

Subrahmanyan Chandrasekhar – geniaalne astrofüüsik

Sissejuhatus

Kuulsin Chandrasekhari nime esimest korda, kui mu sõber ja hilisem kolleeg Tiit Nilson oli saanud veel ülikooliajal – 1962. aastal - oma juhendajaks Juhan Rossi. Tiit näitas mulle Juhani käest saadud vene keelde tõlgitud Chandrasekhari raamatut kiirguslevist, mis oli täis salapäraseid valemeid. Hiljem sai see raamat mullegi väga oluliseks ja 1977. a ostsin selle – inglisekeelsena – Lõuna-California ülikooli raamatupoest Los Angeleses. Sellest ajast on see mu töölauaraamat, ja minuni jõudis arusaamine sellest, et see mees on haruldaselt mitmekülgne suur teadlane. Mingi tõsise probleemi ettevõtnuna avaldas ta terve seeria artikleid probleemi lahenduse kohta ja siis järgnes artikleid kokkuvõttev monograafia. Nii said põhjaliku ülevaate ja lahenduse tähe siseehitus, sh valgete kääbuste ehitus, stellaardünaamika, stohhastilised protsessid, kiirguslevi, negatiivse vesiniku iooni kvantteooria, hüdrodünaamika ja hüdromagnetiline stabiilsus, turbulents, tasakaaluliste objektide tasakaal, üldine relatiivsusteooria, mustade aukude matemaatiline teooria ja pörkuvate gravitatsioonilainete teooria. Lisaks veel Newtoni kuulsa Principia „tõlkimine“ autori geomeetrisest keelest tänapäevasesse keelde. Mida rohkemat veel ühelt inimeselt nõuda võiks!

Lapsepõlv ja perekond

Chandrasekhar sündis tolelaegses Briti India (nüüd Pakistani) Punjabi provintsi linnas Lahores 19. oktoobril 1910 Chandrasekhara Subrahmanyan Ayyari (1885-1960) ja tema abikaasa Sitalakshmi (1891-1931) esimese pojana. Kokku oli peres neli poega ja kuus tütart. Nimi Chandrasekhar tuleneb ühest sanskritikeelsest Shiva nimest, mis tõlkes tähendab "kuu valdajat". Kuna Chandrasekhar elas enamuse oma elust Ameerika Ühendriikides, kus armastatakse kasutada lühikesi nimevorme, siis kutsuti Chandrasekhari tavaliselt Chandraks. Ka mina teen seda.

Chandra isa koos oma venna, kuulsa India füüsiku ja Nobeli preemia laureaadi Chandrasekhara Venkata Ramaniga said väga hea hariduse esmalt oma isa käe all. Nad õppisid kodus tamili keelt, aritmeetikat ja inglise keelt, kuni said seitsme aastaseks. Edasi viis nende tee kaheks aastaks kolledžisse Vizagapatamis ja seejärel Presidency kolledžisse Madrased. Isa mõjul lugesid nad palju, nii ilukirjandust kui täiendavaid materjale õpikuile.

Chandra isa tegi ära kõrgema audiitorite eksami ja ta astus Briti valitsuse teenistusse Lahores kui India Loode-raudteede audiitor-asetäitja. Oma vaba aega jagas ta muusika ja kirjanduse vahel – ta mängis hästi viulit, kirjutas raamatuid Lõuna-India muusika kohta ja isegi ilukirjanduslikke palu.

Chandra ema oli intellektuaalsete kalduvustega ja ta oli näiteks tõlkinud Henrik Ibseni „Nukumaja“ tamili keelde. Kui Chandra isa sai pojaga tegeleda vaid hommikul enne tööleminekut, siis emal oli selleks terve päev.

Nooremad vennad ja õed meenutavad, et Chandra oli terve ja nägus poiss, kuid väljakannatamatult vallatu. Ta olevat endale kingitud mänguasjad kähku ära lõhkunud ja seejärel ühe õe omad endale võtnud väitega, et need ongi tema omad.

Chandrale meeldis väga aritmeetika, nii et ta tegi endale järgmise peatüki selgeks enne, kui isa seda talle õpetama hakkas. Chandra läks kooli alles 11-aastaselt ja oli sügavalt pettunud, et talle armsaks saanud tamili keele ja aritmeetika kõrval peab ta tervet hulka talle ebameeldivaid aineid õppima. Alles neljandas klassis leppis ta kooliga, sest ta nägi, et selles klassis hakatakse algebrat ja geomeetriat õpetama. Kuid ta ei oodanud, millal see juhtub, vaid ta tegi need endale selgeks juba suvevaheajal enne neljandat klassi.

Isa pani Chandra vanemad õed vastu nende tahtmist varases teismeeas mehele, kusjuures kombe kohaselt jäi siis nende kool pooleli ja neil polnud ka eraõpetajaid, sest tüdrukute haridust ei peetud oluliseks. See ebaõiglus tegi Chandra väga tigidaks. Kuid isevalitsejaliku isa vastu ta ei saanud, vaid ta suunas oma energia algebra ja geomeetria õppimisele. Ta nagu tõmbus perekonnast eemale ja ainult õppis. Isa oli ehitanud 1924. a uue maja, millele pandi nimeks Chandra Vilas ja kuhu Chandra sai omaette toa, ja seal ta siis õppis.

Kolledž

Esimesed kaks kolledži aastat lõpetas ta kiitusega füüsikas, keemias ja matemaatikas. Ta soovis kvalifitseeruda matemaatikas, sest ta oli seadnud

endale eeskujudeks geniaalse india matemaatiku Srinivasa Ramanujani ja oma lelle Ramani. Kuid isa, kes matemaatikal mingit tulevikku ei näinud, pidas füüsikat märksa olulisemaks. Isa arvates pidanuks Chandra pärast bakalaureusekraadi saamist füüsikas sooritama Inglismaal India tsiviilteenistuse (ICS) eksami ja asuma selles teenistuses tööle.

See aga polnud Chandra eesmärk, ja imelik küll, ema toetas oma poega igati. Et olla isale meele järgi, registreerus ta füüsikasse, kuid kuulas matemaatika loenguid. Kolledži reeglite kohaselt oli see keelatud, kuid professorid, nähes Chandra teadmisanu, tulid talle vastu.

