



James Prescott Joule (24.12.1818 – 11.10.1889) oli inglise füüsik, matemaatik ja õllepruul, kes oli sündinud Salfordis, Lancashire's. Joule uurise soojuse olemust ja avastas soojuse ja mehaanilise töö vahelise suhte. See viis energia jäävuse seaduseni, mis omakorda viis termodünaamika esimese seaduseni. SI süsteemi energia tuletatud ühik džaul on nimetatud tema auks.

Joule töötas koos Lord Kelviniga absoluutse termodünaamilise temperatuuriskaala loomisel, mida hakati kutsuma Kelvini skaalaks. Joule vaatles ka magnetilist hõõrdumist ning ta leidis seose takistust läbiva voolu ja dissipeerunud soojuse vahel. Seda nimetatakse vahel ka Joule'i esimeseks seaduseks. Tema tööd energia transformatsiooni kohta avaldati esmakordselt 1843. a.



Noorus

James Joule sündis 1818. a rikka õllepruuli Benjamin Joule'i ja tema abikaasa Alice Prescotti pojana Salfordis, New Bailey tänaval. Joule'i vanem vend pidas päevikut ja üks esimesi sissekandeid on 15. september 1830, kui avati Manchesteri ja Liverpooli vaheline raudteeliin. Hiljem käisid nad kahekesi lihtsalt mööduvaid ronge imetlemas.

Kui Joule oli 11-aastane, siis vendade eraõpetajaks oli S.T. Porter. Hiljem asendati ta sõjaväekooli õpetaja Frederick Tappendeniga. Teda huvitas elekter, ja koos oma vanema vennaga tegid nad katseid, andes elektrilööke teineteisele ja perekonna teenijatele. Ka lennutasid nad äikesega tuulelohet, kuid veendusid peatselt, et see on ohtlik tegevus. 1834. a otsustas isa, et poisid peaksid õppima keemiat John Daltoni juures, kes siis oli Manchesteri kirjandusliku ja filosoofilise seltsi president. Alguses läks see õpetamine küll üle kivide ja kändude, hiljem asi paranes, ja nad hakkasid keemiaga tegelema, kuid siis tabas Daltonit halvatus ja õpetamine sellega ka lõppes. Sellest hoolimata mõjutas Joule'i varane kokkupuude suure meistriga Joule'i vaateid nii elule kui teadusele üldse. Lisaks Daltonile oli Joule sel ajal tugevasti mõjutatud keemik William Henry ning Manchesteri inseneride ja laevaehitajate seltsi liikmete Peter Ewarti¹ ja Eaton Hodgekinsoni² poolt.

Koos vanema vennaga käis Joule sageli Daltonit külastamas, ka pärast Daltoni haigestumist. Vennad sobisid väga omavahel, nad tegid pikki matku, ka oma ponidega, sõudsid ümberkaudsetel veekogudel ja panid teraselt tähele, mis looduses toimub.

Isa andis Joule'ile laboriruumi katseteks oma majas Broom Hillis.

Täiskasvanuna juhatas Joule pruulikoda ning teadus oli talle vaid tõsine hobi. Kunagi 1840ndate paiku hakkas Joule uurima võimalust asendada pruulikoja aurumasinad vastleiuutatud elektrimootoritega. Oma esimese teadustöö saatis ta William Sturgeoni³ ajakirjale *Annals of Electricity*. Joule oli Sturgeoni jt asutatud Londoni Elektriseltsi liige.

Motiveerituna ühest küljest kui ärimees ja teisest küljest kui teadlane, avastas ta omanimelise esimese seaduse 1841. a. See kõlas nii: soojus, mis on tekitatud elektrivoolust on võrdeline voolutugevuse ruudu ja keha

¹ Peter Ewart (1767–1842) oli briti insener, kes arendas turbiinide tehnoloogiat ja termodünaamika teooriat.

² Eaton A. Hodgkinson (1789–1861) oli inglise insener, matemaatika rakendamise pioneer struktuuraisdisainis.

