

## HANS ALBRECHT BETHE



Hans Albrecht Bethe (02.07.1906 – 06.03.2005) oli saksa-ameerika teoreetiline füüsik, kes andis hiiglasliku panuse tuumafüüsikasse, astrofüüsikasse, kvantelektrodünaamikasse ja tahke keha füüsikasse. Ta sai Nobeli preemia füüsikas nukleosünteesi seletamise eest tähtedes. Suurema osa oma elust töötas ta professorina Cornelli ülikoolis.

Bethe sündis Strasbourgis, mis sel ajal oli Saksamaa Reichsland Elsaß-Lothringeni osa, Anna Bethe (neiuna Kuhn) ja Albrecht Bethe perekonnas ainsa lapsena. Bethe isa oli Strasbourgi ülikooli füsioloogia eradotsendiks ja ta kasvas oma poja protestandiks, kuigi ta emapoolne vanaisa, Strasbourgi ülikooli professor oli juudi perekonnast. Ja nagu paljudel analoogilistel juhtudel, sai lapsest täiskasvanuna ateist.

Hans oli ainuke laps, kelle ema oli muutnud usku judaismist luterluseks, kuid usul polnud nende perekonnas erilist tähtsust. Ema oli suurepärane muusik, kuid kahjuks oli ta just I maailmasõja eel kaotanud kuulmise.

Hans oli juba lapsena hea matemaatik. Ta ise ja tema kaasaegsed mäletavad, et Hans oskas juba neljaaastasena leida ruutjuuri arvudest, sai viieaastasena aru murdudest ja oskas seitsmeaastasena leida väga suuri algarve.

Kümneaastasena oli tal matemaatiline analüüs endale selgeks tehtud.

Ta õppis ka väga vara kirjutama ja hakkas märkmikku igasuguseid lugusid üles tähendama, kusjuures kasutades ürgvana kreeka stiili – märkmikulehe parema ääreni jõudes jätkas ta järgmist rida paremalt vasakule!

1912. a asus Bethe isa tööle Kieli ülikooli Füsioloogia instituudi direktori ja professorina ja perekond kolis instituudi direktori korterisse. Bethe sai oma alghariduse professionaalselt eraõpetajalt, kus rühmas oli kaheksa poissi ja

tüdrukut. Kolme aasta pärast kolis pere uuesti, seekord Frankfurti, kus isa oli saanud Goethe ülikoolis füsioloogia instituudi juhataja ametikoha.

Bethe käis seal Goethe gümnaasiumis, kuid 1916. a jäi ta tuberkuloosi ja ta saadeti Bad Kreuznachi sanatooriumisse. Aasta pärast oli ta nii palju paranenud, et astus sealsesse reaalkooli ja järgmisel aastal erainternaatkooli Odenwaldschule'sse. Aastatel 1922 kuni 1924 õppis ta jälle Goethe gümnaasiumis ja sai sealt ka küpsustunnistuse ning astus kohe Frankfurdi ülikooli keemiat õppima. Füüsika õppejõud Carl Ludwig Siegel and Otto Szász ei meeldinud Bethele, sest õpetasid matemaatikat lahus teistest teadustest. Lisaks sellele tegi Bethe kindlaks, et ta on kehv eksperimentaator, sest rikkus oma kitli väävelhappega. Kuid samas meeldis talle füüsika, mida luges kaasprofessor Walter Gerlach ja kui Gerlach lahkus, hakkas õpetama Karl Meissner, kes soovitas Bethel minna õppima teoreetilist füüsikat Müncheni ülikooli, kus õppejõuks oli Arnold Sommerfeld. Nii Bethe tegigi ja Meissneri soovitus Sommerfeldile mõjus. Sommerfeld luges just füüsika diferentsiaalvõrrandite laiendatud kursust, mis Bethele meeldis. Lisaks sellele sai ta tutvuda uute tulemustega füüsikas, sest Sommerfeldile saadeti trükki minevate artiklite koopiaid. Nii jõudis Betheni ka avaldamiseks saadetud Erwin Schrödingeri artikkel lainemehaanikast.

Sommerfeld soovitas Bethele doktoriväitekirja teemaks võtta elektronide difraktsioon kristallides. Bethe meenutas hiljem, et ta ampsas natuke liiga suure suutäie, tehes rehkendused liiga keeruliseks ja kui ta hiljem kohtus esimest korda Wolfgang Pauliga, siis olevat Pauli talle öelnud, et olles kuulnud Sommerfeldi lugusid sinust, ootasid ma sinult palju rohkemat kui su väitekirja. Bethe taipas alles hiljem, et see oli Pauli poolt kompliment.

