

ERNST WALDFRIED JOSEF WENZEL MACH



Ernst Waldfried Josef Wenzel Mach (1838 – 1916) oli Moraavias¹ sündinud austria füüsik ja filosoof, kes andis suure panuse lööklainete füüsikasse. Mingi keha kiiruse suhet hääle kiirusesse nimetatakse tema auks Machi arvuks. Teadus-filosoofilises plaanis oli tal suur mõju loogilisele positivismile ja ameerika pragmatismile. Kritiseerides Newtoni aja ning ruumi teooriaid, ennetas ta Einsteini relatiivsusteooriat. Mach tegi kindlaks optika, mehaanika ja lainedünaamika tähtsaid printsiipe ja toetas vaadet, et kõik teadmised on sensoorse kogemuse andmete kontseptuaalne organiseerimine.

Austria füüsik ja filosoof Ernst Waldfried

Josef Wenzel Mach (edaspidi Mach) sündis 18. veebruaril 1838 Chirlitz-Turas, Moraavias (nüüd Brno-Chirlice, Tšehhimaal) Brno lähedal Austria-Ungaris ja suri 19. veebruaril 1916 Müncheni lähedal Vaterstettenis Saksamaal.

Machi esivanemad olid elanud kaua Liebenau linnakeses.

Mach oli üks Johann Nepomuk Machi ja Josephine Lanhausi kolmest lapsest.

Mach oli väiksenärga tervisega ja kasuvanaema arvates sõi ta liiga vähe. Nii juhtus, et kasuvanaema toitis teda söögikordade vahel salaja, mis lapse tervisele sugugi hästi ei mõjunud. Machi isa aga oli veendunud Priessnitz'i vesiravi pooldaja, kusjuures see ravi seisnes selles, et laps mähiti jääkülmadess märgadesse linadesse. Otse ime oli, et Mach üldse ellu jäi.

Kõige selle juures oli Machi isa lõpetanud Jungbunzlau gümnaasiumi väga heade hinnetega ja tahtis astuda Praha Karli ülikooli. Sellesse ülikooli sisseastumine ei tarvitsenud olla mõistlik, sest vürst Metternich oli muutnud

¹ Moraavia on Tšehhi vabariigi ajalooline piirkond riigi idaosas ja üks kolmest ajaloolisest tšehhi piirkonnast – Moraavia, Boheemia ja tšehhi Sileesiast.

filosoofia vaid praktiliste ainete kaheaastaseks kursuseks, nii et filosoofias enam doktoritööd kaitsta ei saanud.

Isa Johann tegi siiski need kaks aastat läbi, olles briljantne õpilane, kellelt isegi õppetasu ei tahtud.

Machi vanaema oli soovinud, et Johann astuks Piaristide² õppeordusse ja Johann asuski noviitsiks õppima ning samal asus piaristide koolis õpetama. Järgnevad kümme aastat Johannil elus on segased, kuid üks episood on hästi teada. Kui üks tema õpilastest kutsus teda oma perekonna jõululaupäeva veetma, siis olevat Johann õpilase õde nähes öelnud: “Kui ma kunagi peaksin abielluma, siis just nüüd nägin ma oma pruuti.” Kümme aastat hiljem Johann abielluski sama tüdrukuga.

Teine lugu on seotud Johannil rännuaastatega. Kui ta hulkus Viinis, taskus 40 kuldnat, siis kohtas ta kerjust, kelle lugu liigutas noormeest nii väga, et ta andis oma taskust kerjusele viimase kui mündi. Hommikul oma toas mõtles ta, mida ette võtta, kui uksele koputati. Teda kutsuti hommikusöögile parun Brethoni juurde, kus parun pakkus talle koduõpetaja kohta oma kahe poja õpetamiseks. Loomulikult oli Johann nõus ja haris poisse, kuni nad astusid Olomouci ülikooli.

Kui Mach oli kaheaastane, kolis pere farmi Untersiebenbrunnis Viini lähedal. Mach mäletas sellest ajast, kuidas päike laskus künngaste taha ja ta jooksis otsima, et kuhu see päike kadus. Ja juba kolme aastaselt ilmnesis terve elu kestnud tajumise probleemid. Konkreetselt, Mach ei suutnud tajuda perspektiivi ja varjutamist joonistustel. Ta ei suutnud tabada ka kausaalsust, kuid ükskord tuuleveskit küllastades hakkas ta aru saama selle töö põhimõttest ja hiljem oskas ta põhjuse eraldada tulemusest. Hiljem ta kirjutas, et veski külustus andis talle funktsionaalse mõtlemise.