³ William Sturgeon (1783–1850) – inglise füüsik ja insener, kes valmistas esimese elektromagneti ja leiutas esimese praktilise inglise elektrimootori.

takistusega. Tema uuringud näitasid, et ühe naela söe põletamine aurumasinas on ökonoomsem, kui naela tsingi tarvitamine elektripatareis. Erinevate energiatega mõõtmiseks kasutas ta standardset vahendit, mis tõstis ühenaelase massi ühe jala kõrgusele. Selle ühiku nimetus oli jalg-nael (foot-pound).

Kui alguses oli Joule'i huvi olnud puhtalt majanduslik, et kui palju tööd saab antud allikast, siis hiljem hakkas see kalduma teaduse poole ja ta hakkas mõtisklema energia muundamise peale. 1843. a avaldas ta oma katsete tulemused, mis näitasid, et soojuslik efekt, mille ta oli kvantiseerinud 1841. a, tekib elektrijuhis ja mitte ülekandel seadme teisest osast. See oli otsene väljakutse kehtivale soojusteooriale, mis põhines väitel, et soojust ei saa luua ega hävitada. See teooria oli domineerinud aastast 1783, kui Antoine Lavoisier⁴ selle püstitas. Teooria oli püsinud Lavoisier prestiižil ja Carnot⁵ soojusmasina teooria praktilisel edul, mis tähendas, et väljaspool akadeemiat või inseneriteadust töötaval noorel Joule'il seisis ees raske aeg. Senise soojusteooria pooldajad osutasid Peltier–Seebecki efekti sümmeetriale, et tõestada soojuse ja elektrivoolu muudetavust ja et seega on see vähemalt ligikaudu pööratav protsess.

Soojuse mehaaniline ekvivalent (SME)

Edasised katsed ja mõõtmised oma elektrimootoriga viisid Joule'i niikaugemale, et ta sai hakata hindama soojuse mehaanilist ekvivalenti. Ta sai esialgu tulemuseks 4.1868 džauli kalori kohta, millega sai tõsta ühe grammi vee temperatuuri ühe kelvini võrra. Ta avaldas oma tulemused Teaduse arendamise Briti assotsiatsiooni konverentsil augustis 1843 Corki linnas ja vastuseks oli kuulajate vaikus.

Joule aga ei kohkunud ja alustas katsetusi, mis viisid ta lihtsa mehaanilise seadmeni, mis muutis töö soojuseks. Sundides vett liikuma läbi

⁴ Antoine-Laurent de Lavoisier (1743–1794) oli prantsuse aadlik ja keemik („moodsa keemia isa“), keskne figuur 18. sajandi keemia revolutsioonis.

⁵ Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832) oli prantsuse sõjaväinsener ja füüsik, sageli nimetatud „termodünaamika isaks“.

perforeeritud silindri, suutis ta mõõta vee kerget viskoosset soojenemist. Ta leidis SME väärtuseks 4.14 džauli kalori kohta. Tõsiasi, et SME väärtused, mis ta sai elektriliselt ja ainult mehaanilisel viisil olid suurusjärgu täpsusega võrdsed. See oli Joule'i arvates igati kindel tõestus, et tööd saab soojuseks muuta.

Joule proovis nüüd oma tulemusi kinnitada kolmandal viisil. Ta mõõtis soojushulka, mille ta sai tööst gaasi kokkusurumisel. SME väärtuseks sai ta 4.29 J/cal. Üsna mitmel viisil oli see katse Joule'i kriitikutele kõige kergem rünnata, kuid Joule lükkas need rünnakud oma kavalate katsetega tagasi. Joule luges oma töö ette Kuninglikus seltsis 20. juunil 1844, kuid selts keeldus seda avaldamast ja Joule pidi olema rahul selle avaldamisega ajakirjas Philosophical Magazine 1845. a. Selles töös oli ta kindlalt vastu Carnot ja Émile Clapeyron'i⁶ soojuse teooriale, põhjendades enda teooria õigsust osaliselt teoloogilistel kaalutlustel:

Ma mõtlen, et see teooria... filosoofia tunnustatud printsiipide vastu, sest see viib meid järeldusele, et vis viva't saab hävitada aparaadi vale paigutusega. Seega Hr Clapeyron teeb järelduse, et kui tule temperatuur on 1000 °C kuni 2000 °C kõrgem kui boileris, siis toimub tohutu vis viva⁷ kadu soojuse liikumisel ahjust boilerisse. Uskudes, et hävitamise võim kuulub üksnes Loojale, kinnitan ma ... et mistahes teooria, kui tema kasutamine nõuab jõu annihileerimist, on tingimata vigane.