Nüüd võiks tekkida arvamus, et Chandra oli „raamatukoi“, kuid nii see tema kaaslaste silmis sugugi polnud – ta tegi sporti, mängis tennist, ta oli tuntud kui suurepärase vaidleja diskussioonides. Üks tema kaaslastest mäletab, et Chandra olevat mingis diskussioonis tulnud välja seisukohaga, et Jumal on inimese leiutatud hüpotees reguleerimaks inimese käitumist ja panna paika kord inimestevahelises suhtluses.

Isa, kes oma töökohustuste tõttu oli sageli kodunt kaua ära, oli kodus olles väga valitsejalik ja ennast pealesuruv. Chandra ei vastandanud ennast isale, vaid kinnitas talle, et austab isa nõuandeid, kuid pidas alati silmas iseendale seatud eesmärki.

Chandra lell Raman tegi 1928. a fundamentaalse avastuse valguse molekulaarse hajumise alal ja lootis selle eest Nobeli preemia saada (ja saigi 1930. aastal). Tal oli enda arvates suurepärase plaan võtta Chandra enda juurde assistendiks, et ta seal eksperimentaalfüüsikaga lähemalt tutvuks, kuid see plaan kukkus läbi, sest Chandra lõhkus esimese nädalaga olulise aparadi.

Arnold Sommerfeld, kelle raamatut „*Atomic Structure and Spectral Lines*“ oli Chandra endale selgeks teinud, tuli Madrasesse 1928. a sügisel ja pidas loengu Presidency kolledžis. Chandra võttis oma julguse kokku ja palus suurelt teadlaselt audientsi. Selle käigus sai noormees teada, et kogu füüsika – ka see osa, millega ta tutvus Sommerfeldi raamatu abil – on pea peale pööratud kvantmehaanika tulekuga. Mõni teine oleks ahastusse langenud asjata kulutatud aja pärast, kuid mitte Chandra. Ta asus kohe uue füüsika

kallale ja peatselt pani kirja oma esimese teadusliku artikli „*Comptoni hajumine ja uus statistika*“ ning saatis selle Kuningliku seltsi toimetistesse. Ta ei teadnud, et see ajakiri avaldab vaid seltsi liikmete töid. Või siis teiste inimeste töid, mida keegi liige on esitanud. Chandra valis oma töö esitajaks Ralph Howard Fowleri ning töö ilmuski 1929.a.

Tegelikult oli Chandra selle töö ette kandnud 1929. a toimunud India teaduskonverentsil ja tema füüsikaõpetaja kolledžis oli pärast ettekannet osavõtjatele teatanud, et Chandra kirjutas selle töö täiesti üksi, ilma juhendajata ja et ta on alles teise aasta tudeng. Järgnes maruline aplaus ja Chandra teadlaskarjäär oli alanud.

Sommerfeld ei jäänud ainsaks kuulsuseks, kellega noor Chandra oma kodumaal kohtus, sest 1930. a külastas Indiat Werner Heisenberg. Chandra oli tema saatjaks ja sai veeta terve päeva Heisenbergile Madrase vaatamisväärsusi tutvustades ja füüsikast rääkides. Chandra esimene artikkel oli Meghnad Saha tähelepanu köitnud, nii et kui nad ühel järgnevatest konverentsidest kohtusid, kutsus Saha teda oma koju lunchile ja tudengitega kohtuma.

Kõik aga polnud tollal Indias sugugi pilvitu, sest kui Chandra pöördus tagasi koju Allahabadis toimunud India teaduskongressi assotsiatsioonilt, juhtus inetu lugu. Kui oma isa ameti tõttu sai Chandra pileti Madrasisse mineva rongi esimesse klassi, siis tegi samas kupees olnud keegi inglannast „leedi“ skandaali, et ta peab hinduga samas kupees viibima. On ütlema tagi selge, milliseid tundeid see Chandras esile kutsus.

Cambridge

Kui Chandra oli tagasi oma kolledžis, siis kutsus rektor ta enda juurde ja teatas saladuskatte all, et talle on otsustatud anda India valitsuse stipendium oma õpingute jätkamiseks Inglismaal. Tingimuseks oli, et pärast õpingute lõppu pöördub Chandra Indiasse tagasi ja asub viieks aastaks Madrasi valitsuse teenistusse. Etteruttavalt ütleme, et Chandra seda tingimust kunagi ei täitnud.

Kuid Chandra teel Inglismaale oli väga tõsine takistus – ta ema oli olnud raskesti haige juba 1928. a suvest. Chandra kartis, et kui ta läheb ära, ei näe ta oma ema enam kunagi. Selle ränga dilemma lahendas ta ema ise, kes veenis poega Inglismaale õppima minema, öeldes, et tema poeg on maailma jaoks, mitte ainult oma ema jaoks.

Laev nimega *Lloyd Triestino* lahkus Bombay'st 31. juulil 1930. Juba reisi alguses puhkes torm ja Chandra kannatas väga merehaiguse käes. Kuid torm vaibus ja laev jätkas sõitu, jõudes siiski Adenisse kahepäevase hilinemisega. Chandra pidas meeles isale antud lubadust jääda korralikuks ja viisakaks ning ei võtnud laeval toimuvatest lõbustustest osa, vaid luges. Täieliku vegetariaanlasena oli ta kartnud, et tal tekib söögiga probleeme, kuid seda ei juhtunud.

Ta hakkas hoopis füüsikale mõtlema. Fowler oli kasutanud Fermi ja Diraci kvantstatistikat selgitamaks valgete kääbuste tohutu suurt aine tihedust. Chandra tuli mõttele kombineerida see Eddingtoni polütroopse arusaamaga tähtede siseehitusest ja kui aine on seal tõesti nii tihe, siis peaks ju tähes ilmne relativistlikud efektid? Chandra oli reisile kaasa võtnud kolm raamatut – Eddingtoni raamatu tähtede siseehitusest, Comptoni raamatu röntgenkiirtest ja elektronidest ning Sommerfeldi raamatu aatomspektritest ja spektrijoontest. Need kolm raamatut andsidki Chandrale vajalikud teoreetilised tööriistad probleemi lahendamiseks. Tulemus üllatas noort uurijat – selgus, et valgel kääbusel on piirmass $1.44 M_{\odot}$, mis on määratud aatomkonstantide ja täheaine keskmise molekulkaaluga! Pärast oma rehkenduste hoolikat kontrolli pidi Chandra tunnistama, et tõepoolest nii ongi.

