lugeda võimatuks, et kõik maailm teataval ajal asus kaootilises olekus, millest tihenesid hõõguvad päikesed, et lõpuks jõuda olekusse, kus päikeste uuestisünd pole enam võimalik. Teiste sõnadega: kujutus, et maailma sündmustik nii-öelda määratud ajal algas ja määratud päeval täieliselt kustub, on iseenesest nii ebatõenäone, et meie iga teooriat, mis tingimata sellele järeldusele viib, peame tähistama kui äärmiselt ebatõenäost ja sellepärast puudulikku.

Kantil ega Laplace'il polnud selge, et nende ilmade tekkimise teooriad tingimata eeldavad kõige sündmustiku piiratud eluiga, — muidu oleksid nad kindlasti eitanud oma vaadete üldmaksvust. Alles termodünaamika arenemise varuks pidi jääma ülikurbi lõppotsustusi teha säärase kindlusega, mis üldse lubab tarvitada universumis laboratooriumi otsust. Kõige pealt juhtis kuulus inglise füüsik Lord Kelvin tähelepanu sellele, et Carnot ja Clausiuse põhjendatud soojusõpi mõttes kõik ilma jõuvaru muutub soojuseks ehk küll aeglaselt, aga kindlasti, ja et sama kindlasti kõik olemasolev soojus peab jõudma temperatuuri tasakaalule. Sellega on aga maailm mõistetud igavesele rahule; termodünaamika seaduse, teisiti kõige üldisema ja kõige kindlama seaduse rakendus Kant-Laplace'i ideedes laseb ilmuda tagaplaanile hirmsa mõtte, et ilm püüab muutuda igaveseks kalmistuks. Harilikult väljendatakse seda nii, et universum langeb pääsmatult soojussurma ohvriks.

Katsume praegu esitatud termodünaamilist ilmaprobleemi erilisemalt ja näitlikumalt käsitada. Meie kinnis-

tähtede taevas hõõguvad päikesed annavad kõik alata kiirguse läbi soojust ilmaruumi, ja et ka muidu kõik kogutud energia peab sündmustiku jooksul muutuma soojuseks, siis võime öelda, et materias sisalduv energia rändab ühekülgselt soojusekiirguse kujul lõpmatusse ilmaruumi. Seniste vaadete järele on see energia igasuguse edaspidise töötegemise, seega igasuguse sündmustiku jaoks pääsmata kadunud. Ja nii siis tunnetame, et siin võib ainult abi anda, kui oletada protsessi, mis mõjub vastupidises sihis.

Me võime veel sammu edasi minna: Einsteini tööde läbi on juba mitmendat aastat kindel, et kui materia annab ära energiat, siis kahaneb samal ajal ka tema mass; suuremalt jaolt on siin tegemist väga väikeste suurustega; massikadu on nii väike, et seda võimatu mõõta, nii et praktiliste otstarvete jaoks võime massi piisava täpsusega muutumatuks lugeda. Põhimõtteliselt aga võime öelda, et ilmaruumis mass alata haihtub, ilma et senini oleks võidud näidata protsessi, mis tasub seda kaotust.

Ülalesitatud termodünaamiline probleem on oma laadilt üldisim, mõlemad järgnevad probleemid on õieti ainult selle erijuhused ja lähemad seletused. On möödunud umbes kolmkümmend aastat, kui ühenduses Röntgeni avastusega leiti teatavate elementide tähelepanuväärt aatomilagunemine, teiste sõnadega raadioaktiivne käitumine. Nende nähtuste oluline joon seisab selles, et suurema aatomikaaluga elemendid alati spontaanselt lõhustuvad väiksema aatomikaaluga elementideks. Raadioaktiivsel laostumisel esinevad lõhustumisproduktidena elektronide kõrval alati heeliumiaatomid. Tänu Russelli, Fajansi ja Soddy n. n. nihkumislauseile võime isegi täpsalt kindlaks määrata uuestimoodustunud elementide — välja arvatud heelium — keemilise laadi, ja võime öelda, et iseäranis Rutherfordi uurimuste tõttu tunneme neid vahest paremini kui harilikke keemilisi reaktsioone, mis kõigist meile tuntud nähtustest tulevad

kõige enne kõrvutada raadioaktiivsete protsessidega. Raadioaktiivsete protsesside ümberpöörmist, seega keerulise aatomi ülesehitust lihtsaist aatomeist pole siiani tähele pandud; küll aga võime uuema termodünaamika abil arvutada, et säärane ehitus peab võimalik olema täitsa äärmistel tingimustel, nimelt enam kui kümne tuhande miljoni kraadilises temperatuuris. Uuemate hästipõhjenatud vaadete järele ei esine sääraseid temperatuure, mida laboratooriumis kaugeltki realiseerida ei saa, isegi mitte kõige kuumemate kinnistähtede sisemuses. Aga kui see üksikutel juhtudel olekski võimalik, ei muudaks see põhimõtteliselt järgnevas vaatlustes mitte midagi.

Eksperimentaalselt on raadioaktiivsust seni tähele pandud ainult väikese arvu elementide juures. Mitmedki asjaolud, iseäranis väga tähelepanu-väärilised suhted elementide aatomikaalude vahel on viinud veendumusele, et siin — nagu vareminigi vaevalt võis kahelda — pole tegemist singulaarse omadusega, vaid täitsa üldise nähtusega.

Praegu võime otsekohe sel juhul, kui meie — nagu eespool rõhutasime — ei eelda maailma-sündmustiku algust, teha järgmise otsustuse: kui alati kestvate raadioaktiivsete protsesside läbi enamasti küll üliaeglaselt, kuid selle eest takistamata, tekib heelium (ja tõenäoselt ka vesinik), siis peaksid muud keemilised elemendid vaatepinnalt juba ammugi kadunud olema, maailm peaks täitsa teist nägu olema, kui meie teda praegu näeme. Välisilma nähtuste külluse asemel, mis praegu viimases joones põhjeneb tema ehituskivide mitmekesisusel, oleks juba ammugi lõpmatu tühjus ja ühetaosus pidanud oma tumeda loori tervele ümbrusele heitma. Või kui tõesti tahame lähtuda teatavast antud ajamomendist, mida pakkus oma arvurikaste elementidega ja nende lugematute ühendustega vaheldusrikas materia, siis peaks viimane ettenähtava aja jooksul alistuma pea täielisele tasandumisele. Ilmest pole see mateeriasurma erilisem perspektiiv mitte

sugugi meeltülendavam kui üldine praegu arutatud välja-
vaade maailma soojussurmale.

Tahaksin üsna lühidalt puudutada eriti Müncheni
kuulsa astronoomi Seeligeri poolt paljudes töödes kä-
sitletud n. n. kosmilist probleemi, mille järele
massiga täidetud ilmaruumis — kuigi massi keskmine
tihedus oleks kuitahes väike — peaksid üldiselt mõjuma
igasse massipunkti lõpmatud jõud, mida muidugi ei saa
oletada. Nagu Seeliger näitas, kaob see järeldus siis,
kui oletada, et gravitatsioon väga suurtes kaugustes ab-
sorbeerub. Aga ikkagi jääb ümber lükkamata, et gravi-
tatsioon peab pikapeale tingimata viima ilmaruumis laiali-
pillatud masside, eriti ka Linnutee-süsteemi tähtede koon-
dumisele. Allpool-järgneva seletuse jaoks peame kinni
sellest, et maailma normaalse edasielamise kindlustami-
seks peab olema ka põhjus, mis hoolitseb kuhjunud ma-
teeria hajumise eest. Nagu ülalpool nägime, teeb seda
küll soojusekiirus, kuid niisugusel viisil, mis kvantita-
tiivselt kaugeltki ei rahulda, ja ainult määratu töövõime
kaotuse varal.

Kokkuvõttes võime öelda järgmist: Kanti ja Lap-
lace'i oletused on saanud aja jooksul niipalju kinnitust,
et neis kindlasti sisaldub õiget tuuma; kuid neist ei jätku,
sest nad ei anna meile ülitähtsates küsimustes vastust.
Loogiline tarve sunnib looduseuurijat siin abi otsima isegi
riskeerides, et meie teadmiste puudulikkuse tõttu pole
võimalik neid küsimusi lõplikult lahendada.

Maailma probleemi lahendusest on loodusuuringu
kõige silmapaistvamad vaimud virgalt osa võtnud; vare-
maist uurijaist nimetan peale Kanti ja Laplace'i veel
Lord Kelvini, Helmholtzi ja Boltzmanni. Edusamm sel alal võib järgneda ainult uutest tõsiasi-
jadest ja sellele järgnevast uuest arusaamisest. Üldiselt võib
öelda, et loodusteaduslikes küsimustes on üsna asjata teot-
seda probleemidega, mille üle mineviku suurimad uurijad

on põhjalikult järele mõtelnud, olgu siis, kui oleme vahepeal omandanud katselisi tõsiasju või loogilisi abinõusid, mida polnud kasutada silmapaistvaid eelkäijail. Praegu on see tõesti nii ja sellepärast pole palju, kui praegu loodan tagajärgi probleemi uuendatud käsitlusest. Sellepärast tahan praegu üle minna sellele, et lühidalt kõnelda neist uuema aja loodusteaduse edusammest, mis minu arvamise järele eriti kosmiliste küsimuste käsitlusel töötavad tagajärgi anda.

Ühenduses raadioaktiivsete nähtuste uurimisega oleme jõudnud — tänu eriti Rutherfordi ja Bohri töödele — keemilise elemendi aatomi sügava mõistmiseni. Selle järele koosneb iga aatom positiivselt laetud raskest tuumast, mille ümber ringi mööda palju kergemad negatiivsed elektronid, negatiivse elektri elementaaraatomid keerlevad. Prof. v. Laue tähtsa avastuse abil oli isegi võimalik reastada kõiki elemente laengute arvu järele, ehk — mis sama tähendab — tiirlevate elektronide arvu järele, teiste sõnadega, läks korda neid kindlasti nummerdada. Kõrgeima meile tuntud elemendi uraani kordarv on 92. Meie tunneme selle rea kõiki liikmeid, välja arvatud viis, ja ka nende puuduvate liikmete kohta on väga üksikasjalikult teada nende füüsikaline ja keemiline käitumine. Igatahes ei saa loobuda komplimendi ütlemisest keemikute tööle, mis siin ümmarguselt ulatub ühele aastasajale, ja et nad haruldaste muldade alal eriti suurte raskustega võideldes leidsid ligikaudu kõik elemendid, mis leida olid, — jällegi eriti kohane näide suurest kindlusest, millega võib töötada täppis loodusuuring. Kas on elemente ka ülalpool uraani, seda me ei tea, kuid vaevalt võib kahelda, et otse need elemendid oleksid tugevalt raadioaktiivsed, ja seega selgub osalt, et neid kui suuremalt osalt ammugi surnud elemente meie Maal vist enam pole leida, vähemalt mitte meile kättesaadavais kohtades.

