

Tähtede masside ülemmäärast.

E. Ö p i k. *On the Upper Limit of Stellar Masses.* Tartu Ülikooli Toimetused A, köide XXXIII, nr. 8 — VIII; Tähetorni publ. XXX, nr. 1, lk. 42—46, 1938.

Täheteadlaste seas on laialt levinud arvamus, et väga suured tähtede massid, mõnikümmend kuni sada korda päikese omast suuremad, pole püsivad. E d d i n g t o n'i arvates pole niisugused massid mehaaniliselt stabiilsed, kuna valgusrõhk nendes tasakaalustab suurema osa raskustungist; seetõttu avaldab täht vaid nõrka vastupanu välistele (teiste taevakehade tiidede jõud) või sisemistele (subatoomilised plahvatused) lõhkuvatele jõududele ja laguneb kergelt osadeks — väiksemateks massideks, moodustades võib-olla kaksik- või mitmiktähe. H. V o g t ja W. A n d e r s o n tõid esile teisi füüsikalisi põhjusi, mis võiksid kahjustada suurte masside püsivust. Kõik need kaalutlused viisid sellele, et hakati rääkima tähtede masside ülemmäärast, kui piirist, mida

191842916

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

tähtede massid ei saa ületada. Ometi pole aga ükski ettetoodud füüsikalisist põhjust otse keelava iseloomuga suurte masside olemasolu suhtes; kui sellele vaatamata nüüdisajal püsib ettekujutus tähtede masside võimalikust ülemmäärast, siis selle vaate põhjustajana ei näi olevat mitte teoreetilised kaalutlused, vaid pigemini vaatlusandmed: tähtede masside väike dispersioon (erinevus) ja suurte masside puudumine vaatlusandmetes.

Käesolevas väikeses töös on võetud kriitilisele uurimisele just see vaatlusandmete tunnistus. Arvurikaste väikeste ja keskmiste masside (üks kuni kümme päikesemassi) logaritmide sagedus meid ümbritsevas Linnutee süsteemi osas vastab hästi nn. Gaussi ehk vigade seadusele; see tähendab, et on olemas üks kõige sagedam keskmine mass, kuna sellest suuremate masside arv kahaneb massi kasvades ikka kiiremini ja kiiremini kindla matemaatilise seaduse järele. Niisuguste keskmiste tähtede suhtes ei saa olla erilist kahtlust nende stabiilsuses; sellepärast ei või vaadeldud sagedus olla palju mõjutatud nende tähtede eluajal valitsenud seadustest, vaid peab peegeldama nende tekkimise momendil asetleidnud olukorda; see olukord pidi olema niisugune, et tekkinud masside sagedus vastab Gaussi seadusele. Kui oleks tõsi, et suurte masside olemasolu kestvusele on pandud muid tõkkeid peale nende, mis valitsesid tähtede „loomise“ ajal, siis peaksime leidma, et neid suuri masse on vähem, kui seda nõuaks väikeste masside abil kindlakstehtud Gaussi seadus. Tegelikult aga ilmneb vastupidine nähtus; sellele vaatamata, et meie andmed suurte masside kohta on ebatäielikud, väga suured (30—70 päikesemassi) massid juba ületavad arvult selle, mis järgneks Gaussi seaduse rakendamisest. Ei või sellepärast juttugi olla suurte masside puudumisest, ja kui üldse tahetakse vaatlusandmeist teha järeldusi tähtede püsivisvõimaluste kohta, siis peaks küll järeldama, et suurte masside olemasolu on vähemalt sama kindel, kui mitte kindlam väikeste masside omast.

Näiv masside ülemmäär, mida arvati leidvat vaatlusist, pole muud, kui statistilise valiku tagajärg: mida haruldasem ese, seda suuremast kogusest tuleb seda otsida. Tähtede massid on seda haruldasemad, mida suuremad nad on; võttes ühe piiratud osa meie tähtede maailmast, on selles leiduv suurim mass keskmiselt sõltuv tähtede koguarvust: mida rohkem on tähti, seda suurem on maksimaalne mass. Ülalmainitud Gaussi seaduse järgi oleks

meid ümbritsevas universumi osas tõenäone maksimaalne mass nagu alljärgnevas tabelis:

Tähtede koguarv	45	45000	45 miljon.	45 miljardit
Ruumala	Kuni 20 valgusaastat meie ümber	Kuni 200 valgusaastat meie ümb.	Kuni 2000 valgusaastat m. ü.	Kogu Linnutee
Keskm. suurim mass (päikese suhtes)	5	12	32	74

Need arvud vastavad ligikaudu sellele, mis on tegelikult vaatlusist leitud, välja arvatud viimane: kogu Linnutee tähtedest on meil läbi uuritud ainult üks väike murdosa; sellele vaatamata on juba teada mitu juhtu, kus mass ulatub arvatatud piirini või isegi tunduvalt ületab selle — asjaolu, mis tõendabki, et ülisuured massid esinevad sagedamini, kui seda võiks oodata.

On veel teine asjaolu peale mehaanilise ebastabiilsuse, mis võib tekitada näivat ülemmäära tähtede massidel: nimelt massi kulutamine energiaks, mida täht maailmaruumi välja kiirgab. Tähtede kiirgamisvõime ehk absoluutne heledus oleneb massist, kasvades palju kiiremini kui viimane; suured massid kuluvad seetõttu kiiremini kui väikesed. Tuntud massi — heleduse olenevuse põhjal (mis aga kahjuks suurte masside puhul pole kaugeltki kindel) võib arvutada, et isegi täht, mis alguses omas lõpmatut massi, peab 3000 miljoni aasta jooksul kahanema kuni 50-kordse päikese-massini [3000 miljonit aastat on ligikaudne maailma vanadus (vt. Tähetorni Kalender 1933. a., lk. 38)]. Arvestades asjaolu, et mõned tähed võivad olla nooremad kui 3000 miljonit a. (vt. üks järgnevaist kokkuvõttest, lk. 61), samuti et meie teoreetilised seadused ülehindavad suurte masside heledust, jõuame massi ülempiirini 50—100 päikesemassi ümber, — arvud, mis enam-vähem vastavad senistele vaatlustele.

Kokkuvõttes jõuame otsusele, et vaatlusandmed ei kinnita oletusi suurte masside mehaanilise ebastabiilsuse suhtes; et masside võimalik ülemmäär, kui niisugust üldse on olemas, peab tunduvalt ületama arve, mida seni üles seati; ja et peale mehaaniliste „de jure“ põhjuste võib tegelik ülemmäär tekkida „de facto“, lihtsalt massi ülirohke kuluvuse tõttu kiirgamise näol maailmaruumi.

E. Ö.

Valge kääbuse A. C. + 70° 8247 tihedusest.