Laev jõudis Veneetsiasse ja Chandra jätkas reisi rongiga ning ta jõudis Londonisse 19. augustil 1930. Esimene asi, mis ta seal tegi, oli osta endale Diraci raamat *Kvantmehaanika printsiibid*. Ja kohe algas Chandra Kolgata-tee, sest India vastavad võimud olid tekitanud segaduse ja teatanud Londonisse, et Chandra tahab saada Cambridge'is magistriõppe tudengiks, kuigi Chandra oli selgesti väljendanud soovi saada doktoriõppe tudengiks Fowleri käe all.

Kuid Cambridge'is olid kõik magistriõppe kohad juba täidetud. Pärast pikka bürokraatlikku vastuseisu Chandra soovile otsustas lõpuks tema saatuse puhkusest naasnud Fowleri kiri, mille tulemusena Chandra sai doktorandiks Trinity kolledžisse. Õppetöö pidi algama 7. oktoobril. Vahepeal korraldas Chandra oma elamise, ta sai kahetoalise korteri üsna kolledži lähedal.

Kohtumine Fowleriga oli äärmiselt sõbralik, kuid Fowler jäi kimpu Chandra tööga valgete kääbuste kohta ning ta lubas selle saata Edward Arthur Milne'ile seisukohavõtuks. Fowler soovitas tal kuulata Diraci kvantmehaanikat, Jeffreyysi operatsioonarvutust, Parsi üldist dünaamikat, Littlewoodi funktsiooniteooriat ja tema enda statistilist mehaanikat.

Ühest küljest oli Chandra õnnelik, et ta oli saanud saatusest õnneloosi, kuid samal ajal oli ta üksik ja õnnetu, kogu aeg mures oma ema tervise pärast. Nii et talle jäi üle vaid õppida ja seda ta tegi täie jõuga.

Kuigi Fowler oli ta juhendaja, ei kohtunud nad kuigi sageli. Märksa lähedasemad suhted olid Chandral Diraciga, kellega koos käis ta pikkadel jalgsimatkadadel, ja veider küll, peaaegu kogu aeg vaikides. Lähem koostöö tekkis tal ka Milne'iga tähteatmosfääride ionisatsiooni alal, kuid Chandrale nii olulise valgete kääbuste piirmassi koha pealt Milne vaikis. Päriselt Fowler siiski Chandrat ei vältinud, vaid tema oli see, kes viis Chandra Kuningliku astronoomia seltsi koosolekutele.

Reisid Euroopa ülikoolidesse ja Venemaale

21. mail 1931 sai Chandra saatusliku telegrammi, milles teatati ema surmast. Chandra ei suutnud midagi teha ega ette võtta, ta vaid läks jõe kaldale, istus seal ja nuttis. Ta tundis teravat vajadust minna ära kuhugi kaugemale, et pääseda oma kurbadest mõtetest. Chandra valis kõikidest kohtadest välja Göttingeni, kus asus teoreetilise füüsika instituut, mille direktor oli Max Born. Chandra palus temalt luba tulla mõneks ajaks sinna tööle. Ja oli imestunud, kui selle loa lahkesti sai. Talle oli seal loodud suurepärased tingimused ja ta sai tutvuda mitmete kuulsate füüsikutega. Üksiti lõpetas ta seal oma artikli täheaine neeldumiskoeffitsientidest, mis otsekohe trükki läks, kui ta

Cambridge'i tagasi pöördus.

Siiski töö ei valmistanud talle rahuldust ja ta mõtiskles temaatika vahetamise üle – et hakata tegelema teoreetilise füüsikaga Diraci juhtimisel. Aga ta ei suutnud end sundida Diraciga sellest rääkima. Vahepeal tuli Milne pakkumisega kirjutada koos uus ja ulatuslikum artikkel täheaine neeldumiskoeffitsientidest.

Lõpuks rääkis ta oma plaanidest Diraciga ja Dirac soovitas tal kindlasti minna Kopenhaagenisse Niels Bohri juurde. Seda Chandra ka tegi ja ta leidis Kopenhaageni füüsikute seltskonna olevat palju vabama kui Cambridge'is. Dirac oli enne Chandra lahkumist andnud talle probleemi, mille kallale Chandra innukalt asus.

Umbes samal ajal sai ta kutse Belgiast, nimelt Liège'i ülikoolist, kus ta pidi pidama seeria loenguid astrofüüsikast. 1933. aasta viimasel veebruarikuu päeval reisis ta koos Léon Rosenfeldiga Liège'i. Ta pidas seal kuus loengut, millest viimane oli populaarne loeng tähtede siseehitusest. Loengud olid nii edukad, et see seeria anti välja eraldi raamatuna ja Chandra sai selle eest pronksmedali.

Tagasi Kopenhaagenis, jätkas Chandra tööd polütroopide kallal ja sellest sai nelja-artikliline tsükkel, mis oli enam kui küll väitekirja jaoks.

Isa saatis pidevalt kirju, kus vihjas tema tagasitulekule Indiasse, kuid see mõte Chandrat ei võlunud – ta soovis pikendada oma Euroopas viibimise aega vähemalt aasta võrra, kuid India asjade volinik vastas keeldumisega.

Samas kuigi Chandra oli edukas, näris teda ikka mõte, et ta suudab rohkem, kuid on jäetud üksi oma probleemidega ja kusagilt ei paista lootusekiirt.