Nüüd seletub ka tähelepanu-vääriline leidus, mis juba varemini uuringu tähelepanu valdas. Kõige huvitavamate

nähtuste hulka kuuluvad lendtähed, mis suurel hulgal ja väga mitmesuguses suuruses meie Maale langevad. Nad on kindlasti kaugete taevakehade saadikud, tõenäoselt vähemalt osaltki tekkinud võõraist päikessüsteemidest. Keemikud on meteoorikive muidugi hoolsasti uurinud, ent pole sealt iialgi leidnud uut elementi. Arvati, et kõik taevakehad koosnevad oluliselt samadest elementidest kui meie Maa ja Päike, mille rüpest on tekkinud meie Maa. Spektraalanalüüsi läbi sai see vaade peaaegu tõeks ja kui Päikese ning teiste kinnistähedede teatavad spektraaljooned pole veel identifitseeritud maapealsete elementide omadega, siis näib, et uuemate uurimuste järele peab seda seletama nii, et ka siin on tegemist meile tuntud elementidega, mis aga seal valitseva väga kõrge temperatuuri mõjul on eraldanud mõne elektroni ja sellepärast peavad tingimata osutama teist spektrit. Mitmesugused põhjused on viinud oletusele, et Maa ja Päikese suurema osa moodustab raud; kooskõlas sellega on palju meteoriite, mis koosnevad pea erandita sellest elemendist.

Kui hästi kõigi taevakehade keemilise koosseisu ühtluse oletus on kõlvuliseks osutunud, näitab eriti mõjukalt järgmine näide. Aastal 1879 avastasid Nilson ja Cleve element skandiumi, alumiiniumi analoogoni, kuid teda leiti nii väikestes hulkades, et ta näis kuuluvat n. n. haruldaste muldade kõige haruldasemate saatjate hulka. Spektraalanalüütiliselt aga leiti arvurikastes kinnistäheddes sellele elemendile omased spektraaljooned, ja nii tuli prof. Eberhardt Potsdami astrofüüsikalises observatooriumis mõttele, et skandium peab ka meie Maal üsna levinud olema. Peale seda kui prof. Eberhardt skandiumi jaoks töötas välja kindla spektraalanalüütilise määramismeetodi, õnnestus eriti Berliini prof. R. J. Meyeri töö ja vaeva tõttu saada varemalt nii haruldast skandiummulda arvurikastest muldadest (volframiididest, tinamuldadest, tsirkoonidest), nii et praegu on tarvitada piiramatud hulgad seda elementi, — ühtlasi huvitav tunnistus,

et kaugete kinnistähete vaatlused võivad viia käega-katsutavaile praktilistele tulemustele.

Väga mitmekesiste taevakehade samalaadsus võis varemini üllatada, kui veel usuti arutu hulga keemiliste elementide võimalust; sest saadik aga — nagu ülalpool selgitatud — kui otse viimaseil aastail tunnetati nende lõplikku, täitsa piiratud arvu, saab arusaadavaks ka ülalnimetatud leidus. Siiski võidi veel Kanti ja Laplace'i mõttes oletada, et kinnistähete tekkimisel näis mitmesugustel juhtudel materiaalsel ürgudul olevat ka mitmesugune koosseis; teooria, mis selle juba ette kõrvaldas, võidakas ilmsesti sisemises tõenäosuses.

Puudutame lühidalt küsimust, missugused on meie praeguste vaadete järele organiseeritud mateeria — elu — tekkimiseks tarvilikud tingimused, ehk küll see asub õieti väljaspool meie vaatlusi, sest nii väikesele taevakehale, nagu meie pisitilluke Maa, tuleb siin loomupäraselt vähe tähelepanu pöörda. Elus mateeria on seotud kahtlemata ülikeerulise molekuli olemasoluga, järjelikult väga mitmekesise aatomiühendamise võimalusega. Keemiliste elementide hulgast — me usume küllalt tundvat kõigi vaatluse alla tulevate elementide omadusi — tuleb siin kõne alla ainult süsinik ja ehk veel lämmastik, mis mõlemad ongi ühenduses hapniku ja vesinikuga kõigi maapealsete elusolevuste peamised ehituskivid. Väga keerulise ehitusega molekulid, mis siin esinevad, on aga väga kitsas temperatuurivahemikus reaktsioonivõimelised; juba mõõdukalt kõrgendatud temperatuur hävitab nad. Seega tunnetame, et elusolevuste tekkimise tingimused on üsna kitsad ja et ainult vähestel planeetidel ja ka meie Maal on ainult ajuti need eeltingimused täidetud. Et me võime aga oletada nagu Päikesel nii ka teistel kinnistähedel arvurikkaid kaaslasi, siis võib küll vaevalt kahelda, et sees- ja väljaspool meie Linnutee-süsteemi on määratu hulk planeete, mille tingimused on meie Maa omadega väga sarnased. Fantaasia lennule pole pandud elu arene-

mise suhtes mingisuguseid piire, muude üksikasjade kohta ei või meie midugi mitte midagi öelda. Igatahes on veel üks element, mis on keemiliselt mitmeti sarnane süsinikuga, nimelt siliitsium, ja mõnel juhul ongi mõeldud elusolevuste tekkimist kaugel planeetidel, kus süsiniku asemel esineb siliitsium. Aga prof. Stocki uurimised Keiser Wilhelmi keemiainstituudis Dahlenis näitasid, et siliitsiumil pole kaugelki mitte seda suurt ühinemisevõimet kui süsinikul, ta muutub kergesti kõige pealt vee abil inaktiivseks ränihappeks; siliitsiumi elusolevuste arenemist peab tähistama kui unenägu, olgugi keemilist unenägu. Muu seas ei tarvitse meie praegu ka mitte enam kahelda, et vaatluse alla tulevatel ilmaruumi planeetidel, samuti kui Maal, on suuremalt jaolt olemas organiseeritud matteria ehituseks tarvisminevad elemendid.

Kõneleme nüüd Einsteini fundamentaalsest suhtest aine ja energia vahel, mida oleme juba eespool tarvitanud; sisult on see lause: kui keha annab ära energiat, siis kaotab ta samal ajal ka massi. Massikadu lihtsalt võrdub äraantud energiahulgaga, jagatud valgusekiiruse ruuduga. See valem on üldiselt nii kindlasti maksev, et meie siin teda antuna vaatleme. Kui tähtis see avaldus õieti kosmilistes küsimustes on, selgitagu järgmine näitlik vaatlus. Meie Päike kiirgab sest saadik, kui ta udust tihedamaks kondenseerus, alatasa määratuid energiahulki, mille suurusi võime täpsalt leida päikesekiirguse otsese mõõtmise abil; siis võime kindlasti arvutada, et ta kaotab aastas 10^{20} g, s. t. määratusuure kaalu sada biljonit tonni. Kuid ülalpool nägime, et kinnistähtedel on ligikaudu võrdne mass, s. t. kinnistähe-elu lõpul seisvad tähed, juba ammugi jahtunud punased kinnistähed pole igatahes keskmiselt palju kergemad kui helevalged tähed, mis tõendab, et massikadu kiirguse läbi kinnistähe-elu jooksul igatahes ei ole kogu massist kuigi suur murdosa. Kui näiteks Päike kiirgaks nagu praegugi 10^{13} , s. t. kümme biljonit aastat, siis poleks temast enam mitte midagi järele jäänud.

Nii siis peab tema eluiga märksa lühem olema, pealegi kui mõtleme, et ta varemail ajal, kui ta oli alles heledam täht, kiirgas palju enam soojust. Saame siis heledate kinnisttähtede eluea jaoks õieti kindla ülemise piiri. Et aga teatavail põhjusil, mida siin ei saa lähemalt selgitada, ebatõenäone on, et Päike kiirguse läbi on kaotanud ka ainult sajandiku osa oma massist, siis võime tema ja ühes sellega ka üldse kuumade kinnisttähtede eluea lugeda võrdseks ülimalt 100 000 miljoni ($= 10^{11}$) aastaga.

Aga Einsteini leitud suhe annab põhjust edaspidiseks võrratult tähtsamaks vaatluseks. Kui on kindel, et osa kaalutavat massi võib taanduda energiaks, siis on lähedal järeldus, et massi olu on tingitud ainult energia kuhjumisest. Teame juba mõned aastad, et aatomeis on kuhjunud võimsad energiahulgad n. n. nullpunkti-energia kujul; radioaktiivsel lagunemisel vabaneb neist energiahulkadest igatahes ainult väike murdosa. Seega esinevad meile mitmesuguste elementide aatomid ainult energiakuhjumistena ja säärastena määratusuurtena. Sellest vaatepunktist näib radioaktiivne lagunemine ainult ühe võimalusena saada materias määratud energiahulki. Nende energiahulkade tehniline kasutamine on põhimõtteliselt võimalik. Ja väga väikesel määral näib Rutherford äsja olevat saanud sääraseid energiahulki, kui ta lõhustas lämmastikku radioaktiivse kiirguse abil. Hoiatagu aga siin illusiooni eest, et seal olemasolevate energiahulkade tehniline saamine nagu tuleks kättesaadavasse lähedusse, mille läbi kivisüsi täielikult oma väärtuse kaotaks; teiselt poolt ei saa eitada, et siin esineb suurimaid tehnilisi probleeme.

Et nende küsimuste reaalsust võimalikult näitlikuks teha, lahkume kindlalt katseliselt aluselt. Kujutlegem uraanpigimulla-soont, mille kohta teame, et selles leiduv uraan võib mitmesuguseid vaheastmeid läbistades ja määratud energiahulka vabastades tinaks muutuda; selle energiatekkimisega võrreldes on meil kõige võimsamate

lõhkeainete vabastatud energia tõesti väike; kujutlegem, et muundumine sünnib tuhandete aastamiljonite, hariliku temperatuuri juures määratud lagunemisaja asemel momentaanselt. Plahvatus, mille võimsus tõuseb üle igasuguse kujutluse, oleks selle otsekohene järeldus ja peale selle peaks suuremalt osalt muunduma tõenäoselt ka planeedi muu materia. Seda muundust võib saavutada, nagu üsna kindlasti arvan arvutada võivat, kui uraanpigimulda nagu püssirohtugi tulitikuga süüdata, igatahes mitte hariliku tikuga, mille leegi temperatuur on ligi 1500 kraadi, vaid tulitikuga, mille temperatuur oleks ligi kümme tuhat miljonit kraadi. Sääraseid temperatuure ei saa meie aga realiseerida ja vist ei esine nad mitte kuskil ilmaruumis. Uraanitaoliselt toimivad aga kõik või pea kõik elemendid. Ja et viimati aruteldud materia ülikummalist omadust mõjukalt illustreerida, võime inimessoo olemasolu võrrelda selle loodusrahvaga, kes elab peamiselt lõhkevast puuvillast koosneval saarel ja kes ei tunne tuld. Asumaa oleks kadunud sel silmapilgul, kui Prometheus ühele elanikest lõõmava tõrviku kätte ulataks.

Viimase veerandtunni seletused näitasid, et meie peame praegu kosmiliste küsimuste käsitlesele asuma teiste abinõudega kui nendega, mida näiteks Helmholtz kasutas. Nüüd vaatleme praegu aruteldud uue mate saavutuste mõju kinnistähede-taeva uurimisel.

Siin tuleb esimeses joones nimetada vaimurikast teooriat, mille püstitas aastal 1916 inglise astronoom Eddington ja mis näib väga õnnelikult seletavat varemini mainitud tähelepanu-väärilist asjaolu, et kinnistähedel on ligikaudu võrdne mass. Kuuma kinnistähte võib vaadelda kui gaaskera; gaasirõhk mõjub muidugi gravitatsioonist tingitud alati esineva kontraktsiooni vastu. Gravitatsioonile edaspidise vastumõjuva momendina esineb — ja see on selles teoorias oluliselt uus — valguserõhk, mis lähtub palju kuumemast sisemusest ja tõukab eemale tuntud seaduse järele keskpunktist kaugemal ole-

vaid kihte. Arvutus näitab, et väga suurte tähtede juures see eemaletõukav toime ühes gaasirõhuga kaaluks üle tõmbetungi, nii et selle suurusega täht ei saa enam olemas olla. Ja Eddingtoni teooria üllatav tulemus seisabki selles, et tähed, mille mass märksa üle 10^{34} g, ei saa enam püsida, mis kooskõlas astronoomiliste vaatlustega.

