

NRO 2/2023

**FYSIIKAN JA MATEMATIIKAN AIKAKAUSLEHTI
TIDSKRIFT FÖR FYSIK OCH MATEMATIK**

ARKHIMEDES

CENTRE OF EXCELLENCE FIRST

JARL WASASTJERNAN FYSIKON URA

OHJAAJAKOULUTUKSELLA LAATUA OPETUKSEEN

ARKHIMEDES 2/2023

Julkaisijaseurat

Suomen Fysikkoseura ry:

<https://www.fysikkoseura.fi>

Fysikersamfundet i Finland rf:

<https://www.fysikersamfundet.fi>

Suomen matemaattinen yhdistys ry:

<https://www.matemaattinenyhdistys.fi/>

Toimituskunta - Redaktion

KIMMO TUOMINEN, (HY), PÄÄTOIMITTAJA

SYLVESTER ERIKSSON-BIQUE, (JY)

EMILIA KILPUA, (HY)

PEKKA KOSKINEN, (JY)

KATJA LAURI, (HY)

NEEA PALOJÄRVI, (HY)

Yhteystiedot

toimitus@arkhimes.fi

PÄÄKIRJOITUS

PITKÄT JÄÄHYVÄISET 3

ARTIKKELIT

CENTRE OF EXCELLENCE FIRST 5

JARL WASASTJERNAN FYYSIKON URA ... 9

ASSISTENTTI, VERTAISOPETTAJA TAI OH-
JAAJA: KOULUTUKSELLA LAATUA OPE-
TUKSEEN..... 22

KIRJA-ARVIO

SANKARITARINOITA..... 27

SARJAKUVA

PIKKU-PINKKU..... 29

PÄÄKIRJOITUS

PITKÄT JÄÄHYVÄISET

Kimmo Tuominen

Cersei Lannister: *"How long does the poison take?"***Qyburn:** *"Difficult to say. Hours, days, it depends on the subject's constitution."***Cersei Lannister:** *"But death is certain?"***Qyburn:** *"Oh yes, your grace. Quite certain."*

Arkhimedes on hyvässä peruskunnossa vaikka vuosikertoja on kertynyt jo 75. Ikäisekseen Arkhimedes on seurannut aikaansa hyvin: lehti ilmestyy täysin avoimesti sähköisenä journal.fi alustalla, kuten monet muut vastaavat julkaisut. Lehti siirtyi avoimeen sähköiseen julkaisuun vuoden 2021 aikana ja tällä hetkellä myös lehden aiemmat vuosikerrat pyritään saattamaan avoimesti saataville journal.fi-alustan kautta.

On ollut positiivista huomata, että kirjoittajia on toistaiseksi löytynyt riittävästi, ja lehteen riittää juttuja noin kahden tai kolmen numeron verran vuodessa. Artikkeleita on saatu fysiikan ja matematiikan aloilta suomen ja englannin kielellä. Osassa numeroita on pystytty tarjoamaan useita artikkeleita yhden isomman aiheen ympäriltä, kuten epidemiamallinnuksesta tai kvanttietokoneista. Kaikkiin numeroihin on lisäksi riittänyt vaihtelevaa sisältöä kirja-arvosteluista kolumneihin. Toivottavasti tarjontaa on myös tulevaisuudessa, sillä matematiikan ja luonnontieteiden kiinnostavuutta pitäisi pitää yllä ja kasvattaa kaikin keinoin.

Tässä numerossa esitellään Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikköä, joka on yksi Suomen Akatemian vuosille 2022-2029 valitsemista huippuyksiköistä. Yksiköt on lyhyesti esitelty Arkhimedeksen numerossa 1/2022 ja muutamia lisäksi tarkemmin myöhemmissä numeroissa. Toivottavasti muistakin saadaan lukea Arkhimedeksen sivuilta jatkossa! Suomalaisen atomifysiikan historian tiimoilta Markus Ahlskog kirjoittaa tämän lehden sivuilla Jarl Wasastjernan fyysikon urasta. Kuten viimeaikaisissa Arkhimedeksen numeroissa, myös tässä lehdessä käsitellään yliopistopedagogiikkaa ja opetuksen kehittämistä — tällä kertaa ohjaajakoulutuksen kautta.

Kirjoittajien ja lehden tekijöiden motivaationa on tietenkin, että lehteä myös luetaan. Toivottavasti lukijat ovat löytäneet vain verkossa ilmestyvän lehden sivuille. Pientä huolta herättävät keskustelut, joissa valitellaan, että Arkhimedesta ei tule luettua, kun lehteä ei kanneta paperisena postilaatikkoon. Valittajat tuskin kaipaavat paperille kirjoitettuja kirjeitä tai tulosta päivittäin tieteellisten julkaisujen abstraktiuietteloita paperille tarkemmin tutkittaviksi. Ehkä he eivät olleet kovia lukemaan Arkhimedesta paperiltakaan.

Aloitin Arkhimedeksen päätoimittajana vuonna 2021 ja ensi vuoden jälkeen lienee aika vaihtaa vetovastuuta. Tavoite on, että Arkhimedes seilaa uusille ulapoille hyvässä peruskunnossa. Lukijakunnan pienentyminen voi kuitenkin olla myrkyä, jonka vaikutuksen saattaa nähdä nopeammin kuin lähtösatama katoaa horisonttiin.

CENTRE OF EXCELLENCE FIRST

TUTKII SATUNNAISUUTTA JA RAKENTEITA MATEMATIIKASSA JA SOVELLUKSISSA

Laura Kippola, Eero Saksman ja Paolo Muratore-Ginanneschi

Helsingin yliopisto

Suomen Akatemian vuosille 2022–2029 valitsemaa yksitoista uutta tutkimuksen huippuyksikköä ovat ehtineet käynnistellä toimintaansa jo vajaan kahden vuoden ajan. Professori **Eero Saksmanin** (Helsingin yliopisto) johtamassa Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikössä toiminta on käynnistynyt reippaasti: yksikön tutkimusryhmät ovat jo tehneet lupaavia avauksia tutkimuksen saralla, ja yksikössä on järjestetty aktiviteetteja tiiviskursseista konferensseihin. Tulevaisuudessa huippuyksikön tavoitteena on keskittyä huipputason tutkimuksen ohella erityisesti nuorten tutkijoiden koulutukseen.

Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikkö (Finnish Centre of Excellence in Randomness and Structures, FiRST) tarkastelee satunnaisuuden rakenteita, tavoitteenaan erityisesti ymmärtää satunnaisten rakenteiden analyttisiä ja geometrisia ominaisuuksia. Huippuyksikön yhteistyötä motivoi satunnaisuuden tutkimuksen viime aikoina saavuttama rooli monilla matematiikan osa-alueilla: monet ajankohtaiset, keskenään hyvinkin erilaiset matematiikan ja sen sovellusten ongelmat sisältävät olennaisena osana satunnaisuutta ja johtavat yllättävän samankaltaisiin satunnaisia rakenteita koskeviin kysymyksiin.

Esimerkkeinä satunnaisuutta sisältävistä ajankohtaisista tutkimusaiheista voidaan mainita muun muassa koneoppiminen: monet siinä sovelletuista algoritmeista ovat luonteeltaan probabilistisia, kuten stokastisen gradienttimenetelmän soveltaminen verkon opettamisessa. Kvanttikenttäteorian äskettäisissä matemaattisissa läpimurroissa keskeisenä uutena lähtökohdana oli Gaussisen multiplikatiivisen kaaoksen käyttö mallin rakennuspalikkana. Analyttisessä lukuteoriassa probabilistinen näkökulma on osoittautunut erittäin hyödylliseksi monissa yhteyksissä, ja Riemannin zetafunktion itsessään sisältämää satunnaisuutta on tutkittu intensiivisesti viime aikoina.



**FINNISH CENTRE OF EXCELLENCE
IN RANDOMNESS AND
STRUCTURES 2022-2029**

Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen logon on suunnitellut graafinen suunnittelija Eero Astala.

Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimus vaatii useamman matematiikan alan asiantuntemusta, joten huippuyksikkö kokoaa johtavia suomalaisia matemaatikkoita sekä alan uuden sukupolven maailmanluokan asiantuntijoita näiden ongelmien selvittämiseksi. Huippuyksikkö tähtää matemaattisiin edistysaskeliin todennäköisyysteorian menetelmien, kvantti- ja konformikenttäteorioiden, geometrisen ja harmonisen analyysin, osittaisdifferentiaaliyhtälöiden sekä analyttisen lukuteorian yhtymäkohdissa.

Tämän artikkelin tavoitteena on kertoa lyhyesti Arkhimedeksen lukijoille Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikössä tähän mennessä tehdystä tutkimuksesta ja yksikön muista aktiviteeteista sekä kartoittaa huippuyksikön suunnitelmia tuleville vuosille. Artikkelin

päätteeksi esitellään huippuyksikön tutkimusryhmät erityisaloineen.

ESIMERKKEJÄ TUTKIMUKSESTA

Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikön tieteellinen tukiryhmä vieraili Helsingissä marraskuussa 2022 ja arvioi ensimmäisessä raportissaan huippuyksikön jäsenten tieteellisen laadun korkealle. Tukiryhmä oli myös vaikuttanut huippuyksikön tutkimuksen laajasta kirjosta, joka vaihtelee mitä teoreettisimmasta aina soveltavimpaan. Huippuyksikön viimeaikaisiin tutkimuskohteisiin lukeutuvat muun muassa alkuluvut, satunnaiset SLE-multikäyrät, satunnaiset algoritmit sovelluksineen ja renormalisaatiomenetelmät stokastisessa homogenisaatiossa, joihin tutustutaan seuraavaksi.