E. Ö p i k. *The Density of the White Dwarf A. C. + 70° 8247.*
Tartu Ülikooli Toimetused A XXXIII, nr. 8—IX;
Tähetorni publ. XXX, nr. 1, lk. 47—49, 1938.

Hollandi-Ameerika teadlane K u i p e r leidis selle valge kääbuse tiheduse olevat 36 miljonit korda vee tihedusest ehk senituntud valgete kääbuste omast peaaegu tuhat korda suurema (vt. Tähetorni Kal. 1937. a., lk. 36, kus H. Keres'e artikli aluseks olid K u i p e r'i uurimised). K u i p e r'i andmete revideerimine aga viib selle tiheduse tunduvalt allapoole; nimelt K u i p e r'i oletatud temperatuur, 28000° on liiga kõrge; otsesed värvimõõtmised näitavad 12000°, millele vastav tihedus on „ainult“ 70000 korda vee omast suurem; viimane on juba teiste valgete kääbuste tihedustele sarnane (30000 korda vee tih. Siiriuse kaaslasel; 50000 korda o² Eridani B) ja ei moodusta niisugust erakordset arvu, nagu K u i p e r'i töö põhjal esialgu arvati.

12000°-lise temperatuuri juures peaks tähe spekter olema A0 või B9, tugevate vesiniku joontega; seevastu K u i p e r väidab täielikku spektrijoonte puudumist; kui teiste elementide suhtes, kus jooned on nõrgad, see väide ei pruugi olla kategooriline, arvestades selle nõrga tähe raskete vaatlustingimustega, siis paistab vesiniku joonte puudumine olevat enam-vähem kindel. Seletuseks on võetud oletus, et selles tähes vesinik tõesti puudub: vesinik on lõpuni ära kulutatud subatoomilistes protsessides (vt. järgmine referaat).

E. Ö.

Tähtede sisemine ehitus, energia allikas ja arenemiskäik.

a) E r n s t Ö p i k. *Stellar Structure, Source of Energy, and Evolution.* Tartu Ülikooli Toimetused A, köide XXXIII, nr. 9; Tähetorni publ. XXX, nr. 3, lk. 1—118, 1938.

b) E r n s t Ö p i k. *Composite Stellar Models.* T. Ü. Toimetused A, köide XXXIV, nr. 5; Tähetorni publ. XXX, nr. 4, lk. 1—48, 1938.

Käesolevad tööd, mis kokku moodustavad terviku, sisaldavad kriitilist ülevaadet tähtede ehituse ja arenemiskäigu küsimusist: erilise tähelepanuga on kaalutud tähtede energia allikate küsi-

must. Arvestades igasuguste, meie praegusaja füüsika ja astronoomia seisule vastavate võimalustega, on siin jõutud teatavale ühtlasele kujutusele, mis kõrvaldab või seletab rea vasturääkivusi, nagu seda pakkus meile seni näiteks hiid- ja kääbustähtede mõistatus.

Füüsika andmetel kindlaksmääratud energia-allikad on atoomiline süntees ja gravitatsioon; nendest kahest nähtest jätkub täiel määral selleks, et seletada tähtedelt maailmaruumi kiirratava energia päritolu. Nende kahe energia-allika ülemvalitsuse tunnustamine aga viib kohe ka tähtede sisemise struktuuri tüüpide kindlaksmääramisele; erilist tähtsust omavad nn. liitmudelid; laiaulatuslikes arvutuses ongi antud rida tüübiliste liitmudelite näiteid.

Üksikuid uurimuste tulemusi nende mitmekesisuses käsitame allpool kõige otstarbekohasemalt punkt punkti järele.

1. **Atoomiline süntees.** Selle all mõistame raskeimate elementide tekkimist kergemaist; peamiselt on mõeldud vesiniku kui algaine muutumist heeliumiks, liitiumiks, süsinikuks, hapnikuks jne.; sealjuures vabanev energia on nii suur, et jätkuks päikese kiirgamise alalhoidmiseks kuni 100 miljardi aastani. Sellega oleks lahendatud päikese energia küsimus, mis juba Helmholtz'i ja Kelvin'i ajast oli raskeks mõistatuseks: tol ajal tuntud tõhusaim energia allikas, nimelt kokkutõmbuva gaaskera gravitatsioon, oleks suutnud varustada päikese kiirgamist ainult umbes 20 miljoni aasta jooksul, kuna vastuvaidlematud geoloogilised andmed tõendavad, et päike peaaegu raugematult soojendanud maakera vähemalt sada korda pikemal ajaväljal. Hiljem avastatud radioaktiivsed protsessid, seotud raskemate elementide — uurani, tooriumi, raadiumi — muutustega, pole ka küllaldased päikese ja tähtede energia seletamiseks; mitte ainult sellepärast, et energia hulk pole küllaldane, ja et vastavad elemendid on haruldased ja leiduvad tähtede sisemuses arvatavasti liiga vähesel hulgal, vaid peamiselt sellepärast, et radioaktiivsete protsesside kiirus ei olene mitte väliseist tingimustest; isegi kümne miljoni kraadilised temperatuurid, nagu need esinevad päikese sisemuses, ei mõju siin märgatavalt. Tähtede kiiratud energia oleneb peamiselt massist ja keemilisest koosseisust, olles antud tähe puhul enam-vähem püsiv suurus; kui nüüd radioaktiivne energia allikas ka on muutmatu, saab täht tasakaalus püsida ainult siis, kui kaks

üksteisest rippumatut suurust, tähe kiirgamine ja radioaktiivne energia, juhuslikult oleksid üksteisele võrdsed; niisugune juhus oleks aga äärmiselt haruldane nähe, kuna suurem hulk tähti radioaktiivse energia-allika puhul emb-kumb, kas kiirelt paisuks liigse energia mõjul ja mõne miljoni aasta jooksul muutuks hõredateks gaasududeks, või jälle variseks kokku ja muutuks valgeiks kääbuseiks. Et aga suurem hulk tähti pole üht ega teist, vaid on päikesesarnase ehitusega, siis tuleb järeldada, et radioaktiivsed protsessid pole mõõduandvad tähtede energia-allikana. Oige energia-allikas peab olema automaatselt reguleeritav, muidu oleks meile päikese ja tähtede püsivus arusaamatu: et saavutada tasakaalu, peab paisuva tähe energia tootmine kahanema, kokkutõmbuva oma aga kasvama. Atoomiline süntees, nagu näitavad moodsa füüsika eksperimentaalsed ja teoreetilised andmed, vastab hästi ka sellele nõudele, nii et sel puhul energia tootmine tasakaalustub automaatselt ja kiirelt energia kulutamisega.