Oletuste hulgas, mida Eddington pidi tegema, mängib osa gaasirõhu suurus, s. t. tähe substantsi keskmine molekulaarkaal. Eddington oletas, et peamass on raua-aur, s. t. keskmine molekulaarkaal 56; raua-aur aga annab tähtede sisemuses valitseva kõrge temperatuuri tõttu arvurikkaid vabu elektrone, mille tõttu peab tugevasti vähenema molekulaarkaal; Eddington sooritas arvutusi hea õnne peale keskmise molekulaarkaaluga 2,8. Praegu aga võime uuema termodünaamika abil kaunis kindlasti arvutada, millal raua-aur elektrone lõhustab; minu ettepanekul sooritas härra Eggert¹⁾ vastavad arvutused ja jõudis olemasolevate suhete hoolsa diskussiooni järel keskmisele molekulaarkaalule 3,2, mis tähendab Eddingtoni oletuse väga head tõendust. On väga tähtis, et Eddington võis arvutada kinnistähete sisemuses valitseva rõhu ja temperatuuri, millest meie senini ei teadnud niihästi kui mitte midagi; tähtede valgusekiirguse uurimise abil leiame muidugi ainult välistemperatuuri, mis näiteks Päikese jaoks on 6000 kraadi, valgete tähtede juures võib ta aga tõusta märksa üle 12 000 kraadi. Sisemuses, s. t. keskpunkti ümbruses, saadi peaaegu konstantne temperatuur ja rõhk, nimelt mõned miljonid kraadid, resp. mõned miljonid atmosfäärid.

Vähemad tähed on muidugi iseenesest eluvõimelised; kui aga oletame, et tähtede tekkimisel ei olnud massi puudust, siis oleksid moodustunud peamiselt ligikaudu

1) Physikalische Zeitschrift 1919, lk. 570.

maksimaalse suurusega tähed, nagu seda suuremalt jaolt taevast leiamegi.

Täitsa teisel alal asuv edusamm seisab, nagu küll öelda võime, aimamatu kindlas Maa vanaduse määramise meetodis, — tulemus, mis on suure tähtsusega kinnistatud vanaduse otsustamisel. Maa vanaduse all tuleb siin mõista aega, mis möödunud sest saadik, kui meie planeet on Päikese hõõgavast heitest muutunud kõva koorega kindlaks taevakehaks. Siin kasutatud meetod, mis põhjendub raadioaktiivse ala kogemuste rakendusel, ei jäta samal ajal originaalsuselt mitte midagi soovida.

Raadioaktiivne element laguneb nimelt konstantse kiirusega, mis ei olene temperatuurist ega sellest, kas kõnealune element on olemas vabas olekus või keemilises ühenduses. Mitte ainult arvurikkad katsed pole seda näidanud, vaid ka teoreetiliselt on see käitumine kõige paremini põhjendatud. Nimelt sünnib raadioaktiivne lagunemine aatomituuma sisemuses, mille olekusse nimetatud kaas-asjaoludel moodsa kvantiteooria printsiipide põhjal pole märgatavat mõju. Ainult äärmiselt kõrgetes temperatuurides, mis eespool esitatud seletuste järele Kosmoses ei esine, on oodata mõju aatomi lagunemiskiirusesse; siin vaatluse alla tulevas temperatuurialas tuleb viimast suurima kindlusega kui täpsalt konstantset vaadelda.

Nii siis uraan — vaatluse raadioaktiivse lagunemise kõige tähtsamat lähteprodukti — laguneb täitsa konstantse kiirusega; tema lagunemine teisteks elementideks on kui suurima täpsusega käiva kronomeetri osuti. Muidugi on selle kella paremus selles, et teda pole tarvis üles keerata; raadioaktiivne element kannab eneses nii palju energiat, et kell käib kuni raadioaktiivse elemendi täielise kulumiseni. Kirjeldatud ajamõõtja kujundamist ideaalse täiusega riistaks hõlbustab see asjaolu, et ta on samal ajal varustatud registreerimis-abinõudega; sest raadioaktiivse lagunemise produktid kuhjuvad muidugi samal määral kui element ise laguneb. Primaarselt tekib heelium, ker-

gesti haihtuv gaas; kui on tegemist ilusa tiheda uraanmullast kristalliga, siis jääb heelium vähemalt enamalt jaolt kristalli sisemusse. Et aga elektriliste mõõtmiste abil saab ülitäpsalt mõõta heeliumi tekkimise kiirust, mis identne raadioaktiivse kiirguse intensiivsusega, siis võib ka teada saada, palju heeliumi võib tekkida ühest kilogrammist uraanist; uraanmulla-tükis suletud heeliumihulk annab otsekohe aja, kui kaua kristall säärasena muutumata seisnud.

Siiski tuleb arvestada aastamiljonite jooksul esinevat heeliumi kadu, nii et heeliumi abil määramine annab kindla mulla vanaduse minimaalväärtuse. Seepärast töötab kindlamini tinameetod; uraani raadioaktiivse lagunemise lõpuks on nimelt tina, ja kui see sulgunud kindlasse kristalli, ei saa ta kuhugi kaduma minna.

Võidakse vastu vaielda, et tina, mida uraanmullas leitakse, on vahest ainult osalt pärit raadioaktiivsest lagunemisest, sest geoloogiliste protsesside läbi võis ta kuidagi viisi mullaga seguda (sellevastu aga heeliumi ei saa tarduv uraanmuld sulgeda). Aga et loodus nagu oleks tahtnud siin meile kinkida kindlaksmääramise, mida võib täielikult usaldada, siis võib ka sellele väitele vastu astuda; raadioaktiivselt tekkinud tina, olgugi et ta on keemiliselt kõige puhtam, omab ekvivalentkaalu, mis hariliku tina omast märgatavalt lahku läheb, ta on tina isotoop; teiste sõnadega, juhuslikke ürgelisi hariliku tina ja mulla segusid võib teravalt eraldada raadioaktiivselt tekkinud tinast, nii et uraankell annab võltsimatud andmed.

Uraanmulla tina-analüüsi on nendega seotud suure huvi tõttu väga mitmesuguste uurijate poolt sooritatud. Leidub uraanmuldasid, mis võrdlemisi vähe tina sisaldavad; nagu arvutus näitab, on nad noored, nimelt mõned-sajad miljonid aastad vanad, s. t. nad lahkusid juba enne seda aega tulisest sulajõe massist, võimalik, et vulkaanilise katastroofi tagajärjel. Mitmesugustest leiukohtadest

on saadud uraanmuldasid, mis sisaldavad teatava maksimaalse hulga uraantina, nimelt ligi 20%, mis vastab 1500 miljoni aastasele vanadusele, ja see arv peaks väga lähedalt ühte langema kindla maakoore tekkimise algusega, võib aga olla, et see sündis natuke varemini.

Kui huvitav see kindlaksmääramine meie Maa ajaloos ka ei ole, aga meile on tähtsam järeldus Päikese vanaduse kohta. Kui Maa tardus, pidi Päike ilmsesti juba palju enam kokku tõmbunud olema, ta oli juba ammugi hiigla-ulatusega udutähest võrdlemisi tihedaks täheks saanud. Päikese kui tihedama tähe vanadus peab kõige vähemalt samuti 1500 miljonit aastat, tõenäoselt aga märksa suurem olema. Võrreldes seda meie ülalpool-tehtud märkusega, mille järele kinnistähete vanadus on vaevalt suurem kui sada tuhat miljonit aastat, võib praegust tulemust, mille järele ta peab olema märksa üle tuhande miljoni aasta, vaadelda kui õieti kindlat kinnistähete vanaduse alumist piiri. Edaspidiseni võime siis valgustavate päikeste vanadust arvata võrdseks ligi kümne tuhande miljoni aastaga.

Iseäranis tähtis tulemus, mille järele kiirgavate päikeste eluiga loetakse ligikaudu võrdseks tuhandeist kuni kümne tuhandete aastamiljoniteni, viib aga kosmilise uuringu uude raskusesse, mida kõige uuemal ajal mitmesugused astronoomid toonitanud. Nimelt võib arvutada gravitatsiooni täpsalt tuntud jõu mõjul tekkinud soojusehulka, mis tekib udumassi kinnistähets muutumisel ja mis peab kinnistähe soojusekiirguse katma. See soojusehulk on aga palju väiksem kui nõutakse; paljude tuhandete aastamiljonite asemel võib ta, nagu juba Helmholtz võis näidata, kinnistähe soojusekiirgust meile tuntud suuruses alal hoida mõne tosina aastamiljoneid. Kant-Laplace'i teooria meile siin vastust ei anna. Peale masside tõmbejõu pidi tingimata olema veel mõni teine võrratult võimsam energia-allikas, mis võimaldab hiilgavate päikeste pika eluea. Oletati, et nõutava energia anna-

vad raadioaktiivsed protsessid; võtame aga tuntud raadioelementide seast kõige soodsama juhu, kujutleme, et kinnistähtede moodustamiseks Kant-Laplace'i mõttes tarvitati puhast uraantolmu, siis näitab arvutus, et ka sel juhul kinnistähe elu kestusel kiiratud soojusehulgast kaetakse ainult väike murdosa. Säärase oletuse läbi oleks kuristik arvutuse ja kogemuse vahel osaltki suletud. Eeldus aga, et Kant-Laplace'i ürgudu peaaegu ilma erandita pidi koosnema raadioaktiivsetest elementidest, näib nii fantastilisena, et ilma lähema põhjenduseta seda vaevalt võib pooldada.

Senise esituse läbi usun annud olevat ilmapildi praeguste vaadete järele; suurtes ja peajoontes on meid kindlasti võimsalt edasi viinud Kant-Laplace'i teooria edasikujundamine, ja uuema aja mõõtev astronoomia on toonud lugupidamist-äratava tõsiasjade materjali suure hulga kinnistähtede kui ka suurte udutähtede, samuti ka nende hilisema produkti — kääbustähtede — nende tõsiste päikeste — kohta. Aga veel haigutavad kardetavad kuristikud, mis ei luba kõnelda harmoonilisest ilmapildist. Soojussurm kõigi järeldestega muidugi loogiliselt suurimal määral ei rahulda ja on ka väga ebatõenäone; ka tunnistamine, et meie õieti ei teagi, kust tuleb päikeseenergia, tähendab väga tunduvat ebakindlust.

Mõned minutid, milleks veel teie lahkete tähelepanu palun, tahaksin pühendada ühe katse lühikesele kirjeldamisele: kõrvaldada ühe ainukese, ajuti veel hüpoteetilise oletuse läbi olemasolevad raskused, usun, et kõik ja lihtsalt. Seda seletuskatset olen juhust kasutades arendanud üldises ettekandes Münsteri loodusuurijate koosolekul (võrdle lk. 9); siin käsitlen seda lähemalt.