Prof. Kaisa Matomäen ryhmä (TY) on tutkinut 'melkein alkulukujen' tiheyttä erilaisissa yhteyksissä. Eräs viimeisimmistä tuloksista näyttää, että jos q ja a ovat yhteistekijättömiä kokonaislukuja ja q on kuutiovapaa, niin on olemassa sellaiset kolme alkulukua $p_1, p_2, p_3 \leq q$, että $p_1 p_2 p_3 \equiv a \pmod{q}$.

Tämä työ on paras tunnettu tulos kohti Erdősin konjektuuria, jonka mukaan sama väite pätee, kun tarkastellaan vain kahden alkuluvun tuloja. Mainittakoon, että vuonna 2023 Matomäelle myönnettiin jälleen kerran (yhdessä hänen yhteistyökijänsä Maksym Radziwillin kanssa) huomattava kansainvälinen tunnustus, Cole Prize, joka myönnetään merkittävästä työstä lukuteorian alalla.

Prof. Eveliina Peltolan ryhmä (Aalto) on tutkinut yhdessä Yilin Wangin kanssa suuria poikkeamia satunnaisille SLE-multikäyrille. He muun muassa osoittivat minimienergiakonfigu-

raation yksikäsitteisyyden, mistä ylimääräisenä seurauksena oli uusi todistus Shapiron konjektuurille algebrallisessa geometriassa. Äskettäin Peltolalle myönnettiin ERC:n Starting Grant vuosille 2023–2027.

Prof. Matti Viholan ryhmä (JY) on tutkinut satunnaisten algoritmien teoreettisia ominaisuuksia ja kehittänyt uusia menetelmiä. Eräs tutkimuskohteista, jota on tutkittu yhteistyössä Saksmanin ryhmän (HY) kanssa, liittyy ns. Hamiltonin Monte Carlo -menetelmän suositettuun NUTS-versioon (No U Turn Sampler). NUTS- algoritmia käytetään laajasti koneoppimisen ja Bayes-tilastotieteen sovelluksissa, mutta ennen tätä työtä sen rajakäyttäytymistä ei ole ymmärretty matemaattisesti.

Prof. Tuomo Kuusen ryhmä (HY) on kehittänyt uusia renormalisaatiomenetelmiä stokastisessa homegenisaatioissa, jonka avulla tutkitaan, kuinka satunnainen mikroskooppinen rakenne



Pauliina Ilmosen ryhmän agenttipohjainen zombieepidemia-simulaatio on herättänyt kansanvälistä kiinnostusta. Tutkimus on mainittu yli 30 kertaa uutisartikkeleissa ympäri maailmaa. Ryhmään kuuluvat (vasemmalta oikealle) Jaakko Pere, Natalia Vesselinova, Pauliina Ilmonen ja Aleksis Avela.

määrää aineen makroskooppisen käyttäytymisen. Kehitettyjä uusia menetelmiä on mahdollista soveltaa muun muassa moniin korkean kontrastin homogenisaatio-ongelmiin. Sovellusaloja ovat esimerkiksi turbulenssimallit ja veden virtaus kalliossa.

AKTIVITEETTEJA KURSSEISTA KONFERENSSEIHIN

Korkealaatuisen tutkimustyön ohella huippuyksikkö on järjestänyt itse kuusi tiiviskurssia [1], joista jokaiseen on kutsuttu puhujiksi ulkomaisia, alojensa johtavia asiantuntijoita, ja osallistunut Simons Laufer Mathematical Sciences Institutin (ent. Mathematical Sciences Research Institute) temaattiseen lukukauteen "*Analysis and geometry of random spaces*" [2] niin järjestäjinä kuin osallistujina. Temaattinen lukukausi järjestettiin 18.1.-27.5.2022 Berkeleyssä, Kaliforniassa.

Huippuyksikön ensimmäisen, Helsingin yliopistossa järjestetyn tiiviskurssin piti lokakuussa 2022 Durhamin yliopiston apulaisprofessori Ellen Powell otsikolla "*Introduction to the Gaussian Free Field*". Powellin lisäksi Helsingin yliopistolla huippuyksikön tiiviskursseja ovat pitäneet Zaher Hani (University of Michigan), Yu Deng (University of Southern California), Henna Koivusalo (University of Bristol) ja Richard Kenyon (Yale University). Keväällä 2023 huippuyksikön tiiviskurssitarjonta laajeni Turun yliopistoon, jossa kuultiin Warwickin yliopiston professorin Adam Harperin intensiivikurssi "*Random and non-random multiplicative functions*", ja alkusyksystä 2023 Aalto-yliopistossa järjestettiin Chicagon yliopiston apulaisprofessorin Ewain Gwynnen vetämä tiiviskurssi "*The Liouville quantum gravity metric*".

Suurin osa huippuyksikön järjestämistä tiiviskursseista on tarkoitettu maisteri- ja tohtorio opiskelijoille sekä muille kurssin aiheista yleisesti kiinnostuneille. Osaan kursseista on sisällytynyt laskentaharjoituksia, jotka suorittamalla opiskelija on voinut kerryttää itselleen muutama opintopisteen. Kurssit ovat keränneet yleisöä laajalti eri matematiikan laitoksilta, ja jopa kesäkuussa pidetty lyhytkurssi veti ilahduttavasti salin täyteen. Tiiviskurssien suosiollisen vastaanoton pohjalta huippuyksikössä on arvioitu, että kurssien tapaisille tilaisuuksille on kotimaisen matematiikan kentällä ollut tilausta.

Huippuyksikkötoiminnan käynnistyttyä yksikön tutkijat ovat olleet mukana järjestämässä edellä mainitun Berkeleyyn teemakevään lisäksi kahta kansainvälistä konferenssia: Probability and Mathematical Physics -konferenssia [3] Helsingissä 28.6.-7.7.2022 ja Quasiworld workshop -tapaamista [4] niin ikään Helsingissä 14.-18.8.2023. Asiantuntevan neuvoa-antavan tieteellisen komitean (Hugo Duminil-Copin, Alice Guionnet, Martin Hairer, Felix Otto, Nicolai Reshetikhin, Sylvia Serfaty) tuella järjestetty Probability and Mathematical Physics -konferenssi tapahtui rinnakkain Kansainvälisen matematiikan unionin (IMU) yleiskokouksen kanssa, joka pidettiin Helsingissä 3.-4.7.2022. Videotallenteet [5] konferenssin esitelmistä ovat edelleen katsottavissa konferenssin kotisivuilla. Konferenssin järjestelytoimikunnan ohella osa huippuyksikön jäsenistä kuului Helsingissä samana kesänä järjestetyn Kansainvälisen matematiikan unionin mitaliseremonian [6] paikalliseen järjestäjätoimikuntaan.

KATSE TULEVAAN

Nuorten tutkijoiden koulutus on keskeinen osa Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikön tulevaisuudentavoitteita. Yksi-

kön kunnianhimoisena tavoitteena on kasvattaa uuden sukupolven matemaatikkoja vastaamaan luontaisesti poikkitieteellisten probleemien haasteisiin kannustamalla heitä yhdistämään vahva teoreettinen tausta monipuoliseen kiinnostukseen monitieteistä ja soveltavaa tutkimusta kohtaan. Tämän huippuyksikkö pyrkii mahdollistamaan muun muassa tarjoamalla mahdollisuuksia liikkuvuuteen yksikön sisällä ja sen ulkopuolisiin tutkimuslaitoksiin suuntautuen.

Tulevina vuosina huippuyksikkö pyrkii tarjoamaan uusia tiiviskursseja, ja suunnitelmissa on järjestää myös laajempia, tietyn teemakokonaisuuden ympärille rakentuvia kesä- ja talvikouluja. Perinteisen luento-opetuksen ohella tai jopa sen sijaan huippuyksikön kesäkouluissa tullaan kokeilemaan erilaisia yhteisöllisen oppimisen menetelmiä, kuten flipped learning-mallia, jossa opiskelijat perehtyvät jo ennalta kurssilla käsiteltäviin materiaaleihin, ja kesäkoulussa he ratkovat yhdessä niihin liittyviä harjoituksia sekä keskustelevat oppimastaan. Lisäksi potentiaalsiin tulevaisuuden suunnitelmiin kuuluu kesäkoulu, jossa kutsuttujen specialistien asemasta väitöso opiskelijat itse pitävät esitelmiä muiden töistä toisille väitöso opiskelijoille.

Satunnaisuuden ja rakenteiden tutkimuksen huippuyksikön muodostavat yksitoista vastuullista tutkijaa tutkimusryhmineen: professori Eero Saksman (johtaja, probabilistiset menetelmät, Helsingin yliopisto), professori Tuomas Hytönen (harmoninen analyysi, Helsingin yliopisto), professori Tuomo Kuusi (osittaisdifferentiaaliyhtälöt, Helsingin yliopisto), professori Jani Lukkarinen (matemaattinen fysiikka, Helsingin yliopisto), professori Xiao Zhong (kvasi-konformaaliset menetelmät, Helsingin yliopisto), professori Kalle Kytölä (konforminen kenttäteoria, Aalto-yliopisto), professori Pauliina Ilmonen (tilastolliset menetelmät, Aalto-yliopisto), professori Eveliina Peltola (satunnainen geometria, Aalto-yliopisto), professori Kaisa Matomäki (analyttinen lukuteoria, Turun yliopisto), professori Matti Vihola (probabilistiset algoritmit, Jyväskylän yliopisto) ja professori Pekka Koskela (varajohtaja, geometrinen analyysi, Jyväskylän yliopisto). Huippuyksikön tieteellisenä koordinaattorina toimii yliopistotutkija Paolo Muratore-Ginanneschi (Helsingin yliopisto) ja projektikoordinaattorina VTM Laura Kippola (Helsingin yliopisto). Huippuyksikön tavoittaa parhaiten sähköpostitse osoitteesta coe-first@helsinki.fi.