Joule kirjutas oma 1844. a töös:

... mehaaniline jõud, mida rakendatakse pöörlemiseks magnetoelektrilises masinas muudetakse soojuseks, mis tekib induktsioonvoolu läbiminekul mähisest. Ja teisest küljest, elektromagnetilise masina motoorne jõud saadakse seda masinat käitava patarei keemiliste reaktsioonide soojusest.

⁶ Benoît Paul Émile Clapeyron (1799–1864) oli prantsuse insener ja füüsik, üks termodünaamika loojatest.

⁷ Vis viva – Joule kasutab seda terminit energia asemel.

1845. a juunis luges Joule oma artikli *Soojuse mehaanilisest ekvivalendist* ette Briti assotsiatsiooni koosolekul Cambridge'is. Selles töös kirjeldas ta oma paremini tuntud eksperimenti, kus ta kasutas langevat raskust mehaanilise töö tegemiseks. See pani pöörlema labadega ratta isoleeritud veetünnis, mis tõstis vee temperatuuri. Joule sai tulemuseks 4.41 J/cal. Oma eksperimenti kirjeldas ta põhjalikult ajakirjas *Philosophical Magazine*, kus ta kiri ilmus 1845. a septembris.

1850. a avaldas Joule SME täpsustatud väärtuse 4.159 J/cal, mis on juba palju lähemal 1920. a kehtestatud standardväärtusele 4.186 J/cal.

Vastuvõtt ja prioriteet

Palju vastuseisu Joule'i tulemustele oli selle tõttu, et see töö põhines väga täpsetel mõõtmistel. Joule väitis, et ta suudab mõõta temperatuuri täpsusega 3 mK. Selline täpsus oli kahtlemata tollases eksperimentaalfüüsikas ebatavaline, kuid Joule'i töödes kahtlejad ei võtnud arvesse tema kogemusi õllepruulimisel ja tema teadmisi praktilises tehnoloogias. Teda toetas tublisti ka teadusinstrumentide valmistaja John Benjamin Dancer⁸. Joule'i katsed täiendasid Rudolf Clausiuse⁹ teoreetilisi töid, aga Clausiust peavad mõned energia kontseptsiooni kaasautoriks.

Joule pani ette soojuse kineetilise teooria – ta arvas, et see liikumine on rotatsiooniline, mitte translatoorne. Aga tema teooria nõudis kontseptuaalset hüpet: kui soojus on molekulaarse liikumise vorm, siis miks molekulide liikumine pikapeale ei seisku? Joule'i idee nõudis, et usutakse molekulide pörgete absoluutset elastsust. Meil tuleb ka meeles pidada, et aatomite ja molekulide olemasolu polnud kuigi laialt levinud veel järgneva 50 aasta jooksul.

Kuigi tänapäeval on raske aru saada endise soojuseteooria ahvatlustest, siis tollal paistis sel olevat mõningaid selgeid eeliseid. Carnot edukas

⁸ John Benjamin Dancer (1812–1887) oli briti teadusinstrumentide valmistaja ja mikrofotograafia leiutaja.

⁹ Rudolf Julius Emanuel Clausius (1822–1888) oli saksa füüsik ja matemaatik ning teda peetakse üheks tsentraalseks figuuriks termodünaamika loomises.

soojusmasinate teooria baseerus just kalori teoorial ja alles hiljem tõestas Lord Kelvin, et Carnot matemaatika oli kehtiv ka ilma selleta, et oleks oletatud kalorvedeliku olemasolu.

Siiski oli Hermann Helmholtz¹⁰ Saksamaal tutvunud Joule'i töö ja samasuguse Julius Robert von Mayeri¹¹ tööga 1842. aastast. Kuigi mõlemad mehed olid olnud unustatud nende publikatsioonide aegadest, siis Helmholtz'i määrav deklaratsioon energia jäävuse kohta 1847. a viitas neile mõlemale.

