

## WOLDEMAR VOIGT



Woldemar Voigt (2.09.1850 – 13.12.1919) oli saksa füüsik, kes õpetas Königsbergi ülikoolis ja Georg Augusti nimelises Göttingeni ülikoolis, kus ta alguses sai ülikooli matemaatika osakonna juhatajaks ja hiljem füüsika instituudi direktoriks. 1914. a sai tema ametikoha Peter Debye, kes sai ülikooli füüsika instituudi juhatajaks. 1921. a järgnes Debyele Max Born.

Woldemar Voigti<sup>1</sup> (edaspidi Voigt) eluloo kohta on avalikke andmeid vähe. On teada, et ta sündis Leipzgis ja tema isa oli Carl Friedrich Eduard Voigt (1805 -1881) ja ema Bertha Carolina Constantin (1818 - 1861). Neil oli peale Woldemari veel viis last: Helene Clemen (1842 - 1907), Henriette (1843 -1917), Julius (1845-1867), Friederike Sophie Elisabeth (1851- 1917) ning Johannes (1854 - ?).

Kuna lapsi oli palju, siis Voigt anti Dresdeni kirikunõunik Gilberti perre. Sealsed lapsed kiusasid Voigti, kuid Voigt maksis neile kätte pikkade lugude rääkimisega õhtuti. Voigt käis koolis Teichmanni instituudis ja seejärel Nicolai gümnaasiumis.

Mõne aja pärast võttis isa poisi Dresdenist tagasi koju Leipzigsisse, kus ta käis Thomase koolis. Seal tegi ta tempe, kuid siis hakkas matemaatika teda huvitama. Ka füüsika oli ta lemmikuks, kuid keeltega nii hästi ei läinud. Muusika huvitas teda väga ja ta käis isegi tantsutundides, kus sai oma tulevase naisega tuttavaks. 1867. a olid tal küpsuseksamid ja samal aastal immatrikuleerus ta Königsbergi ülikooli, valides aineteks füüsika, keemia, mineraloogia, psühholoogia, hiljem ka maalikunsti ja ajaloo. Tema juhendajaks sai mineraloog ja füüsik Franz Ernst Neumann. Voigt oli ka Schützenregimentis, mis ilmselt kujutas endast meie kaitseliidu taolist organisatsiooni. Ta võttis osa ka Saksa – Prantsuse sõjast, kuid ta silma tabas mingi haigus ja Voigt saadeti koju Dresdenisse. Pärast paranemist sõitis ta uuesti Königsbergi, kus jätkas kristallide omaduste uurimist. Ta ostis endale kristallide lihvimismasinana. Doktorieksami tegi ta väga hästi ja õppejõud ütles talle *möge dies der erste Schritt zu grösseren Ehren sein*<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Saksamaal oli ka teine Woldemar Voigt, kes oli peainsener Messerschmitti Oberammergau tehastes ja üks vähemalt kahe lennuki - Me 163 ja Me 264 – projekteerijaist.

<sup>2</sup> Olgu see esimene samm suurema au poole.

Ema suri, kui kõige noorem laps polnud veel seitsme aastanegi ja isa abiellus Henriette Kuntzega (1808 -1881), kellel oli kaks tütart: Ottilie (1835 - 1887) ja ema abiellumise ajaks juba surnud tütar Anna Henriette (1839 - 1844).

Pärast pooleaastast prooviaega abiellus Voigt Johanna Marie Föstega 26. juulil 1874. a ja kuu pikkune pulmareis toimus Salzburgi ja Berchtesgadenisse. 26. augustil sündis nende esimene laps Julius Ernst (1875 – 1965). Nad said Königsbergis uue kümne toaga korteri, kuid seal oli külm. Mõnda aega elasid nad Neukuhrenis (praegu Pionerski). Mingil ajal kaotas Voigt tudengite tööde kontrollimise eest saadud raha, sest ta juhendaja salanõunik Neumann ei andnud vajalikule paberile allkirja. Voigti ja abikaasat kurvastas Königsbergis veel see, et ainult Voigt oli seal noor õppejõud, kõik teised olid märksa vanemad.