Viitteet:

- [1] <https://www.helsinki.fi/en/projects/first/events/past-events>
- [2] <https://www.slmath.org/programs/317>
- [3] <https://www.helsinki.fi/en/conferences/probability-and-mathematical-physics>
- [4] <https://www.helsinki.fi/en/conferences/quasiworld-workshop>
- [5] <https://www.helsinki.fi/en/conferences/probability-and-mathematical-physics/programme-and-videos>
- [6] <https://www.hs.fi/tiede/art-2000008902831.html>

JARL WASASTJERNAN FYYSIKON URA

Markus Ahlskog

Jyväskylän yliopisto

Suomen Fyysikkoseuran toimintakertomuksessa vuodelta 1958 kerrotaan mm. [1]:

*Seura järjesti 3.-5.1. toiset fyysikkopäivät. Niillä oli mukana n. 150 osanottajaa. Esi-
telmiä pitivät prof. Pekka Jauho (ydinmalleista), TkT Martti Sulonen (elektronimikros-
koopista), prof. Erkki Laurila (puolijohteista ja transistoreista), prof. Risto Niini (ak-
siomaattisesta fysiikasta) ja FT Uuno Nurmi (ultraäänifysiikasta); prof. Martti Kanto-
la alusti keskustelukysymyksen nuorten fyysikkojen asemasta. Lisäksi esiintyivät prof.
Paavo Tahvosen ja prof. Väinö Hovin johtamat tutkijaryhmät. Päivien yhteydessä tu-
tustuttiin Helsingin yliopiston fysiikan laitokseen, puolustuslaitoksen fysiikan labora-
torioon ja elektronimikroskopian laitokseen.*

Ensimmäisenä mainittu henkilö, profes-
sori Pekka Jauho, aloitti opintonsa Hel-
singin yliopistossa heti jatkosodan jälkeen.
Muistelmissaan hän kertoo perusopintojen
aikaisista opettajistaan, jotka olivat jääneet
erityisen positiivisesti hänen mieleensä. Ai-
noa fyysikko näiden joukossa oli professori
Jarl Wasastjerna. Seuraavana mainittu hen-
kilö, Martti Sulonen, oli tuleva professori
jonka väitöskirjan ohjaajana oli toiminut
Wasastjernan tohtorioppilas Heikki Miek-
koja. Kaikki muut mainitut henkilöt Erkki
Laurilasta lähtien olivat olleet Wasastjernan
tohtorioppilaita. Jos kysyy, kuka Suomen
sen aikaisista merkittävistä fyysikoista

puuttuu listasta, tulee ensimmäisenä mie-
leen professori Lennart Simons, joka oli
Wasastjernan tohtorioppilas hänkin.

Wasastjernan löytyminen kaikkien näiden
fyysikoiden taustalta ei ole sattuma, sillä
hänellä oli todellakin hyvin keskeinen ase-
ma Suomen fysiikassa sotien välisenä aika-
na. Tätä vahvistaa seuraava ote Suomen
teoreettisen ja alkeishiukkasfysiikan näky-
vän nimen K.V. Laurikaisen muistelmista,
jossa tämä kuvaa vaikeuksiaan saada virkaa
uransa alkuvaiheessa, sodanjälkeisinä vuo-
sina [2]:

Taistelu akateemisista paikoista oli silloin kovaa, ja Wasastjernan varsinaiset oppilaat pitivät hallussaan kaikkia avainasemia. Heiltä en mitään tukea saanut, ... Kerran yritin vedota itseensä Wasastjernaan ja soitin hänelle saadakseni tilaisuuden keskustella siitä fysiikan vinosuuntauksesta, joka Suomessa vallitsi, mutta hän totesi, että hänellä oli ilmeisesti hieman erilainen käsitys fysiikasta kuin minulla. ... Sillä oli tullut selväksi sanotuksi, että siltä koulukunnalta minun oli turha toivoa tukea.

Wasastjerna oli vain vuoden nuorempi kuin Suomen tieteen kaksi tunnetuinta edustajaa, nimittäin biokemisti ja nobelisti A.I. Virtanen ja matemaatikko Rolf Nevanlinna. Toisin kuin nämä kaksi, Wasastjerna on tiedemiehenä merkitykseensä nähden varsin huonosti tunnettu jopa Suomen fyysikkojen keskuudessa. Keskeinen syy tähän on ilman muuta se, että Wasastjerna erosi professorin virasta kesken kaiken vuonna 1946, minkä takia hänen saavutuksensa fyysikkona rajoittuvat oleellisesti sotia edeltäneeseen aikaan ja ovat jääneet unohduksiin sodan savupilvien taakse. Tarkastelen tässä kirjoituksessa Wasastjernan uraa fysiikan parissa. Wasastjerna kuului rikkaisiin ja vaikutusvaltaisiin sukuihin ja teki yliopistouransa lisäksi paljon muutakin, oli mm. Suomen lähettiläänä Tukholmassa sotavuosina ja nimitettiin myöhemmin vuorineuvokseksi ansioistaan useiden teollisuusyritysten johdotehtävissä. Näitä muita puolia Wasastjernan toiminnasta ja elämästä tarkastelen toisessa kirjoituksessa [3].

URAN MENESTYKSEKKÄÄT ALKUVUODET: ATOMIN SÄDE JA RÖNTGENKRISTALLOGRAFIA

Wasastjerna opiskeli Helsingin yliopistossa fysiikkaa ja kemiaa vuosina 1914–1918. Hän teki opinnäytetyönsä fysikaalisesta kemiasta Lars Öholmin johdolla. Wasastjernan eteneminen opinnoissa ja tutkijan alkutaipaleella oli todella nopeaa. Jo pro gradu -työ, joka koski sähkökemiallisten parien termodynamiikkaa, johti julkaisuun. Vuonna 1922 hänet nimitettiin fysikaalisen kemian dosentiksi. Kaikki tämä tapahtui kovin levottomina vuosina, jolloin moni akateeminen nuori oli tavalla tai toisella osallisena ympäröivän yhteiskunnan mullistuksiin. Wasastjernan nopea eteneminen akateemisessa maailmassa antaa aiheen päätellä, että hän oli keskittynyt pelkästään tieteelliseen työhön.

Se modernin fysiikan vallankumous, joka oli alkanut 1890-luvulla röntgensäteilyn ja radioaktiivisuuden keksimisellä, ei Wasastjernan aloittaessa jatko-opintojaan ollut paljoakaan vaikuttanut siihen vaatimattomaan tutkimustyöhön, jota Suomessa tehtiin fysiikassa. Suhteellisuusteorian pioneereihin lukeutunut Gunnar Nordströmkin kuoli vain 42-vuotiaana vuonna 1923, ehdittyään olla vasta lyhyen aikaa professorina Teknillisessä korkeakoulussa. Kun Wasastjerna ryhtyi tarmokkaasti pureutumaan atomi- ja kvanttifysiikan ongelmiin väitöskirjaansa tehdesään, hänellä ei siten ollut ketään asiantuntevaa opastajaa Suomessa. Vuosina 1923–1925 käydyssä sovelletun fysiikan professorin viranhaussa, jonka Wasastjerna voitti, Wasastjernan kaksi kilpailijaa, K.F. Lindman ja H. Lunelund, eivät hekään olleet kunnolla paneutuneet moderniin fysiikkaan.

Epäilemättä Wasastjernan valttikorttina virkaa hakiessa oli nimenomaan se, että hän edusti kilpailijoitaan paljon paremmin tulevaisuutta. Näin kauan jälkikäteen on kuitenkin syytä huomauttaa, että sähkömagneettismin ilmiöihin keskittynyt Lindman teki työtä, jota nykyinen radio- ja mikroaalto-tekniikan perustutkimus suuresti arvostaa. Lindmanin elämäntyöstä oli taannoin perusteellinen artikkeli tässä lehdessä [4].

Me voimme seurata Wasastjernan tutkijauraa lähinnä vain hänen julkaisuistaan (ks. julkaisuluettelo alla), sillä hän ei jättänyt jälkeensä arkistoja eikä muistelmia. Tämä on Suomeen tieteen historian kannalta valittava asia. Moderni fysiikka nimittäin tuli Suomen tieteeseen pitkälti Wasastjernan toiminnan kautta. Se, miten fysiikan tutkimus ja Wasastjernan oma ura etenivät suhteessa Wasastjernan alkuperäisiin ajatuksiin ja tavoitteisiin, jää koko lailla arvailujen varaan.

Wasastjernan väitöskirjaa voidaan pitää poikkeuksellisen tasokkaana. Hän käsittelee siinä suurinta osaa niistä aiheista, jotka sittemmin muodostivat hänen tieteellisen uransa selkärangan. Rutherford-Bohrin atomimallista lähtien kysymys atomien ja molekyylien rakenteesta oli pitkään jatkuvassa kiehumistilassa, johon myös nuori Wasastjerna paneutui. Englannissa William Henry Braggin ja hänen poikansa Lawrence Braggin röntgentutkimukset avasivat ovet materiaalien kiderakenteen salaisuuksiin. Tällä oli suuri merkitys Wasastjernan myöhemmille tutkimuksille. Wasastjernan koko tieteellisen uran aihealueena voidaan pitää laveasti sanottuna atomin elektronirakennetta ja tältä pohjalta tarkasteltuja kiteiden fysikaalisia ominaisuuksia. Väitöskirjastaan

(1920) alkaen hän julkaisi näiltä aloilta tutkimuksia vuoteen 1926 asti [W1-W4,W6-W17] ja palasi samoihin aiheisiin 1930-luvulla tohtorioppilaita ohjatessaan.