Ülal tunnetasime, et n. n. mateeria soojussurma võib lõpuks seletada mateeria haihtumisega ilmaruumis, kusjuures soojusekiirgus rändab ilma valguseetrisse. Teil on ehk teada, et praegu kaheldakse valguseetri olemasolu juures ja peab järele andma, et suuri nähtuste komplekse

on võimalik käsitleda valguseetri-hüpoteesi kasutamata; teiselt poolt on aga kindel, et paljusid protsesse, näit. valgusekiiruse konstantsuse seletust, pole võimalik käsitleda kaalumatu vahemeediumi hüpoteesita. Igatahes tunnen end olevat paljude tublide füüsikute seltskonnas, kui ma tingimata pean kinni valguseetri olemasolust. Moodsad aatomiteooriad õpetavad, et ka veel absoluutse nullpunkti juures esineb aatomi sisemuses elav liikumine, seega siis püsib osa nende massi — nagu öeldakse — nullpunkti-energiast peitavas energias. Nende asjaolude reas on muidugi lihtsaim oletus, et kõik materia koosneb nullpunkti-energiast. Edasi teeme järelduse, et see energia on valguseetri-energiaga tasakaalus, ja siis võib näidata, et valguseetris peituv energia peab olema määratu suur. Võime püstitada hüpoteesi, et ilmaruumis valguseetris sisalduva energia juhuslikud vankumised võivad moodustada keemilise elemendi aatomeid, siis peame selle vastu ka oletama, et n. n. radioaktiivse lagunemise lõppproduktid — heeliumi- ja vesinikuaatomid — võivad jällegi muunduda valguseetri nullpunkti-energiaks. Nii siis peaksime oletama ilmas aine alatikestvat sündi ja kadu.

Küsime endilt kõige pealt, kas ei saaks otse vaadelda keemilise elemendi aatomi tekkimist. Suurema osa elementide eluiga peab palju suurem olema kui uraani lagunemiskestus, mida on võidud katseliselt jälgida kuni tinani; seega on siis elemendi eluiga palju pikem kui tuhat aastamiljonit. Meie Linnutee aine keskmine tihedus on nii suur, nagu oleks igas sajas liitris üks uraaniaatom. Et ilmas massi keskmiselt konstantse hoida, tarvitseks nimetatud ruumis veel palju harvemini¹⁾ kui

¹⁾ Igatahes veel palju harvemini, sest esiteks ilma keskmine masside tihedus on ilmselt palju väiksem kui Linnutee-süsteemi oma, ja teiseks on materia eluiga keskmiselt palju suurem kui näiteksvalitud uraani oma.

üks kord 1000 aastamiljonis üks uraaniaatom tekkida. Seega tunnetame, et meie oletus ei või olla vastolus katseliste tõsiasjadega.

Mis ümberpöörduvalt puutub mateeria tagasiminekusse eetermerre, siis näeme seda põhimõtteliselt igal soojusekiirgusel, ehk küll nii väikestes hulkades, et neid pole võimalik kaaluda. Massikadu on juba märgatavam raadioaktiivsetel protsessidel. Mateeria peakadu, nimelt heeliumi- ja vesinikuaatomi kadumist, ei saa samadel põhjustel katseliselt käsitada, mispärast ka aatomite tekkimist pole võidud iialgi otseselt vaadelda, sest mõlemail juhtudel on tegemist üliharva esinevate nähtustega. Et need protsessid nii harva esinevad, järgneb lihtsalt aine ülipikast elueast, vähemalt ta peamiste algosade kohta on see nii, ja nimelt ülipikk eluiga on tõendatud kahe täitsa mitmesuguse katselise tõsiasjaga: kord suurema osa elementide raadioaktiivse lagunemise määratu suure aegluse, siis ka kinnistähete määratu pika eluea kaudu.

Otseselt valguseetri nullpunkti-energiast tekkivate aatomite laadi suhtes eristame veel oma oletust sellest küljest, et alguses tekkisid peaaegu või täitsa ilma erandita väga suure kordarvuga elemendid, mis elementide reas seisavad ülalpool uraani, seega samuti väga tugevasti raadioaktiivsed elemendid, mis arvurikkaid astmeid läbistades raadioaktiivselt lagunevad ja tekitavad palju suurema soojusehulga kui uraani juures mõõdetud.

Nüüd võib tõepoolest kergesti näidata, et meie igitahes oma hüpoteetilise oletusega, mida ma eriti tahaksin toonitada, võime lihtsalt ja näitlikult seletada kinnistähe tekkimise, tema määratu pika helendumise ja lõpuks alalise uuestisünni; rakendame ta nüüd selleks otstarbeks K a n t - L a p l a c e 'i ilmadeteoorias.

Ilmaruumis üksikult esinevad väga kõrge kordarvuga äsjatekinud aatomid ühinevad esiti hiiglaulatusega kül-

madeks udutähtedeks, mille nõrga helenduse põhjuseks on raadioaktiivne kiirgus. Tugevamal tihenemisel tekib kõrge temperatuur, mis viib harilikule valgusekiirgusele. Edaspidise kokkutõmbumise läbi tekivad kuumad n. n. kääbustähed, s. t. päikeselaadsed ilmakehad. Need päikesed omavad aga nüüd raadioaktiivsete ainete võimsaid varusid, ja see hoiabki niikaua korras nende kõrge temperatuuri ja ühes sellega ka kauakestva soojusekiirguse. Aga see varu kahaneb vähehaaval, pika aja jooksul konstantseks jäänud temperatuur hakkab langema, valge kindistähnt muutub võrdlemisi ruttu kollaseks ja hiljemini punakaks täheks, et siis lõplikult jahtuda. Jahtunud täht laguneb nüüd raadioaktiivselt väga aeglaselt edasi ja — nagu eespool selgitatud — kaob siis igatahes määratu pika aja järel täiesti vaateväljalt. Vahepeal moodustuvad äsja tekkinud raadioaktiivseist aatomeist keskmiselt umbes samal arvul uued tähed. Kui raadioaktiivne laostumine on oluliselt lõppenud, nagu sellega lugu Päikese juures, siis peavad olemasolevate harilikkude keemiliste elementide hulkade suhted olema ligikaudu konstantsed, s. t. hilisemates staadiumides asuvad tähed peavad omama ligikaudu üht ja sama keemilist koosseisu, mis ka ülalpool varemalt tõenäoseks tunnistati.

Neid seletusi võime niivõrra vaatluste abil järele katsuda, kui meie vaade viib väga lihtsale järeldusele, et taevas peavad esinema kõige sagedamini need tähtede seisundid, millel on kõige pikem eluiga. Meie vaatluste järele on need kõige heledamad tähed, mis asuvad oma arenemise maksimumi lähedal, kuna teisel pool on täieliselt või pea täieliselt kustunud tähed. Esimese kategooria jaoks on see üllatavalt tõesti nii; teise kategooria jaoks ei saa seda järeldust kindlasti järele katsuda, sest meie ei näe neid tähti, kuid praegu avaldatakse astronoomilisest küljest kaudsete järelduste põhjal arvamist, et kustunud, s. t. nõrgasti hõõgivate tähtede kogumass (juurde arvatud

meteoriidid ja tume ilmatolm) ei võiks tühine olla võrreldes helenduvate tähtede massiga.

Peaksid meteoriidid (vähemalt osaltki) pärit olema kustunud tähtede rusudest, siis peaksid nad kujutama keemilise elemendi laostumise hilisemat staadiumi kui see, mida võime tähele panna Maal, kus eespool esitatud vaatluste järele mateeria peab meile avalduma samas seisundis kui Päikesel (kuumad kinnistähed ja eriti udutähed peaksid asuma varemast staadiumis, s. t. peavad sisaldama kõrgeatomilisi elemente, mis meile tundmatud). Muidugi on see üllatav ja väärrib põhjalikku uurimist, et meteoriitides näivad puuduvat kõrgema aatomikaaluga elemendid (võrdle lisa).

Kant ja Laplace töötasid ainult gravitatsiooniga kui mõõduandva jõu mõjuga päikes-süsteemi tekkimisel. Praegu peame arvama, et eriti kinnistähete tekkimise algusel mängisid ajuti silmapaistvat osa tugeva elektriseerimisega seotud raadioaktiivsete mõjude tõttu ka elektrilised jõud. Tõesti on selgunud, et Laplace'i järele ei saa planeetide tekkimist seletada ainult Newtoni tõmbejõu-seadusega, järjekult on siis uusi vaatepunkte teooria tulevase arenemise jaoks. Eriti oleneb vahest sellest tähelepanu-vääriline uute tähtede tekkimine ja kadu, mis, nagu Guthnick näitab oma praegu ilmunud teoses „Physik der Fixsterne“ — esineb nii korrapäraselt, et kõnealused protsessid näivad kuuluvat tähtede normaalsesse arengusse.

Lõpuks tahaksin veel nimetada üht punkti, millele mõne aja eest juhtis minu tähelepanu füüsik prof. Seeliger, varemini nimetatud astronoomi poeg. Olgu veel ilmaruumis raadioaktiivsete aatomite tekkimise eelnimetatud vaate tugi vahest ka selles, et ilmaruum on täidetud raadioaktiivse kiirgusega ja nimelt ülikõva n. n. gamma-kiirgusega, mille põhjuseks pole ükski meile tuntud element. Hessi, Seeligeri, Swinne uurimused näita-

vad, et see tähelepanu-vääriline kiirgus pole igatahes välja saadetud Maa, Päikese ega Kuu poolt ega ole ka veel mitte kindel, et tema asupaik ei ole ilmaruumi asemel meie atmosfääri kõrgeimad kihid. Küsimuse lahendamine, kui palju mõõdetud energiast on siiski kosmilist päritolu, võiks olla edaspidiste astrofüüsikaliste arvutuste jaoks tähtsaks baasiks.

Meie vaade kõrvaldab igatahes niihästi soojussurma kui ka mateeria koolmise. Meie silm ei tarvitse kauges tulevikus ilma näha hirmsa kalmistuna, vaid alatasa täidetuna heledasti säravate tähtede tekkimise ja kaduga. Püha päikestuli, siin ja seal kustudes, lööb sama paljudes kohtades lõõmama uuendatud jõuga. Maailma-mateeria ei või enam täielikult heeliumiks muutuda. Lõpuks ei saa mateeria aja jooksul mitte kuskil hiiglatombuks koonduda — tuletan meelde varemini puudutatud kosmilist probleemi — kui ta ilmaruumis ikka uuesti tekib ligikaudu samas tiheduses.

Kosmiline füüsika ei ole harilik füüsika; mida siin ei sallita tõendamatu hüpoteesina, võib seal saada mõtlemisvajaduseks, mis takistamata jõuga tungib uuringusse. Nii olime sunnitud oma vaatlustel abiks võtma tõendamata, nüüd aga vaevalt küll ebatõenäose arvamise; nagu muu seas ka Kant¹⁾ kõneleb oma „Theorie des Himmels“ sissejuhatuses järgmiselt: „Selliselt töölt ei või iialgi nõuda suurimat geomeetrilist teravust ja matemaatilist eksimatust. Kui süsteem on põhjendatud analoogiaile, usutavuse seaduste ja õige mõtlemisviisi kooskõlale, siis ei või temalt rohkem nõudagi.“

Edasi ütleb Kant: „Andke mulle materiat, ma tahan teile ehitada sellest ilma!“ Olgu peale, aga see ilm

¹⁾ Võrdle selle kohta eriti H. Eberti poolt uuesti väljaantud „Theorie des Himmels“, Klassiker d. Naturw. Leipzig, Engelmann.

poleks kindlasti mitte meie ilm. Vahest tuleme tõele lähemale, kui ütleme: „Andke meile väga kõrgeatomilist raadioaktiivsete elementide materiat,“ siis alles saame määratud energiahulga, mis ilmast läbi voogavad ja mille seletuse K a n t ja L a p l a c e võlgu jätsid. Ja lisame sellele veel juurde: „Andke meile valguseetri nullpunkti-energiat,“ siis näeme oma vaimus ilmasündmustiku kindlustatud igavesest ajast igavesti.