Pärast doktoritöö kaitsmist pakkus Erwin Madelung talle 1928. a assistendi ametikohta Frankfurdis, kuid Bethe ei leidnud, et see töö oleks teda huvitanud ja ta läks juba järgmisel aastal Stuttgarti Ewaldi tehnika kõrgkooli. Seal kirjutas ta enda arvates oma parima artikli *Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie* (Teooria kiirete korpuskulaarkiirte

läbimineku kohta ainest). Selles töös tuletas ta osakeste pörke lihtsustatud valemi, mida tuntakse Bethe valemina. Selle artikli eest Bethe habiliteeriti. Sommerfeld soovitas Bethet Rockefelleri Fondi reisistipendiumi saamiseks 1929. a. See andis 150 USD kuus (praeguse vääringus 3000 USD) õppimiseks välismaal. Bethe valis 1930. a postdoki töö Cambridge'i ülikooli Cavendishi laboratooriumis, kus ta töötas Ralph Fowleri käe all. Seal üldistas ta ka oma osakeste pörke valemi relativistlikule juhule.

Koos Guido Becki ja Wolfgang Riezleriga kirjutas Bethe petuartikli *Absoluutse nulli temperatuuri kvantteooria*, pilkeks mõningate gurude artiklitele, kuid olid hiljem sunnitud vabandama. Stipendiumiaja teiseks pooleks läks Bethe Enrico Fermi juurde Rooma. Seal meeldis talle väga ja ta kahetses, et ei läinud kohe alguses Rooma.

Roomas leidis Bethe meetodi, kuidas leida teatud ühemõõtmeliste mitme keha kvantmudelite jaoks omaväärtused ja omavektorid. Teda mõjutasid seejuures Fermi lihtsus ja Sommerfeldi rangus probleemide lahendamisel ja need omadused jäidki talle terveks eluks külge.

Rockefelleri fond leidis, et Bethe on nende stipendiumi edukalt kasutanud ja pakkus sellele 1932. a Roomas pikendust. Vahepeal oli Bethe töötanud Sommerfeldi juures Münchenis eradotsendina. Kuna Bethel oli hea inglise keel, siis Sommerfeld andis talle kõikide inglise keelt rääkivate postdokide töid ülevaatamiseks. Lisaks sellele pakkus Karl Scheel talle võimaluse kirjutada *Füüsika käsiraamatusse* artikli vesiniku ja heeliumi kvantmehaanikast.

Kui Robert Bacher ja Victor Weisskopf hakkasid 1959. a seda käsiraamatut ajakohastama, siis märkasid nad, et neil pole nende artiklite uuendamiseks suurt midagi teha – Bethe oli nii head tööd teinud. Ka Sommerfeld palus tal aidata kirjutada sellesse raamatusse elektronidest metallides. See artikkel sai tahkise teooria aluseks.

Need tööd võtsid peaaegu kogu tema aja Roomas. Siiski leidis ta aega kirjutada koos Fermiga artikli veel ühest uuest alast füüsikas – kvantelektrodünaamikast.

1932. a asus Bethe tööle kaasprofessorina Tübingeni ülikoolis, kus Hans Geiger oli eksperimentaalfüüsika professor. Kuid see oli ajal, mil Hitleri Saksamaa andis välja *Professionaalse tsiviilteenistuse taastamise seaduse*. Kuna Bethe oli juudi päritolu, kaotas ta selle seaduse alusel oma ameti. Geiger teda ei aidanud, kuid Sommerfeld andis talle tagasi stipendiumi Münchenis. Bethe lahkus Saksamaalt 1933. a Inglismaale, kui Manchesteri ülikool pakkus talle lektori ametikoha üheks aastaks, sest Sommerfeld tundis hästi William Lawrence Braggi. Ta lahkus sinna koos juudi päritolu Rudolf Peierlsiga, nii et Bethel oli saksakeelne vestluskaaslane ja ta ei pidanud sööma inglise toitu! Pealegi pani Peierls Bethe huvituma tuumafüüsikast. Kui avastati deuteeriumi fotolagunemine, siis Bethe ja Peierls panid kokku selle lagunemise teooria rongisõidul Cambridge'ist Manchesterisse!