Rutherford'i endi ja järglaste tehtud avastised on nüüdisajal teinud atoomilise sünteesi eksperimentaalseks tõsiasiaks, kuna veel hiljuti vaadati sellele kui mittetõestatud võimalusele. Aatomite ehitamisel, liitmisel (mitte „purustamisel“, nagu seni laialt nimetatakse subatoomilise energia saavutamist) vabaneb määratu hulk energiat, mille tehnilise rakendamise võimalustesse kahjuks tuleb nüüdisajal suhtuda eitavalt; kuid tähtede seesmuses, kümnete miljoni kraadiliste temperatuuride juures, annab see allikas küllaldaselt ja parajal määral energiat. Huvitav on, et ka arvuline võrdlus päikese ja laboratooriumi vahel annab selles suhtes head kooskõla. Nii näiteks on laboratooriumis hästi uuritud heeliumi tekkimine liitiumist ja vesinikust, kusjuures katse sel puhul osutus parimas kooskõlas teooria ennustustega; laboratooriumi andmeil võime näiteks arvutada, kui palju soojust tekib sekundi jooksul antud vesiniku ja liitiumi segus, kui temperatuur ja tihedus on teada (laboratooriumi katseis meie küll ei suuda saavutada väga kõrgeid temperatuure; kuid temperatuur määrab ju aatomite kokkupõrke keskmist kiirust, kusjuures on täitsa ükskõik, kas aatomite kiirused on ebakorrapäraselt sihitud igasse suunda, — nagu temperatuuri liikumisel, või on liikumine korrapärane teatud kindlas suunas; laboratooriumi kanal-kiirtes saavutatud aatomite löögikiirused vastavad kuni mitme miljardi kraadilistele temperatuuridele, tuhat korda suurematele kui päi-

kese keskpunktis valitsev temperatuur; meil on sellega õigus väita, et atoomilise sünteesi vaatepunktilt on maistes laboratooriumides hästi saavutatavad tingimused, mis vastavad tähtede sisemuses valitsevaile tingimustele). Rakendame seda päikese kohta oletusel, et liitiumi ja vesiniku sisaldavus on sama, nagu otseselt määratud päikese atmosfääris (see oletus on võimalik ainult aine täieliku segunemise puhul), ja oletusel, et päikese ehitus on „adiabaadiline“ (mis tähendab ka aine täielikku segunemist), millele vastab keskpunkti temperatuur 12 miljonit kraadi (38% vesiniku sisaldavusel); arvutustest leiame, et liitiumi ühinemine vesinikuga ja sellest heeliumi tekkimine peab andma 20 protsenti päikese kogukiirgamisest; liitiumi hulka jatkuks aga ainult 100 000 aastaks. Lihtne fakt, et liitium pole täitsa kadunud päikeselt, tõendab, et liitiumi tekib juurde sama palju, nagu seda ainet kulub; see on ka parimas kooskõlas teooria ennustustega, mis nõuavad, et liitium peab tekkima aste-astmelt otse vesinikust; olgugi et neid liitiumi „uuestisünni“ protsesse pole seni õnnestunud leida laboratooriumis, on nende energia arvutatav ja osutub umbes seitse korda ülal arvutatud hulgast suuremana. Kogusummas saame umbes 60 protsenti rohkem, kui päike tõeliselt kiirgab, kuid see ülekaal on täitsa siin aluseks võetud andmete ebatäpsuse piires; võime väita, et päikese puhul atoomilisest sünteesist tuletatud soojushulk on heas kooskõlas füüsika andmetega „adiabaadilise“ struktuuri juhul. Seda fakti võib lugeda osaliseks tõendusks, et meie päike tõepoolest on „adiabaadiline“. Kuivõrd tundlik on arvutus sisemisele ehitusele, nähtub järgmisest: oletades, et päike on ehitatud „Eddingtoni mudeli“ järele, keskpunkti temperatuuriga 19 miljonit kraadi (ehk ainult veidi rohkem kui 1½ korda kõrgem eelmisest temperatuurist), leiame atoomilise sünteesi energia hulga 20 000 korda suuremana kui päikese tõeline kiirgamine; niisugune „Eddingtoni“ ehitus aga üldse ei saaks püsida, sest atoomilise sünteesi kiirelt keskpunkti poole kasvav energia tekitaks tugevaid voole (nagu alt soojendatava veenõu põhjas) ja segunemist, mis kohe viiks ehitust „adiabaadilise“ struktuuri poole.

On teada, et päikese atmosfääri keemiline koosseis on üsna sarnane maakoore ja meteoriitide omaga, millest järeldatakse ühtlast päritolu; erinevad on kerged gaasid — vesinik ja heelium — millede puudumine maakeral (vabas olekus) on seletatav nende

liikuvusega; peale selle on silmatorkav liitiumi vähesus päikese atmosfääris: liitiumi on päikesel suhteliselt 1000 korda vähem kui maakeral. Juba enne atoomilise sünteesi tõsiasjaks saamist väitis Russell, et liitiumi (ja mõne teise elemendi) vähesus päikeses tuleb seada ühendusse nende ainete kerge teoreetilise reageerimisvõimega teiste aatomitega. Liitium, nagu nägime, ühineb kergelt vesinikuga päikese sisemuses; sellepärast pole vaba liitiumi hulk seal määratud mitte algelise hulgaga (algeline hulk kaoks juba 100 000 aasta jooksul), vaid „tasakaalu tingimustega“: liitiumi hulk päikesel on 1000 korda väiksem maakera omast ja on parajasti niisugune, et liitiumi reaktsioon annab päikesele vajaliku soojushulga.

Asjaolu, et päikese atmosfäär sisaldab harukordselt vähe liitiumi, on iseenesest kaudseks tõenduseks, et päikese aine seguneb jõudsasti: atoomiline süntees võib toimuda ainult sügavuses, kõrgete temperatuuride juures, atmosfääris aga mitte; poleks segunemist, jääks liitiumi suhteline hulk päikese atmosfääris ajajooksul muutmatuks, tõenäoselt umbes samaks nagu maakeral ja meteoriitides, mis aga vaatlusandmetele ei vasta.

Raskemad elemendid, nagu hapnik, magneesium, kaltsium, raud jne. ei allu märgatavalt atoomilisele sünteesile päikese ja kääbustähtede sisemuses valitsevate tingimuste juures, vaid nõuavad selleks palju kõrgemaid temperatuure; sellega kooskõlas on ka vaatlusfakt, et päikese ja kääbustähtede atmosfääres leidub neid elemente enam-vähem ühesuguses proportsioonis (vt. Tähetorni Kal. 1936. a., lk. 67, ja 1938. a., lk. 60), ja umbes sama palju nagu maakeral ja meteoriitides; atoomiline süntees pole suutnud mõju avaldada nende hulgalet.