Täiendused.

Lk. 15. Ilmaruumi temperatuur. Ilmaruumi (valguseetri) temperatuuri tuleb defineerida järgmiselt. Mõeldagu, et kuskil punktis asub mõni kübeke musta keha, s. t. niisugune, mis neelab kõik temale langeva kiirguse. Keha temperatuur jääb siis seisma igal pool olemasoleva kiirguse tõttu kindlal temperatuuril, ilmaruumi vastava keha temperatuuril, sest et ta neelab temperatuuri tasakaalus sama palju kiirgust, kui ta oma temperatuuri tõttu välja kiirgab. Pole mingit kahtlust, et mistahes soojast ilmakehast küllalt kaugel on see temperatuur väga madal, praktiliselt vaevalt küll absoluutsest nullpunktist kõrgemal.

Tulemus on esialgu ilmselt ülimal määral võõrastav; sest kui peame kinni vaatest, et ilm asub tasakaalu-seisundis, siis peaks ilmaruumi temperatuur sellevastu meie kõigi muude kogemuste põhjal olema üsna kõrge. Sest ilmaruumis asuvate massidekogude, esimeses joonis kinnistähete, temperatuur on väga kõrge, ka n. n. „tumedad tähed“ on tulipunasest hõõgusest kuumemad. Piiramata aja jooksul, nagu võime eeldada kosmose „tasakaalu-seisundi“ mõttes, peaks ilmaruumis kiirguse läbi saabuma teatavat laadi keskmine temperatuur (järjekult küll mõned tuhanded kraadid), mis muidugi mitte nii ei ole.

Muidugi võiks siin pääseteed otsida selles, et kujutella ilmaruumis vahest kosmilise tolmu kujul väga madala temperatuuriga masse, mis siis võiksid keskmise temperatuuri kuitahes madalale rõhuda. Usun küll vaevalt, et

praeguste astronoomiliste teadmiste põhjal võiks seda teed minna.

Märksa kiiduväärilisemana näib mulle sellepärast järgmine oletus. Valguseeter omab, olgugi üliväikest, soojusekiirguse¹⁾ neelamisvõimet. Minu arusaamise järele tuleks seda neelamist nii kujutella, et harilik kiirgusenergia muutub väga pikkade aegade jooksul valguseetri nullpunkti-energiaks. Siin oletatud nähtuse haruldase väiksuse tõttu ei satu meie loomulikult laboratooriumi kogemustega ega astronoomiliste mõõtmistega vastollu. Aga sellega võidame tunnetuse, et ka tasakaalu-seisundis ilma-ruumi temperatuur peab olema ülimald.

Veel tähtsam on järgmine järeldus. Kiirgava energia neeldumine ilmaruumi poolt tähendab materia kadu; tasakaalu-seisundist arusaamine nõuab, et valguseeter peab ka materia tagasi andma. Ja sellega on saanud minu lk. 9 varemalt aruteldud, selles töökases igal pool läbiviidud hüpotees peaaegu loogiliseks postulaadiks; muidugi ainult „peaaegu”, sest ikkagi peab alati arvestama teiste seletuste võimalusi. Igatahes näib olevat ainult kaks pääseteed: esiteks ülalpuudutatud väga suurte, kuid väga madala temperatuuriga masside oletus; teiseks kosmose „tasakaalu-seisundi“ oletuse kõrvaldamine; mõlemad on ühte viisi ebatõenäosed.

Juhtumisi on kõneldud ka sellest, et kosmoses on kohti, kus — nagu meie Linnutees — entroopia kasvab, ja niisuguseid, kus ta kahaneb. Seega eitatakse lihtsalt meie looduse seadusi; sellise maitse suunaga pole käesoleval kirjatööl midagi tegemist.

Lk. 16. Raadioaktiivsete protsesside ümberpöördatus. Et raadioaktiivsed protsessid on

¹⁾ Sellega oleks seotud valguseetri igatahes väga väike dispersioonivõimalus, mis väga lühikestel, meie praegu kättesaamatuil lainetepikkustel võiks vahest isegi märgatav olla. Kui kujutella valguseetrit atomistlikuna, nagu olen teinud oma „Theoretische Chemie” viimastes trükkides, saab viimane järeldus iseenesest arusaadavaks.

ümberpöördavad ainult äärmiselt kõrge temperatuuri puhul, mida uuemate vaadete järele, eriti Eddingtoni vaatluste põhjal, mitte kuskil ilmaruumis ei esine, järgneb kõige kindlamini minu soojuslause¹⁾ otsesest rakendusest, siis aga ka kvantideteoreetilistest vaatlustest. Samuti võib öelda, et isegi miljonikraadilised ja sellest märksa kõrgemad temperatuurid ei mõju märgatavalt radioaktiivse lagunemise kiirusele. See tulemus on kõigi meie vaatluste jaoks suurima tähendusega; ilma selle, nagu näib, väga kindla põhjata hõljuksime täitsa õhus.

On päris üllatav, et senini astrofüüsikas on vähe kasutatud termodünaamika uuemaid edusamme, mis tehtud minu soojuslause põhjal; peale lk. 26 nimetatud Eggerti uurimuste teeb mainitud erandi dr. Saha oma uuemais töis kinnistähete temperatuurist (võrdle selle kohta kokkuvõtlikku tööd ajakirjas „Zeitschrift für Physik“ 6, lk. 40, 1921), kus ta, kasutanud minu soojuslause, võis teha terve rea ilusaid järeldusi.

Lk. 16. Gravitatsiooniennergia ja soojus. Võiks mõelda, et gravitatsiooniennergia ei tarvitse tingimata soojuseks muutuda, järjekult ka materia kerakkoondumine ei tarvitse lõpule jõuda kuitahes pika aja jooksul. Aga mõeldaval soodsaimal juhul, kui tsentraalse keha ümber tiirleb planeet, mis samuti nagu Kuu hoiab alati sama külge tsentraalkeha poole, tuleb tähele panna, et tiirlemisajal ka tsentraalkeha ise oma mitmesuguste osadega asub muutliku tugevusega raskusväljades. See aga tingib möödapääsmatult tema sisemuses kontraktsiooni ja dilatatsiooni, s. t. ümberpöörmatute temperatuurivahede esinemise ja sellega süsteemi auramise, mis identne gravitatsiooniennergia soojuseks muutumisega. Uue soojuslause järele kaoks auramine ainult absoluutse nullpunkti juures; tõelisuses peab ta aga järjekult alati olemas olema. Kui

¹⁾ Võrdle selle kohta minu „Grundlagen des neuen Wärmesatzes“ (1918, Knapp, Halle), lk. 183.

planeet liigub — ja ainult see juht on praktiliselt võimalik — mitte täpsalt ringi mööda, siis tuleb ka viimane mitmesugustesse raskusväljadesse ja auramise suurus kasvab.

Edasi tuleb tähele panna: ka sel juhul, kui oletada, et mõlemal vaadeldavail ilmakehadel on sama temperatuur, muutub materia erisoojus tingimata ühes raskusvälja intensiivsusega (võrdle „Wärmesatz“, lk. 182); see tingib samuti temperatuuri muutusi, ühes sellega ümberpöörmatu, summutavalt mõjuva temperatuuri võrrandamise. Kui mõlemal taevakehal on erisugune temperatuur, siis võib praegu ainult kinnitada, et ka sel juhul peavad esinema analoogsed mõjud, muu seas veel palju tugevamini, sest valgusrõhu tõukav jõud kahaneb alatasa kestva temperatuuri võrrandamisega, järjekulult peavad ilmakehad üksteisele lähenema.

Väga paljude ilmakehade juures muidugi suureneb ülalpool aruteldud süsteemi auramine. — Materia püüd koonduda ikka suuremaiks tompudeks ei või enam kahtlusalune olla; kosmiline teooria, mis tahab üldine olla ja samal ajal lähtub „tasakaalu-seisundi“ hüpoteesist, s. t. heidab kõrvale kosmose täieliku muundumise kuitahes pika, aga lõpliku aja jooksul — see vahest ongi „tasakaalu-seisundi“ kõige näitlikum definitsioon, peame teadma ka põhjuse, mis muretseb materia vahetpidamatu dissipatsiooni eest. Seda nõuet rahuldab, niipalju kui mul teada, selles töös lähemalt põhjendatud teooria.

Lk. 24. Kinnistähedede eluiga. Selles ettekandes tehtud lühikesi märkusi olen hilisemal juhustel edasi arendanud; suure üldise huvi tõttu, mida pakub mitmes suhtes Päikese vanaduse küsimus, teotseme siin selle asjaga veel põhjalikumalt.

Mis puutub kõige pealt alumisse piirisse, siis määrame selle prof. Stefan Meyeri¹⁾ uurimiste järele

¹⁾ Neuere Ergebnisse der radioaktiven Forschung. Vorträge des Vereins zur Verbreitung naturw. Kenntnisse, 58. vihk, 7 (Wien 1918).

võrdseks $1,5 \cdot 10^9$ aastaga; see on nende mineraalide vanadus, mis määratud puhastest uraanmineraalidest leitud RaG-hulkade abil. Niisugustes mineraalides suletud heeliumihulkade määramised annavad märksa vähemad väärtused, sest — nagu oletatakse — on selle gaasi märgatavad hulgad kristalliseerunud mullast difusiooni teel kaduma läinud. Oleks aga ka mõeldav, et heeliumi puudujäägil on veel teine põhjus, nimelt heelumiaatomi muundumine valguseetri nullpunkti-energiaks, nagu seda oma hüpoteesi järele määratu aja jooksul võimalikuks peame oletama; selle nähtuse edaspidine järelekatsumine (mis seletaks ka Maa üllatavalt väikese heeliumihulga) on loomulikult suurima tähtsusega. Kuidas sellega ka ei ole, aga RaG-metod annab meie praeguste teadmiste järele täitsa kindlad tulemused, nii et ülalnimetatud arv annab Maa ja samuti ka Päikese vanaduse täitsa usaldusväärilise alumise piirväärtuse.

Mis puutub ülemisse piirisse, siis saadab Päike iga aasta välja kiirguse kujul $1,20 \cdot 10^{41}$ ergi, mis Einsteini valemi järele tähendab massikadu

$$\frac{1,20 \cdot 10^{41}}{9 \cdot 10^{20}} = 1,33 \cdot 10^{20} \text{ aastas } (c^2 = 9 \cdot 10^{20}).$$

Et Päikese mass on $1,9 \cdot 10^{33}$ g, siis kuluks

$$\frac{1,9 \cdot 10^{33}}{1,33 \cdot 10^{20}} = 1,4 \cdot 10^{13} \text{ aastat,}$$

kuni Päikese mass haihtuks, kui kiirgus terve selle aja kestel oleks jäänud konstantseks. Et aga Päike varemini osalt oma kõrge temperatuuri, samuti ka palju väiksema tiheduse tõttu, mis tal oli varemias arenemisjärgudes, kiirgas palju enam energiat, keskmiselt — nagu valgete ja kinnistähedega võrreldes kergesti võib arvata — enam kui kümme korda rohkem, siis langeb ülaltoodud aeg ligikaudu 10^{12} aastani.