1933. a otsis Cornelli ülikool teoreetilise füüsika õppejõudu ja Lloyd Smith soovitas soojalt Bethet sellele kohale. Ka Bragg toetas seda ning järgmise aasta augustis pakkus Cornelli ülikool Bethele ajutist kaasprofessori kohta, kuid Bethe oli juba vastu võtnud aastase stipendiumi tööks koos Nevill Mottiga Bristol ülikoolis, kuid Cornell nõustus sellega, et Bethe alustaks alles 1935. a kevadel.

Enne Ameerikasse lahkumist külastas Bethe Niels Bohri instituuti Kopenhaagenis ja tegi abieluettepaneku Hilde Levile, kes kosjad vastu võttis. Kuid Bethe ema oli sellele abielule juuditariga vastu, kuigi ise oli juut. Kuid Bethe võttis oma ema sõna kuulda ja mõni päev enne laulatust katkestas abiellumise. Niels Bohr ja James Franck olid sellest nii šokeeritud, et Bethet ei kutsutud Bohri instituuti enne kui alles pärast II maailmasõda.

Bethe saabus USAsse 1935. a ja asus tööle Cornelli ülikoolis palgaga 3000 USD. Füüsikaosakonna uus juht Roswell Clifton Gibbs oli otsustanud hakata uurima tuumafüüsikat. Koos Bacheri ja Livingstoniga andsid nad välja nn *Bethe piibli*, mis sisaldas praktiliselt kõiki tolleaegseid teadmisi tuumafüüsika kohta.

Bethet taheti värvata Illinoisi ülikooli täisprofessoriks, kuid Cornell tõstis Bethe palga kahekordseks ja Bethe jäi Cornelli.

1938. a võttis Bethe osa Washingtoni konverentsist, kus väike rühm füüsikuid arutas tähtede energia probleeme. Selleks ajaks oli teada Gamowi ja Weizsäckeri tulemus Päikese energia päritolu kohta – prooton-prooton reaktsioon. See seletas tõesti Päikese energiaallika, kuid selgitamata jäi heeliumist raskemate elementide päritolu. Kuid konverentsi lõpuks oli Bethe Charles Critchfieldi abil tuletanud tuumareaktsioonide ahela, mis seletas ka raskete elementide esinemise Päikeses. Aga ikkagi ei seletanud see massiivsemates tähtedes toimuvaid protsesse. Kui Bethe oli tagasi Cornellis, siis uuris ta läbi kõik võimalikud tuumareaktsioonid ja avastas süsinik-lämmastik-hapnik (CNO) reaktsioonide ahela. Nii saadeti kaks artiklit avaldamiseks *Physical Review's*, kuid enne nende avaldamist sekkus veidral kombel saatus – pärast Kristallööd ei julgenud Bethe ema enam Saksamaale jääda ja otsustas Ameerikasse ekspatrieeruda, kuid tal polnud raha oma mööbli transpordi eest maksmiseks. Bethe üks tudengeist oli märganud, et New Yorki teaduste akadeemia oli kuulutanud 500USD auhinna veel avaldamata artiklile tähe energiaallikate kohta. Bethe võttis CNO artikli tagasi ja saatis akadeemiasse avaldamiseks. Ta saigi auhinna ning tasus selle abil nii oma tudengile terase tähelepaneku eest kui ka oma ema mööbli transpordi eest. Lisaks sai Bethe CNO reaktsiooni avastamise eest Nobeli preemia 1967. a.

Bethe abiellus Rose Ewaldiga, omaaegse Stuttgardi ülikooli teoreetilise füüsika professori Paul Peter Ewaldi tütreaga 1939. a. Rose oli emigreerunud Ameerikasse ja oli Duke'i ülikooli tudeng ning kohtus Bethega siis, kui Bethe pidas seal loenguid 1937. a.

Neil oli kaks last – Henry ja Monica. Henry oli lepingbridži ekspert ja kuulsa bridžimängija ja genealoogi Kitty Munson Cooperi endine abikaasa.

Bethe sai USA naturaliseerunud kodanikuks 1941. a ja see võimaldas tal hakata tegelema ka USA kaitsevõime tugevdamisega. Ta oli seda ka juba varem teinud koos oma sõbra Telleriga lööklainete uurimisel, kui kuul või mürsk läbib gaasi või soomust.