Kui ta oli Cambridge'i tagasi pöördunud, andis ta oma doktoritöö mustandi Fowlerile lootuses, et see töö korralikult läbi loeb ja parandusi teeb. Seda aga ei juhtunud, Fowler teatas, et ta usaldab Chandrat täielikult ja käskis töö registreerida, mis oli esimene samm töö kaitsmise teel. Järgmine samm oli eksam, kusjuures eksamineerijateks olid Fowler ja Eddington. Eksam oli suuresti vaid formaalsus (Eddington oli toatuhvlites) ja seega oli Chandra kuulutatud doktoriks. Ja seejärel järgnes midagi uskumatut, midagi sellist,

mida Chandra sugugi ei oodanud ja mis tema elu oluliselt muutis - ta valiti Trinity kolledži liikmeks (Fellow). See tähendas, et ta võis jääda Cambridge'i veel vähemalt kolmeks aastaks. Neljanda aasta võis Fellow veeta omal soovil ükskõik kus.

Milne'i esitusel valiti Chandra Kuningliku astronoomiaseltsi (RAS) liikmeks ja tema elu regulaarseks osaks sai sõit Londonisse kuu igal teisel reedel, kui Burlington House'is toimusid RASi koosolekud.

1934. a külastas Chandra Venemaad, kuhu teda kuuks ajaks oli kutsunud Pulkovo observatooriumi direktor B.P. Gerassimovitš. Chandra pidas Pulkovos ettekande valgete kääbuste piirmassist, mis Cambridge'is polnud kedagi huvitanud. Ambartsumjan soovitas tal loobuda mõningatest lihtsustustest ja püüelda täpse teooria poole, mida Chandra hiljem tegigi. Selle visiidi käigus sõitis Chandra ka Moskvasse, Šternbergi-nimelisse MRÜ astronoomiainstituuti ning Krimmi, Simeizi observatooriumisse. Järgmine peatus oli Odessa, kust ta laevaga siirdus Istanbuli. Türgi piiril peeti teda armeenlaseks, sest ta eesnimi – Subrahmanyam - äratas türki piirivalvurites kahtlust ja kolm päeva kulus asja klaarimiseks.

Chandra külastas Venemaad, täpsemalt Nõukogude Liitu ka 1981. aastal, seekord koos abikaasa Lalithaga, kui teda kutsus Viktor Ambartsumjan osa võtma sümposiumist seoses Chandra ja Ambartsumjani kiirguslevi alaste tööde neljakümnenda aastapäeva tähistamisega ja eriti seoses invariantusprintsipi avastamisega Ambartsumjani poolt. Chandra meenutas seda visiiti soojusega, sest teda võeti vastu nii Leningradis, Moskvast kui Armeenias kui kangelast. Kuid erilise südamlikkusega paistsid silma Leningradi ülikooli professor Viktor Sobolev ja tema parim õpilane, tulevane professor Vsevolod Ivanov, kes mulle sellest visiidist korduvalt hingestatult rääkis ja lõpuks tundsin ma, et ma nagu oleksin ka ise neil üritustel viibinud.

Kokkupõrge Eddingtoniga

Tagasi Cambridge'is ei unustanud ta Ambartsumjani soovitusi ja järgmised neli kuud olidki selle soovitusel elluviimisele pühendatud. Chandra

väljatöötatud täpne teooria ei jätnud mingit kahtlust, et valgete kääbuste mass ei saa olla kuitahes suur. Ta lootis, et oma teooriaga ta aitab lahendada kahe suurmehe – Milne'i ja Eddingtoni vastasseisu. See seisnes selles, et Eddington ei võtnud tähe siseehituse modelleerimisel arvesse tähe väliskihtide füüsikalist seisundit ääreväärtusena, arvates, et väga hõredate väliskihtide mõju siseehitusele on null. Milne aga arvas, et kuna me ju neid väliskihte ikkagi näeme ja teame nende füüsikalist seisundit, siis miks mitte võtta ääreväärtustena neidsamu vaadeldud suurusi. Sel viisil rehkendatud tähe mudelid nõudsid tingimata kõdunud tuuma olemasolu tähe tsentris ja see ei läinud kokku Chandra tulemustega. Chandra sai aru, et tema tulemusi valgete kääbuste kohta ei avaldata iialgi *Kuningliku astronoomiaseltsi kuukirjas (MNRAS)*, kui selle toimetuse referendid on Milne ja Eddington. Ainuke, kes tema tööga oli põhjalikumalt tutvunud, oli James Jeans. Ta oli Chandrale saatnud kena kirja, kus seisis, et tulemus on väga huvitav. Sellest tiivustatuna saatis Chandra oma töö *Astrophysical Journali (ApJ)* toimetusse USAs. Pärast mõningaid märkusi retsensendilt (mis osutusid valeks) Chandra artikkel ilmus. Ja otsekohe tekkis ka küsimus, aga mis saab suurema massiga tähtedest? Sellele küsimusele vastas Chandra saksa astrofüüsika ajakirjas *Zeitschrift für Astrophysik*, et kui tähe mass on suurem kui Chandra leitud kriitiline mass, siis tähes jääb olekuvõrrandina kehtima ideaalse gaasi seadus, ükskõik kui tihedaks täht muutuks, ja aine ei muutu kõdunuks.

Need põhjalikud tulemused said valmis 1934.a lõpus ja Chandra esitas kaks tööd Kuninglikule seltsile. Nende tööde valmimisel oli Eddington käinud Chandra edenemist jälgimas, paar-kolm korda nädalas. Ta oli Chandrale muretsenud isegi mehaanilise kalkulaatori Brunsviga. Eddington oli Chandrale midagi ütlemata pannud kirja ka enda ettekande kohe pärast Chandrat. Ja Chandra ülatuseks ja masenduseks tegi Eddington tema töö maatasa, toetudes väitele, et Chandra on teinud põhimõttelise vea, sest tähed ei saa lihtsalt nii käituda. Võib ette kujutada, kui masendunud Chandra oli. Eddington oli ju kogu aeg tema tööd jälginud, kuid mitte midagi öelnud. Jääb mulje, et ta tegi seda meelega.

Loomulikult otsis Chandra tuge kõikidelt oma sõpradelt ja tuttavatelt.