Iseenesest oleks ju muidugi mõeldav, et Päike oli varemalt kaks korda raskem kinnistäht, ja et on haihtunud pool tema massi. Kuid tähtede statistika, mis siiamaani pole võinud konstateerida korrapärasest kahanemist tähe arenemise jooksul, teeb nii tugeva massikadu ebatõenäoseks. Seega jõuame mõlemaile, nagu öelda võime, Päikese vanaduse väga õnnelikele ja üsna kitsaile piiridele, nimelt 10^9 kuni 10^{12} aastat.

See tagajärg julgustab tegema katset, kui palju mõlemaid piire veel võib lähendada.

Mis puutub kõige pealt alumisse piirisse, siis annab raadiumtina analüüs aja, mis möödunud kõnealuse elemendi kristalliseerumisest saadik. Tekib küsimus, kui kaua Maa võis olla tulisula kera, et võiks määrata Maa koguvanadust. Ülaltoodud arvudega võrreldes saadakse see kaduv-väike, kui peame silmas jahtumist ainult soojusekiirguse teel ja sooritame arvutused mõnesuguse vastuvõetava oletuse abil Maa massi erisoojuse kohta; isegi palju suurem Päike jahtuks selle arvutuse järele juba 10—20 miljoni aasta järel. Sellelaadilisi arvutusi ei või enam õigeks pidada, sest saadik kui tehti selgeks radioaktiivsuse suur mõju soojusetekkimisse.

Raadioaktiivsete ainete tekitatud soojuse mõju võime määrata järgmise vaatluse abil. Oletame, et raadioaktiivne soojusetekkimine suudaks korras hoida Maa praegust temperatuuri sel puhul, kui jätame tähele panemata Päikeselt saadetava energia ja arvestame, et allpool-järgnevate vaatluste põhjal oli raadioaktiivsus varemals ephohides märksa suurem, nimelt ligikaudu 30 kuni 50 korda, siis selle tõttu, et Boltzmann-Ste-fani kiirguseseaduse kiiratud soojus kasvab absoluutse temperatuuri neljanda astmega, oleks Maa pinna absoluutne temperatuur olnud 2,3 kuni 2,7 korda suurem kui praegu, seega 700° abs. Kui Maa pind oli hõõgav, mängis soojusekaotusel raadioaktiivsus enam kõrvalist osa. Ligikaudne arvutus näitab, et aeg,

mille jooksul Maa pind oli tulisula, peab igatahes märksa lühem olema kui see, mis möödunud kõva koore tekkimisest saadik. Viimase aja jaoks ülalantud arv $1,5 \cdot 10^9$ aastat on ainult alumine piir, igatahes tõelisusele võrdlemisi lähedale tulev arv.

Sellepärast võime väga suure meelevallata Maa vanadust arvata võrdseks $3 \cdot 10^9$ aastaga; edasi paneme tähele, et planeetide resp. kaksiktähtede tekkimine tõenäoselt sündis siis, kui kõnealune kinnistäht oli veel udutäht (hiiglastäht), ja et edasi hiiglastähe arenemisperiood, mille kasuks kohe õpime tundma mitmesuguseid kaaluvaid põhjusi, jõudis lõpule võrdlemisi ruttu, saabume lõpptulemusele, et ka Päikese vanadus ei või $3 \cdot 10^9$ aastast suurem olla.

Selline väike arv — väike niivõrra, kui ta ülalantud alumisele piirile palju lähemal asub kui ülemisele — leiab silmapaistvalt tuge järgmistes vaatlustes. Päikese vanadus põhjustab kiirguse läbi massikadu; kõigis meile tuntud raadioaktiivseis protsessides on see teatavasti väga väikesi murdosi. Muidugi võime oletada, et ülalpool uraani (s. t. suurema kordarvuga kui 92) on elementide laostumisel tegemist võrratult võimsamate raadioaktiivsete protsessidega, mis vajalikult põhjustavad suurema massikadu. Seepeale vaatamata on kõige pealt tõenäosim see oletus, mis kaugeneb meile tuntud tõsiasjadest kõige vähem; kui me valime ainult tõenäosuse põhjal, siis peame katsuma läbi saada energiatekkimise miinimumiga, et mitte asjata liiga kaugeneda tuntud katselistest tõsiasjadest. Selle vaatluse abil tuleme järjekult otsusele, et mõlemate ülalpool-leitud piiride vahel asuva väärtuse valikul tuleb eelistada naabrust alumise piiri lähedal.

Asume nüüd kinnistähe arenemise lähemale vaatlusele ja paneme tähele, et meie saatehüpoteesi põhjal tekkinud energia on pärit raadioaktiivsest allikast.

Peame silmas, et attraktsiooni tööga tekitatud kontraktsioonienergia, milles nähti Helmholtzist saadik

peategurit, võib Päikese soojusekiirgust (vähemalt varem-
 mais perioodides) ainult mõned miljonid aastad¹⁾ katta;
 edasi tuleb meelde, et kui Päikese massile omistada
 isegi ebatõenäoselt kõrge erisoojus, peaks ta jahtuma²⁾
 väga lühikese aja jooksul, — seega jõuame väga lihtsale
 energiabilansile:

Igal silmapilgul peab kinnistähe kiiratu-
 tud soojus võrduma raadioaktiivselt (või
 mõnel muul viisil) tekkinud soojusega.

See lause pole muud midagi kui energia säilivuslause,
 mis rakendatud, arvesse võttes kinnistähes valitsevaid asja-
 olusid, et niihästi kinnistähes sisalduv energia kui ka gra-
 vitatsioonenergia on tema energiabilansis väga pika elu
 jooksul kiiratud valgusehulgaga võrreldes kaduv, isegi
 täitsa kaduv-väike.

On tähelepanu-väärt, et uuemas astrofüüsikas see lih-
 tis, nagu mulle näib praegu vaadeldud arvamiste seas ja
 niikaugele kui praegu näen, mitte kuskil vaieldav oletus
 pole leidnud täielikult vastolutsa rakendust, pealegi annab
 see meile, nagu pea selgub, täitsa uue ja hoopis laiema ula-
 tusega kinnistähete arenemisteooria aluse.

Tähistame tähe sisemuses ühe sekundi jooksul tekki-
 nud soojushulga U -ga, tema raadiuse r -ga, pinna tempera-
 tuuri absoluutses lugemises T -ga (harilikult nimetatakse
 seda „effektiivseks temperatuuriks“), siis on lihtsalt

$$U = 4\pi r^2 s T^4, \quad (1)$$

kus s , Boltzmann-Stefani kiirgusekonstant, on
 $1,40 \cdot 10^{-12}$ sel juhul, kui pikkuseühikuks loeme sm ja soo-
 juseühikuks grammkalori ($1 \text{ g/kal.} = 4,18 \cdot 10^7$ ergi).

¹⁾ Võrdle näit. Pringsheim, Physik der Sonne, lk. 425
 (Leipzig, 1910, Teubner).

²⁾ Sealsamas lk. 423. — Ka erisoojuse kõrgenemine dissotsiat-
 siooni teel, näit. aatomite lõhestumine tuumaks ja vabadeks elektro-
 nideks, ei muuda seda oluliselt.

Kui tähe mass on M , siis ta keskmine tihedus

$$d = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi r^3} \quad (2)$$

Võrrandi (1) paremal pool leiame kaks muutlikku suurust, nimelt r ja T ; tuntud ja ülalpool-esitatud vaatluste järele konstantsena vaadeldava massi puhul võime tuua sisse mõlemad muutlikud d ja T , mis üldiselt on näitlikum. Tähe arenemise täielik teooria näitaks ka muidugi, kuidas antud massi juures d ja T omavahel on seotud. Teatavasti Eddington¹⁾ katsus sellist teooriat anda; selles punktis ei või me seda tabavaks pidada²⁾, sest võrrand (1), mis siin eeldatud absoluutselt õigena, pole Eddingtoni arvutustes rahuldatud. Muu seas on minu arvamise järele kõige tähtsam edusamm, millele viinud Eddingtoni vaatlused (vrld. lk. 25), nimelt selles, et valguserõhu tagajärjel, mis mõjub gravitatsiooni vastu, ei saa olla tähti, mille mass palju suurem on kui Päikese oma, ja — meie vaatluste jaoks eriti tähtis asjaolu — tähe sisemuse temperatuur ei või iialgi tõusta märksa üle mõne miljoni kraadi; seda edusammu ei puuduta ülaltoodud vastuväited, nagu ju ka ülepea Eddingtoni teooria on igal pool tunnustatud võimsaks sammuks astrofüüsika alal.

Seega järjekult jääb lahtiseks d ja T vahel oleva suhte teoreetiline kindlaksmääramine, ja seda ei saagi — kui meie vaade on õige — enne arendada, kuni õpime üksikasjalisemalt tundma tähtede sisemuses mõõduandvaid raadioaktiivseid muundusi — peale valguserõhu tuleb arvestada soojusejuhtivust, mis tõenäoselt omab tähtede sisemuses suuri väärtusi, ja kõige pealt ka elektrostaatiliste jõudude esinemist, mis kutsutud esile segust vabanenud

¹⁾ Selle üle vrld. eriti *Astrophys. Journ.* 48, lk. 205 (1918).

²⁾ Tahaksin toonitada, et juba varemini väljendas säärast kahtlust härra prof. Westphal ühes suuliselt peetud referaadis Eddingtoni töö kohta.

positiivsete tuumade ja arvurikaste negatiivsete elektronide poolt —, siis oleme sunnitud puhtempiirilisel, s. t. tähtede statistika abil otsima nõutavat suhet d ja T vahel.

Selle ülitähtsa ülesande täpsama lahenduse pean muidugi jätma astronoomide-eriteadlaste hooleks. Eddingtoni¹⁾ antud tabelite abil, mis seatud kokku osalt empiirilisel, osalt teoreetiliste andmete põhjal, edasi härrade Guthnicki ja Bernewitzi sõbraliku abiga — võlgnen neile palju tänu eksperimentaalse materjali muretsemise eest — jõudsin järgmise täitsa provisoorse tabeli juurde, mis ulatub tähtedele, mille mass võrdub Päikese massiga (d on võetud vesi = 1 suhtes, Päikese jaoks seega 1,38):

d	T	$U \cdot 10^{-41}$
0,001	5000	57,6
0,035	8000	35,6
0,23	9500	29,3
0,33	9500	15,7
0,65	8500	6,42
1,00	7500	2,92
1,38	6300	1,20
1,50	6000	0,91
2,00	4000	0,15

Asetame Päikese jaoks otseselt leitud väärtuse $U_0 = 1,20 \cdot 10^{41}$ ergi, siis järgneb kergesti valemeist (1) ja (2) ($T_0 = 6300$, $d_0 = 1,38$):

$$U = U_0 \frac{T^4}{T_0^4} \left(\frac{d_0}{d} \right)^{\frac{2}{3}},$$

mille abil on saadud ülaltoodud tabeli viimases veerus märgitud väärtused.

Russelli²⁾ järele näitab tähtedestatistika, et hiiglastähed omavad arenemisstaadiumist peaaegu olenematut

1) Monthly Notices of R. A. S., juuni 1917, lk. 596.

