

KARL SCHWARZSCHILD



Karl Schwarzschild (09.10.1873 – 11.05.1916) oli kuulus saksa astronoom ja füüsik, kes leidis Einsteini üldrelatiivsusteooria väljavõrrandi täpse lahendi üksiku sfäärilise mittepöörleva keha jaoks juba 1915. a. Tema kasutatud matemaatiline lähenemine sellele probleemile viis lõpuks mustade aukude leidmisele.

Karl Schwarzschild (edaspidi Karl,) sündis Saksamaal Frankfurt-am-Mainis jõukas juudi perekonnas. Ta oli perekonnas vanim viie venna ja ühe õe kõrval. Karli isa Moses Martin Schwarzschild oli jõukas kangakaupmees, kellele kuulus kaks kangapoodi Frankfurdis. Tema ema Henrietta Sabel ja isa olid kenad ja südamlikud inimesed ning nende suures peres oldi kunsti- ja kultuurilembesed, näiteks Karli lell Alfred oli tuntud maalikunstnik ja Karli õe Klara abikaasaks oli Robert Emden – mees, kes andis astrofüüsikuile polütroopsete gaasikerade teooria. Ka Karl valis oma karjääriks täppisteaduse. Kuni 11-aastaseks saamiseni käis Karl juudi algkoolis ja seejärel astus ta Lessingi gümnaasiumi, kus sai väga hea ja mitmekülgse hariduse, õppides ladina ja vana-kreeka keelt, muusikat ja kunsti ning gümnaasiumis avaldus tema sügav huvi astronoomia vastu. See ilmnis kasvõi selles, et ta oma taskuraha eest ostis läätsi, millest sai teleskoobi kokku panna. Karli võib vabalt imelapseks nimetada, sest veel enne 16-aastaseks saamist avaldas ta kaks artiklit kaksiktähtede orbiitide kohta maailma vanimas astronoomiaajakirjas *Astronomische Nachrichten* 1890. a.

Karli isa ja Filantroopia akadeemia professorit J. Epsteini ühendas sõprus, mis oli tekkinud muusika baasil. Epsteinil oli oma eraobservatoorium ja tema poeg Paul õppis koos Karliga. Ka poisid said suurteks sõpradeks, sest neid ühendas suur huvi astronoomia vastu. Paul õpetas Karli kasutama teleskoopi, ja kuna ta oli kaks aastat Karlist vanem, siis õpetas ta Karlile ka natuke keerulisemat matemaatikat. Pole ime, et teadmised, mida ta omandas Pauli abil, aitasid kaasa kahe avaldatud artikli kirjutamisel taevamehaanika kohta.

Pärast gümnaasiumi lõpetamist astus Karl Strasbourgi ülikooli astronoomiat õppima. Seal sai ta endale tugeva aluse praktilises astronoomias. Kahe aasta pärast vahetas ta selle ülikooli Ludwig Maximiliani Müncheni ülikooli vastu, kus ta 1896. a sai doktorikraadi uurimuste eest, mis käsitlesid Henri Poincaré arendatud pöörlevate kehade tasakaaluliste konfiguratsioonide teooria rakendamist kuude loodelistes deformatsioonides ja Laplace'i teoorias Päikesesüsteemi tekkimisel. Karli juhendajaks oli Hugo von Seeliger, kes jättis Karlile väga sügava mulje, nii et ta kogu elu meenutas oma juhendajat.

Alates 1897. a töötas ta assistendina Von Kuffneri observatooriumis¹ Viinis. Ta uuris täheparvede fotomeetria, ja eriti fotoplaatide kasutamist täheparvede heleduse mõõtmiseks. Kuna fotoplaadi tumenemine pole lineaarne funktsioon pealelangeva valguse intensiivsusest, siis on eriti oluline teada, milline see sõltuvus tumenemise ja intensiivsuse vahel on. Karl leidis olulise võrrandi, mis seob fotoplaadile langeva valguse intensiivsuse, säritusaja ja fotoplaadil saadud kontrastsuse. Tema teooria oluline osa on Schwarzschildi eksponent.

Siin arendas ta välja ka tähefotomeetria ekstrapookaalsete kujutiste abil.

1899. a juunis sõitis Karl Münchenisse, et lõpetada oma habilitatsioon². Ta asus Müncheni ülikoolis tööle privaatdotsendina³, kui oli esitanud oma

¹ *Von Kuffneri observatoorium* on üks kahe teleskoobiga varustatud avalik astronoomiline observatoorium Viinis, Ottakringi linnaosas.