USA kodanikuna oli Bethel õigus tegeleda riigikaitsega seotud teadusprobleemidega ja MITi kiirguslaboris leiutas ta radarites kasutusele võetud mikrolainete suunaja. 1942. a juunis osales Bethe Robert Oppenheimeri kutsel California ülikoolis peetud

kohtumistes aatompommi loomiseks. Arutati võimalusi luua U235 või Pu239 pomm, kusjuures peeti kogu aeg silmas, et sakslased kindlasti ehitavad seda ka. Kui Oppenheimer läks Los Alamosesse kokku panema salajaste relvade laborit, siis kutsus ta Bethe teoreetilise T divisjoni direktoriks. See ei möödunud tülideta, sest Edward Teller ja Felix Bloch pidasid ennast paremateks juhtideks kui Bethe, nii et nad eraldati T rühmast otseselt Oppenheimeri alluvusse.

Bethe töö Los Alamoses seisnes pommi kriitilise massi ja U235 efektiivsuse, samuti neutronite multiplikatsiooni rehkendamises pommi lõhkemisel. Kui labor reorganiseeriti, siis Bethe hakkas uurima plutooniumpommi lõhkamist implosiooni teel. Trinity test kinnitas T divisjoni töötulemuste täpsust.

Räägitakse, et pärast sõda olevat Bethe olnud seisukohal, et H-pommi pole vaja, ent pärast Korea sõja puhkemist olevat ta oma seisukohta muutnud. Aga ikkagi lootis ta, et H-pommist asja ei saa. Kuid sai ja Bethe olevat hiljem öelnud, et ajakirjanikud peavad küll Edward Tellerit H-pommi isaks, kuid tegelikult on isa poola päritolu Stanislaw Ulam, sest tema andis seemne, Teller on ema, sest jäi lapsega ja Bethe on ämmaemand.

Kui 1954. a süüdistati Oppenheimerit, et ta takistas igati H-pommi loomist, siis Bethe oma abikaasaga kinnitasid vastupidist ja püüdsid Tellerit veenda mitte tunnistama Oppenheimeri vastu. Kuid ta tegi seda ikkagi ja Oppenheimerilt võeti luba salajaste probleemidega tegeleda. Bethe ja Telleri sõprus sellega ka lõppes.

Tollal veel ei teatud, et H-pommi teadusmeeskonda kuulus mitme teise spiooni hulgas ka NKVD spioon Klaus Fuchs.

Pärast sõda oli Bethel suuri teeneid mõjutamas Kennedy ja Nixoni valitsusi kirjutama alla *Osalise tuumakatsetuste keelu lepingut* 1963. a ja *Antiballistiliste raketide lepingut* 1972. a (SALT I).

Tööle oli ta asunud Cornelli ülikooli ja 1947. a võttis ta osa Shelteri saare konverentsist *Kvantmehaanika alused*, millel määrati edasiste uuringute suunad. Oluline arutus käis Willis Lambi ja tema tudengi Robert Retherfordi avastuse üle – need mehed olid leidnud, et üks kahest võimalikust vesiniku aatomi kvantseisundist oli suurema energiaga kui Paul Diraci teooria lubas.

Nähtus oli saanud Lambi nihke nime. Kvantelektrodünaamika andis seisundite omaenergiaile lõpmatud väärtused. Hans Kramers pakkus välja renormaliseerimise, kuid mitte keegi osanud vastavaid rehkendusi teha. Alles siis, kui Bethe sõitis New York'ist tööle Schenectadysse, tegi ta selle rehkenduse ära ja sai tulemuseks 1040 MHz, mis oli üsna lähedal eksperimentaalselt saadud tulemusele. See oli kõikidele füüsikutele suureks kergenduseks, sest muidu oleks tulnud luua uus radikaalne teooria Lambi nihke seletamiseks. Bethe aga näitas, et seda pole sugugi vaja.

1948. a ilmus Bethe väga kuuluis artikkel – Alpher-Bethe-Gamowi nimede all, milles Bethe polnud kirjutanud ainsatki rida. See oli Gamowi ja tema tudengi Alpheri artikkel ja Gamow oma veidra huumoriga lisas sinna ilma Bethe teadmata Bethe nime, et saaks kreeka alfabeedi kohaselt  $\alpha\beta\gamma$ -artikli.

Gamow oli siiski artikli mustandisse Bethe nime järgi kirjutanud „in absentia“, kuid Bethe nägi mustandit enne trükki ja tõmbas „in absentia“ maha!