Kui Mach sai seitsme aastaseks, siis otsustas isa teda teaduse juurde viia, demonstreerides pojale mitmesuguseid katseid, mis poisile väga meeldisid.

² Piaristid on vanim haridusele pühendunud ordu ja piaristide põhitegevus on laste ja noorukite õpetamine, pidades silmas vaba hariduse andmist vaestele lastele.

Ka hakkas ta matemaatika vastu huvi tundma. Kui eraõpetajast isa õpetas 14-aastasele võõrale poisile – oma õpilasele - algebrat, siis ainuüksi seda õpetust kuulates sai Mach algebra selgeks.

Samal ajal väga hea hariduse saanud Johann Mach oli eraõpetajaks, hoolitses oma viljapuuaias eest, parandas siidiusside kultiveerimist ja luges kreeka ja ladina klassikuid. Karmi individualistina oli ta ikkagi vabamõtteleja, kes tundis kaasa Ungari revolutsioonile Habsburgide monarhia vastu 1848. a.

Machi ema oli artistliku loomuga, kes püüdis oma lapsi juhtida muusika, maalimise ja poeesia armastusse. Mach pidas oma ema õnnelikuks ja õrnaks, kuid Machi noorim õde selle arvamusega ei ühinenud.

Kuni 14-aastaseks saamiseni sai Mach haridust kodus, välja arvatud aasta Seitenstetteni Benediktiini gümnaasiumis, kui Mach oli kümne aastane. Seal oli ta hädas kreeka ja ladina keelega, sest kõik need käänamised ja pööramised koos suure hulga eranditega tegid poisi elu raskeks. Siiski ta jättis ühe aasta koolis vahele, kuigi isa oli maruvihane ja vihahoos nimetas poissi “Gröönimaa peaga” inimeseks. Suurte raskustega õppis ta vanu keeli ja kui ta sai aru, et kõik nad pole sõdadest, kuningatest ja muudest ülikutest, hakkasid need keeled talle meeldima.

1848. a revolutsiooni ideaalidest olid nii isa kui poeg vaimustatud ning Mach palus oma isa anda ta tiseri õpilaseks, et olla kaugemal post-revolutsioonilisest poliitilisest režiimist.

Kuid siis tegi ta teise katse – ta tegi ära sisseastumiseksamid ja astus 1853. a avalikku Piaristide gümnaasiumi kuuendasse klassi Kremsieris (praeguses Kroměříži linnakeses). Kuid vähemalt esialgu ei läinud tal seal hästi, sest tal oli säilinud vastumeelsus keelte ja eriti grammatika vastu. Preestrid ei arvanud temast midagi ja soovitasid tal hakata äriaga tegelema. Eriti vastumeelseks jäi talle lause *Initium sapientiae est timor domini* (tarkuse algus on hirm jumala ees). Kuigi ta oli alles 15-aastane, luges ta hoolega Immanuel Kanti (1724-1804) tööd *Prolegomena zu einer jeden künftigen Metaphysik* (1783).

Kahe aasta pärast sai ta kätte küpsustunnistuse ehk *Matura* ja selleks ajaks oli ta loobunud ka Ameerikasse – kõikide võimaluste maale – emigreerumast.

Isa oli maha müünud oma maja Untersiebenbrunnis Viini lähedal ja selle rahaga ostnud farmi endise Jugoslaavia loodeosas. Seal alustas ta tammedel siidiusside kasvatamist, kuid see ei õnnestunud ja isa vajus aina rohkem võlgadesse. Machi ema suri 1869 ja isa järgnes talle kümme aastat hiljem. 1855. a tegi Mach seitsmeteistkümne aastasena ära Viini ülikooli sisseastumiseksamid ja asus õppima füüsikat, filosoofiat ja matemaatikat. Kuid kohe ilmnes takistus, sest Mach polnud õppinud ei diferentseerimist ega integreerimist. Korralikke õpikuid ka polnud ja Mach pidi oma vähese raha eest leidma eraõpetaja. Andreas Ritter von Ettinghauseni³ laboratooriumis õppis ta laboritehnikat ja oli selles edukas. Võib olla kõige huvitavam Machi õpetajatest oli Josef Petzval, kes oli sügavalt veendunud, et Doppleri printsiip on absoluutselt vale. Räägiti, et Petzval olevat rentinud endale tühja kloostri ja asus sinna täielikus üksinduses elama. Ainuke seltsiline olevat tal olnud araabia täkk, kelle jaoks Petzval ehitas naaberkongi ümber talliks. Petzval olevat olnud hea poksija ja ratsutaja, kes olevat sageli oma täkuga ülikooli peauksest peaaegu sisse ratsutanud.