Atoomilise sünteesi reaktsioonide keti esimene aste oleks kõige tõenäosemalt kahe vesiniku aatomi (protoni) ühinemine deuteroni (ehk kahekordse aatomkaaluga vesinikuks); igasugused laboratoorsed katsed selles sihis andsid seni kahjuks negatiivse tulemuse. Kahe aatomi tuuma ühinemisel on mõõduandvad kaks asjaolu: 1) lähenemise ja üksteise sissetungimise võimalus; 2) ühinemise võimalus pärast seda, kui sissetungimine toimus. Sissetungimise võimalus oleneb tuumade elektrilaenguist ja on teoreetiliselt täpselt arvutatav. Ühinemise võimalust aga ei saa teoreetiliselt ennustada. Katsed annavad liitiumi-vesiniku reaktsiooni

puhul ühinemise võimaluse $1/10$ kuni $1/100$: iga kümne kuni saja sissetungimise puhul sünnib ainult üks ühinemine; ülejäänud 9 kuni 99 juhul sünnib ainult „elastiline“ kokkupõrge, mõlemad tuumad lähevad jälle puutumatuks lahku. Vesiniku tuuma sissetungimise võimalus vesiniku tuumasse on palju kergem, kui liitiumis-; oleks ühinemise võimalus sama, mis liitiumilgi, toimuks vesiniku reaktsioon vesinikuga nii intensiivselt, et ühe sekundi vältel päike arendaks soojushulka, mis võrdub tema normaalsele kiirgamisele 100 miljardi aasta vältel: sünniks hiigelpahlvatus. Muidugi poleks seda plahvatust kunagi juhtunud, vaid päikese keskpunkti temperatuur oleks pidanud olema palju madalam ja päikese raadius 9 korda suurem, kui see tegelikult on, — vesiniku ühinemise energia oleks takistanud päikest kokku tõmbumast üle selle piiri. Et seletada meie praeguse päikese olemasolu, vaatlustest meile tuntud raadiusega, oleme sunnitud järeldama, et deuteroni sündimine vesinikust on äärmiselt haruldane: kahe protoni ühinemine ei või sündida sagedamini, kui üks kord iga 10^{19} (kümme 19-ne nulliga) kokkupõrke (sissetungimise) kohta. Laboratooriumis oleks võimatu tähele panna nii haruldast sündmust; pole siis mingi ime, et deuteroni sünteesi vesinikust pole õnnestunud katseliselt kindlaks teha.

2. Teised energia-allikad. Kõige tähtsam neist on gravitatsioon; tõi küll, päikesel või päikesesarnastel tähtedel, kus tihedus pole suur, gravitatsiooni osa energia sünnitamisel pidi olema äärmiselt väike, umbes $1/5000$ koguenergiast. Kuid valgeil kääbuseil, kus tihedus on mitukümmend tuhat korda suurem vee tihedusest, peab gravitatsioon tõusma esiplaanile; samuti hiidtähtede ülitihedates tuumades (vt. allpool) võib kokkutõmbumisel gravitatsioon anda soojushulki, mis ületavad isegi atoomilise sünteesi võime 100 korda, nii et gravitatsiooni kaudu võib suur osa tähe massi muutuda kiirgamiseks. Suuremat energia-allikat, kui massi muutumine energiaks, pole olemas, nii et gravitatsioon lõppude lõpuks on võimeline andma rohkem energiat kui ükski teine protsess.

Mõnelt poolt on oletatud, et tähtede energia allikaks võiks olla „aine hävinemine“, kus kahe kokkupõrkava aineosakese mass muutub täielikult kiirgamiseks; oletati (E d d i n g t o n), et see protsess võiks toimuda võrdlemisi madala temperatuuri juures, selleks et seletada hiidtähtede energia tootmist; nimelt E d d i n g -

toni ettekujutuse järgi hiidtähed, olles oma ehituselt kääbus-tähtedele sarnased, peavad omama madalamaid keskpunkti temperatuure ja tihedusi, niisuguseid, et ei atoomiline süntees ega gravitatsioon ei suudaks seal nimetamisväärselt energiahulka tekitada. Meie töös on näidatud, et ükski materiaalosakeste kokkupõrkeist tingitud protsess ei või rahuldada Eddingtoni soove: ikka tuleks välja, et energiat tekib rohkem seal, kus on suurem tihedus, või temperatuur, või mõlemad. Sellest järgneb vastuvaidlematult, et hiidtähtede keskpunkti temperatuurid ja tihedused on kõrgemad kääbuste omist, olgu seal mistahes energia-allikad valitsemas. Tähendab, hiidtähed ei saa olla ligikaudseltki ehitatud „Eddingtoni mudeli“ järele, vaid peavad omama erilisi ülitihedaid tuumi; vormaliselt vastaks see Milne'i ettekujutusele (sisuliselt on aga erinevus Milne'i vaadetest suur, kuna viimane oletas kõigil tähil sarnaseid tuumi, ignoreerides atoomilise sünteesi tõsiasju, mis ei luba kääbustel tuumade tekkimist enne, kui vesinik on ära kulunud). Teiselt poolt füüsikud üldse ei taha hästi tunnustada „aine hävinemise“ võimalust; et hiidtähtede ülitihedais tuumis gravitatsioon on võimeline andma sama palju energiat, kui kahtlane „aine hävinemise“ protsess, siis meie viimast ei vajagi, ei saaks meie ka väliste tunnuste abil eraldada selle mõju gravitatsiooni energia mõjust; võime täitsa piirduda oletusega, et „aine hävinemist“ pole olemaski, et ainus atoomilisele sünteesile järgmine tähtis energia-allikas on gravitatsioon.

3. Tähtede arenemiskäik ja struktuur. Nii kaua kui tähe keskpunkti ligidal veel leidub vesinikku, on ainsaks tõhusaks energia-allikaks atoomiline süntees: viimane ei luba tähel kokku tõmbuda alla teatavat piiri, ei luba siis ka gravitatsiooni energial mõjule pääseda.

Atoomiline süntees aga kulutab vesinikku; kui vesinik on kadunud, hakkab toimuma „kõrgemajärguline“ süntees, mille keskel heelium, hapnik jne. ühinevad lõpuks rauaks ja sellele lähedal olevaiks metalleks (nikkel, mangaan), kusjuures vabanev energia moodustab ainult umbes 10 protsenti vesiniku sünteesist. Lõpuks on kõik ühtlane „rauasarnane“ segu, atoomiline süntees lakkab töötamast; tähe kiirgamine maailmaruumi aga seisma ei jää; energia-allikate puudumisel täht hakkab kokku tõmbuma, kokkutõmbumisest sünnib jälle gravitatsiooni energia, mis nüüd, selles pidevalt „kokkuvarisevas tähes“, asetab endist energia-allikat:

gravitatsioon enne ei astu esiplaanile, kui atoomilise sünteesi osa on lõppenud.

