

## RUDOLF JULIUS EMANUEL CLAUDIUS



Rudolf Julius Emanuel Clausius (sündinud Rudolf Gottlieb, 02.01.1822 – 24.08.1888) oli saksa füüsik ja matemaatik, üks termodünaamika rajajatest. Oma kõige tähtsamas töös *Soojuse liikumapanevast jõust* pani ta kirja termodünaamika teise seaduse. 1865. a tõi ta sisse mõiste entroopia ja viis aastat hiljem püstitas ta soojuse kohta käiva viriaali teoreemi.

Rudolf Clausius sündis Preisimaal Köslinis, mis tänapäeva Poolas kannab nime Koszalin ja kuulub Lääne-Pommeri vojevoodkonda. Ta kasvas perekonnas, kus ta oli kuuendaks pojaks.

Ta sai oma esialgse hariduse oma protestandist isa poolt asutatud erakoolis, milles isa oli nii pastoriks kui Kuningliku valitsuse koolinõukogu nõunikuks. Clausius jätkas oma haridusteed Stettini gümnaasiumis, enne kui astus Berliini ülikooli 1840. a, kuigi alguses ta ei teadnud, millist õppeainet valida, sest talle meeldisid väga Leopold von Ranke<sup>1</sup> ajalooloengud, kuid ta valis ikka karjääriteeks matemaatika ja füüsika. Nendes ainetes sai ta ka oma kraadi 1844. a kevapühade ajal ja siis veetis prooviaja Frederic-Werderi gümnaasiumis, kus ta õpetas edasijõudnuid matemaatikas ja füüsikas. 1846. a astus ta Böcki Kuninglikku seminari ja esitas oma doktoritöö taevas peegeldunud valgusest Halle ülikoolis 1847. a. Ta kaitses järgmisel aastal oma doktoritööd ja sai kraadi esiletõstmisega 15. juulil 1848. a. Selles töös seletas ta taeva sinist värvi, aga samuti ka taeva punast värvi päikesetõusul ja loojangul ning ka polarisatsiooni. Kuid ta eksis, sest ta oletas, et need efektid

---

<sup>1</sup> Leopold Von Ranke (1795 - 1886) oli kuulus saksa ajaloolane, kes lõi kontseptsiooni allikaile toetuvast ajaloost. Ajaloo professorina Saksamaal rõhutas ta primaarsete allikate uurimise ja analüüsi tähtsust sündmuste õigeks esitamiseks.

on põhjustatud valguse peegeldumisest ja murdumisest, mitte aga valguse hajumisest, nagu seda tegi Thomson.

Tema kuulus 1850. a ilmunud töö soojuse kohta *Soojuse liikumapanevast jõust* sillutas talle tee Kuninglikku suurtüki ja insenerikooli Berliinis ja privaatdoksendiks Berliini ülikoolis. Kuid asi sellega ei piirdunud, teda kutsuti 1855. a matemaatilise füüsika professoriks uude Polütehnikumi Zürichis. Samal ajal sai ta tööd ka Zürichi ülikoolis. See oli suurepärane võimalus Clausiusele arenemiseks, kuid teda piinas ka koduigatsus. Seal sattus ta teaduskonda, kus oli noori ja andekaid mehi, nagu Richard Dedekind matemaatikas, Gustav Zeuner mehaanikas, Franz Reuleaux masinaehituses ja Clausiuse eluaegseks sõbraks saanud Albert Mousson eksperimentaalfüüsikas. Zürichis sõbrustas ta ka John Tyndalliga<sup>2</sup>, kellega oli kohtunud Gustav Magnuse<sup>3</sup> pool Berliinis.

1858. a pakuti talle tööd Karlsruhe Polütehnilises instituudis, kuid seda ta vastu ei võtnud. Järgmisel aastal 19. novembril abiellus ta Adelheid Rimpamiga Brunswickist. Järgnev tööpakkumine oligi naise kodulinnast Brunswickist, kuid isegi selle lükkas Clausius tagasi, nagu ka neli aastat hiljem tulnud tööpakkumise Viinist.

Kui aga 1867. a pakuti Clausiusele tööd Würzburgi ülikoolis, siis ta nõtkus ja võttis selle vastu, väljendades küll oma kahetsust Zürichist lahkumise üle. Würzburgis sai ta olla vaid aasta, kui talle pakuti tööd Münchenis. Selle pakkumise lükkas ta tagasi, kuid 1869. a võttis vastu kateedrijuhataja koha Bonni ülikoolis, ja saades seal oma elu lõpus ka rektoriks.