Füüsikud Rosenfeld, Dirac, Pauli ja Bohr kirjutasid Chandrale, et nende arvates Eddington eksib ja tema vastuväited on pigem ilukirjanduslikud kui füüsikalised, kuid nad ei soovinud seda avalikult teadusartikli kujul välja öelda – nii suur oli siiski Eddingtoni autoriteet¹.

John von Neumann külastas Cambridge'i 1935.a kevadel. Vestluses Chandraga pani ta ette, et kui Eddingtonile ei meeldi tähtede kokkutõmbumine allapoole Schwarzschildi raadiust, siis tuleks uurida, mis juhtub, kui kasutada tähe siseehituse modelleerimisel absoluutset, relativistlikku olekuvõrrandit. Nad alustasid selles suunas koostööd, kuid Neumann lahkus ja kõik jäi pooleli. Oleks nad seda tööd jätkanud, oleks Oppenheimeri ja Volkoffi asemel neutrontähtede teooria autorid olnud Neumann ja Chandra.

Kuigi Chandra jäi edaspidi Eddingtoniga suheldes igati viisakaks, isegi sõbralikuks – nad käisid pärast neid sündmusi isegi koos jalgrattamatkadel – on Chandra kusagil siiski viidanud, et Eddingtoni sellise käitumise üheks põhjuseks võis olla tema India päritolu. Pärast Pariisis toimunud valgete kääbuste ja supernoovade konverentsi oli Eddington isegi proovinud heastada oma käitumist Chandra suhtes, kuid kuna ta ei tunnistanud seda, et Chandral oli õigus, siis sellest leppimisest midagi välja ei tulnud.

Reisid Ameerikasse, Indiasse ja abiellumine

1934. a viiendal oktoobril kirjutas Chandra isale, et ta on kihlunud Lalitha Doraiswamy'ga ja kavatseb Indiasse sõita temaga abiellumiseks. Sellepärast pidi ta loobuma väga soodsast USA Henry stipendiumist. Lalitha oli saanud füüsikas magistri kraadi ja oli sel ajal Karaikkudi koolis direktrissiks. Chandra isa oli esialgu Lalitha kandidatuuri vastu olnud, aga kui ta paar korda oli Lalithaga kohtunud, siis ta muutis meelt. Chandra isa oli ametis Chandrale hea ametikoha otsimisega, sest ta väljendas peaaegu igas kirjas tungivat soovi, et Chandra tuleks Indiasse tagasi. Seda isa soovi toetas

¹ Alles 1942.a avaldasid Dirac, Peierls ja Pryce töö, milles nad kaitsesid Chandrat ning sügavalt kritiseerisid Eddingtoni seisukohti nii kvantmehaanikas kui erirelatiivsusteoorias.

tugevasti ka Chandra lell Raman, kes pakkus Chandrale dotsendi kohta India teadusinstituudis Bangalores. Kuid, nii veider kui see ka ei tundu, isa soovitas Chandral oma vennast eemale hoida, venna äärmiselt iseka loomuse tõttu. Seda Chandra tegigi, kuid nagu ikka, äärmiselt diskreetsel viisil.

Siis aga tegi Chandra ootamatu käigu ja kirjutas isale – ilmselt olles masenduses Eddingtoni rünnakutest, et ta ei abiellu, et see kõik oli ainult mingi illusioon. Kuid juba mõni kuu hiljem muutis ta meelt, sest Lalitha moodsa India naisena tuli Cambridge'i Chandralt – oma elu armastuselt aru pärima. Siiski jäi Indiasse sõit tookord ära ja Chandra võttis hoopis vastu Harold Shapley kutse tulla vähemalt kolmeks kuuks lugema loengusarja „Kosmiline füüsika“ Harvardi ülikoolis, kuupalgaga 550 USD. Nii oligi ta juba 30. novembril 1935 laeval *White Star Britannica*, mis väljus Liverpoolist tormisele merele, tehes Chandra väga hullul kombel merehaigeks. Ookeani rahunedes hakkas Chandra lugema Ibseni näidendeid, mis talle juba ammuilma olid meeldima hakanud. Chandra suureks heameeleks oli Shapley ise talle Bostonisse vastu tulnud.

Bostonis pidi Chandra pidama kaheksa kuni kümme loengut tähtede siseehitusest ja veel kaks avalikku loengut. Kuna need läksid nii hästi, et Shapley otsustas nimetada Chandra seltsi „Society of Fellows“ liikmekandidaadiks. Valituks osutunult tähendas see, et Chandra saab teaduskonna liikmeks (Fellow) kolmeks aastaks alates jaanuarist 1937 ja aastapalgaga 2700 USD, kaasa arvatud ka ruumid kolledžis ja lõunad, ning ta uurimisplaan oli ta enda teha. Samas sai ta ka konkureeriva kutse Otto Struvelt tulla Yerkes'i observatooriumi loenguid pidama Chicago ülikooli eestvõtmisel. Enne kui Chandra jõudis vastata, tuli Otto Struvelt uus pakkumine uurija positsioonile algse aastapalgaga 3000 USD. Struve oli nimelt ära tabanud uue vajaliku suuna astrofüüsika arengus – teoreetikud ja vaaatlejad peavad tegutsema koos. Loomulikult võttis Chandra Struve pakkumise vastu, aga mitte enne, kui ta oli külastanud observatooriumi Williams Bay's.

Kuid veel enne Ameerikasse siirdumist pidi ta käima kodus, Indias. Reis laeval *Conte Verde* oli sündmustevaene ja meri rahulik.

Kui ta nägi üle pika aja uuesti Lalithat, siis vahepeal teadusetegemise nimel pidurdatud abiellumine polnud enam mingi probleem. Nad tegid koos pikki jalutuskäike ja arutasid oma tulevast kooselu. Laulatus toimus 11. septembril 1936 ja see polnud sugugi tavaline India abiellumine, sest esiteks polnud neil nii palju aega – Chandra oli tagasisõidu piletid juba ostnud ja teiseks olid nad mõlemad uue India lapsed. Nad olid kohtunud füüsikaloengutel, kus Chandra oli silma heitnud aasta noorema kursuse ainsa tüdruku peale ja tema südame võitnud.