Jo klassisen fysiikan kulta-ajoilta oli peräisin Lorenzin-Lorentzin yhtälö (1880), joka ilmaisi nesteen taitekertoimen (tuolloin vielä hypoteettisten) molekyylien sähköisen polarisoituvuuskertoimen avulla. Yhtälö antoi toimivan mallin refraktiolle ja sen riippuvuudelle aallonpituudesta eli dispersiolle. Sivuhuomautuksena mainittakoon, että sähkömagneettisen aaltoliikkeen teoriaa dielektrisissä materiaaleissa kehitti 1900-luvun alussa myös ruotsalainen C.W. Oseen, jonka nimi esiintyy Ewaldin-Oseen teoreemassa. Oseen oli yksi kolmesta arvioitsijasta, joita Helsingin yliopisto käytti valitessaan Wasastjernan professorin virkaan.

Rutherford-Bohrin atomimallin myötä avautui siis uusia näkymiä aineen fysiikan tutkimuksessa, ja yksi polku, jota Wasastjerna alkoi seurata väitöskirjatyössään, oli katsoa uusin silmin refraktiometrisissä mittauksissa saatuja tuloksia ja sitä, mitä ne kertoivat atomien ja molekyylien polarisoituvuudesta. Hän käytti tähän Pulfrichin refraktometriä, joka on eräs klassisen fysiikan ajan optinen mittausrakenteellinen, tehden laajan sarjan mittauksia eri molekyylijä sisältävien vesiliuosten taitekertoimista ja varioiden lämpötilaa, konsentraatiota jne. Hän paransi väitöskirjatyössä ja sen jatkossa ymmärrystä atomi- ja molekyyli- ja kiteiden yhteydestä valon refraktioon.

Wasastjernan ehkä merkittävimpään tieteelliseen saavutukseen johti huomio, että neutraali atomi ja vastaava dissosioitunut ioni

johtavat eri taitekertoimeen. Eroa kuvaava nk. refraktioekvivalentti oli suurempi negatiivisella ionilla ja pienempi positiivisella. Wasastjerna esitti refraktioekvivalentin kuvaavan ionin kokoa, sillä positiivinen ioni tarkoitti elektronivajausta ja näin ollen pienempää kokoa ja refraktioekvivalenttia. Tarkemmat pohdinnat johtivat arvioon eräiden ionisoituneiden atomien säteistä, jota hän myöhemmin käytti erinäisten kiteiden ominaisuuksien teoreettisissa käsittelyissä [Wx4].

Eri lähteissä on esitetty Wasastjernen eräänlainen lyhyt ja ytimekäs ”standardielämäkertä”, joissa luetellaan Wasastjernen tieteelliset vierailukohteet 1920-luvun alkuvuosina. Näihin kuuluvat Kööpenhamina, Göttingen ja Wien sekä Englannissa Manchesterin, Cambridgen ja Lontoon yliopistot, joissa Bragg nuorempi ja vanhempi työskentelivät 1920-luvun alussa [5]. Eräässä harvoissa laajemmalle yleisölle kirjoittamassaan artikkelissa [Wx1], Wasastjerna ohimennen mainitsee tutustuneensa Wienin vierailullaan Felix Ehrenhaftiin ja tämän tutkimustyöhön. Ehrenhaft oli aikoinaan ollut fysiikan tutkimuksen eturintamassa tehdessään Millikanin öljypisarakokeen kanssa kilpailevia mittauksia mutta jäi myöhemmin unohduksiin. Tämä on vain satunnainen tiedonsirpale, muuten emme juurikaan tiedä, mitä kaikkia oppia, ideoita ja vaikutteita Wasastjerna sai matkoillaan.

Luultavasti tiedämme kuitenkin sen tärkeimmän erillisen matkan, nimittäin Wasastjernen vierailun Braggien luona vuonna 1923 [6]. Braggit olivat tuolloin maineensa huipulla röntgentekniikan soveltajina materiaalfysiikassa. Vierailun yksityiskohdista ei ole tietoa, mutta merkittävää ainakin oli,

että Wasastjerna sai tilaisuuden kertoa suoraan fysiikan huipuille ionisäteiden mittauksissa saamista tuloksista. Yksinkertaisten ionikiteiden rakenteen selvittäminen oli silloin tutkimuksen kuumimpia aiheita. Monissa tärkeissä tapauksissa oikea rakenne löytyi ottamalla huomioon ionisäde. Alan silloiset huippunimet, Braggien lisäksi esim. Linus Pauling ja Viktor Goldschmidt, tukeutuivat ja viittasivat Wasastjernen töihin tässä yhteydessä [7].

Toinen ja koko Suomelle tärkeä seuraamus Wasastjernen vierailusta Englantiin oli se, että hän toi Helsingin yliopistoon uusinta kokeellisen röntgentutkimuksen tietotaitoa. Ensimmäinen Helsingissä tehty röntgendiffraktiomittauksiin perustuva julkaisu, *The crystal structure of dolomite* [W13], julkaistiin Suomen Tiedeseuran Commentationes-sarjassa jo vuonna 1924. Dolomiitti $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ on magnesiumipitoinen kalkkikiven laji. Wasastjerna perustelee sen valintaa tutkimuksen kohteeksi paitsi sillä, että rakenne on vielä heikosti määritetty, myös sillä, että dolomiitin rakenne on kiinnostava pohdittaessa ionien välisiä voimia kiderakenteessa. Julkaisu on varsin perusteellinen, 14 sivua pitkä. Hyvin varhaisessa vaiheessa Wasastjerna siis aloitti materiaalien röntgentutkimuksen ja jätti optiset mitaukset taka-alalle. Röntgenfysiikan tutkimus jatkuu Helsingin yliopistossa tänäkin päivänä, ja täyttää siis näihin aikoihin sata vuotta.

NUORI PROFESSORI JA RÖNTGENFOTONI

Wasastjerna oli hankkinut näillä tutkimuksillaan itselleen hyvät asemat, kun Theodor Homenin pitkään hoitama soveltavan fysiikan

kan professuuri tuli haettavaksi Homenin jäätyä eläkkeelle. Tiukan kisan jälkeen Wasastjerna sai viran ja alkoi hoitaa sitä 29-vuotiaana vuoden 1926 alussa. Vastaleivotut professorit keskittyvät yleensä uransa tuossa vaiheessa siihen, minkä he kokevat pääasialliseksi tieteellisen kiinnostuksen kohteekseen. Myös Wasastjernan ensiaskeleet professorina lienevät menneet saman kaavan mukaan. Wasastjernan tieteellinen tuotanto professorinimityksen jälkeisinä vuosina koostuu julkaisuista, jotka liittyvät röntgensäteilyn fotonien havaitsemiseen. Tarkastelemme seuraavassa näitä tutkimuksia.

Kuten äskettäisessä *Physics Today*-lehden numerossa kerrotaan [8], varsin yleinen virheellinen käsitys on, että Einsteinin vuonna 1905 esittämä fotonihypoteesi valosähköisen ilmiön selityksenä olisi saanut tiedeyhteisöltä nopean hyväksynnän. Erityisesti röntgensäteilyn tapauksessa kiisteltiin vielä toistakymmentä vuotta siitä, onko kyse sähkömagneettisesta säteilystä vaiko hiukkassäteilystä, eikä vielä ymmärretty hakea ratkaisua fotonikonseptista. Vanhempi Bragg uskoi pitkän aikaa malliin, jossa röntgensäteily koostuu sähköisesti neutraaleista komposiittihiukkasista. Hän ja nuorempi Bragg olivat kuitenkin dynaamisia ja siirtyivät paremman teorian kannalle, kun jälkimmäinen heistä onnistui parantamaan von Lauen ontuvaa selitystä uusille, käänteentekeviksi osoittautuville tuloksille röntgensäteilyn kiteissä muodostamille kuvioille. Kuviot selittyivät aaltoliikkeen interferenssinä kiteiden säännöllisissä atomihiloissa, ja pian Braggit olivat eturintamassa luomassa kahta uutta fysiikan erikoisalaa,

röntgenkristallografiaa ja röntgenspektroskopiaa.

Jäljelle jäi vielä se ongelma, että röntgensäteily välillä käyttäytyi selvästikin hiukkasluonteen mukaisesti — tämän vuoksi Bragg vanhempi oli itsepintaisesti pitänyt kiinni aikaisemmasta mallistaan. Ratkaisu tuli, kun Arthur Compton kollegoineen löysi ja selitti vuonna 1922 hänen nimeään kantavan röntgensäteilyn Compton-sironnan. Tämä sironnapirosessi osoitti säteilyn fotoniluonteen. Koko kvanttimekaniikan muotoutuvalle teorialle tulos oli perustavanlaatuisen, sillä se todensi sille keskeisen aaltohiukkasdualismin.

Tämä oli siis tilanne Wasastjerna vieraillessa Braggien luona vuonna 1923, ja ilmeistä lienee, että röntgenfysiikan uusista tuloksista puhuttiin paljon. Teoreettisesti lahjakas Wasastjerna pystyi varmasti ne hyvin sisäistämään. Wasastjernan erinäisistä kirjoituksista voidaan päätellä hänen mielellään perehtyneen asioiden filosofisiin puoliin, joita uusi kvanttiteoria tarjosi enemmän kuin kylliksi. Pitkähkössä artikkelissa *Finsk Tidskrift*-lehdessä vuonna 1926 [Wx2], Wasastjerna käsitteli uusia valon luonnetta koskevia tuloksia ja kuvaili myös sitä, miten käsitykset valosta olivat kehittyneet antiikin ajoista lähtien. Lehti oli yleistajuinen, sivistyneistölle suunnattu, mutta Wasastjerna oli kirjoittanut artikkelinsa niin asiapitoiseksi, että vain fysiikasta hyvin perillä olevat saattoivat ymmärtää sen kunnolla. Kirjoituksesta voidaan päätellä, että Wasastjerna oli erittäin kiinnostunut fotonin duaalisen luonteen problematiikasta.