Lihtsam juhul on, kui täht omab „adiabaadilise“ struktuuri (nagu meil päikese puhul põhjust on oletada): pidevad konvektsiooni-voolud toovad ühtlast segunemist, nii et vesinik kulub ühtlaselt terves tähes; kui vesinik on ära kulunud, algab kokkutõmbumine kogu tähes, viimane muutub valgeks kääbuseks, nagu seda on A.C.+70⁰ 8247 (vt. eelmine referaat).

On mehaaniliselt mõeldav aga ka teissugune struktuur; konvektsiooni-voolud, mida tekitab keskpunkti ligi atoomiline süntees, võivad piirduda ainult teatava sisemise osaga, ilma et nad üle terve tähe ulataksid; sel juhul tekib „liitstruktuur“: keskpunkti ümber konvektiivne (adiabaadiline, vooludega) piirkond; siis vahepealne vaikne „radiatiivne“ kiht selle ümber, kiirgavas tasakaalus ilma vooludeta; selle ümber kuni pinnani jällegi konvektiivne piirkond; viimane võib erijuhul puududa ning „radiatiivne“ kiht ulatuda pinnani.

Liitstruktuuris aine vahetus kesk- ja välisosade vahel puudub: segunemine on täielik ainult keskses konvektiivses piirkonnas; atoomiline süntees toimub ainult selle keskse piirkonna arvel, kus vesiniku hulk ajajooksul kahaneb; väljaspool seda on temperatuur madalam ja märgatavat atoomilist sünteesi ei toimu: koosseis ja vesiniku hulk väliskihtides palju ei muutu. Nii tekib liitstruktuuris koosseisu diferentsiatsioon; vesinikuvaene tuum koosneb raskemast gaasist, ja kui vesinik tuumas lõpuni ära kulub, hakkab tuum kokku varisema, muutudes ülitihedaks ja olles niiviisi gravitatsiooni energia allikaks. Kokkuvarisevale tuumale vesinikku sisaldav väliskest ei saa täiel määral järgneda, selle takistajaks on atoomiline süntees, mis nüüd juba väliskestas hakkab toimuma ja seda kesta samal ajal üles paisutab, kui tuum kokku variseb: tekib hiidtäht. Hiidtäht on siis liitstruktuuri kaugemale arenenud järk, mille omadused on selle näiva vasturääkivuse tagajärg, et tuuma kokkuvarisemine nõuab kesta paisumist; hiidtähtede omadused muutuvad niiviisi arusaadavaiks, täitsa loomulikul teel, ilma tundmatuid ja ebatõenäoseid aine-omadusi abiks võtmata.

Pikapeale kulub aga vesinik ka liitstruktuuri väliskihtides kiht kihi järele ja kui vesinikku sisaldav kiht on õhuke, muutub

hiidstruktuur võimatuks: täht omab siis ülisuurt tihedust ka meile nähtuna (mitte ainult keskpunktis), kuid vesinikku võib sealjuures ikkagi leiduda tema atmosfääris, olgugi et sisemuses vesinik puudub; niisugusena paistab meile näiteks Siiriuse kaaslane.

Nagu arvutused näitavad, algab paisumine liitstruktuuris juba kohe vesiniku hulga kahanemisega tuumas, ilma et tuum pruugiks kokku variseda. Samuti aeglaselt peab paisuma esialgu ka „adiabaadiline“ mudel, kuid palju vähem kui liitmudel. Arvestades antud tähe keskpunkti temperatuuri praktilist muutmatust atoomilise sünteesi kestvuse jooksul (sest viimane on ülitundlik temperatuuri suhtes), see tähendab kääbus-sarnases ehk „normaalseeria“ olekus, leiame, et kõigist kääbustest antud massiga on väiksema raadiusega ja suurima tihedusega „adiabaadiline“ mudel, kuna liitmudelid on seda suurema raadiusega ja väiksema tihedusega, mida vähem on vesinikku tuumas ja mida kitsam on väline (pinnapealne) konvektiivne kiht. Vaatlusandmeist selgub, et päike omab sama massiga tähtede hulgas suurima tiheduse ja on arvatavasti „adiabaadilise“ struktuuriga — mis on kooskõlas ka teiste ülaltoodud andmetega. Procyon omab aga ligi 60 protsenti suurema raadiuse, kui vastav „adiabaadiline“ struktuur ja sobiks väga hästi liitstruktuuri mudeliga, kus tuumas on vesiniku hulk langenud umbes poole peale.

Tähtede kogu-kiirgamine ehk absoluutne heledus oleneb massist, koosseisust — peamiselt vesiniku sisaldavusest — ja vähemal määral raadiusest ning struktuurist; see kogu — kiirgamine on arvutatav laboratooriumis määratud füüsikaliste seaduste ja konstantide abil, ilma et vaja oleks appi võtta astronoomilisi vaatlusi. Ümberpöörduvalt, teades massi, heledust (vaatlusist) ja struktuuri, on võimalik määrata tähe keskmist koosseisu, nimelt vesiniku sisaldavust (teiste elementide omavaheline suhteline hulk palju heledusele ei mõju). Niiviisi, oletades päikesel „adiabaadilist“ struktuuri, leiame, et keskmine vesiniku sisaldavus peab olema 38 protsenti kogu massist, mis enam-vähem vastab Russell'i poolt päikese atmosfääris leitud vesiniku hulgale; sellele vastav keskpunkti temperatuur, 12,0 miljonit kraadi, annab atoomilise sünteesi kaudu peaaegu täpselt selle soojushulga, mida päike kiirgab (täpse kooskõla oleksime saavutanud 11,7 milj. kraadilise temperatuuri ja 39 protsendi vesinikuga): kõik andmed ja arvutused on omavahel parimas kooskõlas, millest võime välja lugeda

kinnitust tehtud oletustele, eriti sellele, et päike on tõepoolest adia-
baadiliselt ehitatud.

Mida rohkem vesinikku sisaldab täht, seda vähem ta kiirgab ja ümberpöördukt. Vesiniku hulga vähenemisega peab tähe heledus tõusma, tõusev heledus aga kiirendab omakorda vesiniku kulu: tähe „põlemine“ sünnib kiirendatult, ja näiteks päikese eluaeg oleks seetõttu kümme korda lühem, kui ühtlase heleduse juhul. Tabel 1 annab ülevaate sellest, kuidas sünnib meie päikese heleduse muutus ajajooksul ja kuidas muutub maakera keskmine temperatuur, oletusel, et päike on adia-
baadiliselt ehitatud, ja et selle praegune vesiniku sisaldavus on 37 protsenti. Viimane arv erineb veidi eelpooltoodud arvust (38); siin on arvestatud asjaoluga, et meie praegu veel pole täitsa jääaja mõjust vabanenud ja et maakera normaalne temperatuur peaks ilma jääaja mõjuta olema $+20^{\circ}\text{C}$, mitte $+15^{\circ}\text{C}$, nagu praegu; sellele vastaks veidi suurem päikese heledus, ja vastavalt väiksem vesiniku sisaldavus. Muidu on jääajad maakera ajaloo kestnud niivõrd lühikest aega (Kämbriumist saadik vist alla ühe protsendi kogu ajast), et maakera keskmiste olude tuletamisel ja nendele vastava päikese kiirgamise arvestamisel jääajad üldse ei mängi märgatavat osa.