Siis sündisid Gertrud Mathilde (1877 - ?) ja Karl Heinrich (1879 – 1965), neli aastat hiljem viimane laps Erika Maria (1883 – 1960).

Voigt hakkas Königsbergis otsima pärast abiellumist elukohta ja leidis selle Königstrassel. Selle pidid nad aga maha jätma. Voigti abikaasa Marie päevikust selgub, et Königsbergis elamine ei olnud nende meele järgi ja et seda veidigi muuta, asus Voigt orelit mängima. Ta oli seda juba tudengina õppinud ja ta palus luba mängida Königsbergi Löbenichti kirikus. Sinna kogunes kuulajaid ja Voigt organiseeris Bachi muusika koori, kusjuures proovis käis Voigtide kodus 40 inimest! Anti kontserte nii Löbenichti kirikus kui Wilhelmi gümnaasiumis.

1882. a jõuludeks saabus oluline teade: Voigt oli saanud Göttingeni ülikoolis teisena professori koha Johann Benedict Listingi asemele. Esimeseks oli siiski Rudolf Julius Emanuel Clausius nimetatud, kuid ta loobus sellest kohast. Kaua aega ei juhtunud midagi ja alles juulis tuli Berliinist vastav teade. Voigt sõitis Berliini ja Göttingeni, kus ta üüris perekonnale elukoha – ruumika aiaga peremaja. Viimase puhkuse veetis pere Neukuhrenis.

Göttingenis selgus aga, et maja oli halvasti ehitatud ja Voigt asus otsima krunti perele maja ehitamiseks. Krunt leiti ja maja ehitati tuffist, kusjuures majja oli projekteeritud ka muusikasaal! Seda läkski kohe tarvis, sest Voigt pani ka Göttingenis kokku Bachi muusika koori. Samal ajal oli füüsika instituudi hoone nii vilets, et Voigt tegi selle instituudi enda maja keldrisse! Ülikool oli samuti asunud uut füüsikainstituudi hoonet projekteerima, kuid Berliinist tuli aina ettekirjutisi, mida ja kuidas tuleb projektis jälle muuta.

Voigt ja Marie käisid Leipzgis, kuid mitte sageli. Juba Königsbergis elades unistasid nad reisidest Itaaliasse ja 1888. a nende unistus hakkas täituma. Nad sõitsid Rooma, kuid seal oli külm ja nad jätkasid reisi Napolisse. Tahtsid ka Sitsiiliasse, kuid said teate, et nende armastatud keiser on surnud. Marie kirjutas päevikus, et nad mõlemad nutsid selle kurva teate pärast. Kuid sõitsid ikka edasi Palermosse ja Taorminasse.

1876. a märtsis oli Neumanni viiekümnes doktoriks saamise juubel Königsbergis, kuhu kutsuti ka Voigt. Sõit sinna kujunes suureks seikluseks lume tõttu, sest lausa kaks vedurit jäi lumme kinni.

1864. a kutsuti Voigt Paduasse, kuna sealne ülikool soovis tähistada Galilei 300.

sünniaastapäeva. Samal ajal valiti Voigt esimest korda Göttingeni ülikooli prorektoriks. Siis sõitis Voigt ilma difteerias poja Juliuse hooldajaks jäänud Marieta puhkusereisile Norrasse, kus kohtus Edvard Griegiga.

1874. a kutsuti Voigt Lord Kelvini 50. sünnipäevale, kus Voigt pidi Watsonile külla minema, kuna Lord Kelvin soovis Voigtiga tutvuda ja vestelda.

1897. a oli perekonnas õnnetus, sest Marie vend laskis oma isa äri pankroti äärele minna. Voigt pidi peaaegu kogu oma raha mängu panema äri päästmiseks.

1899. a aprillis kutsuti Voigt Hollandisse Haarlemi oma tööst ettekannet tegema. Kutsujad olid H.A. Lorentz ja P. Zeeman. Ja kohe järgnes kutse Cambridge'i Stokesi 80. sünnipäeva tähistama. Seal tunnustas teda väga Lord Kelvin kristallide elastsuse uurimise eest.