Saatuanaan virkansa Wasastjerna ryhtyi toteuttamaan mittausjärjestelmää, jonka oli

tarkoitus tutkia röntgensäteilyn fotoniluonnetta [5]. Ei kuulosta kaukaa haetulta, että ajatus tästä kokeesta oli alkanut itää Wasastjernan vierailulla Braggien luona. Väinö Hovi mainitsee Wasastjernan muistokirjoituksessaan [9] röntgensäteilyn fotonien mittaamisen vain ohimennen yhtenä osana ensimmäisestä niistä tutkimusperiodeista, joihin hän Wasastjernan tieteellisen työn jakoi. Paljon pidemmässä muistokirjoituksessaan Simons puolestaan kävi ensin kronologisesti läpi Wasastjernan kaiken muun tieteellisen tuotannon ja kertoi Wasastjernan röntgenfotonin metsästyksestä vasta lopussa, joskin aika perusteellisesti [6]. Hänen mukaansa Wasastjerna uppoutui tähän tutkimukseen vuosina 1927–1931.

Wasastjernan rakennuttamassa mittausjärjestelmässä oli kaksi ionisaatiokammio-ilmaisinta, joihin kohdistettiin röntgensäteilyä. Ilmaisimet oli biasoitu samansuuruisilla mutta vastakkaismerkkisillä napajännitteillä, jolloin nollapistedetektio-periaatteen mukaisesti saavutettiin suuri herkkyys röntgensäteilyn havaitsemiselle. Keskeisenä ideana oli, että pieni mitattu erotus olisi stokastisesti fluktuoiva monikerta yksittäisen röntgenfotonin aikaansaamasta pulssista. Työ johti viiteen vuosina 1929–1932 ilmestyneeseen julkaisuun [W18-W22], joissa Wasastjerna raportoi mittausjärjestelmästä ja tavoitteen mukaisesta tuloksesta ja niiden perusteella lasketusta Planckin vakion arvosta. Simons, joka yleisesti vaikuttaa olleen hieman ankara ja suorasanainen arvioidessaan esim. opinnäytetöitä, toteaa mittauksen olleen vaikuttava suoritus sen aikaisella teknologialla, mutta toisaalta myös vähän turha, koska röntgensäteilyn fotoniluonne oli jo siinä vaiheessa selvä

asia. Tosiasia on, ettei Wasastjerna julkaisut enää myöhemmin tutkimuksia tästä aiheesta, eikä työ tiettävästi johtanut jatko-projekteihin. Wasastjerna teki vielä kymmenen vuotta fysiikan perustutkimusta, mutta ei enää niin perustavanlaatuisiin aiheisiin paneutuvaa kuin mitä tämä projekti oli ollut.

SUOMALAISEN RÖNTGENTUTKIMUKSEN VAKIINTUMINEN

1930-luvulla Wasastjerna siirtyi materiaalfysiikan tutkimuksen, jossa röntgensäteily oli edelleen keskeinen mutta vain työkaluna. Wasastjerna on kertonut tämän tutkimusvaiheen alkaneen vuonna 1932 [10]. Tutkimuksen aiheena oli kiderakenteen teoreettinen analyysi ja siihen liittyvät kokeelliset röntgenmittaukset.

Simons toteaa muistokirjoituksessaan, että Wasastjerna ei koskaan johtanut varsinaista ryhmätyötä (bedrev aldrig egentlig teamwork), mutta hänellä oli 1930-luvulla ohjattavanaan useita väitöskirjantekijöitä, joiden tutkimusaiheet olivat jatkoa Wasastjernan omalle tutkimustyölle. Alla olevassa taulukossa 1 on kirjoittajan kokoama lista näistä ohjattavista. On mahdollista, että taulukosta puuttuu jokin vähemmän tunnettu henkilö. Siihen ei ole myös otettu mukaan sellaisia henkilöitä, joiden kohdalla Wasastjernan rooli ohjaajana oli pelkästään muodollinen eikä väitöskirjassa tehtyä tutkimustyötä voida laskea Wasastjerna ryhmän tutkimustyöksi. Tällainen henkilö on esim. Berndt O. Grönblom, jonka varsinainen ohjaaja oli kvanttimekaniikan luojaan kuulunut Werner Heisenberg ja työn olennainen osa oli tehty Saksassa. Kuvassa 1 Wasastjerna on nuorten tutkijoidensa seurassa.

| Väitöskirjantekijä | Vuosi | Professoriksi | Väitöskirjan aihe |
|--------------------|-------|---------------|--|
| Nils Fontell | 1931 | HY 1942 | Ionien liikkuvuudesta ilmassa ja metyylibromidin seoksissa |
| Lennart Simons | 1932 | HY 1941 | Raman-ilmiö bentseenimolekyylissä |
| Paavo Tahvonen | 1934 | HY 1949 | Röntgendiffraktiomittauksia kalkkisälvän kiderakenteesta |
| Aarno Niini | 1936 | X | Molekyylipolarisaation riippuvuus liuottimesta |
| Eugenie Lisitzin | 1938 | X | Alkuaineiden ionisaatiojännitteet eri ionisaatioiloissa |
| Reino Tuokko | 1939 | X | Geiger-Müller-putkien toiminnan fysiikasta |
| Martti Kantola | 1939 | TY 1950 | Röntgendiffraktiomittaukset |
| Risto Niini | 1939 | HY 1950 | Atomien ja ionien elektronijakauman ja energian likimääräinen laskeminen |
| Erkki Laurila | 1940 | TKK 1945 | Röntgensäteilyn sironta jalokaasuissa |
| Uuno Nurmi | 1940 | X | Alkali-halogenikiteiden elastisuusvakioiden määrittäminen ultraääniaaltojen avulla |
| Heikki Miekko-oja | 1941 | TKK 1953 | Kalorimetrisiä mittauksia NaNO ₃ ja KNO ₃ -kiteissä |
| Väinö Hovi | 1948 | TY 1953 | Sekakiteiden (KCl/KBr) muodostumisen termodynamiikka |
| | | | |

Taulukko 1. Lista Jarl Wasastjernan ohjaamista väitöskirjantekijöistä. Nimen jälkeinen vuosiluku tarkoittaa väitöskirjatyön hyväksymistä, joka tuolloin ei liittynyt suoraan tohtorin tittelin myöntämiseen. Sitä seuraavassa sarakkeessa on mainittu vuosiluku niille, jotka saavuttivat professuurin yliopistossa tai korkeakoulussa. Näiden lisäksi Aarno Niini sai apulaisprofessorin viran TKK:lla mutta siirtyi saman tien kauppa- ja teollisuusministeriöön, ja Eugenie Lisitzin sai professorin arvonimen tunnustuksena ansiokkaasta urasta merentutkimuslaitoksella.

Taulukosta voidaan nähdä, että Wasastjernan oppilaiden hallitsevia väitöstutkimusten aiheita olivat röntgensäteilytekniikan käyttö eri muodoissa ja kiderakenteiden fysiikka. Ohjaustyönsä ohessa Wasastjerna jatkoi edelleen itsenäistäkin tutkimustyötä, jonka tulokset hän julkaisi yksin. Vuonna 1933 häneltä ilmestyi neljä julkaisua [W23-W27], joissa hän palasi yksittäisen atomin elektronirakenteen karakterisointiin, mutta aikaisempaan verrattuna käsittely oli huomattavasti edistyneempää kvanttimekaniikan osalta. Varsinkin ensimmäinen näistä töistä, *On the wave mechanical theory of refraction*, on huomionarvoinen. Siinä Wa-

sastjerna ottaa lähtökohdaksi ne tulokset, jotka mm. Linus Pauling oli johtanut atomin polarisoituvuudelle heti Schrödingerin uuden aaltomekaniikan ilmestyttyä, ja tarkastelee vanhoja tuloksiaan tämän uuden teorian valossa.

Vuosina 1933–1938 Wasastjerna julkaisi seitsemän artikkelia [W27-W33], joissa hän siirtyi atomitasolta kiderakenteen fysiikkaan. Julkaisut koskevat sellaisia aiheita kuin atomien väliset voimat, kiderakenteen elastisuus ja infrapunasäteilyn absorptio. Kokeelliselta puolelta Wasastjernalta ilmestyi vuonna 1944 perusteellinen artikkeli röntgenspektrografin suunnittelusta ja ra-



Kuva 1. Fysiikan laitoksen väki juhlii röntgenspektrografin valmistumista 1930-luvulla. Vasemmalta tuntematon, valoläiskän takana Nils Fontell, Urho Ellenberg, Aarno Niini, Einar Wiik. Pöydän toisella puolella vasemmalta alkaen Lennart Simons, Jarl Wasastjerna, Martti Kantola ja Paavo Tahvonen. Laitteen rakentaja Ellenberg ja Wiik toimivat laitoksella mekaanikkoina. Tietojen mukaan ensiksi mainittu tuntematon oli nimeltään Helme, mutta sen nimistä henkilöä ei ole löytynyt arkistoista.

kentamisestä [W35]. Sota oli viivytännyt artikkelin ilmestymistä; artikkelin kuvaama toiminta oli tapahtunut jo 1930-luvulla.

Helsingissä järjestettiin vuonna 1936 pohjoismaiden luonnontieteilijöiden kokous [11], joka oli silloisessa Suomessa erittäin merkittävä konferenssi (tosin se jäi lajinsa viimeiseksi). Kokous oli ainoa kerta, kun atomimallin luoja Niels Bohr vieraili Suomessa. Wasastjerna kuului kokouksen järjestelykomiteaan. Kokouksen fysiikan jaoston suomalaisista puhujista Karl F. Lindman oli Åbo Akademista ja kaikki muut Wasastjerna ryhmästä: Nils Fontell, Aarno Niini, Lennart Simons ja Paavo Tahvonen sekä Jarl Wasastjerna itse kahdella puheella. Wasastjerna ryhmä oli siis noihin aikoihin

täysin hallitseva Suomen fysiikassa, aivan kuten kirjoituksen alussa siteerattu K.V. Laurikainen totesi.