² *Habilitatsioon* on kvalifikatsioon, mis on vajalik õpetamiseks ülikoolis. Samuti on see vajalik saada professoriks mitmetes Euroopa riikides.

³ *Privaatdotsent* on akadeemiline tiitel, mida antakse mõnedes Euroopa ülikoolides (eriti saksakeelsetes riikides) neile, kel on teatud formaalne kvalifikatsioon, mis tähistab võimet (*facultas docendi*) ja luba (*venia legendi*) õpetada mingit ainet kõrgeimal tasemel.

habilitatsioonitöö *Beiträge zur photographischen Photometrie der Gestirne*. Selle töö käigus tegi Karl mitu olulist avastust. Kõigepealt nägi ta, et fotograafilised tähesuurused erinesid visuaalsetest ja Karl taipas, et see on põhjustatud tähtede erinevatest värvustest. Muutlike tähtede heledusmuutuste jälgimisel nägi ta, et fotograafiline heleduste mõõtmine annab palju suurema heleduste muutuse vahemiku kui visuaalsel heleduste mõõtmisel. Ja seda nähtust põhjendas Karl muutliku tähe pinnatemperatuuri muutustega muutlikkuse kestel.

1900. a toimus Heidelbergis Saksa astronoomiaseltsi konverents. Karl arutas seal võimalust, et ruum võib olla mitte-eukleidiline. Samal aastal arvutas ta universumi kõverusraadiuseks 2500 valgusaastat. Ta töötas ka päikesevalguse kiirgusrõhu määramisel, oletades, et komeetide sabad koosnevad hästipeegeldavatest sfäärilistest osakestest. Nii leidis ta komeedi saba moodustavate osakeste läbimõõdud olevat vahemikus .07 ja 1.5 mikronit. Aastatel 1901 kuni 1909 oli ta Göttingeni ülikooli erakorraliseks professoriks ja samuti sealse observatooriumi direktoriks. Göttingenis oli tal õnn töötada koos selliste kuulsustega nagu David Hilbert, Felix Klein ja Hermann Minkowski. Karl hindas oma kolleegides matemaatika tunnetamist, mitte niivõrd matemaatilisi teadmisi. Göttingenis Karli loenguid kuulavad tudengid ütlesid, et ta oli sündinud õpetaja ja ta oskas astronoomia keerulisi probleeme selgitada sellise virtuoossusega, mis oli imekspandav. Tudengid rääkisid, et nad isegi ei saanud aru, et need probleemid, mida Karl neile selgitas, olid tegelikult väga keerulised.

Sel ajal uuris Karl energia levikumehhanisme tähes ja avaldas olulise artikli kiirgustasakaalust Päikese atmosfääris. Üksiti koostas ta suure ülevaate tähesuurustest, avaldades *Aktinometrie* (I osa 1910, teine 1912). Seda ulatuslikku tööd tuleb vaadelda, kui tema astrofotograafiliste tööde jätku, mida ta Viinis alustas. Selleks otstarbeks konstrueeris ta erilise fotoplaati hoidva kasseti, mis regulaarselt plaati liigutas. See võimaldas tähekujutisi fotoplaadil laiendada, ilma et oleks pidanud fotoplaati teleskoobi fookusest välja viima.

Göttingeni aktinomeetria sisaldab kataloogis oleva 7.5st magnituudist heledama 3500 tähe fotograafilisi heledusi tsoonis käänetega vahemikus 0° kuni 20° . See piirkond vastas Potsdamis koostatud kataloogile, kus olid samade tähtede visuaalsed heledused. Nii saadi iga tähe jaoks värviindeks. Huvitava faktina selgus, et leiti väga vähe muutlikke tähti. Neist kõige huvitavam on vast SZ Tauri.

1905. a oli Karl vaatlemas täielikku päikesevarjutust Alžeerias, kus ta registreeris Päikese välgatusspektreid. Samal aastal uuris ta ultraviolettkiirguse jaotust Päikese pinnal, kasutades Jenas tehtud fotosid. Pildistamisel oli värvifiltrina kasutatud metallilise hõbeda kihti.