Mis puutub jääaegade päritolusse, siis on raske praegu anda täitsa rahuldavat seletust; üks on kindel, et nende põhjust tuleb otsida väljaspool maakera, nimelt päikese kiirgamise ajutisis nõrgenemisis, muidu on arusaamatu üheaegne jäästumine maakera mõlemal poolkeral; võimalik, et päikeses tekivad aegajalt teatavad struktuurimuutused, mis on seotud paisumisega; paisumise ajal kulub osa energiat paisumise tööle, mis on ju sihitud gravitatsiooni vastupidises suunas; seevõrra väheneb maailmaruumi kiirata-
v energiahulk: maakerale langev soojushulk väheneb. Niipea kui paisumine jääb seisma, tõuseb päikese soojus jälle normaalsele tasemele: jääaeg on lõppenud.

Pöördudes tagasi meie tabeli juurde, tähendame kõigepealt, et geoloogilised andmed maakera keskmise temperatuuri kohta pole täpsed; sellele vaatamata ilmneb nendes arvudes teatav tõusev tendents (Jääaega arvestamata), kocskõlas arvutustega; üldist korrapärast käiku maakera temperatuuris nagu segavad mingisugused häired (võrdle Juura — Tertsiaär), mis nagu Jääaegki tuleks panna päikese soojuse — seekord pikemaajaliste — võnkumiste arvesse.

Tabel 1.

Päikese kiirgamise ja maakera keskmise temperatuuri muutus ajajooksul, tingitud vesiniku sisaldavuse muutusest päikeses.

Aeg tähendab: — enne meie aega; + pärast meie aega.

Aeg, miljonid aastad . . .	—3150	—2020	—970	—480	—320	—120	—60	—20	—1
	(Maakera tekkimisel)	(Arhaikum)	(Ordo-viit-sium)	(Siluur)	(Juurra)	(Tertsiaär)	(Tertsiaär)	(Jääaeg)	
Vesiniku hulk päikeses, % .	40	39	38	37.5	37.3	37.1	37.1	37.0	37.0
Päikese suhteline heledus, arvatud (võrreldes praegusega)	0.84	0.91	0.99	1.03	1.04	1.06	1.06	1.07	1.07
Maakera keskmine temperatuur, arvut. .	+ 3 ^o	+ 9 ^o	+14 ^o	+17 ^o	+18 ^o	+19 ^o	+20 ^o	+20 ^o	+20 ^o
Maakera keskmine temperatuur geoloogilistel andmetel	—	≥+9 ^o	≥+9 ^o	+15 ^o	+22 ^o	+17 ^o	+25 ^o	+20 ^o	+ 8 ^o
Aeg, miljonid aastad . . .	0	+900	+4900	+7400	+8720	+9280	+9520	+9600	+9700
	(Praegune aeg)								(Valge kääbus)
Vesiniku hulk, %	37.0	36.0	30.0	24.0	18.0	12.0	6.0	0.0	0.0
Päikese suhteline heledus, arvatud . .	1.07	1.16	1.94	3.53	7.05	16.9	42.5	112	0.01
Maakera keskmine temperatuur, arvatud	+20 ^o	+26 ^o	+62 ^o	+117 ^o	+191 ^o	+305 ^o	+458 ^o	+655 ^o	—180 ^o
Sama, vaatlusandmete järgi	+15 ^o	—	—	—	—	—	—	—	—

Vaadeldes jääaegu kui päikese soojuse juhuslikke nõrgenemisi, mis võisid olla erisuguse tugevusega, võiksime oodata, et mida madalam oli maakera „normaalne“ temperatuur minevikus, seda sagedamad olid jäätumised, sest nõrgemadki päikese soo-

juse miinimumid juba võisid jäästumisi põhjustada; tõepoolest ongi nii: hiljutine, praegugi veel mitte täitsa lõppenud jääaeg on ainus viimase 200 miljoni aasta jooksul; enne seda olid jääaegade vahed lühemad, alla 100 miljoni, vanematel aegadel (Kämbrium ja Prekämbrium) vast 50 miljonit aastat; Arhaikumis leidub palju jäästumise jälgi, mille ulatust kahjuks on nüüdisajal raske hinnata. Igatahes jääaegade sagedus ja intensiivsus vanemal geoloogilisel ajastuil räägib samuti päikese kiirgamise ja maakera temperatuuri aeglase kasvu poolt, mis on kooskõlas teooriaga.

Tuleviku kohta annab meie tabel järgmise pildi. Lähimate sajatuhandete aastate jooksul, võib-olla varemgi, vabaneb päike jääaja tumestusest ja maakera keskmine temperatuur tõuseb umbes 5° võrra: Eestis on siis Itaalia kliima. Vahepeal võib aga päris jääaeg veelkord tagasi tulla, nagu seda viimase miljoni aasta jooksul mitu korda on juhtunud. Sarnaseid ajutisi kõikumisi mitte arvestades, jätkub maakeral pidev soojenemine: ühe miljardi aasta pärast on meie laiusil Põhja-Aafrika kliima, kahe miljardi aasta pärast valitseks juba troopiline kuumus. Viie miljardi aasta pärast on aga päikese kuumus niisugune nagu on praegu planeet Veenusel, ja elu, nagu meie seda tunneme, muutub maakeral võimatuks; kindlasti kõik elujäljed maakeral hävinevad edaspidi ikka tõusvas kuumuses. mis umbes 10 miljardi aasta pärast tõuseb 600—700 kraadini ehk punaseraua kuumuseni. Siis aga lõpeb vesiniku tagavara päikeses, päike variseb „kiirelt“ (100 miljoni aasta jooksul) kokku, muutudes valgeks kääbuseks 100 korda nõrgema heledusega kui praegu; jääne rahu vedela õhu temperatuuri juures asendab kuumuses mässavate elementide möllu maakera pinnal. Ükski uuriija, kes võõralt planeedilt siis satuks maakerale, ei leiaks eelkäiva elu jälgegi — kõik on ju siis põletatud ja ühte sulatatud suures kuumuses. — Arusaadav, et muud nähted, nagu maakera orbiidi muutused teiste taevakehade mõjutusel või otsesed kokkupõrked võivad seda üldpilti muuta.