Samas hakkasid toimuma sündmused, mis Clausiuse elu sügavalt mõjutasid.

Sel ajal oli Preisimaa ja hiljem juba Saksamaa poliitika kujundajaks Otto von Bismarck, kes ajavahemikul 1862 kuni 1890 oli Preisimaa ministerpresident ja

---

<sup>2</sup> John Tyndall (1820 – 1893) oli kuulus iiri füüsik, kes uuris algul diamagnetismi ja hiljem soojuskiirgust ning tehes kindlaks CO<sub>2</sub> ja kasvuhoone efekti vahelise seose.

<sup>3</sup> Heinrich Gustav Magnus (1802 – 1870) oli saksa eksperimentaalteadlane. Algas tegutses ta keemias, hiljem aga füüsikas. Põhiliselt töötas ta Berliini ülikoolis, kus teda mäletatakse nii laboratooriumitöö õpetamise kui originaalauuringute tõttu.

välisminister. Tema oli mees, kes 1871. a ühendas Saksamaa, mis oli olnud väikeste vürstiriikide kogum ning ta nimetati Saksa impeeriumi esimeseks kantsleriks.

Bismarck oli aru saanud, et Saksamaa ühendamiseks oli vaja sõda, kuid enne tuli tal Preisi kuningriigis kindel jalgealune luua Põhja-Saksa konföderatsiooni näol. Järgmiseks sammuks manipuleeris Bismarck osavasti välispoliitiliselt, et toimuski kolm lühikest otsustavat sõda Taani, Austria ja Prantsusmaa vastu. Kuna Prantsusmaa<sup>4</sup> arvas, et suudab need uued saksa riigid kergesti purustada, alustas ta sõda, milles Clausius pakkus oma teeneid riigile, kuigi oli juba peaaegu 50-aastane. Ja sellel riigil läkski Clausiuse abi vaja, sest hoolimata sellest, et saksa väed olid tugevamad, olid näiteks Vionville ja Gravelotte lahingud neile väga verised – 20 000 langenud sakslast prantslaste 13 000 vastu. Loomulikult ootasid sakslased pärast selliseid lahinguid prantslaste pealetungi, kuid prantslased hoopis taganesid, mistõttu sakslased said taktikalise võidu. Clausiuse vend Robert kirjutas oma venna kohta:

*Tema põlev patriotism ei lubanud tal kõrvaltvaatajaks jääda selles 1870-1871 aasta sõjas. Ta hakkas juhatama haavatutega tegelevat väeosa, mille ta formeeris Bonni tudengeist. Vionville ja Gravelotte lahingutes aitas ta kanda haavatuid ja vähendada nende kannatusi.*

Clausius sai 1871. a raudristi oma teenete eest sõjas. Kuid ta oli saanud ka jalga haavata ja pidi kannatama haavast tingitud ägedat valu ja puuet kogu ülejäänud elu. Veel teinegi õnnetus tabas teda 1875. aastal, kui ta naine suri sünnitusel, jättes Clausiuse üksi kuue lapsega. Loomulikult ei aidanud see sugugi kaasa akadeemilisele tööle. Ta vend kirjutas:

*Ta oli parim ja hellem isa, elades täielikult kaasa oma laste rõõmudele. Ta vaatas isiklikult üle oma laste kodutööd.*

Clausius arst soovitas tal hakata ratsutama, et kuidagi leevendada haavatud jalast tekkinud probleeme ja kergemini jõuda loengutele. Seda Clausius tegigi

---

<sup>4</sup> Keiser Napoleon III arvas, et ta purustab Preisimaa kergesti. Mitmed õukondlased, ka keisrinna Eugénie, soovisid võidukat sõda kasvavate koduste poliitiliste probleemide lahendamiseks, taastada Prantsusmaa juhtiva võimuna Euroopas ja kindlustada Bonaparte perekonna kestvus.

ja sai varsti päris heaks ratsutajaks. 1884. a valiti ta rektoriks ja jäi sellesse ametisse 1885. lõpuni. 1886. a Clausius abiellus uuesti ja tema abikaasaks sai Sophie Stack Essenist. Neile sündis ka poisslaps.

Clausius jätkas tööd ka oma viimase haigushoo ajal ja tema vend kirjutas, et Clausius võttis isegi haigevoosis vastu eksami.

Clausius suri 24. augustil 1888.

Vaatleme nüüd Clausiuse teadustegevust lähemalt.