Seejärel avati Göttingenis C.F. Gaussi ja W. Weberi monument väikeses pargis linna müüri ääres Nikolaistrasse ja Kurze-Geismar-Strasse vahel. Marie nurises, et abikaasa pidi ägedas vihasajus kõne pidama.

1900. a käis Voigt Mariega Pariisis maailmanäitusel ja kohtus seal ka Curiede perekonnaga.

Selleks ajaks oli ta saanud põhjapanevaid tulemusi mitmes füüsika ja ka matemaatika harus.

Edasi järgnesid tormilised reisirid: 1901. a Itaaliasse; samal aastal Hamburgisse looduseuurijate seltsi konverentsile; oktoobris Hollandisse – Leiden, Haag ja Scheveningen; 1902. a Manchesteri ülikool; 1902. a – Šveits, looduseuurijate seltsis ettekanne; 1903. a – sõit Norrasse; 1904. a Como, Itaalia; Šotimaa, Loch Lomond.

1905. a avati Göttingeni ülikooli juures lõpuks füüsika instituut. Veidi varem, 1898. a asutati Göttingeni rakendusfüüsika ja matemaatika selts.

1910. a augustis reisis Voigt oma noorusmaale Königsbergi, kus toimus looduseuurijate seltsi koosolek. 1911. a valiti Voigt teist korda Göttingeni ülikooli prorektoriks. Samal aastal sõitis Voigt Oslosse ülikooli juubelile, seejärel Bergenist otse Šotimaale St Andrews'i ülikooli juubelile ja Kuningliku seltsi aastapäevale kui Saksamaa ülikoolide esindaja.

1913. a tuli sõit Venemaale Peterburi teaduste akadeemiade konverentsile. Oma päevikus kirjeldas Marie Venemaa viletsust, datšasid Moskvale lähenedes, puiduga sillutatud tänavaid Moskvast, Kremli, Georgi saali, Granovitaja palatit, Suurt teatrit, Romanovite maja, Tretjakovi galeriid ja Varblasemägesid. Sellele järgnes sõit Peterburisse. Kõigepealt külastati seal Füüsikainstituudi kaht direktorit Ivan Borgmani ja Orest Hvolsonit, kelle abikaasa oli sakslanna, mis muutis suhtlemise hoopis lihtsamaks. Teatris näidati Voigtidele M. Glinka ooperit *Elu tsaari eest*. Käidi ka Tsarskoje Seloos tsaari juures.

1912. a lõpus toimus Brüsselis I Solvay konverents kristallide uurimise alal.

See ei jäänud ainsaks oluliseks sündmuseks 1912. a, sest Voigt ostis endale lõpuks oreli ja hakkas sellel väga sageli mängima.

1914. a kutsuti Voigt külalisprofessoriks Harvardi ülikooli Cambridge's ja Voigt pani oma direktoriumeti maha. Enne ärasõitu Ameerikasse pidasid Voigt ja Marie oma abielu 40. aastapäeva, kuhu olid kutsutud kõik lapsed, ainult Gertrud ja Agnes puudusid. Kuid siis algas I maailmasõda, Voigt haigestus raskelt ning 13. detsembril 1919. Voigt suri.

Voigti teadustöödest on vast kõige olulisem artikkel *Über das Doppler'sche Princip* ajakirjas *Göttingen Nachrichten*, mis ilmus 1887. a ja milles Voigt leidis lainevõrrandi jaoks koordinaatide lineaarse teisenduse, mis jättis võrrandi muutumatuks. See oli tegelikult kordaja täpsusega Lorentzi teisendus, mis on erirelatiivsusteooria alusprintsip. Sellest teisendusest jäi teha veel väike sammuke, et jõuda relatiivsusteooriani, kuid see jäi Voigtil tegemata. Oma raamatus *The theory of electrons* kirjutas H.A. Lorentz, et see Voigti artikkel on tal kahjuks jäänud lugemata. Oleks ta seda teinud, siis oleks ka Voigti nimi olnud relatiivsusteooria loojate hulgas.