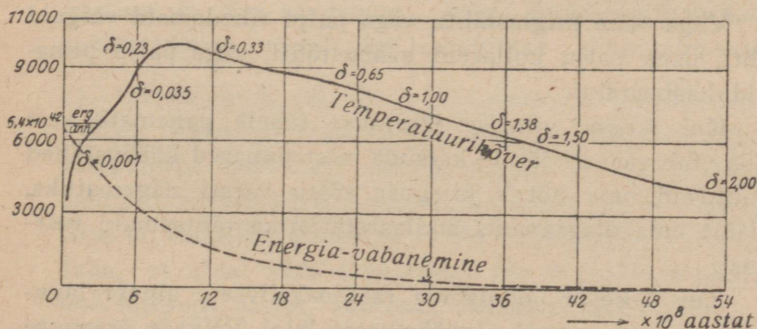
2) Selle kohta võrdle Eddington, Monthly Notices of R. A. S., november 1916, lk. 29.

heledust ja sellega ka soojusekiirgust U ; nõrga ekstrapolatsiooni abil määrame algväärtuse

$$U_1 = 64 \cdot 10^{41} \text{ ergi.}$$

Meie varemate vaatlustega kooskõlas seletame U tugevat kahanemist, mis kirja pandud katsete põhjal ülaltoodud tabelis, mõjusa substantsi raadioaktiivse osa kuluga; lähemate teadmiste puudusel toome siin raadioaktiivse lagunemise tuntud seaduse, mis muidugi kindlasti maksev ainult homogeense substantsi kohta, ikkagi ka raadioaktiivse segu kohta, ja mis seletab nähtusi kõige vähemaltki suurtes joontes. Võtame lagunemispoolaja (see on teatavasti aeg, mille jooksul muundub pool raadioaktiivset ainet) võrdseks $0,6 \cdot 10^9$ aastaga, siis kuluks $3,5 \cdot 10^9$ aastat, enne kui algväärtus $U_1 = 64 \cdot 10^{41}$ ergi langeks praegu Päikesel esineva suuruseni $U_0 = 1,20 \cdot 10^{41}$ ergi, nagu nõuab meie poolt esitatud Päikese vanaduse määramine.

Kui joonistame U -väärtused aja funktsioonina graafiliselt, siis võime tabeli järele leida sinna märgitud U -väärtustele vastavad pinna temperatuurid aja funktsioonina,



Punktitud energiakõverast, mille käik üheselt määratud raadioaktiivse lagunemise seadusega, saadakse 46. lk. asuva tabeli arvude järele samuti üheselt temperatuurikõver; muidugi mõista käesolevate andmete ebakindluse tõttu ainult suurtes joontes, nii et ei tule tähelepanu pöörata väikestele mühkidele, mida see osutab. — Tihedus pole joonistatud, vaid d -väärtused on märgitud vastavate temperatuuride kõrvale.

mille tõttu saame teise kõvera. Joonisel pole sinnakuuluvad tihedused ühendatud kolmandaks kõveraks, vaid kirjutatud mitmesuguste T -kõvera punktide kõrvale.

Seega oleme saanud lihtsa ja muidugi ka väga näitliku päikesemassiga kinnistähe arenemise diagrammi. Iseenesest võib täpsalt sama teed minna ka teiste massidega tähtede puhul, ainult aja määramine muutub natuke ebakindlamaks. Kõige pealt on muidugi lihtsaim oletus see, et U_1 on proportsionaalne massiga, s. t., tähed tekkisid samast algsegust, kuid võib ka teisiti olla. Vaevalt võib aga kahelda, et vähemalt üldiselt tähe arenemine sündis seda aeglasmalt, mida suurem oli ta mass ja et vaatlustega kooskõlas maksimaalsed tähetemperatuurid kasvavad samuti massiga.

Me võime oma diagrammi otsekohe proovida. Mitmesugustes arenemisjärgkudes asuvate tähtede arv — me teeme siin lihtsuse mõttes vahet ainult hiiglastähtede, valgete tihedate tähtede, kollaste kääbustähtede ja punaste kääbustähtede vahel — peab olema proportsionaalne sinna kuuluva aja kestusega. Me loeme otsekohe oma diagrammist kordamööda järgmisi järeldusi:

Väga vähe hiiglastähti, väga palju tihedamaid valgeid tähti, üsna palju kollaseid kääbustähti, väga palju punaseid kääbustähti.

Kui jätame viimase järelduse tähele panemata, sest seda võib vaevalt järele katsuda, sest punased kääbustähed muutuvad oma nõrga kiirguse tõttu varsti nägematuks, leiame oma diagrammis stellaarstatistika tähtsamaid tulemusi.

Kui U -kõver joonistada raadioaktiivsete ainete lagunemisseaduse asemel algväärtusest kuni Päikese praeguse väärtuseni ligikaudu lineaarselt, siis jõuame täitsa võimatu temperatuurikõvera juurde; see on kahtlemata vähemalt viitamine ülaltoodud seaduse eksperimentaalse tõenduse poole.

Massikadu, mis Päikesel on olnud tema tekkimisest saadik kiirguse teel, võime kergesti arvutada energia-

integraali abil; ta võrdub $6,0 \cdot 10^{30}$ g, s. t. on Päikese massist 0,31%. Märksa suurem väärtus oleks jäänud, nagu ülalpool selgitatud, füüsikaliselt arusaamatuks. Iseenesest mõista on sellega kooskõlas oletus, et tõelisuses mass võis kasvada meteoride kaudu. Ülaltoodud tulemust on seega vaevalt lubatav kontrollida Maa tiirlemisajast esineda võivate muutuste abil.

Mis puutub ajamõõdu kindlusesse, siis on siin küll vaevalt märksa vähemate ajapikkustega tegemist; märksa suuremad väärtused võivad iseenesest küll esineda, aga see on vaevalt tõenäone. Muidugi oleks suurima väärtusega, kui esitatud diagrammi saaks proovida veel mõnest muust küljest. Teatava määraneni on see veel järgmisel teel võimalik:

1. Oma diagrammist võime kergesti leida, palju aega on möödunud sest saadik, kui temperatuuri tingimused Maa peal võimaldasid orgaanilist elu. Päikesekiirgus oli $0,6 \cdot 10^9$ aasta eest kaks korda intensiivsem kui praegu; samuti on lugu ka radioaktiivsete varudega, mis jaotatud Päikese ja Maa sisemuses. Maale juurdetoodava soojuse kahekordistus tõstab ta absoluutse pinnatemperatuuri (1) valemile järele (lk. 44) $\sqrt[4]{2}$ -kordseks, s. t. 19% ehk 53°C võrra. Äärmisel juhul oleks pooluste lähedusel säärane temperatuuritõus veel sünnis olnud. Geoloogilised määramised kõnelevad 600 miljoni aasta asemel 400 miljonist. Siin on rahuldav kooskõla. — Ümberpöörduvalt võime ennustada, et Maal võib orgaaniline elu veel kesta ligikaudu 400 miljonit aastat, vähemalt ekvaatori naabruses.

2. Udutähed tekivad, nagu mitmeti oletatud, Linnutee läheduses. Nende omaliikumine on väike, nende esinemine on peaaegu piiratud Linnutee lähema naabrusega. See asjaolu, et nad pole saanud aega segumiseks teiste tähtedega, tõendab, et hiiglastähe arenemisjärgust võrdlemisi kergesti üle saadakse. Meie diagramm tunnistab seda

umbes 400 miljoni aasta kohta¹⁾). Vahest võimaldab see enam kvalitatiivne kooskõla hiiglastähe staadiumi kestvuse kvantitatiivset ajamääramist. —

Ühenduses ülaltoodud vaatlustega olgu lühidalt puudutatud tähtis küsimus, kas oleme õigustatud — nagu see uuemal ajal sagedasti sünnib — Linnutee-süsteemi üksikute tähtede asukohtade jaotuse ja omaliikumise poolest vaatlema asuvana statistilises tasakaalus (mida võiks võrrelda gaasmassiga). Võtame tee pikkuse, mis vaja läbistada, võrdseks 40 000 valgusaastaga — tõelisuses peaksime selle ennem veel suurema võtma, sest ilmsesti sellise vaate järele võivad tähed komeetidekujuliselt Linnutee-süsteemist kaugele välja lennata — ja oletame, et tähe keskmine omaliikumine on 10 km/sek. — tõelisuses omavad tähed, kuigi see mitu korda suurem on, neis punktides, kus nad pööravad tagasi, pika aja jooksul palju vähemat omakiirust —, siis tarvitab täht „vaba tee“ lõpetamiseks

$$\frac{40\,000 \cdot 3 \cdot 10^{10}}{10^6} = 1,2 \cdot 10^9 \text{ aastat.}$$

Edasi oletame, et nimetatud kineetilis-statistilise tasakaalu saabumiseks täht läbistas vähemalt kümme vaba tee pikkust — küllalt tagasihoidlik nõue —, siis kulub selleks $12 \cdot 10^9$ aastat, s. t. aeg, mille jooksul meie ülaltoodud vaatluste põhjal on täht juba ammu nägematuks muutunud.

Mitte ainult udutähed pole selle arvutusega täitsa kooskõlas, vaid ka tihedamad valged tähed on kaugel tõenäosusele vastavast jaotusest²⁾. — Vaja on alati meeles pidada, et sel juhul, kui sel alal opereeritakse statistilise mehaanikaga, asutakse väga ebakindlale alusele.

1) Iseenesest mõista võib see arv anda ainult suurusjärgu; 46. lk. tabel on iseäranis ebakindel oma algväärtustes.

2) Selle ja teiste sellega ühenduses olevate küsimuste kohta vrdl. vaatlusi ja arvulisi andmeid S. Arrheniuse järele, Lebenslauf d. Planeten (Leipzig 1921).

Lk. 25. Uraan lõhkeainena. Mõju võimsusest, mida avaldaks uraani silmapilkne lagunemine, võime kergesti saada pildi järgmiste vaatluste põhjal. Lõhkeaine jõud on seda tugevam, mida kõrgem on muundumisega seotud soojusetekkimine ja mida tihedam ta mass. Võib kergesti arvata, et uraan silmapilkselt lagudes uraantinaks ja heeliumiks avaldab ligikaudu miljon korda suuremat mõju kui meie kõige paremad lõhkeained. Et muundumine määratu kõrges temperatuuris sünniks silmapilkselt ja nagu harilikude lõhkeainete puhul leviks silmapilkselt, tuleb kõigi analoogiate järele loota, sest elementide seas ei saa uraanile põhimõtteliselt anda erand-seisukohta.

Lk. 24. Päikese energiakiirgus. Kui Päike täielikult koosneks uraanist, siis kataks tekkinud soojus ligi poole tema kiiratud energiast; üks gramm uraani annab tasakaalu-seisundis (s. t. kõigi lõhustumisproduktidega „raadioaktiivses tasakaalus“ $2,5 \cdot 10^{-8}$ kal./sek.¹⁾. Päikese suurune uraanmass tekitaks järjekulult $1,9 \cdot 10^{33}$ korda $2,5 \cdot 10^{-8}$, seega $0,48 \cdot 10^{26}$ kal./sek.; tõeliselt kiirgab Päike praegu peaaegu 10^{26} kal. sekundis ja varemisi perioodides oli kiirgus enam kui viiskümmend korda tugevam.

Meile tuntud raadioaktiivsete elementidega ei saa seda seletada; muidugi on üllatav, et vähemalt suurusejärgu poolest on meil tegemist energiakaotuse katmise võimalusega. See kinnitab arvamist, et kinnistähtede soojus on ikkagi pärit raadioaktiivsest allikast, kuid põhjustatud kõrgema kordarvuga raadioaktiivseist elementidest, mida meie ei tunne või mis vahest on meile tuntud elementide isotoobid.