Samuti 1847. a toimunud Joule'i ettekandel Briti assotsiatsioonis Oxfordis viibisid George Gabriel Stokes, Michael Faraday, William Thomson, hilisem Lord Kelvin, kes oli just saanud loodusfilosoofia professoriks Glasgow ülikoolis. Stokes kaldus olema „džauliit“ ja Faraday oli väga was rabatud, kuigi ta kahtles Joule'i teoorias. Kelvin oli huvitatud, kuid skeptiline.

Ootamatult kohtusid Kelvin ja Joule samal aastal Chamonix'is. Joule oli 18. augustil abiellunud Amelia Grimes'iga ja paar veetis seal mesinädalaid. Hoolimata mesinädalaist proovisid Joule ja Kelvin mõõta temperatuuride vahet 365 meetri kõrguse jõe Cascade de Sallanches'i (tänapäeval Cascade de l'Arpenaz) kose vee temperatuuri ülalpool ja allpool koske. See osutus siiski mitte tulemusrikkaks katseks.

Kuigi Kelvin tundis, et Joule'i tulemused nõuavad teoreetilist selgitust, tõmbus ta tagasi Carnot-Clapeyron'i kooli kaitsele. Oma 1848. a aruandes absoluutse temperatuuri kohta kirjutas Kelvin, et „soojuse muutmine mehaaniliseks tööks on tõenäoliselt võimatu, ja kindlasti siiani avastamata“ – kuid joonealuses märkuses lisas oma esimese kahtluse vanas soojuseteoorias, viidates Joule'i märkimisväärsetele avastustele. Üllataval kombel ei saatnud Kelvin selle töö koopiat Joule'ile, aga kui Joule seda luges, siis kirjutas ta Kelvinile, et tema katsed on näidanud soojuse muutumist tööks ja ta planeerib uusi katseid. Kelvin vastas talle, et ka tema

¹⁰ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821–1894) oli saksa arst ja füüsik, kes andis oma suure panuse mitmesse füüsikasuunda.

¹¹ Julius Robert Mayer (1814–1878) oli saksa arst, keemik ja füüsikning üks termodünaamika loojatest.

kavatseb eksperimenteerida ja ta loodab kaht teooriat lepitada. Kuigi Kelvin lubatud katseid ei teinud, siis kahe järgneva aasta jooksul pettus ta aina rohkem Carnot' teorias ja veendus Joule'i õigsuses. 1851. a artiklis Kelvin ei läinud siiski kaugemale kui kompromissile ja deklareeris, et „*Soojuse motoorse jõu teooria põhineb ... kahel ...eeldusel, mis on esitatud Joule'i ja Carnot' ning Clausiuse poolt*“.

Kohe kui Joule oli selle artikli läbi lugenud, saatis ta Kelvinile oma kommentaarid ja küsimused. Nii algas viljakas, kuigi suuresti kirjadel põhinev koostöö nende kahe mehe vahel. Joule korraldas eksperimente, Kelvin analüüsis tulemusi ja soovitas edasisi eksperimente. Koostöö kestis 1852. aastast kuni 1856. aastani, selle tulemuseks olid Joule–Kelvini efekt, ja avaldatud tööd, mis aitasid palju kaasa Joule'i töö ja kineetilise teooria võidukäigule.

Kineetiline teooria

Kineetika on liikumise teadus. Joule oli Daltoni õpilane ja pole üllatus, et tal oli kindel usk aatomiteooriasse, hoolimata sellest, et tol ajal suhtusid paljud teadlased aatomiteooriasse skeptiliselt. Ta oli ka üks vähestest inimestest, kes oli vastuvõtlik John Herapath'i¹² unustatud tööle gaaside kineetilise teooria kohta. Lisaks oli ta sügavasti mõjutatud Peter Ewart'i artiklist *Lükuva jõu moodsust* (1813).