Siinkohal on huvitav märkida, et kümme aastat pärast Voigti tööd koordinaatide teisendamise kohta avaldas samasuguse töö ka Joseph Larmor ja mis veel veidram, Lorentz jättis ka selle töö tähele panemata. Markossani märkuse kohaselt ei taibanud Lorentz selle töö tähtsust. Ja veel tuleks ära märkida H. Poincaré kirja Lorentzile 1905. a, milles ta rõhutas füüsikaseaduste invariantisust erinevates teisendustes ja ta oli ka esimene, kes esitas Lorentzi teisenduse selle sümmeetrilises kujus. Poincaré avastas ka ülejäänud relativistlikud kiiruse teisendused ja tähendas need oma kirjas üles. Nii oli ta leidnud kõikide Maxwelli võrrandite täieliku invariantisuse, mis oli erirelatiivsusteooria formuleerimises tähtis etapp.

Üldjoontes võib Voigti teadusuuringud jagada kolme suurde rühma: kristallide füüsika, termodünaamika ja elektro-optika. Füüsikud ja matemaatikud tunnevad temanimelist efekti, mudelit, tähistust, profiili, seadust, materjali ja lainet.

Vaatleme neid lähemalt.

Voigti peateos on *Lehrbuch der Kristallphysik*, mis ilmus Berliinis 1910. a. Selles on kirjeldatud magneto-optilist efekti, mille ta avastas 1898. a ja mis seisneb optiliselt aktiivse keskkonna läbinud lineaarselt polariseeritud kiirgusvoo polarisatsioonitasapinna pööramises ja selle voo muutmises elliptiliselt polariseerituks. Seda efekti hakati nimetama Voigti efektiks. Erinevalt mitmetest teistest magneto-optilistest efektidest, nagu näiteks Faraday efekt ja magneto-optiline Kerri efekt (mida ei tohi segi ajada mittelineaarse Kerri efektiga), mis on magnetiseerimistugevusega lineaarselt võrdelised, on Voigti efekt võrdeline magnetiseerimistugevuse ruuduga.

Materjaliteaduses kasutatud segude reegel on kaalutud keskmine, mille abil ennustatakse komposiitsete materjalide erinevaid omadusi. See reegel annab teoreetilised piirid sellistele omadustele nagu elastsusmoodul, lõplik tõmbetugevus ning soojus- ja elektrijuhtivus.

Elastsusmoodulit kirjeldavad kaks mudelit – Voigti oma, mis käib aksiaalse koormuse kohta ja Reussi oma, mis käib ristsuunalise koormuse kohta.

Voigt-Thomsoni seadus kirjeldab magnetilist anisotroopset takistust õhukeses kileribas kui seost kile elektritakistuse ja elektrivoolu suuna vahel.

Multilineaarses algebras tähendab Voigti tähistus viisi esitada sümmeetrilist tensorit vektorina, niiviisi vähendades tensori järku. Vaatleme näitena teist järku sümmeetrilist tensorit kui teist järku maatriksit. Siis selles on vaid kolm erinevat elementi – kaks peadiagonaalil,  $x_{11}$  ja  $x_{22}$  ning  $x_{12}$ , sest  $x_{12} = x_{21}$ . Sellise tähistuse kasu seisneb selles, et pinge- ja deformatsiooni erinevate esituste jaoks säilib nende skalaarse korrutise invariantus. Aga ka selles, et näiteks kolmemõõtmelist neljandat järku sümmeetrilist tensorit saab esitada 6 x 6 maatriksina.

Kelvin-Voigti materjal (või lihtsalt Voigti materjal) on viskoelastse aine kõige lihtsam mudel. Oletame, et meil on viskoelastsest ainest kera ja me viskame selle vastu põrandat. See kera põrkub kummipallina tagasi. Kui me aga avaldame sellele kerale pidevat survet, siis vajub kera surve all laiaks.