Lõplikult Ameerikas

Inglismaale jõudnult alustas Chandra kohe paberite kordaajamist Ameerikasse sõiduks. See polnud sugugi lihtne, sest Indiale lubatud immigrantide kvoot oli juba täis. Kuid misjonäridele kvote polnud ja Chandra oli ju ometi pidanud loenguid Harvardi ülikoolis ning neid sai misjonitööga võrdsustada! Lõppude-lõpuks kõik laabus, isegi laev *Laconia* sai minema Liverpooli sadamast, kuhu ta oli kinni jäänud mõõna ja liigsuure viskilasti (!) tõttu, ning Bostonisse jõudis „misjonär“ koos naisega 16. detsembril 1936. Algas kodu kordaseadmine Williams Bay's. Ja see kodu sai neile kauaks – kolmekümne seitsmeks aastaks.

Chandra esimeseks ülesandeks Yerkes'i observatooriumis sai magistriõppe programmi koostamine astronoomias ja astrofüüsikas. Koos Gerald Kuiperiga panid nad paika 18 kursust kaheks aastaks, millest Chandra hakkas õpetama kahtteist kuni kolmeteist. Chandra pidi ka raamatukogu eest hoolitsema, tudengeid nõustama ja korraldama iganädalasi kollokviume. Schwarzschild ütles, et Struve, Kuiper, Chandra, Morgan ja Hiltner muutsid Yerkes'i igas suhtes juhtivaks teadusasutuseks, kui mitte kogu riigi kõige väljapaistvamaks magistriõppe kooliks astronoomias ja astrofüüsikas.

Chandra köitvad loengud, tema nooruslikkus ja entusiasm hakkasid meelitama tudengeid kogu maailmast – Paul Ledoux; Mario Schönberg, Jorge Sahade ja Carlos Cesco; veidi hiljem Guido Münch, Arthur Code, Donald Osterbrock, Esther Conwell, Jeremiah Ostriker jpt.

Lisaks suurele õppetöö koormusele lõpetas Chandra oma esimesel Yerkes'i aastal ka oma esimese monograafia „*Sissejuhatus tähtede ehituse uurimisse*“. Ajavahemikul 1944-1949 tegeles Chandra kiirgusleviga ja hiljem ütles ta sageli, et see oli tema teadlaseelu kõige õnnelikum periood.

Chandra hea tuttav John von Neumann oli sõja-aastatel tööl Ballistika uurimislaboris Aberdeeni katsepolügonil ja ta veenis ka Chandrat sinna tööle asuma. Chandra kirjutas vastava avalduse, kuid kuna Chandra oli Indiast ja Briti alam, siis läks terve aasta, enne kui ta tunnistati julgeoleku seisukohast vastuvõetavaks. Chandra kolleegideks said teiste hulgas ka John von Neumann, Martin Schwarzschild ja Edwin Hubble.

Neumann püüdis värvata Chandrat ka Manhattani projekti, sest Chandra teadmised kiirguslevi alal oleks marjaks ära kulunud, kuid tema „klaarimine“ julgeoleku seisukohalt võttis nii kaua aega, et ta sai küll jaatava vastuse, kuid siis oli sõda Euroopas lõppemas ja Chandra enam ei tahtnud minna elama Los Alamosesse ja oma aega sõja tarvis kulutada.

Hoolimata sõjast jätkus Chandra teadustöö ja artiklid valmisid hämmastava kiirusega. Seda ei jäetud tähelepanuta ning 1942. a sai ta dotsendiks ning järgmisel aastal professoriks. Veel kaks aastat ja Chandra valiti Inglismaa Kuningliku seltsi liikmeks Chandra lelle Ramani ettepanekul ja suurel toetusel. Tähed F.R.S. ei tähendanud Ameerikas eriti midagi, kuid Inglismaal ja eriti Indias oli nende kaal väga suur.

Henry Norris Russell kutsus Chandrat tööle Princetoni, lubades oluliselt suuremat palka. Chandra sattus sellega väga ebamugavasse olukorda ja juba kaldus kutset vastu võtma, kuid Chicago ülikooli president Robert Maynard Hutchins tõstis Chandra palga võrdseks Princetonis pakutavaga. Chandra kirjutas Russellile väga viisaka äraütlemiskirja.

Chandra loengud tudengitele olid nii tudengeile kui talle endale äärmiselt tähtsad. John Todd Wilson, Chicago ülikooli president aastatel 1975-1978, meenutab, et kunagi 1940ndatel sõitis Chandra maha 120 kilomeetrit, et pidada loenguid Chicagos kahele tudengile ja siis sõitis 120 kilomeetrit tagasi koju. Kuid 1957. a said need kaks tudengit – Tsung Dao Lee ja Chen Ning Yan

Nobeli preemia füüsikas, kaugelt enne, kui nende õpetaja.

Chandra lahkub Yerkes'i observatooriumist

Kuid kaugeltki kõik ei läinud nii lihtsalt ja kergelt. 1952. a sai alguse intsident, mis viis Chandra Yerkes'i observatooriumist ära Chicago ülikooli füüsikute juurde. Lugu oli selles, et Chandra hea sõber juba Kopenhaageni päevilt, Bengt Strömgren oli tollal observatooriumi direktor ja ta oli saavutanud ülikooliga kokkuleppe, et ta veedab igal aastal neli kuud Kopenhaagenis, et mitte kaotada sealset professori ametikohta. Korda armastav Chandra, kes teda pidi asendama, leidis kogu Strömgreni asjaajamise olevat suures segaduses ja oma sõprust usaldades soovitas ta Strömgrenil observatooriumi heaolu silmas pidades direktoriamet üle anda Gerald Kuiperile. See solvas Strömgrenit sügavalt ja vastumeetmed ei jäänud tulemata. Samal aastal moodustas Strömgren komisjoni, kes pidi üle vaatama Chandra koostatud õppeprogrammi magistrantidele. Uues programmis polnud Chandral enam mingeid loenguid. See oli selge sõnum, et teda pole seal enam vaja.