Lk. 34. Meteoriitide keemiline koosseis. Härra eradotsent dr. Eggert vaatas lahkesti läbi litera-

1) Vrdl. selle kohta lk. 53 nimetatud St. Meyeri ja E. v. Schweidleri teost.

tuuri ülaltoodud küsimuse kohta; ta teatas mulle selle kohta järgmist:

„Meteoriitide kohta käiva kogu literatuuri väga põhjalikus ja kriitilises läbitöötamises määrab Cohen (Meteoritenkunde, Stuttgart, 1894, 1903, 1905) kindlaks järgmiste elementide esinemise. — „Raudmeteoriidid“ sisaldavad:

Fe	Ni	Co	Cu	C	P	S	Cr	Cl	Si
60—95	5—10	1	10 ⁻²	10 ⁻²	0,25	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻²	10 ⁻¹ —10 ⁻² 0/0

„Kivimeteoriitides“ leidub peale selle nende ainete varal laialipillatud kivikillukesi (näiteks nimelt oliviin: SiO : 46; FeO : 2; CaO : 3; MgO : 49%; Moissani ja teiste järele ka teemanditerakesi), nii et need meteoriidid sisaldavad veel

Ca	Mg	Al	K	Na	Si
1	2	2	10 ⁻¹	10 ⁻¹	3

ja ka bituminoosseid orgaanilisi aineid (1—70%).

Selles statistikas on silmapaistev madala aatomikaaluga elementide tugev ülekaal; ülemiseks piiriks näib siin olevat raud, ülalpool seda on nähtavasti üksiku erandina Mallet Staunton-meteoriidis kindlaks teinud 0,02% tina, mida ta pani eriliselt tähele; ka muidu leitakse seda metalli (Rammelsberg Klein-Wenden-meteoriidis 3,49%), kuid kõik autorid (Smith, Cohen) toonitavad ta haruldust. Selles mõttes näib Cohenile täitsa kahtlusevääriliseks As, Sb ja Zn esinemine, mida juhtumisi leiti, kuid mida ta oma analüüside abil tõendada ei saanud. — On ikkagi mõeldav, et kõrgeaatomilisi elemente leidub liiga vähesel hulgal, et uurida neid harilikul analüütilisel teel.“

Ilmseti oleks ülihuvitav eriti tähele panna kõrge kordarvuga elementide väheseid jälgi. Võiks arvata, et kui meteoriitides määratupika aja jooksul radioaktiivsed protsessid lõpule jõudsid, see ka nende ehituses peaks märgatav olema. Selle vastu kõneleb aga asjaolu, et meteoriidid võisid oma teedel läbi ilmaruumi kergesti ringikujuliselt korduvalt tiirelda väga kuumade tähtede ümber; sellega seotud sulamisprotsess muidugi hävitaks säärase ehituse.

Kõik sellised järeldused kaoksik, kui meteoriidid kujutaksid koguni meie päikes-süsteemi murdtükke; oleks ülima tähtsusega sellele küsimusele kosta. Seda asjaolu, et Päikeses, Maas ja meteoriitides raud näib moodustavat

suuremat osa, võiks meie seisukohast välja minnes ka nii seletada, et sellel elemendil on eriti pikk eluiga, järjekult tähendab ta raadioaktiivses laostumises teatavat laadi peatuspunkti.

Lk. 31. Valguseetri nullpunkti-energia. Et valguseeter sisaldab määratud hulga energiat, meie tundmatul viisil korraldatud nullpunkti-energiat, aga siiski võnkumisenergia kujul, teevad tõenäoseks minu 1916. a. avaldatud vaatlused ¹⁾). Minust täitsa olenematult jõudis samale otsusele E. Wiechert ²⁾). Nullpunkti-energia alumiseks piiriks arvasin ma $0,36 \cdot 10^{16}$ g/kal. sm^3 kohta, kuna Wiechert määrab selle võrdseks $7 \cdot 10^{33}$ erg/ sm^3 , seega $0,9 \cdot 10^{22}$ g/kal. sm^3 kohta. Millega seletada, et need määratud energiahulgad meie otsestest vaatlustel tähele panemata jäävad, olen põhjalikult motiveerinud eespool-tsiteeritud kohas.

Lk. 34/35. Niinim. Hessi-kiirgus. Selle kiirguse kohta, mis — nagu praegu kõige tõenäosem — faktiliselt kujutab ilmaruumi või vähemalt Linnutee-süsteemi täitvat väga kõva kosmilist röntgenikiirgust ja astrofüüsika äärmist huvi väärrib, võrdle St. Meyeri ja E. v. Schweidleri tublit raadioaktiivsuse õpperaamatut (1916), samuti ka R. Seeligeri uuemaid uurimusi (Münch. Ber. I, 1918). Kiirgust nõrgendab muidugi tugeval määral suur mass, mille ta peab läbistama atmosfääri kujul, enne kui Maa pinnale jõuab; täpsamaid uurimusi tehakse sellepärast kõige paremini kõrgetel mägedel. Selle põhjal võib lahendada ka küsimuse, kas ta kiirgab ruumis ühtlaselt või Linnutee läheduses tugevamini kui mujal; Päike peab meie arvutuste järele ikkagi omama tublisid hulki ülituge-

¹⁾ Verhandl. D. physik. Ges. 18, 83 (1916). — Bohri avastuste järele tuleb selles mõndagi muuta, põhimõtted peaksin suuremalt jaolt õigeks.

²⁾ Der Äther im Weltbild der Physik, Berlin. Weidmannsche Buchhandlung 1921.

vat radioaktiivset ainet, kuid Maale ei anna ta märgatavat gammakiirgust, mis seletub — täitsa kooskõlas järgmisel leheküljel aruteldavate kogemustega — lihtsalt sellega, et kõnealused kõrgeaatomilised elemendid asuvad enam Päikese sisemuses. Seepärast ei tarvitse isegi mitte loota, et märksa nooremad, radioaktiivsete ainete poolest vastavalt rikkamad tähed võiksid meile saata märgatava hulga gammakiirgust. Peaks Linnutees — nagu sagedasti arvatakse — kuhjuma palju „ürgmateeriat“, siis võiks viimane saada tugevama emissiooni kohaks, mille katseline proovimine oleks ülihuvitav. Kõige tähtsam on praegu muidugi küsimuse lahendamine, kas H e s s i - kiirgus on pärit kosmilisest allikast; peaks Linnutee (vahest ka udukogud) olema selle eelistatud asukohaks, tuleks küsimus muidugi jaatavalt otsustada. Peaks aga, nagu see on lk. 35 seletuste järele, sellise kiirguse asupaiga moodustama kõik valguseeter, võiks kiirgus olla pärit kosmilisest allikast, ilma et Linnuteel oleks eri-seisukoht. Siin võivad meid edasi viia ainult hoolsad mõõtmised.

Lk. 33. Planeetide ja kaksiktähtede tekimine. Praegusel ajal on tähemasside leidmine peaaegu ainult kaksiktähtede juures võimalik, ja ainult kaksiktähed annavad meile nõutava materjali tabelite kokkuseadmiseks, nagu üks neist esitatud lk. 46 nende tähtede jaoks, mille mass ligikaudu võrdne Päikese massiga. Nagu mulle juhtumisi prof. G u t h n i c k suuliselt teatas, tekib siin põhjendatud kahtlus, kas kaksiktähti tuleb vaadelda tüübilistena, kas järjelikult nende arenemiskäik pole oluliselt lahkuminev näit. Päikese omast.

E. B e r n e w i t z i ¹⁾ uuest, väga väärtuslikust kriitilisest kokkuvõttest selgub, et massikam täht on ka heledam (erand 85 Pegasi). See asjaolu selgitab pea, et (väheste eranditega) kaksiktähtede-süsteemid on tekkinud tsentraalmassi lõhustumisest.

1) Astr. Nachrichten Nr. 5089, köide 213, märts 1921.

Kui võiksime edasi oletada, et lõhustumisel mõlemate süsteemide keemiline koosseis jäi muutumatuks, siis oleksime võinud kiiratud energiahulkade U ja U'' kohta kirjutada

$$U : U'' = m' : m'',$$

kui m' ja m'' tähendavad mõlemate süsteemide masse, ja, jättes mitteolulist arvesse võtmata, järeldada, et heleduste suhe peaks võrduma masside suhtega.

See ei leia aga mitte kuskil kinnitust; pea ilma erandita on vähemad tähed valguse poolest nõrgemad kui vastaks ülaltoodud proportsioonile; nii näiteks Siiriuse vähem kaaslane on peatähest 2,4 korda kergem ja ümmarguselt kümne suurusklassi võrra tumedam. Tähtedestatistika seega näitab, et lõhustumisel tekkinud vähem kaaslane on radioaktiivsete segude poolest peatähest vaesem.

See käitumine on füüsikaliselt peaaegu iseenesest arusaadav. Sest kõrge aatomikaaluga elemendid, mille seast tuleb otsida radioaktiivseid elemente, on baromeetri valemi järele, mis gaaskeral vähemalt kvalitatiivselt rakendatav, tähe sisemuses; lahkub nüüd, nagu seda alati kujutatakse, keskmassist kaaslane, saab ta oma massi enam pinnakihtidest, sellepärast on ta radioaktiivsete ainete poolest palju vaesem kui tsentraalkeha.

Ilmselt avavad need järelemõtlused kaksiktähtedestatistikas uusi vaatepunkte; siin olgu märgitud ainult tähtsam, et meie vaatluste järele

1. ligikaudu võrdsete massidega kaksiktähtedel — kui nende temperatuurid pole liiga lahkuminevad — võib keskväärtus olla tüübiliste tähtede käitumise leidmiseks;

2. märksa lahkuminevate massidega kaksiktähtedel võib selleks otstarbeks olla peatäht (väikese õiendusega, mis kergesti järgneb meie vaatlustest);

3. abnormsete kaksiktähtede juures, nagu 85 Pegasi, tuleb oletada, et nad oma tekkimises olid üksteisest olenevad, ja igauht võib üksikult omaette kasutada.

Muu seas võib Päikese ja Maa võrdlemise abil kergesti arvutada, et ülalloodud seletustega kooskõlas Maa sisaldab võrdlemisi palju vähem raadioaktiivset ainet kui Päike; et Päike saadab välja aastas $1,20 \cdot 10^{41}$ ergi, siis peaks Maa oma 329 000 korda vähema massiga emitteerima $3,64 \cdot 10^{35}$ ergi. Võtame keskmise pinnatemperatuuri 280° abs., siis saadab Maa kiirguseeaduste järele (mis lihtsamal kujul kasutatuna ainult ligikaudu maksivad) umbes

$5,74 \cdot 10^5 \cdot 280^4 \cdot 5,09 \cdot 10^{18} = 18,0 \cdot 10^{23}$ ergi sekundis, seega $5,40 \cdot 10^{31}$ ergi aastas, — tõesti palju vähem, kui andis ülalloodud rakendus. Arvestades, et Maa saab peale selle Päikeselt suuri energiahulki, palju enam kui vastab Maa sisemusest väljavoolavale (raadioaktiivselt tekkinud) soojusehulgale, suureneb see vahe veel enam. Seega peame faktiliselt, otsekui analoogsel kaksiktähe juhul, Maa massile omistama palju väiksemat raadioaktiivsust kui Päikese massile. Järjekord Maa — kaksiktähed näitab isegi kvantitatiivselt, nagu ka füüsikaliselt võib oodata, et see raadioaktiivsuse murdosa, mis keskkeha kaasa annab lahkunud kaaslastele, kasvab viimase massiga, sest tsentraalkehast lahkeb järjest enam ta sisemusest pärit olevaid masside osi.

E. N. K. S. Tütari.
Gümnaasiumi
Raamatukogu.