Bethe tegeles neutrontähtedega, üldistades vene teadlase Ludvig Faddejevi lahendit kolme keha probleemile. Tema huvide alla kuulusid lisaks neutrontähtedele ka supernoovad, mustad augud ja teiste astronoomiliste objektidega seotud teoreetilised probleemid. Bethe tegi palju koostööd Gerald E. Browniga Stony Brooki ülikoolist eriti supernoovade füüsika alal. Neis toimuvad reaktsioonid olid enam-vähem teada, kuid nende rehkendamine tegi peavalu. Kuna aga Bethe oli palju tegelenud tuumafüüsika probleemidega ja muidugi arvutanud tuumaplahvatusi, siis õnnestus tal gravitatsioonilise kollapsiga seotud probleeme lahendada talle nii tuttavalt viisil – taandada need diferentsiaalvõrrandite süsteemiks ja siis need lahendada.

85-aastaselt kirjutas Bethe tähtsa artikli Päikese neutriino probleemist, milles pakkus välja elektronneutriino muutumismehhanismi müoonneutriinoks.

Sellise mehhanismi olid ette pannud Mikhejev, Smirnov ja Wolfenstein. Bethe väitis oma artiklis, et sellest probleemist arusaamiseks läheb vaja kangemat füüsikat kui seda on osakeste standardmudel. Bethe lootis, et Sudbury neutriino observatoorium Ontarios annab talle õiguse selles küsimuses tema 90-ks sünnipäevaks, kuid see teade tuli Bethe 95-ks sünnipäevaks!

1996. a pöördus Bethe ja Browni poole Kip Thorne LIGO<sup>1</sup> küsimuses, et kuna mehed on tuntud rehkendajad, siis kas nad ei vaatleks protsesse, mis toimuvad neutrontähtede ja mustade aukude ühinemisel. 90-aastane Bethe asus kohe arvutama ja tulemuseks oli artikkel *Ühinevate kompaktsete objektide evolutsioon*, mida Brown pidas parimaks nende poolt kirjutatud artikliks. Bethe sekkus ka suurde poliitikasse, kui ta oli kindel, et tal on õigus. Nii näiteks avaldas ta koos Richard Garwiniga 1968. a artikli, milles autorid väitsid, et anti-ICBM kaitsesüsteem ei suuda kedagi kaitsta.

1980ndatel ja 1990ndatel võitles Bethe selle eest, et tuumaenergiat kasutataks rahulikel eesmärkidel. Pärast Tšernobõli õnnetust kuulus Bethe ekspertide komitesse, kes uuris õnnetuse põhjuseid. Nende arvamuseks oli, et see õnnetus näitas pigem selgesti nõukogude poliitilise ja administratiivse süsteemi puuduseid kui tehnilisi vigu.

1980. a oponeerisid Bethe ja paljud teised füüsikud Strateegilise kaitse initsiatiivi, mille mõtles välja Reagani administratsioon. 1995. a kirjutas Bethe avaliku kirja kõikidele teadlastele, kutsudes neid üles mitte töötama tuumarelvade mistahes arengu ja tootmise nimel.

Bethe suri 6. märtsil 2005 oma kodus Ithakas südamepuudulikkuse tõttu. temast jäid maha abikaasa Rose Ewald Bethe ja nende kaks last.

Bethe sai Ameerika kunstide ja loodusteaduste akadeemia liikmeks 1947 ja talle anti Riikliku loodusteaduste akadeemia Henry Draperi medal. Ta valiti ka Ameerika filosoofiaseltsi liikmeks. Talle anti Max Plancki medal 1955. a., Franklini medal 1959.a, Kuningliku astronoomia seltsi Eddingtoni medal ja Ameerika Ühendriikide aatomienergia komisjoni Enrico Fermi medal 1961. a, Rumfordi auhind 1963, Nobeli preemia 1967, Riiklik loodusteaduste medal 1975, Oersted'i medal 1993, Bruce'i medal 2001 ja postuumselt Ameerika filosoofia seltsi Benjamin Franklini medal väljapaistvate saavutuste eest loodusteadustes. Bethe oli Kuningliku seltsi välisliige 1957. aastast ja ta pidas

---

<sup>1</sup> LIGO – Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory.



seal Bakeri loengu supernoovade mehanismist 1993. a. 1978. a valiti ta Saksa Leopoldina akadeemia liikmeks.

Paljude kolledžite nimeks pandi Bethe nimi nii Ameerikas kui Saksamaal.

Asteroid 30828 ja Ameerika füüsikaseltsi auhind said Bethe nime

### **Kasutatud allikad**

<https://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Bethe/>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Hans\\_Bethe](https://en.wikipedia.org/wiki/Hans_Bethe)