Päikese eluiga, arvates selle sünnist, mis leidis aset umbes kolm miljardit aastat tagasi, on siis ümmarguselt 13 miljardit aastat. Suurematel, „adiabaadiliselt“ ehitatud tähtedel on see iga seda lühem, mida suurem on mass, sest kiirgamine kasvab massiga ülikiirelt; kuid suuremad massid ei „kustu“ pärast vesiniku ärakulumist, ei muutu valgeiks kääbuseiks, vaid jäävad helendama raskustungi energia arvel: liitmudelid hiidtähtedena, „adiabaadi-

lised“ tihedate Wolf-Rayet tähtedena kõrge pinnatemperatuuriga; ühed kui teised aga varisevad lõpuks kokku, ja olgugi, et nende kiirgamisvõime ei vähene, muutuvad nad astronoomiliste vaatlusobjektidena nähtamatuiks, sest kõrge pinnatemperatuuri juures on nende kiirgamine peamiselt röntgeni-kiirte taoline. Massid aga, mis on väiksemad kui umbes 1,6 päikesemassi, muutuvad kindlasti valgeiks kääbuseiks, nagu päikenegi (olgugi et nad vahepeal võivad omada hiidtähe struktuuri).

Tabel 2 sisaldab arvutusandmeid erisuguse massiga „adiabaadiliste“ tähtede eluea kohta; eluiga tähendab siin viibimise aega normaalse seeria (kääbuse) staadiumis, kus atoomiline süntees on peamine energia-allikas: nagu ülal tähendatud, ei kao täht ka selle eluea möödumisel, vaid tema omadused muutuvad suuresti. Liitmudeleil on eluiga umbes üks kolmandik „adiabaadiliste“ omast; eluea möödumisel muutub liitmudel aga hiidtäheks, mille eluiga omakord võib olla 50 korda pikem endise kääbuse omast, vastavalt suuremale energia-allikale, mida moodustab ülitiheda tuuma gravitatsioon.

Tabel 2.

„Adiabaadiliste“ tähtede eluiga (atoomilise sünteesi kestvus), olenevuses massist (algeline vesiniku sisaldavus 40 protsenti).

Mass (päike = 1)	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	10.0	17.0	36.0	
Eluiga, miljonid aastad	13000	6200	2700	1500	950	570	190	78	9.1	
Kiirgamisvõime (päike = 1)	$\left\{ \begin{array}{l} \text{alguses (40\%} \\ \text{vesinikku)} \\ \text{keskmine .} \\ \text{lõpul (0\%} \\ \text{vesinikku)} \end{array} \right.$	0.8	2.8	9.1	23	48	120	1400	7600	160000
		1.8	5.8	19	48	100	250	2300	11000	210000
		110	280	630	1000	1400	2300	6300	19000	440000

Tabelist nähtub, et vesiniku sisaldavuse mõju kiirgamisvõimele ehk bolomeetrilisele absoluutsele heledusele, on seda vähem, mida suurem on mass; kuna päikese massil heledus vesiniku kulumisel kasvab 160-kordselt, on kolmekordsel massil heleduse kasv 29-kordne; 36-kordsel massil ületab lõppheledus ainult 2.8 korda algeleduse.

On teada, et hiidtähti on olemas ainult võrdlemisi suurte massidega; kuna kääbustähtede suurim hulk omab masse, mis on väiksemad kui päikese oma, on hiidtähtede massid harilikult 3—20 korda suuremad päikese omast; ainult paaril juhul on teada hiidtähtede masse, mis on lähedad päikese massile (1.0 ja 1.2 päikese massi). Kui oletada, et kõik tähed algavad oma elukäiku sama vesiniku sisaldavusega (40%), võivad hiidtähiks muutuda ainult need liitmudelid, kes maailma tekkimisest möödunud 3000 miljoni aasta jooksul jõudsid ära kulutada oma konvektiivses tuumas leiduva vesiniku tagavara; nagu juba tähendatud, vastav aeg on umbes üks kolmandik tabel 2-es antud ajast; tabeli arvudest järeldame, et minimaalne hiidtähe mass praegu peaks olema 1.2 päikesemassi, mis küllaltki hästi vastab vaadeldud hiidtähtede massi alampiirile. Kooskõla võib siin kinnitada oletust, et suurimal hulgal tähist on vesiniku algeline sisaldavus umbes 40 protsenti; samuti kinnitab seda oletust fakt, et suurimal hulgal kääbuseist leitakse praegune vesiniku sisaldavus 30 ja 40 protsendi vahel.

Teiselt poolt aga on teada juhte, kus vaevalt võib kahtlust olla selle kohta, et algeline vesiniku sisaldavus erines tunduvalt keskmisest arvust; sarnaseid näiteid pakuvad meile eriti kaksiktähed. Nii on Siiriuse süsteemis peatäht enam-vähem normaalne kääbusseeria esindaja, kuna tema kaaslane on juba valgeks kääbuseks kokku varisenud; võib oletada, et kaaslane algusest peale sisaldas keskmisest vähem vesinikku (26 protsenti või vähem), ja on selle juba ära kulutanud, kuna peatäht võis sisaldada alguses 50—60 protsenti vesinikku, missugune hulk praegu langenud umbes 40 protsendi peale. Tänu kiirendatud vesiniku kulumisele kasvavad tähtedel vesiniku sisaldavuse vahed ajajooksul suureks isegi siis, kui alguses vahe oli väike.

Ühtlasest segust erineva koosseisuga taevakehade tekkimine ei tohiks paista erakordsena; on ju päikesesüsteemis planeet Maakeras vesinikuvaene, sest ta sisaldab ainult umbes 0.9 protsenti seda elementi, ehk 40 korda vähem kui päike. Niisuguses suure vahemaaga lahutatud tähtede paaris nagu Siiriuse süsteem, tekkisid mõlemad komponendid arvatavasti enam-vähem ühel ajal, iseseisvate tihendustena ürgudus; need tihendused loomulikult haarasid kõigepealt raskemaid, vähem lenduvaid elemente, kuna kerge vesinik jäi esialgu püsima hõredasse udukogu atmosfääri; hiljem

peatäht, tänu oma suuremale massile ja suuremale raskustungile, tõmbas enesesse suurema osa sellest atmosfäärist, jättes kaaslastele vaid väikese osa kogu vesiniku hulgast.