Siinkohal tuleks tingimata nimetada Karli loengut taevamehaanika kohta, sest see annab suurepärase pildi teoreetilisest astronoomiast. Selles loengus ütles Karl: *Poincaré töö on mähitud abstraktse mõtlemise atmosfääri, mis peidab tema ideed looriga nagu see, mis peidab skulptuuri Saisis⁴. Ma olen tundnud ennast seda rohkem õigustatuna katsetes esitada Poincaré tööd lihtsalt, kuna seda loori on harvemini tõstetud kui vaadatud seda austusväärse kartusega.*

Karl tegeles ka instrumentidega nii teoreetilises kui praktilises plaanis. Üheks tema suureks panuseks geomeetrilises optikas on uuringud, mis baseeruvad teoreemile lühimast valguse liikumistest, nn eikonaalist. See andis Karlile võimaluse luua optiliste instrumentide teooria. Ta näitas ka võimalust kasutada topeltpeeglit Cassegraini optilises skeemis, mis annaks sama hea vaatevälja kui *carte-du-ciel* tüüpi refraktor.

Göttingenis töötades konstrueeris ta rippuva seniitkaamera laiuste määramiseks. Kõrvalproduktina andis see instrument 375 seniidilähedase tähe deklinatsiooni.

1909. a lõpul lahkus Karl Göttingenist ja asus tööle Potsdami Astrofüüsika Observatooriumi direktorina. Saksa astronoomide jaoks oli see kõrgeim võimalik ametikoht Saksamaal. Karl sai Potsdamis uurida Tenerifel tehtud fotosid Halley komeedist, kui see 1910. a Päikesest möödus. Samuti andis ta

⁴ Saisi linnas vanas Egiptuses olevat olnud tähelepanuväärne kivist skulptuur looritatud Isisest.

oma suure panuse spektroskoopiasse, mis siis oli alles kiiresti arenev astrofüüsika osa.

Ka konstrueeris ta õhulaevade navigatsiooniks sobiva kompassi.

Potsdamis direktoriks olles laskis ta suure refraktori kaks objektiivi ümber lihvida, mis teleskoobi kvaliteeti tunduvalt tõstis.

Kasutades statistika meetodeid, uuris Karl tähtede liikumist. See ei allunud Maxwelli jaotusele ja Kapteyn proovis seda asendada kahe tähtede vooluga. Kuid Karl näitas, et selle järele pole vajadust, sest Maxwelli jaotust sai siiski kasutada, kui Maxwelli kiirus sõltus tähtede liikumissuunast. Ka leidis Karl üldise lahendi tähestatistika integraalvõrrandele.

Täiesti teistsuguse uurimissuunaga tegelemiseks oli Karlil komeetide sabade teooria. Nimelt uuris ta Päikese poolt sabadele avaldatavat valgusrõhku. 1901. aastast on teada teoreetiline uuring valgusrõhu kohta väikestele sfäärilistele osakestele. Päikese mõjul toimivad osakestele valgusrõhk ja gravitatsioonijõud, kusjuures valgusrõhk on võrdeline osakese pindalaga ja gravitatsioonijõud osakese ruumalaga. Seega peavad leiduma selliste parameetritega osakesed, mille jaoks need jõud on tasakaalus. Samas maksimaalne suhe tõukumise ja tõmbumise vahel on 20:1.

Potsdamis arendas Karl teooriat, kuidas objektiivprisma abil radiaalkiirusi määrata. Selle meetodi oli välja pakkunud E.C. Pickering⁵ ja Karl rakendas seda Hüaadide puhul.

Kuid Karli kõige olulisemaks panuseks Einsteini väljavõrrandite täpse lahendamise kõrval oli täheatmosfääride kiirgusliku tasakaalu uurimine. Kui ta tegeles Päikese spektri võrdlemisega H ja K kaltsiumijoonte piirkonnas päikeseketta tsentris ja äärel, siis järeldas ta, et neid erinevusi saab seletada päikesevalguse hajumisega.

Karli perekonnaseis muutus 1909. aastal, kui ta abiellus Else Rosenbachiga, kelle isa oli kirurgiaprofessor Göttingenis ja vanavanavanaisa oli olnud kuulus

⁵ Edward Charles Pickering (19.07.1846 – 03.02.1919) oli ameerika astronoom ja füüsik. Koos Carl Vogeliga avastas Pickering esimesed spektraalkaksikud tähed. Ta kirjutas raamatu *Elements of Physical Manipulations* (2 kd., 1873–76).

keemik Friedrich Wöhler⁶. Karlil ja Elsel oli kolm last Agathe, Martin ja Alfred. Agathe asus elama Uus-Meremaal, kus temast sai klassikalise filoloogia professor ja maoride kultuuri uurija Otago ülikoolis Dunedinis, Martinist sai samuti astronoomia professor, kuid nüüd juba Princetonis (USA) ja Alfred sooritas enesetapu, kui Hitleri võimu ajal kiusati juute taga.