Igasugused üleminekud aatomis või molekulis on seotud kindla energiahulgaga, kuid kui me mõõdame seda energiahulka mingi aparaadiga, siis ei saa me iialgi lõpmata teravat joont lainepikkuste või energiaskaalal, vaid see joon on alati laienenud. Seda laienemist põhjustavad mitmed tegurid, millest olulisimad on määramatuse printsiip, Doppleri laienemine, laienemine rõhu tõttu ja laienemine teiste osakeste mõjul.

Vaatleme neid lähemalt.

Heisenbergi määramatuse printsiip ütleb, et määramatus osakese energias ja seisundi eluiga on seotud Plancki konstandi kaudu. Ergutatud seisund kaob ajas eksponentsiaalselt ja see tekitab spektrijoone, millel on Lorentzi kuju.

Doppleri laienemine on põhjustatud sellest, et osakeste kiirused vaatleja suhtes alluvad Maxwelli seadusele, mis tähendab, et see efekt sõltub kiirgava aine temperatuurist. Nii leiame, et Doppleri laienemine annab meile Gaussi profiili.

Järgmine laienemise komponent on laienemine rõhu tõttu. See efekt tekib sellest, et põrked osakeste vahel lühendavad osakese püsimist kõrgemas energiaseisundis. Efekt ise sõltub keskkonna tihedusest ja temperatuurist ning matemaatiliselt kirjeldab seda Lorentzi profiil. Läheduslik laienemine tekib sellest, et teiste lähedaste osakeste olemasolu mõjutab nii spektrijoone laiust ja joone asukohta. See laienemisprotsess on dominantne vedelikes ja tahkistes.

Tegelikult on nii spektrijoone kuju kui joone laius mõjutatud ka spektrijoont mõõtvast instrumendi omadustest. Vaadeldud joone kuju on algse joone kuju ja instrumentaalse ülekanne konvolutsioon.

Igaüks neist mehhanismidest võib spektrijoone kujule mõjuda eraldi või kombinatsioonis teiste mehhanismidega. Nii annab kombinatsioon Doppleri lainemisest ja rõhu lainemisest spektrijoone Voigti profiili.

Voigti profiil tuleb esile mitmesugustes füüsikalistes uuringutes, nagu näiteks astrofüüsikaline spektroskoopia, kiirguslevi Maa atmosfääris, plasma lainetes ja akustikas ja neis kõigis saame Voigti profiili kirjeldada Gaussi ja Lorentzi profiilide konvolutsiooniga. Seetõttu on Voigti profiil hästi läbiuuritud matemaatiline funktsioon (näiteks Fadejeva funktsioon või kompleksne tõenäosuse funktsioon) ja selle jaoks on leitud hulk väga häid lähendvalemeid.

Inspireerituna magnetilisest Zeemani efektist ja eriti selle Hendrik Lorentzi seletusest, viis Woldemar Voigt läbi klassikalise füüsika arvutused kvaasi-elastselt seotud elektronidest elektriväljas. Kasutades eksperimentaalselt määratud refraktsiooni indekseid hindas ta Starki lõhenemist. Hinnang oli mõned suurusjärgud liiga madal. Stark ei heitunud sellest ja mõõitis vesiniku aatomi ergutatud seisundid ja oli edukas selle lõhenemise vaatlemisel.

2019. a avastasid Edinburghi ülikooli ja Pennsylvania osariigi ülikooli teadlased erilise elektromagnetilise kiirguse pindlaine kristallide pinna teatud manipulatsioonil, mis nimetati Dyakonov-Voigti pindlaineeks. Selle laine omadusi sai kirjeldada Maxwelli võrranditega. Avastajad leidsid, et selline laine tekib loodusliku või kunstliku kristalli ja seda katva vee- või õlikihi vahel. Uurijad leidsid, et laine levib ühes kindlas suunas ja sumbub, kui laine liigub sellest vahekihist eemale.