Uusi röntgenspektrografi oli avainasemassa Wasastjerna viimeiseksi jääneessä tutkimuskokonaisuudessa, joka koski sekakiteiden (esim. KCl/KBr) rakenteen ja muodostumisen termodynamiikkaa [W34,W36-W43]. Tämä oli välitöntä jatkoa Wasastjerna edeltäneelle tutkimukselle, mutta sekä Simons että Hovi luonnehtivat sitä muistokirjoituksissaan uudeksi avaukseksi. Ensimmäinen julkaisu tältä alalta ilmestyi vuonna 1939 [W34]. Uusilla röntgenspektrograafisilla laitteillaan Wasastjerna oppilaineen kykeni mittaamaan suurella tarkkuudella ionien positioita sekakidesyste-

meissä. He löysivät näissä odottamattomia siirtymiä, jotka riippuivat sekakiteille ominaisista pitkän kantaman vuorovaikutuksista. Wasastjerna kehitti ilmiötä kuvaavan teorian, jota pidettiin aikanaan korkeassa arvossa.

On hyvin mahdollista, että Wasastjernalla oli 1930-luvulla aikomuksena hypätä mukaan siihen ydinfysiikan nousuun, joka alkoi neutronin löytymisestä vuonna 1932 [12]. Siihen viittaavat Reino Tuokon väitöskirjan aihe ja Wasastjernan aktiivinen tuki alkuvaiheessa Lennart Simonsille tämän siirtyessä tälle alalle vuodesta 1938 alkaen. Samaan viittaa myös Tapio Kosken tapaus: Koski rakensi 1930-luvun lopulla fysiikan laitokselle pientä kiihdytintä, minä Erkki Laurila mainitsee esimerkkinä ensimmäisistä ydinfysiikan pyrinnoista Suomessa [13]. Koski kaatui talvisodassa.

URAN ÄKILLINEN LOPPU

Sotia edeltäneet vuodet tulivat olemaan Wasastjernan viimeinen kausi aktiivisena tiedemaailman jäsenenä ja uusia tutkimustuloksia tuottavana fysiikan tutkijana. Heti talvisodan jälkeen vuonna 1940 Wasastjerna nimitettiin Suomen Tukholman lähettilääksi. Fyysikon urasta ei ole tämän jälkeen enää paljon kerrottavana. Hän erosi professorin virasta vuonna 1946 (erosta hieman pohdintoja viitteessä [3]), ja parina seuraavana vuonna hän viimeisteli julkaisunsa edellä mainitusta sekakiteistä koskevasta tutkimustyöstä. Samasta työstä väitöskirjan tehnyt Väinö Hovi oli ilmeisesti ainoa, jonka kanssa Wasastjerna vielä teki lyhyen aikaa yhteistyötä varsinaisen fysiikan parissa. Muuten hän jätti fysiikan kokonaan taakseen ja alkoi vähitellen häipyä fyysikkojen

yleensä ajankohtaisiin asioihin ja tulevaisuuteen keskittyvästä tietoisuudesta, huolimatta siitä, että hänen asemansa Suomen fysiikan johtohenkilönä oli kiistaton aina siihen päivään asti, kun hän ilmoitti erostaan.

Wasastjernan tunnetuin tieteellinen saavutus oli epäilemättä ionisoituneiden atomien säteiden aikaisempaa tarkempi määrittäminen. Laajemmassa kuvassa hän toi modernin fysiikan ja erityisesti röntgenfysiikan tutkimisen Helsingin yliopistoon ja sitä kautta muualle Suomen tutkimuslaitoksiin. Kuten totesimme, Wasastjernan väitösoppilaat hallitsivat aika täydellisesti sodanjälkeisinä vuosina Suomen silloista kovin pientä fysiikan tutkimusta. Wasastjernan hallitseva asema Suomen 1920- ja 1930-lukujen fysiikassa johtui osaksi siitä, että muut fysiikan professorit, Helsingin yliopiston Hjalmar Tallqvist, TKK:n Hjalmar Brotherus ja Turun Yrjö Väisälä ja Karl Lindman, eivät ohjanneet montakaan fysiikan väitöskirjaa. Tähän on erilaisia syitä, esim. Yrjö Väisälän tapauksessa se, että hän itse asiassa ei ollut fyysikko vaan tähtitieteilijä. Näin ollen Wasastjernan ehkä tärkein panos Suomen fysiikalle oli kouluttaa ammatilliselle ja kansainväliselle tasolle se fyysikkokaarti, joka 1960-luvulle asti johti fysiikan tutkimuksen voimakasta laajentumista Suomessa [12]. Tärkeimpiä henkilöitä näiden joukossa olivat seuraavat:

- *Erkki Laurila*. Oli TKK:n teknillisen fysiikan osaston alullepanija. Johti Suomen ensimmäistä tietokoneprojektia ja sittemmin ydinreaktoritekniikan tutkimuksen alkutaivalta. Nimitettiin akateemikoksi vuonna 1963.

- *Lennart Simons*. Aloitti ydin- ja kiihdytin-fysiikan tutkimuksen Suomessa.

- *Heikki Miekko-oja*. Loi korkeatasoisen materiaalitieteen tutkimuksen Suomen metalliteollisuuden yhteyteen.

- *Väinö Hovi*. Aloitti modernin fysiikan tutkimuksen Turun yliopistossa.

- *Nils Fontell*. Johti Helsingin yliopiston fysiikan laitosta 1946–1968.

- *Paavo Tahvonen*. Jatko *Wasastjernan* röntgenfysiikan tutkimusta Helsingin yliopistossa ja erityisesti sen sovellutuksia lääketieteellisessä fysiikassa.

Tässä yhteydessä voidaan todeta matemaatiikan professorin Rolf Nevanlinnan kiinnostus suppeaan suhteellisuusteoriaan (eli Einsteinin suhteellisuusteorioiden ensimmäiseen osaan), mikä osaltaan edisti teoreettisen fysiikan etenemistä Suomessa. *Wasastjerna* ei erityisemmin edesauttanut teoreettisen fysiikan kehittymistä itsenäisenä tutkimusalana, siitä huolimatta, että hän olisi henkilökohtaisen kiinnostuksensa perusteella voinut hyvinkin sen tehdä.

Ehkäpä enemmän huomiota ansaitsisivat *Wasastjernan* suorittamat röntgensäteilyn fotonien mittaukset 1920-luvun lopulla, joita edellä kuvailimme. Tutkimus ei johtanut mihinkään, mutta lähteiden tarkastelu viittaa siihen, että *Wasastjernalla* oli kunnianhimoiset tavoitteet ja että hän oli tosissaan liikkeellä. Tästä olisi voinut versota jotain kauaskantoistakin. Tutkimusprojekti oli ensimmäinen suomalainen työ kvanttimekaniikan perusteista, ja sellaisena se oli ainutlaatuinen pitkän aikaa.

Viitteet

- [1] *Arkhimedes*, No. 2, s. 50 (1958)
- [2] K.V. Laurikainen, *Fyysikon tie*, MAOL, MFKA-Kustannus, 1982
- [3] Markus Ahlskog, *Jarl Wasastjerna – professor och bergsråd*, *Historisk Tidskrift för Finland* 108 (2023:3), s. 234.
- [4] I. Lindell, A. Sihvola, J. Kurkijärvi, Karl F. Lindman – *The last Hertzian and a harbinger of electromagnetic activity*, *Arkhimedes*, 2, s. 127 (1995)
- [5] Einari Kaskimies, *Suuria suomalaisia tiedemiehiä*, Kivi 1947
- [6] Lennart Simons, *Jarl A. Wasastjerna – Minnestal*. Societas Scientiarum Fennica: Årsbok - Vuosikirja 1972-1973, LI C N:o 3, Helsingfors 1974
- [7] W.L. Bragg, *Nature*, 116, 249 (1925); Linus Pauling, *J. Am. Chem. Soc.* 51, 1010 (1929)
- [8] Erik Henriksen, *Arthur Compton and the mysteries of light*, *Physics Today* 75 (12), 45 (2022)
- [9] Väinö Hovi, *Jarl Axel Wasastjerna in memoriam*. *Arkhimedes*, N:o 1-2, s.101 (1972)
- [10] *Svenska Dagbladet* 16.4 1943
- [11] Pohjoismaiden (19. skandinaavinen) luonnontutkijain kokous, Helsinki, 11-15.8 1936
- [12] Markus Ahlskog, *Katsaus Suomen varhaiseen atomihistoriaan*, Suomen Tiedeseura – Finska Vetenskaps-Societeten, 2022; DOI: doi.org/10.54572/ssc.173
- [13] Erkki Laurila, *Atomienenergian tekniikka ja politiikka*, Otava, 1967

Jarl Wasastjernan julkaisuluettelo

Pro gradu-työ: *Bidrag till kännedomen om sammanhanget mellan elektriska elements termokemi och elektromotoriska kraft*, Holger Schildts Förlag, Helsingfors, 1918.

Väitöskirja: *Lösningars optiska egenskaper*, Acta Societatis Scientiarum Fennicæ, Tom. L 2, Helsingfors, 1920.