Mach sai oma doktorikraadi 1860. a, kaitstes töö *Elektrilaeng ja induktatsioon* ning alustas tööd privaatudotsendina. See tähendas, et ta pidi saama tasu otse üliõpilastelt loengute eest, mis tähendab, et see tasu oli väike. Ta tahtis minna õppima Königsbergi ülikooli Franz Neumanni⁴ juurde, kuid selleks oli vaja raha. Mach pidi mõtlema välja, kuidas meelitada tudengeid oma loengutele ja kuidas leida võimalusi teha olulisi füüsikakatseid, kuid tagasihoidlike vahenditega. Esimese probleemi lahendamiseks hakkas ta lugema füüsikat arstiks õppijatele Viinis. Ta andis välja mitmeid loengukonspekte ja raamatuid, kuid Machi ideid ei pandud lihtsalt tähele.

1860. a ilmus Gustav Fechneri raamat *Psühhofüüsika elemendid*, mis otsekohe Machi tähelepanu köitis. Ta hakkas isegi psühhofüüsikast loenguid pidama, kuid peatselt sai aru, et Fechner eksib oma vaatlusi seletavates valemities.

³ Ettinghausen oli Christian Doppleri järeltulija Viini füüsikainstituudi direktori ametikohal.

⁴ Franz Ernst Neumann (1798 – 1895) oli saksa mineraloog, füüsik ja matemaatik.

Kui Mach luges oma viimasel semestril privaatdoksendina Helmholtzi saavutusi akustikas, siis vormis ta need raamatuks pealkirjaga *Sissejuhatus Helmholtzi muusikateooriasse*, kuid nagu varasematel juhtudelgi ei pööranud keegi sellele tähelepanu. Ka ei leidnud ta odavat laboratooriumi varustust, kuid suunates oma uuringud füsioloogiasse, võis läbi saada väga primitiivse sisseseadega või hoopiski mitte seda kasutades. Ja nii oligi, paljud Machi konstrueeritud seadmed jäid aastakümneteks füsioloogide kasutusse.

Üks olulisi Machi töösuundi oli ka Doppleri efekti õigsuse tõestamine, sest nagu juba öeldud, Viini ülikooli professor Petzval võitles raevukalt Doppleri idee vastu ja samal ajal püüdis tõestada omaenda ideed võnkumise perioodi jäävuse kohta. Võib olla ka Ettinghauseni suunamisel Mach suutis näidata, et nii Doppler kui Petzval olid oma efekti kirjeldamisel õigetel seisukohtadel, kuid Petzval polnud õigesti aru saanud Doppleri selgitustest. Petzval vähendaski oma rünnaku intensiivsust, kuid esile kerkis Doppleri ideede uus kritiseerija – Johann Heinrich von Mädler Tartu ülikooli observatooriumist. Mach tegi uuesti oma katsed ja tegi uuesti kindlaks, et Doppleril oli õigus.

Mach oli ka esimene, kes tegi ettepaneku kasutada Doppleri efekti tähtede liikumise määramiseks. Machi ettepaneku kasutamine leidis aset 1889. a, kui Edward Pickering kirjeldas Doppleri efekti abil Ursa Majorise tähtkujus spektroskoopilise kaksiku liikumist.

Hoolimata sellest, et tal oli doktorikraad füüsikas, astus Mach Viinis arstiteaduskonda ja luges füüsikat arstiteaduskonna tudengeile, millest kasvas välja õpik *Compendium der Physik für Mediciner*. Ka luges ta tudengeile psühhofüüsika kursust.