Enrico Fermi oli umbes samal ajal kutsunud Chandrat Chicago ülikooli uurimisinstituuti ja füüsika osakonda, kuna senine töötaja pensioneerus. Chandra võttis kutse loomulikult vastu ja Yerkesi observatooriumist kadus teoreetiline astrofüüsika, kuid Chandra sai võimaluse suhelda Fermiga ning tema kiindumus füüsika vastu aina kasvas.

See oli Chandra jaoks mõnes mõttes noorusliku usalduslikkuse ja naiivsuse kaotamise aeg.

Astrophysical Journali peatoimetaja

1952. a sai Chandra ajakirja *ApJ* peatoimetajaks. Selle ajakirja olid asutanud George Ellery Hale ja James Edward Keeler 1895. aastal. Otto Struve oli saanud Yerkes'i observatooriumi direktoriks 1932. a ja koos sellega ka *ApJ* toimetajaks. Struve suutis riigi nelja suuremat observatooriumit veenda, et

nad avaldaksid oma tööd just nimelt *ApJs*. See aga tõi kaasa toimetustöö olulise kasvu ja oli tarvis kaastimetajat, kelleks Struve võttis Chandra.

Struve plaanis muuta selle ajakirja riiklikuks, kuid enne oli vaja lahendada administratiivsed probleemid. Kuni selle ajani oli *ApJ* väljaandmine ainult Chicago ülikooli mure ja ajakirja vee peal hoidmiseks oli vaja lehekülje tasu oluliselt tõsta. See tegi Ameerika astronoomiaseltsi (AAS) liikmed tingedaks.

Otsustati ajakirja väljaandmisse kaasata ka AAS. See nõudis väga peent diplomaatiat ja keerukaid läbirääkimisi, mis jäid põhiliselt Chandra kanda. Ja 1952. a saavutati kokkulepe, et *ApJ* on riiklik astrofüüsika ajakiri, mille sponsor on AAS ja mida annab välja *University of Chicago Press*. Moodustati toimetus, mille esimesel koosolekul otsustati asutada ka *Supplement to the ApJ*, kus saaksid ilmuda pikad vaatlusread ja üldse pikad artiklid. Otsustati ka, et kõik kokkuleppega liitunud observatooriumid lõpetavad oma bülletäänide väljaandmise.

Senine peatoimetaja William W. Morgan astus tagasi, kuna ta polnud rahul sellega, et AAS saab teatud kontrolli ajakirja üle, kuigi Chandra oli teda läbirääkimiste käiguga pidevalt kursis hoidnud ja Morgan polnud vastu langetatud otsustele.

Morgani tagasiastumisega sattus ülikool väga rumalasse olukorda – ta oli ju AASile lubanud, et ülikool jääb ajakirja toimetama. Ainuke väljapääs oli nimetada Chandra peatoimetajaks. Ja Chandra jäi sellesse ametisse üheksateistkümneks aastaks, tehes väikese, mitte väga olulise ajakirja tähtsaimaks rahvusvaheliseks astrofüüsika ajakirjaks. Samal ajal ta jätkas oma teadustööd endise intensiivsusega, mis oli võimalik ainult nii, et ta aeg oli täpselt jagatud erinevate toimingute vahel ja ka Chandra isiklikud sõbrad pidid sellest vastuvaidlematult kinni pidama.

Tänapäeval on toimunud selle ajakirja väljaandmises suured muutused – alates 2015 ilmub ajakiri ainult elektrooniliselt ja alates 2009 on väljaandjaks *IOP Publishing (IOP – Institute of Physics)*.

Ameerika kodanikud

1952.a otsustasid Chandra ja Lalitha võtta Ameerika kodakondsuse, kuid Chandra eelnevalt oma isaga ei konsulteerinud. Aasta varem olid Chandra ja Lalitha esimest korda pärast abiellumist käinud Indias ja nagu Chandra hiljem oma õdedele kirjutas, oli see reis talle väga värskendav.

Kodakondsuse paberite kordaajamine võttis aega, kuid 14. oktoobril 1953 andsid nad vandetöötuse ja alles siis kirjutasid nad sellest Chandra isale, kes sattus raevu, sest ta oli ikka veel lootnud, et ta poeg tuleb Indiasse tagasi, hoolimata sellest, et ei India valitsus ega mingi teine institutsioon ei astunud vähimatki sammu Chandra tagasituleku võimaldamiseks. Tõsi, siin tuleb tunnistada, et Bhabha pakkus talle tööd Tata instituudis ja Chandra mõtles sügavalt selle peale, kuid asja siiski sellest ei saanud. Igatahes Chandra isa oli poja sellisest sammust nii solvunud, et ei kirjutanud talle mitme aasta vältel.

Tänapäeval on kummaline mõelda, et nii Chandra kui Lalitha, kui näojumelt väga tõmmud, said Ameerikas küllalt sageli rassilise tagakiusamise osaliseks. Juba Yerkesi tööleasumisel tundis Chandra veidrat suhtumist, sest temaga koos ametisse asunud liikused erinevalt temast ametiredelil kiiresti ülespoole. Hiljem ta sai teada, et ülikooli president Hutchins ja observatooriumi direktor Otto Struve olid siis suutnud asja siluda. Aga ikkagi ei tahtnud isegi teaduskonna dekaan lubada Chandral loenguid pidada ülikooli peakampuses! Ja veel, kui nad läksid Beethoveni kontserdile New Yorgis, ja olid reserveerinud toa Barbizon Plaza hotellis, siis kui hotelli retseptisionist neid nägi, ei leidnud ta enam kuidagi nende nimesid reserveerimisnimekirjas ja hotellis polnud äkki enam mingeid vabu kohti.

Need olid ainult mõned näited sellest, millised olid rassisuhted Ameerika Ühendriikides.

See solvas ja alandas neid, kuid Lalitha mõtles hiljem, et ega Indias asjalood paremad pole, sest brahmiinid Indias käituvad alamate kastide inimestega täpselt samuti.

Kui nüüd tagasi vaadata Chandra teadustööle, siis kõigepealt tuleks öelda

seada, et ta sai koos William F. Fowleriga 1983. a Nobeli preemia tähtede ehituse ja evolutsiooni oluliste füüsikaliste protsesside teoreetiliste uuringute eest.