Tieteelliset julkaisut

[W1] La correspondance du volume atomique dans la theorie des elektrons - Hyllningskrift tillägnad Ossian Aschan, Fin. Kem. med., s. 141 (1920)

[W2] Lichtbrechung und atombau. Die refraktionsäquivalente der ionen. Översikt av Finska Vetenskaps Societetens Förhandlingar Bd LXIII, Avd. A. N:o 4, (1921)

[W3] Über den bau der atome und molecüle im licht der dispersionstheorie – Zeitschrift für physikalische chemie Bd CI, S.193 (1922)

[W4] On light-absorption in a pleochroitic uniaxial crystal - Översikt av Finska Vetenskaps Societetens Förhandlingar Bd LXIV, Avd. A. N:o 1, (1922)

[W5] Om beräkning av temperaturvariationerna i ett kemiskt reagerande system - Fin. Kem. med., N:o 3-4 (1922)

[W6] On the refraction equivalents of ions and the structure of compound ions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., I, 37, (1923)

[W7] On the radii of ions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., I, 38, (1923)

[W8] L'Hydrolyse en solutions aqueuse de sulfhydrate de potassium, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., I, 39, (1923)

[W9] Sur l'hydrolyse du monosulfure de potassium, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., I, 40, (1923)

[W10] Untersuchung der brechungsexponenten des zinkselenids und des zinktellurids, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., II, 7, (1924)

[W11] Refraction and dispersion of gaseous benzene, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., II, 13, (1924)

[W12] Molekylernas, atomernas och jonerernas refraktionsekvivalenter, - Fin. Kem. med., (1924)

[W13] The crystal structure of dolomite, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., II, 14, (1924)

[W14] The reflexion of X-rays by rock-salt, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., II, 15, (1924)

[W15] Die struktur des anhydrits - Der bau der sulfatgruppe, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., II, 26, (1925)

[W16] The crystalline structure of anhydrite, Philosophical Magazine, II, 992, (1926)

[W17] Röntgenforskningen i stereokemins tjänst - Fin. Kem. med., (1926)

[W18] Ljuskvantumhypotesen – Report of the 18. Scandinavian Naturalist Congress in Copenhagen, 26-31. Aug. 1929.

[W19] Untersuchung über die natur der Röntgenstrahlung I, Acta Fenn., A, I, N:o 7 (1930)

[W20] Untersuchung über die natur der Röntgenstrahlung II, Acta Fenn., A, II, N:o 1 (1930)

[W21] Kritische erörterung einiger für die moderne physik wichtiger prinzipieller frage, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., V, 19, (1930)

[W22] On the nature of x-rays, Proceedings of the Royal Society A, Vol. 136, Iss. 829, p.233 (1932)

[W23] On the wave mechanical theory of refraction, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., VI, 18, Helsingfors 1933

[W24] On the electron distribution in atoms and ions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., VI, 19, Helsingfors 1933

[W25] On the ionizing potential for atoms and ions of rare gas type, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., VI, 20, Helsingfors 1933

[W26] The wave mechanical significance of the apparent radii of atoms and ions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., VI, 21, Helsingfors 1933

[W27] The forces between atoms and ions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., VI, 22, Helsingfors 1933

[W28] Zür atomistischen theorie der kompressibilitet, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., Bd. VIII, N:o 8, Helsingfors 1936

[W29] Über die elastischen konstanten der Alkalihalogenide, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., Bd. VIII, N:o 9, Helsingfors 1936

[W30] Über die infraroten Absorptionsmaxima der Alkalihalogenide, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., Bd. VIII, N:o 19, Helsingfors 1936

[W31] The forces acting between atoms and ions and the elastic properties of crystals, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., Bd. VIII, N:o 20, Helsingfors 1936

[W32] Some theoretical calculations of the physical properties of certain crystals, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., Bd. VIII, N:o 21, Helsingfors 1936

[W33] On the forces acting between atoms and ions and the physical properties of matter in bulk, Philosophical Transactions of the Royal Society of London A Vol. 237, Iss. 774, p. 105 (1938)

[W34] On the structure of solid solutions, Physical Review 55, 986 (1939)

[W35] An improved photographic method for the quantitative study of the reflection

of X-rays by crystals, Kungliga Svenska Vetenskapsakademins Handlingar, Stockholm, B 20, N:o 11 (1944)

[W36] A quantitative study of the reflection of X-rays by sodium and potassium chloride, Kungliga Svenska Vetenskapsakademins Handlingar, tredje Serien Stockholm, B 21, N:o 5 (1944)

[W37] Eine Röntgenometrische untersuchung von kaliumbromid und rubidiumchlorid, Acta Fenn., A, Tom. III, N:o 6 (1944)

[W38] Eine Röntgenometrische untersuchung von natriumfluorid, kaliumjodid und calciumjodid, Acta Fenn., A, Tom. III, N:o 7 (1944)

[W39] Eine Röntgenometrische untersuchung der mischkristalle KCl-KBr und KCl-RbCl, Acta Fenn., A, Tom. III, N:o 8 (1944)

[W40] Some experimental values of the atomic scattering factor. Thermal vibrations and lattice distortion in pure and mixed crystals, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., XIII, 5 (1945)

[W41] Atomic arrangements with given number of neighbours, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., XIV, 3 (1948)

[W42] The configurational partition functions for binary solid solutions and the equilibrium degrees of local and long range order, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., XIV, 7 (1948)

[W43] On the theory of the heat of formation of solid solutions, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math., XV, 3 (1949)

[W44] Particle Size Analysis, Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math. XXIX, 5 (1964).

Populaariteteellisiä ja muita akateemisia julkaisuja

[Wx1] Elektricitetens atomistiska struktur. Finsk Tidskrift 7-8, 1922

[Wx2] Ljusets väsen. Finsk Tidskrift 5-6, s.42, 1926

[Wx3] Om ”Guldmakeri”. Societas Scientiarum Fennica : Årsbok - Vuosikirja, XIV B n:o 5, 1936 Helsingfors.

[Wx4] Om atomernas storlek. Societas Scientiarum Fennica : Årsbok - Vuosikirja, XVI B n:o 7, 1938 Helsingfors.

[Wx5] Atomi kvanttimekaanisena problemina. Matemaattisten aineiden aikakauskirja, Marraskuu 1939, 4 Vihko, s. 223.

[Wx6] De experimentella grunderna för våra nuvarande föreställningar om atomernas byggnad. Societas Scientiarum Fennica : Årsbok - Vuosikirja 1945-1946, XXIV B n:o 1, Helsingfors 1946.

[Wx7] Lars William Öholm – Minnesteckning. Societas Scientiarum Fennica : Årsbok - Vuosikirja 1945-1946, XXIV C n:o 1, Helsingfors 1945.

[Wx8] Hälsningstal av Societetens ordförande, 29.4 1947. Societas Scientiarum Fennica : Årsbok - Vuosikirja 1946-1947, XXV, Helsingfors 1947.

Lyhenteiden selitteitä:

Soc. Sci. Fennica, Comm. Phys.-Math.:

Societas Scientiarum Fennica, Commentationes Physico-Mathematicae (Suomen Tiedeseuran julkaisu)

Acta Fenn. A;

Acta Societatis Scientiarum Fennicæ, Nova Series A, (Suomalaisen Tiedeakatemia julkaisu)

Fin. Kem. med.;

Finska Kemistsamfundets meddelanden (Finska Kemistsamfundetin/Suomen kemistiseuran julkaisu)

Kirjoittaja Markus Ahlskog on kokeellisen tiiviin aineen fysiikan professori Jyväskylän yliopiston Fysiikan laitoksella ja Nanotiedekeskuksessa. Väitöskirja (1996) VTT:llä ja Teknillisessä korkeakoulussa käsitteli johtavien polymeerien elektronisia ominaisuuksia. Tämän jälkeen nanoteknologia ja erityisesti hiilinanoputkien ominaisuudet ovat olleet huomion kohteena. Ahlskog on toiminut Aalto-yliopiston lisäksi Linköpingin yliopistossa (Ruotsi), UC Santa Barbarassa (USA) ja KU Leuvenissa (Belgia). Hän oli Suomen Fyysikkoseuran puheenjohtaja vuosina 2013-2015.

Ahlskogilta ilmestyi vuonna 2022 kirja "Katsaus Suomen varhaiseen atomihistoriaan", Suomen Tiedeseuran julkaisemana, jonka oheistuote tämä artikkeli on. Teos on vapaasti nähtävissä Tiedeseuran nettisivuilla. Tekniikan ja luonnontieteiden aloilla uraa tekevät ovat harvemmin historian harrastajia (sotahistoriasta kiinnostuneet ovat oma ryhmänsä), mutta Ahlskog kuuluu poikkeuksiin. Hän on kirjansa alkulauseessa kertonut miten projekti sai alkunsa satunnaisesta keskustelusta toisen historiasta kiinnostuneen kollegan, Jyväskylän Fysiikan laitoksen silloisen johtajan, professori Jukka Maalammen kanssa. Maalampi on jo rutinoitunut fysiikan tietokirjailijana ja oli suureksi avuksi ensikertalaiselle Ahlskogille.

Varsinkin vakavasti kirjoitettu fysiikan historia ei tietenkään suurempaa yleisöä kiinnosta, mutta esim kesän 2023 Oppenheimer-elokuva osoittaa, että potentiaali ei kuitenkaan ole olematon!

ASSISTENTTI, VERTAISOPETTAJA TAI OHJAAJA: KOULUTUKSELLA LAATUA OPETUKSEEN

Jokke Häsä

Terveystieteiden ja Hyvinvoinnin Laitos

Inkeri Kontro

Tampereen yliopisto

Pekka Koskinen ja Antti Lehtinen

Jyväskylän yliopisto

Johanna Rämö

Itä-Suomen yliopisto

Pienryhmäopetus esimerkiksi laskuharjoituksissa ja laboratoriossa on oleellinen osa matematiikan ja luonnontieteiden yliopisto-opetusta. Pienryhmäohjausta antavat eri laitoksilla muun muassa assistentit, avustavat opettajat, laskarinpitäjät ja ohjaajat — rakkaalla lapsella on monta nimeä. Tässä tekstissä käytämme heistä yleisnimitystä ohjaaja. Kaikille ohjaajille yhteistä on opettaminen ja vuorovaikutus opiskelijoiden kanssa. Ohjaajilla on merkittävä vastuu laitosten opetuksesta ja siksi heille kannattaa järjestää koulutusta.