Joule leidis enda ideedele eelkäijaid, nagu Francis Bacon, Sir Isaac Newton, John Locke, Benjamin Thompson (Count Rumford) ja Sir Humphry Davy. Kuigi sellised vaated on õigustatud, siis läks Joule isegi nii kaugemale, et hindas SME väärtuseks 1034 jalg-naela, toetudes Rumfordi artiklitele. Sellist lähenemist kritiseeritakse, sest Rumfordi katseid ei saa pidada süstemaatilisteks kvantitatiivseteks mõõtmisteks. Ühes oma isiklikus

¹² **John Herapath** (1790–1868) – inglise füüsik, kes pani osaliselt aluse gaaside kineetilisele teooriale 1820. a, kuid see jäi tähelepanuta.

märkuses Joule väitis, et Mayeri mõõtmised polnud täpsemad kui Rumfordi omad, võib-olla lootuses, et Mayer niimoodi ei ennetanud tema tööd.

Joule'ile omistatakse roheline kiire fenomeni selgitus kirjas Manchester Literary'le ja Filosoofilisele Seltsile 1869. a, kuid tegelikult ta ainult märkis Pääkese viimast välgatust kui sinakasrohelist (koos joonisega), kuid ta ei andnud sellele nähtusele seletust.

Autasud ja tunnustused

Joule suri reedel, 11. oktoobril 1889. a oma kodus Sale'is, olles ümbritsetud oma perekonnast ja ta on maetud Brooklandsi kalmistule samas. Matused 16. oktoobril 1889. a olid privaatsed, mingeid ametlikke teadaandeid ei tehtud. Tema hauakivile on graveeritud arv "772.55", mis on tema 1878. a eksperimendis saadud SME – nii mitu jalg-naela on vaja kulutada tööks merepinnal selleks, et tõsta ühe naela vee temperatuur 60 kraadilt kuni 61 kraadini Fahrenheiti järgi. Seal on samuti osund Johannese evangeeliumist: "Ma pean tegema tööde tööd, mida ta mulle on saatnud, kui on päev: tuleb öö, kui keegi ei saa tööd teha". Wetherspoon'i publi Sale'is, linnas, kus ta suri, sai nimeks "The J. P. Joule" tema järgi. Joule'i perekonna pruulimiskoda töötab siiani, kuid asub nüüd kohas nimega Market Drayton.

Joule'i mitmed autasud ja tunnustused on järgnevas nimekirjas:

- Kuningliku seltsi liige (1850)
 - Kuninglik medal (1852), ajakirjas Philosophical Transactions avaldatud artikli eest, kus ta kirjeldas soojuse mehaanilist ekvivalenti (1850).
 - Copley medal (1870), Joule'i eksperimentaalsete uuringute eest soojuse dünaamilises teoorias.
- Manchesteri kirjandusliku ja filosoofilise seltsi president (1860)
- Briti teaduse edendamise assotsiatsiooni president (1872, 1887)
- Šotimaa inseneride ja laevaehitajate institutsiooni auliige (1857)
- Auteaduskraadid:

- LL.D., Trinity kolledž, Dublin (1857)
- DCL, Oxfordi ülikool (1860)
- LL.D., Edinburghi ülikool (1871)
- Joule sai valitsuse pensioni 200 naela aastas 1878. aastal teenete eest teadusele
- Albert medal Kuninglikult kunstide seltsilt (1880), 'olles teinud kindlaks suure töö tulemusena tegeliku seose soojuse, elektri ja mehaanilise töö vahel, sel viisil andes insenerile kindla juhise teaduse kasutamiseks tööstuslikuks otstarbeks'

Joule'le on mälestustahvel Westminster Abbey põhjapoolses koorilöövis, kuid ta pole seal maetud, kuigi mõned biograafid seda arvavad. Alfred Gilberti loodud Joule'i mälestussammas asub Manchesteri raekojas, Daltoni mälestussamba vastas.

Perekond

Joule abiellus 1847. a Amelia Grimes'iga. Joule jäi leseks 1854. a, seitse aastat pärast abiellumist. Neil oli kolm last: poeg Benjamin Arthur Joule (1850–1922), tütar Alice Amelia (1852–1899) ja teine poeg Henry, kes sündis 1854. a, kuid suri kolm nädalat hiljem.

Kirjandus

1. O. Reynolds, Memoir of James Prescott Joule, Manchester Literary and Philosophical society: 16, George street, 1892.
2. https://en.wikipedia.org/wiki/James_Prescott_Joule
3. https://en.wikipedia.org/wiki/Mechanical_equivalent_of_heat