Sama protsess võib ka üksiku tähe juures mõjutada tema keemilist koosseisu eri-sügavusis ning selle kaudu ka struktuuri: udukogust kondenseeruv vesinikuvaene meteoriitide materjal koguneb keskpunkti ligi, udukogu takistava mõju tõttu nende kehakeste liikumisel; tähes tekib niiviisi juba algusest peale teatav vesinikuvaene tuum, koosnev raskematest elementidest, mis oma raskuse tõttu ei segune pealpool asuva kergema ainega; see tuum, kui ta on küllalt suur, ilmselt kergendab liit- ja hiidstruktuuri varajast tekkimist. Võimalik, et ka meie päikesel on olemas niisugune tuum, niivõrd väike, et ta ei riku päikese üldist „adiabaadilist“ iseloomu, kuid küllaldane selleks, et välja kutsuda teatavaid ebakorrapärasusi või ebahütlust päikese tegevuses (jäädajad, päikese laikude perioodiline tegevus), mis oleksid vaevalt arusaadavad täitsa ühtlase „adiabaadilise“ struktuuri korral.

4. Tähtede arenemiskäigu statistilised tagajärjed ja vaatlusandmed. Tähtede arenemiskäigu seadused määravad mitmesuguste täheliikide suhtelist arvu; ümberpöörduvalt, teades vaatlusist tähtede maailma statistilist koosseisu, võib järele proovida, kas oletatud seadused sellele vastavad, samuti võib tuletada teatavaid algtingimusi, milledest tähtede arenemine algas. Käesolevas töös on selline analüüs läbi viidud kahe erineva statistilise koondise, nimelt hiid- ja kääbustähtede absoluutsete heleduste jaotuse kohta: 1) meid ümbritsevas üldise Linnuteesüsteemi osas ja 2) kerasparvedes. Aluseks on võetud meie ülalkirjeldatud tähtede ehituse ja arenemiskäigu füüsikaline teooria ning oletatud maailma vanadus 3000 miljonit aastat. Kooskõla vaatlusandmetega on rahuldav, kui oletada, et kõik kerasparve tähed tekkisid ühel ja samal ajal, nimelt 3000 miljoni aasta eest, ja ühe ja sama vesiniku sisaldavusega 40%; puht-füüsikaliste andmete abil, millede väljenduseks on muu seas tabel 2, leiame sel korral, et kääbusolekus praeguse ajani püsima jäänud kõige heledamad tähed peavad olema 600 korda päikesest heledamad, parimas kooskõlas Shapley vaatlustega, mis annavad kerasparvedes heledamate kääbuste kiirgamisvõime 440 korda päikese omast: nende kahe arvu vahe on vaatlusvigade piires, sest kerasparvede kaugus pole täpselt määratud. Need heledamad

käabused peavad olema „adiabaadilised“ struktuurid 1.9 päikesese massiga, milledes parajasti vesiniku tagavara on lõppemas ja mis on valmis muutuma hiidtähiks. Selle vastu Linnutee lahtisis osis, nagu seda on meid ümbritsev ruum, esineb igat liiki „kääbuseid“ (= normaalseeria tähti), kuni 10 000 korda ja rohkem päikesest heledamaid (läbimõõdu poolest on nemad kääbused, olgugi et mass ja heledus on suured); et nemad oleksid pidanud juba lühikese aja jooksul (vt. tabel 2) muutuma kas hiidtähiks või kokku varisema raskelt nähtavaiks Wolf-Rayet tähiks, siis järeldame, et nad pidid sündima võrdlemisi hiljuti. Linnutee tähtede kohta on heas kooskõlas vaatlusandmetega oletus, et iga massiga tähti sünnib pidevalt ja ühtlaselt juurde, praegu samal arvul ajaüksuse kohta nagu alguses ja nagu terve meie maailma kestvusel, 3000 miljoni aasta jooksul neid sündis; heledate ja tumedate udukogude suur hulk Linnutees näitabki, et seal on veel küllalt laialipillatud ürgainet, millest võivad tekkida tähed, kuna kerasparved on uduvabad. Hiid- ja kääbustähtede suhteline arv lubab peale muu tuletada, kui palju sünnib sama aja jooksul „adiabaadilisi“, kui palju — liitmudeleid. Arvutuse tulemused on järgmised:

Tabel 3.

Mass (päike = 1)	1.0 (hiidtähtede puudumise tõttu pole määratav)	1.4	1.8	2.2	2.8	3.6	4.9	7.3	11	15	25
„Adiabaadiliste“ mudelite protsent		56	46	58	45	44	93	88	94	99	98
Liitmudelite protsent		44	54	42	55	56	7	12	6	1	2

Siit paistab, et alla neljakordse päikesemassi „adiabaadilised“ ja liitmudelid sünnivad enam-vähem võrdsel arvul, kuna suuremate masside hulgas on „adiabaadilised“ mudelid ülekaalus, keskmiselt 94 protsenti koguarvust; sellele vaatamata näeme ka suurte masside hulgas liitmudeleid hiidtähtede kujul üsna rohkesti: põhjuseks on hiidtähe eluastme pikk kestvus, missugune asjaolu on muidugi arvestatud ülaltoodud tabeli tuletamisel.

Hiidtähtede kiirgamise ülalpidajaks on meie silmis kokkutoõmbuva tuuma raskustungi energia; kui tuuma kokkuvarisemine on väga kaugemale arenenud, hakkab kiirgamise takistajana esinema sama raskustung (Einsteinini efekt): valguse levikut pidurdab gravitatsioon. Selle nähtuse hindamiseks on meil esmakordselt

tuletatud vastav valem. Raskustung nii öelda hakkab hoolitsema energia kokkuhoiu eest; tähe heledus väheneb. Teoreetiliselt on mõeldav olukord, kus raskustung üldse ei luba valgusel lahkuda tähe pinnalt, kuid kerge on näidata, et ükski täht ei või sattuda niisugusesse olukorda: kokkutõmbumine (tervikuna, või ainult tuumas) ja raskustungi suurenemine on üldse võimalikud ainult niikaua, kui täht kiirgab energiat maailmaruumi. Sellepärast võib suure massiga tähtede heledus hakata vähenema, lähenedes „asümptootiliselt“ nullile, kuid kunagi nullini ei jõua; see võib pikendada nende suurte tähtede eluiga (nähtavuse kestvust). *Trumple*’i poolt „lahtistes“ täheparvedes avastatud massiivsed O-tähed (kõrge pinnatemperatuuriga), 100- kuni 300-kordse päikesemassiga, omavad heleduse, mis vastu ootust on kuni 100 korda väiksem sellest, mida harilikud heleduse valemid nõuavad; ülalnimetatud raskustungi relativistlikku mõju arvestades aga võime nende massiivsete tähtede väikesest heledusest aru saada.

Ruumi puudusel pole siin võimalik ette tuua veel järeldusi mitmesuguste tähtede maailmas avastatud nähtuste kohta; samuti pole võimalik anda ülevaadet tehniliste ja matemaatiliste üksikasjade ega suuremate arvutuste kohta, mis käsitavad üksikuid, uudselt arvutatud tähtede mudelite tüüpe. Igatahes autor jätkab tööd samas suunas, lootes rohkem teada saada tähtede arenemiskäigu seadusist.

E. Ö.