Chandra oli sellisest formuleeringust veidi solvunud, sest see jättis täielikult välja tema hilisemad saavutused. Kuid rõhutame, et valgete kääbuste piirmassi leidmine oli tõeline suursaavutus, mida isegi suur Eddington uskuda ei suutnud. Siinkohal tuleb siiski mainida, et Chandra ei olnud esimene valgete kääbuste piirmassi leidja, kes võttis arvesse elektronide relativistlikku kõdumist. Esimesena tegi seda Tartu ülikooli tähetorni töötaja Wilhelm Anderson juba 1929. a. Ja järgmisel aastal täpsustas seda ka hilisem Leedsi ülikooli professor Edmund Clifton Stoner. Erinevalt Chandrast, kes vaatles polütroopset tähte (sellise tähe gaasi ruumala sõltub ainult rõhust), vaatlesid tema eelkäijad homogeense tihedusega keraid, mis andis umbes 20% suurema piirmassi. Chandra viitab mõlema mehe tööle oma tähtede siseehituse raamatus.

Chandra oli juba 1974. a olnud väga raske probleem südame verevarustusega ja kolm aastat hiljem oli tal infarkt, mille järel viidi läbi südame kolme pärgarteri šuntimine. Paranemine oli aeglane ja alles 1980. aastaks oli Chandra tervis enam-vähem korras.

Kuid 21. augustil 1995. a tundis Chandra teravat valu rinnas. Ta suutis veel istuda autosse ja sõita ülikooli haiglasse ilma Lalithale midagi ütlemata. Haigla uksele kukkus ta kokku ja suri hiljem, kui Lalitha oli tema juurde haiglasse jõudnud.

AUTASUD

Elected a Fellow of the Royal Society (FRS) in 1944

Henry Norris Russell Lectureship (1949)

Bruce Medal (1952)

Gold Medal of the Royal Astronomical Society (1953)

Rumford Prize of the American Academy of Arts and Sciences (1957)

National Medal of Science, USA (1966)

Padma Vibhushan (1968)

Henry Draper Medal of the National Academy of Sciences (1971)

Nobel Prize (1983)

Copley Medal of the Royal Society (1984)
Honorary Fellow of the International Academy of Science (1988)
Gordon J. Laing Award (1989)
Humboldt Prize

S. Chandrasekhari kirjutatud raamatud

An Introduction to the Study of Stellar Structure, 1939, uus trükk 1967.
Principles of Stellar Dynamics, 1943, uus trükk 1960.
Stochastic Problems in Physics and Astronomy, 1943, uus trükk 1954.
Radiative Transfer, 1950, uus trükk 1960.
Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, 1961, uus trükk 1981.
Ellipsoidal Figures of Equilibrium, 1968, uus trükk 1987.
Plasma Physics, 1975.
The Mathematical Theory of Black Holes, 1983
Eddington: The Most Distinguished Astrophysicist of His Time, 1983.
Truth and Beauty: Aesthetics and Motivation in Science, 1987.
Newton's Principia for the Common Reader, 1995.
Spiegel, E.A. (2011) [1954]. The Theory of Turbulence: Subrahmanyan Chandrasekhar's 1954 Lectures, 1954, uus trükk 2011.

Artiklite kogumikud

Chandrasekhar avaldas umbes 380 teadusartiklit. [University of Chicago Press](#) võttis valitud artiklid kokku seitsmes köites:

Selected Papers, Vol 1, Stellar structure and stellar atmospheres. 1989, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 2, Radiative transfer and negative ion of hydrogen. 1989, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 3, Stochastic, statistical and hydromagnetic problems in Physics and Astronomy. 1989, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 4, Plasma Physics, Hydrodynamic and Hydromagnetic stability, and applications of the Tensor-Virial theorem. 1989, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 5, Relativistic Astrophysics. 1990, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 6, The Mathematical Theory of Black Holes and of Colliding Plane Waves. 1991, Chicago: University of Chicago Press.

Selected Papers, Vol 7, The non-radial oscillations of star in General Relativity and other writings. 1997, Chicago: University of Chicago Press.

Kasutatud kirjandus

1. K.C. Wali, *Chandra: A Biography of S. Chandrasekhar*. University of Chicago Press, Chicago and London, 1991.
2. E.G. Blackman, *Nature* **440**, 148, 2006.
3. E.G. Blackman, *Anderson and Stoner Published White Dwarf Mass Limits Before Chandrasekhar*. [arXiv:1103.1342v2](https://arxiv.org/abs/1103.1342v2) [physics.hist-ph]
4. W. Anderson, *Über die Grenzdichte der Materie und der Energie*, *Z. Phys.* **56**, 851, 1929.
5. E.C. Stoner, *The Equilibrium of Dense Stars*, *Philos. Mag.* **9**, 944, 1930.
6. P. Kuusk, I. Martinson, *Tartu astrofüüsik Wilhelm Anderson*, *Akadeemia*, No 2, 358 – 375, 1997.
7. A.I. Miller, *Empire of the Stars, Friendship, Obsession and Betrayal*, Hachette Digital, 2005.
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Subrahmanyan_Chandrasekhar
7. A.V. Douglas, *Arthur Stanley Eddington*, Thomas Nelson and Sons Ltd, Edinburgh, 1956.
8. A.B. Козенко, *Джеймс Хопвуд Джинс*, Москва, “Найка”, 1985, 144 стр.
9. Chandrasekhar, S. ,*"The 1979 Milne Lecture – Edward Arthur Milne: His Part in the Development of Modern Astrophysics"*. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society.* **21** (2): 93–107, 1980.
10. Smith, M.W., *Beating the Odds. The Life and Times of E.A. Milne*, Imperial College Press, 282 p., 2013.
11. Parker, E.N. ,*Subrahmanyan Chandrasekhar 1910-1995*, National Academies Press, Washington D.C., 1997.

12. Chandrasekhar, S., *Eddington: The Most Distinguished Astrophysicist of his Time*, Cambridge University Press, 1983.