Soojuse kineetiline teooria oli vana idee, mis oli seotud aatomite liikumise kineetilise energiaga. Kuid isegi siis, kui me selle idee olime omaks võtnud, tuli meil valida aine molekulide erinevate liikumisviiside vahel, nagu translatoorne, pöörlev või võnkuv. Füüsikud uskusid, et ikkagi läheb vaja eetrit, mis toimetaks energia ühelt kehalt teisele kiirguslikul moel. Ja kui see eeter täidab ka molekulide vahed, siis see peab avaldama mingit mõju molekulide liikumisele. Mitmesuguste võimaluste hulgas oli gaaside kineetiline teooria kõige lihtsam, kuid samas tundus see lihtsus kahtlasena.

Teooria nõudis, et molekulid liiguksid ruumis konstantse kiirusega ja eeter neid ei takistaks, välja arvatud pinnalähedane ala ja molekulide pörked.

Esimene teadlane, kes need mured oma 1857. a töös *Über die Art der Bewegung welche wir Wärme nennen* lahendas, oli Rudolf Clausius. See polnud sugugi esimene sedalaadi töö, sest Krönig<sup>5</sup> oli oma 1856. a töös seletanud mitmeid gaaside teooria nähtusi kineetilisest seisukohast. Kuid Krönig oli käsitletud vaid molekulide translatoorset liikumist, aga Clausius vaatlus ka molekulide pöörlemist ning näitas, kuidas hinnata seda koguenergia, mis on translatoorne soojusandmete kasutamisel. Kuid molekulide pöörlemise energia arvestamisel kahjustas ta ikkagi kineetilist teooriat, sest translatoorse energia osa koguenergiasse oli tavaliste gaaside jaoks 0.6315, mis oli kummaline arv. Clausiuse ja teiste uurijate jaoks tundus, et see arv peab olema 3/5. Clausius tuletas meelde Avogadro arvamus, mis ütles, et gaasimolekulides võib olla

---

<sup>5</sup> August Karl Krönig (1822 – 1879) oli saksa keemik ja füüsik, kes avaldas kokkuvõtte gaaside kineetilisest teooriast 1856. a, tõenäoliselt pärast John James Waterstoni töö lugemist.

kaks või enam sama gaasi aatomit. Ja kui seda arvesse võeti, lähenes see suhtarv tõepoolest 3/5-ni.

Clausius tegi teisegi oletuse – gaasi molekulidest täidetud ruum on lõpmatu väike võrreldes gaasi poolt enda alla võetud ruumiga ja nende molekulaarne mõju on tühine. See tähendas, et ka molekulide pörkel mõjuvad tõukejõud ei mõju kuigi kaugemale. Kui need tingimused pole täidetud, siis gaas ei allu ideaalse gaasi seadustele. Selleks ajaks oligi juba teada Regnault<sup>6</sup> katsetest, et reaalsed gaasid ei allu neile seadustele. Clausius aga ei suutnud arvutada neid tekkivaid kõrvalekaldeid ja piirdus vaid ideaalsete gaasidega. Kui Clausius oli arvutanud oma mudeli abil molekulide keskmise kiiruse, siis märkas hollandi keemik ja meteoroloog C.H.D. Buys-Ballot, et kui gaaside molekulid liiguvad tõesti nii kiiresti, siis peab gaaside segunemine olema palju kiirem, kui me seda jälgime. Seetõttu pidi Clausius oletama, et gaaside molekulid pole lõpmata väikesed, vaid neil on küllalt suur diameeter. Clausius tõi sisse ka uue parameetri – keskmise vaba tee pikkuse, mille abil oli võimalik seletada tavalise gaasi segunemise aeglust. Kuid esialgu jäi see vaid *ad hoc* hüpoteesiks, aga enne veel, kui seda oleks hakatud kõvasti kritiseerima, kasutas Maxwell keskmise vaba tee mõistet oma kineetilises teoorias ja näitas, et seda mõistet saab siduda gaaside viskoossusega. Kriitika jäi ära.

Eespool oli meil juba juttu Clausiuse vast kõige tähtsamast tööst *Über die bewegende Kraft der Wärme und die Gesetze, welche sich daraus für die Wärmelehre selbst ableiten lassen*, mis ilmus 1850. a ja mis käsitles soojuste mehaanilist teooriat. Selles töös ta näitas, et energia jäävuse seaduse ja Carnot<sup>7</sup> printsiibi vahel on vastuolu.