Uurijate kaasjuht Tom Mackay märkis, et Dyakonov-Voigti lained aitavad meil aru saada, kuidas valgus interakteerub komplekssete materjalidega ja need annavad võimalusi tehnoloogiliseks arenguks, nagu näiteks vereproovide skriinimise biosensorite parendamiseks, või siis fiiberoptiliste voluringide arenguks.

Seda lainet nimetatakse nüüd eriliseks pinnalaineeks.

Pärast Woldemar Voigti elulooga tutvumist olen jõudnud arvamusele, et Voigti tööd on kaugelt liiga vähe hinnatud. Eriti kui silmas pidada tema koordinaatide teisendusi, mis Lorentzi käsitlest välja jäid. Samas kui üles lugeda tema liikmeksolekud:

Hollandi Kuninglik kunstide ja loodusteaduste akadeemia;

Kuninglik Preisi teaduste akadeemia;

Ilveste akadeemia;

Göttingeni teaduste akadeemia;

Saksamaa teaduste akadeemia Leopoldina;

Baieri Teaduste ja humaniora akadeemia;

Taani Kuninglik teaduste ja kirjanduse akadeemia;

Kuninglik selts

ei olnud Voigt ka tõrjutud.

W. Voigt kirjutas 24 õpikut – neist 10 teoreetilise füüsika kohta; 6 termodünaamika kohta; 4 elementaarse mehaanika kohta; 1 kristallide füüsika kohta, 1 elektrooptika kohta; 2 aine fundamentaalsete omaduste kohta.

Voigt oli suur muusika armastaja. Eriti meeldis Bachi muusika. Ta on kirjutanud vähemalt 10 artiklit ja ettekannet Bachi muusika kohta.

Tänapäevane Georg Augusti nimelise Göttingeni ülikooli raamatukogu lahkeid töötajaid, kelle kaudu sain ma Woldemar Voigti abikaasa Marie päevaraamatu.

## Kasutatud allikad

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Woldemar\\_Voigt](https://en.wikipedia.org/wiki/Woldemar_Voigt)  
<https://www.mathpages.com/rr/s1-04/1-04.htm>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt\\_effect](https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt_effect)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Rule\\_of\\_mixtures](https://en.wikipedia.org/wiki/Rule_of_mixtures)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt\\_notation](https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt_notation)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt\\_profile](https://en.wikipedia.org/wiki/Voigt_profile)  
[https://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_Lorentz\\_transformations#Voigt\\_\(1887\)](https://en.wikipedia.org/wiki/History_of_Lorentz_transformations#Voigt_(1887))  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Kelvin%E2%80%93Voigt\\_material](https://en.wikipedia.org/wiki/Kelvin%E2%80%93Voigt_material)  
<http://homepages.bw.edu/bachbib/script/bach1.pl?0=Voigt,%20Woldemar>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral\\_line\\_shape](https://en.wikipedia.org/wiki/Spectral_line_shape)  
<https://www.geni.com/people/Woldemar-Voigt/600000000634925666>  
<http://www.heidermanns.net/gen-pers.php?ID=25923>  
H.A. Lorentz, *The theory of electrons*, Leipzig & Berlin: B.G. Teubner; vt lk 198, 1916  
J. Larmor, A Dynamical Theory of the Electric and Luminiferous Medium. Part III. Relations with Material Media, *Phil. Trans. of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Vol. 190, pp. 205–493, 1897  
J. Larmor, *Aether and Matter*, Cambridge University Press, 1900  
A. Ernst and J.-P. Hsu, *First Proposal of the Universal Speed of light by Voigt in 1887*, Chinese Journal of Physics, Vol. 39, No. 3, pp. 211-230, 2001  
W. Voigt, *Lehrbuch der Kristallphysik*. Berlin: B. G. Teubner, 1910  
M.N. Macrossan, *A Note on Relativity Before Einstein*, British Journal for the Philosophy of Science, Vol. 37, No. 2, pp. 232 – 234, 1986  
M. Voigt, Nachlass Woldemar Voigt, Cod. Ms. W. Voigt 71, Niedersächsische Staats- und Universitätsbibliothek, Georg-August-Universität Göttingen