1834. a oli Ernst Weber püüdnud seostada füüsilist vastust mentaalse reaktsiooniga ja ta oli leidnud, et kahe asja võrdlemisel pole tähtis nende asjade vahe, vaid nende asjade erinevuste suhe.

1858. a otsustas Gustav Fechner seda seost uurida ja leidis matemaatilise valemi

$$S = K \log R,$$

ehk aistingu suurus on võrdeline stiimuli logaritmiga. Kui see valem oleks olnud õige, siis oleks kogu psühholoogia saanud panna tugevale matemaatilisele alusele ja üksiti rajada uue teadussuuna psühhofüüsika näol. Ja Mach alustas katseid, et kindlaks teha, kas Fechneril on õigus, kuid Machi katsed näitasid selgesti, et see seadus ei kehti.

Järgmised kolm projekti, millega Mach tegeles, ei andnud vajalikke tulemusi – need olid vererõhu mõõtmise aparaat, vedelike molekulaarne käitumine ja akustika ning kõrva struktuur.

1861/1862. a sai von Ettinghausen Viini ülikooli rektoriks, kuid haigestus järsku ja suri 1862. a. Mach lootis saada füüsikainstituudi direktoriks, kuid see ei õnnestunud, osaliselt ka tema nooruse tõttu (ta oli siis vaid 24 aastat vana). Selline emotsionaalne depressioon ei saanud teisiti lõppeda, kui et Mach leidis uue töökoha Grazi ülikooli matemaatika teaduskonnas, kus ta alustas tudengeile matemaatilise analüüsi õpetamist.

Kuna ta aga matemaatika alal midagi ei olnud avaldanud, aga füüsika alal küll ja küll, siis tervitas ta võimalust füüsikakateedrisse üle kolida 1866. aastal. Sel ajal oli Mach suur Herbarti⁵ austaja, sest Herbarti mehaaniline lähenemine psühholoogiale langes osaliselt kokku Machi atomismiga. Ajaga see austamine siiski tugevasti kahanes.

Grazis koges Mach esmakordselt vabadust omada raha ja läbi viia omaenese katseid. Grazis oli Machil ka isiklik kontakt Fechneriga ning ta töötas Machi ribade⁶ uurimisel.

Ta arendas ka fotograafilist meetodit kiirete protsesside uurimiseks, eriti ülehelikiiruslikku voolamist. Mach kirjeldas ballistilisi lööklaineid, sest taipas, et kui mürsk liigub kiiremini kui heli antud keskkonnas, siis tekivad lööklained. Kuid nende fotograafiliseks jäädvustamiseks tavalised fotograafia

⁵ Johann Friedrich Herbart (1776 – 1841) oli saksa filosoof, psühholoog ja pedagoogika kui akadeemilise distsipliini rajaja.

⁶ Mach avastas 1860. a füsioloogilise fenomeni, mida hakati kutsuma Machi ribadeks. Tegemist on optilise illusiooniga, kus inimsilmal on kalduvus näha võimendatud kontrasti eri tooni ribade vahel.

meetodid ei sobinud ja Mach võttis kasutusele asjaolu, et lööklained põhjustavad valguse murdumist.

Tänapäeval on eriti populaarne kasutada nn Machi arvu, mis kirjeldab mingi keha tegeliku lennukiiruse ja helikiiruse suhet. Kui Machi arv on väiksem ühest, siis on meil tegu alahelikiirusega, kui aga suurem ühest, siis ülehelikiirusega.

Mach oli seisukohal, et füüsikaline teooria peab tuginema vaid meeltega tajutavatele suurustele ja mõistetele. Näitena võib tuua Machi idee seletada inertsi olemust kaugete taevakehade gravitatsiooniga. Näiteks kui sa seisad trammis, mis hakkab järsku liikuma, siis võid sa tahapoole kukkuda. Machi idee kohaselt mõjutas seejuures sind kogu maailma füüsikaliste kehade summaarne gravitatsioon. See nn Machi printsiip oli üldrelatiivsusteooria üheks heuristiliseks lähtekohaks.

Grazis hakkas Mach huvi tundma Gustav Theodor Fetcheri ideedega tema raamatust *Elements der Psychophysics*, ning mõnda aega ka saksa füsioloogia rajaja Johannes Peter Mülleri ideedega.