Clausius pani kirja kaks termodünaamika seadust selle vastuolu ületamiseks.

---

<sup>6</sup> Henri Victor Regnault (1810 – 1878) oli prantsuse keemik ja füüsik, kes on tuntud gaaside soojuslike omaduste hoolika mõõtmise poolest. Ta oli varajane termodünaamik ja William Thomsoni õpetaja 1840. aastate lõpus.

<sup>7</sup> Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796 – 1832) oli mehaanikainsener Prantsuse armees, sõjateadlane ja füüsik, keda sageli nimetatakse termodünaamika isaks. Ta avaldas ainult ühe raamatu *Mõtted tule liikumapanevast jõust* (Pariis, 1824), milles ta esitas esimese eduka teooria soojusmasinate maksimaalsest efektiivsusest ja pani aluse uuele teadusele – termodünaamikale.

See töö tegi ta kuulsaks teadlaste hulgas (kolmanda seaduse pani kirja Walther Nernst aastatel 1906–1912<sup>8</sup>).

Soojus ei saa kunagi minna külmemalt kehalt soojemale ilma, et samal ajal toimuks mõni muu sellega seotud muutus. Clausius tuletas Clausius – Clapeyroni seose termodünaamikast. Selle seose, mis iseloomustab faasiüleminekut kahe aine oleku vahel, nagu tahkis ja vedelik, tuletas algselt 1834. a Émile Clapeyron<sup>9</sup>.

1865. a andis Clausius esimese matemaatilise versiooni entroopia mõistele ja üksiti ka nime. Clausius valis selle nimetuse kreeka mõistetest ἐν "sees" and τροπή "transformatsioon"), kokku siis "transformatsiooni sisu"

(*Verwandlungsinhalt*). Clausius ise ütles selle mõiste kohta:

*Eelistan oluliste teaduslike suuruste nimede otsimisel minna iidsete keelte juurde, et need tähendaksid kõigis elavates keeltes sama asja. Seetõttu teen ettepaneku nimetada S-d keha entroopiaks kreekakeelse sõna "transformatsioon" järgi. Olen kavandanud sõna entroopia nii, et see sarnaneks sõnaga "energia", sest need kaks suurust on oma füüsilise tähenduse poolest niivõrd sarnased, et nimiväärtuse analoogiast tundus mulle abi olevat.*

—Rudolf Clausius, *Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*.

Ta kasutas praeguseks kasutuselt kadunud ühikut entroopia jaoks 'Clausius' (sümbol: **Cl**).

1 Clausius (Cl) = 1 kalor/Celsiuse kraad (cal/°C) = 4.1868 džauli kelvini kohta (J/K).

See 1865. a märgiline artikkel, milles ta tõi sisse entroopia mõiste, lõpeb termodünaamika esimese ja teise seaduse kokkuvõttega:

Universumi energia on jääv.

Universumi entroopia kasvab.

---

<sup>8</sup> Termodünaamika kolmas seadus ütleb, et termodünaamilises tasakaalus oleva süsteemi entroopia läheneb konstantsele suurusele, kui süsteemi temperatuur läheneb absoluutsele nullile.

<sup>9</sup> Benoît Paul Émile Clapeyron (1799 – 1864) oli prantsuse insener ja füüsik, üks termodünaamika rajajatest.

Leon Cooper<sup>10</sup> lisas sellele, et nii õnnestus Clausiusel luua termin, mis tähendab sama asja kõikidele ja see on: mitte midagi.

## **Kasutatud allikad**

<https://www.encyclopedia.com/science/dictionaries-thesauruses-pictures-and-press-releases/clausius-rudolf>

<http://mathshistory.st-andrews.ac.uk/Biographies/Clausius/>

[s://en.wikipedia.org/wiki/John\\_Tyndall](https://en.wikipedia.org/wiki/John_Tyndall)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Otto\\_von\\_Bismarck](https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_von_Bismarck)

<https://www.math.umd.edu/~lvrmr/History/Revival.html>

[https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89mile\\_Clapeyron](https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89mile_Clapeyron)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Third\\_law\\_of\\_thermodynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/Third_law_of_thermodynamics)

---

<sup>10</sup> Leon N. Cooper (1930) on ameerika füüsik ja Nobeli preemia laureaat, kes koos John Bardeeni ja John Robert Schriefferiga lõi BCS ülijuhtivuse teooria. Tema nimi on seotud ka Cooperi paari ja sünaptilise plastuse BCM teooriaga.