I maailmasõda ja elu lõpp

1913. a valiti Karl Preisi teaduste akadeemia liikmeks, kuid juba järgmisel aastal puhkes I maailmasõda. Kuigi Karl oli üle 40 aasta vana, läks ta vabatahtlikult sõtta, võideldes nii idarindel Venemaal kui läänerindel Belgias ja Prantsusmaal. Ta tõusis kahurväe divisjoni leitnandiks, kuid näiteks Belgias oli ta kohaliku ilmajaama ülemaks ja Prantsusmaal arvutas ta mürskude trajektoore.

Venemaa sõdides jäi ta raskesse autoimmuunsushaigusesse – harilikku villtõppe (pemphigus)⁷, mis ilmutab end raskelt paranevate mädaste paistetega, jättes nahale hullud armid. Isegi hoolimata sellest raskest haigusest tegeles ta edasi teadusega ja avaldas kolm väljapaistvat artiklit – kaks relatiivsusteooriast ja ühe kvantteooriast. Relatiivsusteooria kohta käivates artiklites andis Karl Einsteini väljavõrandite esimese täpse lahendi ja nende tulemuste väike modifikatsioon kannab nüüd tema nime – Schwarzschildi meetrika. Need kaks artiklit moodustasid vundamendi, millele hiljem toetus kogu mustade aukude teooria ja mis näitasid, et küllalt suure massiga kehadelt peab paokiirus olema suurem kui valguse kiirus ja seega musti auke on võimatu näha. Karl ise ei pidanud sellist teoreetilist lahendit füüsikaliselt võimalikuks.

Artikkel kvantteooriast andis kirka selgituse Starki efekti kohta.

⁶ Friedrich Wöhler (31.07.1800 – 23.09.1882) oli saksa keemik. Ta on kuulunud oma tööde poolest nii orgaanilises kui anorgaanilises keemias. Ta oli esimene isoleerima elemendid berüllium ja ütrium puhta metallina. Esimesena valmistas paljud anorgaanilised ühendid, nagu silaanid ja räni nitriid. Ta on tuntud urea valmistajana, nii lükates ümber uskumuse, et orgaanilisi aineid saavad ainult loomad tekitada.

⁷ Harilikku villtõppe kaldusid põdema Kesk- ja Ida-Euroopa juudid, kes elavad Saksamaal, Poolas, Valgevenes, Ukrainas ja Leedus ehk nn ashkenazi juudid

Kui Einstein luges Karli käsikirju, siis oli ta meeldivalt üllatunud, et tema mittelineaarsed gravitatsiooni väljavõrrandid lahenduvad täpselt. Enne seda oli Einstein suutnud leida nendele võrranditele vaid ligikaudsed lahendid, kui ta käsitles Merkuuri periheelioni nihet. Pole ka imestada, sest Einstein kasutas Cartesiuse koordinaate sfäärilissümmeetrilise, staatilise, mittepöörleva ja laenguta keha gravitatsioonivälja kirjeldamiseks.

Eelmise sajandi alguses Karli haigust ravida ei osatud – tänapäeval on see kortikosteroididega võimalik - ja kui ta oli selle haiguse tõttu pääsenud sõjaväeteenistusest 1916. a märtsis, siis 11. mail 1916 Karl suri oma kodus 42 aastana.

Enne oma surma oli ta öelnud oma kolleegile, taani keemik ja astronoom Ejnar Hertzsprungile: *Me oleme jõudnud elu tipppunkti ja varsti läheme me allamäge.* Kuid Hertzsprung ütles oma hüvastijätku artiklis, et Karl seda hetke enam ei näinud, sest ta suri seistes.

Kasutatud allikad

E. Hertzsprung, Karl Schwarzschild, *The Astrophysical Journal*, 45, lk. 285-292, 1917

A. Eddington, Obituary of Karl Schwarzschild, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 77, lk. 314-319, 1917

I. Suhendro, Biography of Karl Schwarzschild (1873-1916), *The Abraham Zelmanov Journal*, 1, 2008

S. Sternberg, *Curvature in Mathematics and Physics*, Dover Books on Mathematics, 2012

https://en.wikipedia.org/wiki/Karl_Schwarzschild

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