Grazis elades toimus Machi elus suur muutus, sest ta abiellus seal 1867. a Ludovica Aloisia Carolina Marussigiga, kellega sai neli poega ja ühe tütre. Samal aastal lahkus Mach Grazist, et alustada Praha Karli ülikoolis tööd eksperimentaalfüüsika professorina. Sinna jäi Mach tööle järgnevas 28 aastaks.

Seal alustas ta selliste nähtuste uuringuid, mis on otseselt inимtunnetusele kättesaadavad. Eriti pööras ta tähelepanu kinesteetilisele tunnetusele, liikumise, kiirenduse ja inimkeha orientatsiooni muutustele.

Kaastööliseks oli Mach võtnud oma poja Ludwigi.

Praha ülikooli rektorina (1879-1880) oli ta vastu ülikooli jagamisele tšehhi ja saksa teaduskondadeks ning nõudis tšehhidele teise ülikooli loomist. Ülikooli kaheks jagamine siiski toimus ning pärast seda sai Mach saksa ülikooli rektoriks. Juba varem oli ta olnud filosoofia teaduskonna dekaaniks.

1895. a kutsuti Mach tagasi Viini värskelt asutatud induktiivse teaduse teooria kateedri juhatajaks.

1896. ilmus Machi raamat *Prinzipien der Wärmelehre*. Kaks aastat hiljem oli Machil insult ja ta tõmbus aktiivsest tegevusest tagasi. Talle pakuti rüütli seisust, kuid ta loobus sellest pakkumisest. Küll aga võttis ta vastu pakkumise saada Austria parlamendi teise koja – Härrastemaja (Herrenhaus) – liikmeks. Pensionil olles jätkas ta loengute pidamist ja kirjutamist, avaldades raamatu *Erkenntnis und Irrtum (Teadmine ja eksimine)* 1905. a ja autobiograafia 1910. a. Machi viimased aastad olid rasked – halb tervis ja poeg Heinrichi enesetapp mõjusid rängalt. 1813. a kevadel kolis Mach Müncheni lähedal asuvasse Vaterstettenisse⁷ koos oma vanema poja Ludwigiga.

Mach suri 18. veebruaril 1916 ja tema haud on Haari linnakese kalmistul. Ernst Machil ei olnud vastuvõetav ükski loodusteaduste väide, kui see polnud empiiriliselt tõestatav. See sundis teda loobuma sellistest metafüüsilistest mõistetest nagu absoluutne aeg ja ruum, mis aga valmistas teed Einsteini relatiivsusteooriale. Töös *Beiträge zur Analyse der Empfindungen (Täiendusi tunnete analüüsile)* pakkus välja kontseptsiooni, et kogu teadmine on saadud tunnetest. Seega peavad uuritavad fenomeenid olema mõistetavad ainult eksperimenti mõttes või tunnetes.

Machi tähtsaimad tööd on *The Science of Mechanics: A Critical and Historical Account of Its Development*, mis oli aastakümneid lugemisloendis pea igal tegutseval teadlasel, kaasa arvatud Albert Einstein. Ta oli märkinud oma autobiograafilises essees 1949. a, et see oli Machi raamat, mis raputas teda välja dogmaatilisest usust füüsikale lähenemise kohta. Siiski jäi Mach kõrvaltvaatajana välja füüsika plahvatusena kulgenud arengust sajandivahetusel.

Lisaks Machi arvule mälestatakse Machi Haari linnakeses sellega, et seal nimetati gümnaasium temanimeliseks.

Võib olla võtavad järgnevad kaks tsitaati kokku Machi elutöö:

⁷ Vaterstetten on linnake Ülem-Baierisis Ebersbergi piirkonnas ida pool Münchenit ja on piirkonna suurim gokukond. Vaterstetten jääb Müncheni äärelinnaks ja sinna jõuab S-Bahni kasutades paarikümne minutiga.

- Teadmised ja vead tulevad samadest mentaalsetest allikatest; ainult edu võib neid eristada.
- Ilmselt sel pole tähtsust, kas Maa pöörleb oma telje ümber või et ta on paigal ja kinnistähed pöörlevad ümber Maa.

Kasutatud allikad

J.T. Blackmore, *Ernst Mach, His Work, Life, and Influence*. University of California Press, 1972

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

<https://plato.stanford.edu/entries/ernst-mach/#BioEarDev>

https://www.goodreads.com/author/quotes/363713.Ernst_Mach