KOULUTUSTA TARVITAAN

Yliopistoissa vastuu opetuksen järjestämisestä on yleisesti professoreilla, yliopistonlehtoreilla ja yliopisto-opettajilla. Kuitenkin fysiikan ja matematiikan aloilla heitä usein avustavat perus- ja jatkotutkintovaiheen opiskelijat ja tutkijatohtorit eri tehtävissä: ohjaus- ja harjoitustilaisuuksien pitämisessä, ratkomotoiminnan järjestämi-

sessä, tehtävien ja tenttien tarkastamisessa, luentojen sijaistamisissa ja jopa kurssien luennoinnissa. Vastuuopettajat ohjaajineen muodostavat kurssin toteutustiimin, jonka osana ohjaajat operoivat lähellä opiskelijoita – sekä henkisesti että fyysisesti. Opiskelijoiden on helppo ryhtyä puheisiin heitä akateemiselta iältään lähellä olevien ohjaajien kanssa, ja vastuuopettajat saavat heidän

kauttaan tietoa opiskelijoiden huolista ja etenemisestä. Toiminnallaan ohjaajat välittävät hyviä opiskelutapoja nuoremmille opiskelijapolville. Kaikkiaan ohjaajien rooli opetuksen laadulle onkin merkittävä.

Ohjaajaksi ryhtyminen tarjoaa opiskelijalle usein ensimmäisen opetuskokemuksen. Vaikka yliopisto-opiskelijat ovat seuranneet opettajan työtä lähietäisyydeltä toistakymmentä vuotta, opettamista itsessään pääsee oppimaan käytännössä vasta itse opettamalla. Opiskelijoiden pedagogisissa valmiuksissa on luonnollista vaihtelua, ja tarpeessa koulutukselle onkin eroja ohjaajien välillä. Kuitenkin systemaattinen ja tarkoituksenmukainen ohjaajakoulutus nopeuttaa oppimista ja tasoittaa eroja taidoissa ja kokemuksessa. Lisäksi yhteinen koulutus auttaa uusia ohjaajia ryhmäytymään ja liittymään osaksi opetusyhteisöä.

KOULUTUKSEN SISÄLLÖT VALITAVA AJATUKSELLE

Ohjaajakoulutuksen sisältö voidaan jakaa ohjaajan kolmen roolin mukaisesti, jotka ovat työntekijä, opettaja ja opetusyhteisön jäsen. Riippumatta siitä, saako ohjaaja korvauksen työstään palkkana vai opintopisteinä, hänelle tulisi työntekijänä kertoa työhön liittyvät tehtävät, oikeudet ja velvollisuudet. Esimerkkejä näistä ovat tiedot kurssin tai muun opetuksen käytänteistä sekä neuvot, miten hallita ylitöitä ja mitä tehdä, jos työmäärä ei tunnu jakautuvan oikeudenmukaisesti.

Ohjaaja kehittyy opettajana vähitellen, ja tätä kehitystä voi auttaa parhaiten tukemalla ohjaajien välistä kokemusten jakamista

sekä omien kokemusten reflektointia. Ohjatuissa pienryhmäkeskusteluissa voidaan kerätä ideoita, joista jalostetaan yhteisiä ohjeita opetustyöhön. Koulutusta ohjaava opettaja ja kokeneemmat ohjaajat voivat tuoda keskusteluun omasta asiantuntemuksestaan kumpuavia neuvoja. Ohjaajia kannattaa myös rohkaista kokeilemaan erilaisia lähestymistapoja opetuksessa. Kokeiluja ja tutkimusperusteista pedagogisen ajattelun kehittymistä voi tukea tutustuttamalla ohjaajia suomalaisiin tai kansainvälisiin fysiikan tai matematiikan opetuksen tutkimusartikkeleihin.

Suuri voimavara ohjaajille ovat toiset ohjaajat ja kurssien vastuupettajat. Yhteiset keskustelut ja kokemusten jakaminen luovat yhteishenkeä, joka auttaa vähentämään uudelle opettajalle luontaista jännittämistä. On helpompaa kohdata haasteita, kun tietä ettei niiden kanssa ole yksin. Myös käytännön ongelmat ratkeavat helpoiten, kun on laaja verkosto, jolta voi kysyä apua pienellä kynnyksellä.

Ohjaajan näkökulmasta koulutuksen tärkein anti ovat käytännöt valmiudet ja tuki opetustyöhön sekä mahdollisuus itsensä kehittämiseen. Koulutus voi myös tukea uran rakentamista, sillä se parantaa valmiuksia kertoa omasta osaamisesta ja auttaa käynnistämään oman opetusportfolion rakentamisen.

KAKSI MAHDOLLISTA TAPAA KOULUTUKSEN TOTEUTTAMISEEN

Koulutuksen käytännön toteuttamisessa voivat olla mukana monet opetuksesta vastaavat henkilöt. On kuitenkin tärkeää, että

mukana on ohjaajien oman laitoksen opetushenkilökuntaa, jotka tuntevat laitoksen käytännöt ja kulttuurin. Ohjaajakoulutuksen luonteeseen sopii erinomaisesti yhteisopettajuus, esimerkiksi matematiikan ja fysiikan opettajien työryhmä, vastuuopettajan ja pedagogisen asiantuntijan pari, tai jokin muu yhdistelmä. Seuraavana esittelemme kaksi esimerkkiä koulutuksen toteuttamiseen.

Toteutus 1: Alkutapaaminen ohjaajille

Ennen opetuksen alkua ohjaajille järjestetään parin tunnin alkutapaaminen. Näitä tapaamisia voi olla kaksikin ja toinen tapaamisista voi olla lukukauden puolivälissä. Tapaamiset valmistavat ohjaajia tulevaan opetustehtävään ja tukevat ohjaajia ryhmäytymään. Alkutapaamiseen on hyvä ottaa mukaan myös kokeneempia ohjaajia, jotka siirtävät tietoaan ja kokemuksiaan uusille ohjaajille.

Tapaaminen kannattaa aloittaa tutustumisella, sillä se madaltaa kynnystä kysyä kysymyksiä ja kertoa omat näkemyksensä. Jos ohjaajia on paljon, heidät voi jakaa pareihin tai 3–5 hengen ryhmiin. Ryhmäkeskustelussa voi pohtia sitä, mikä omissa opinnoissa on ollut antoisaa, mitä kukin odottaa opettamiselta ja niin edelleen.

”Huomasin, että opetukseen liittyvät ongelmani eivät olleetkaan pelkästään omia ongelmiani, vaan kaikilla oli likimain samat ongelmat.”

Ohjaajia todennäköisesti jännittää oma osaaminen. Näitä huolia kannattaa käsitellä yhdessä. Käsitelyyn voi tehdä esimerkiksi nimettömällä äänestyksellä, jossa ohjaajat voivat tuoda esiin omia huolenaiheitaan.

(Esimerkiksi ”En osaa asiiasältöjä riittävän hyvin”, ”En osaa opettaa”, ”En osaa vastata opiskelijoiden kysymyksiin”, ”En onnistu luomaan opetusryhmään hyvää ilmapiiriä.”) Äänestyksen avulla ohjaajat näkevät, että muillakin on samoja huolia kuin itsellä. Sen jälkeen niitä voidaan käsitellä yhdessä.

Alkutapaamisessa ohjaajille kerrotaan toiminnan normit ja suotavat toimintatavat. Opetuksen toimenkuva määrää mitä aiheita käsittelyyn valikoituu. Kuinka tuen opiskelijaa ongelmanratkaisussa niin, että opiskelija pääsee itse oivaltamaan? Kuinka otan huomioon opiskelijoiden ujouden ja kynnyn kysymysten esittämiseen? Aiheita voi käsitellä esimerkkitapausten tai videoiden avulla niin, että ohjaajat pääsevät pohtimaan ja löytämään ratkaisuja itse.

Toteutus 2: Jatkuva koulutus ohjaajille

Mikäli ohjaajatoiminnan tukemiseen on resursseja, tapaamisista kannattaa tehdä säännöllisiä ja kokonaisuudesta oma kurssinsa. Opettamaan oppiminen vaatii hidasta kypsyttelyä ja jatkuva tuki auttaa ohjaajia kehittämään taitojaan paremmin kuin yksittäiset tapaamiset. Säännölliset tapaamiset auttavat rakentamaan ohjaajien yhteisöä ja mahdollistavat tuen myös tapaamisten ulkopuolella. Koulutuksen voi järjestää esimerkiksi luomalla opetussuunnitelmaan ohjaajakurssin, jonka ohjaajat suorittavat opetuksen ohessa. Tällöin tapaamisia voi olla jopa viikoittain.

Jatkuvan ohjaajakoulutuksen aihepiirit voivat olla samanlaisia kuin edellä esiteltyssä alkutapaamisessa. Nyt niiden käsittelemiseen vain on enemmän aikaa. Hyviä puhee-

naiheita ovat aiemmin mainittujen lisäksi opiskelutaitojen opettaminen opiskelijoille, erilaisten opiskelijoiden tarpeiden huomioiminen, opiskelijaryhmien ohjaaminen, työn ja vapaa-ajan erottaminen ja turhautuneiden opiskelijoiden kohtaaminen.

Koska opetuskokemus karttuu jatkuvasti, tapaamisissa kannattaa hyödyntää ohjaajien omia oivalluksia. Ohjaajat voivat keskustella opetustilanteista pienissä ryhmissä tai parin kanssa ja etsiä sitä kautta ratkaisuja ongelmiin. Tällä tavoin ohjaajat pääsevät jakamaan kokemuksiaan ja pohtimaan omaa kehittymistään opettajana.

”Tajusi muiden pohdinnoista kuinka erityyppiset oppimiskeinot toimivat eri ihmisillä.”

Koulutuksessa voi käyttää apuna myös videoita. Niin sanotussa videoklubi-toimintamallissa jokaisen ohjaajan opetusta videoidaan esimerkiksi kahdesti 45 minuutin verran. Nämä videot jaetaan ohjaajille itselleen. Erillisissä videoklubitapaamisissa kouluttaja nostaa jokaisen ohjaajan videosta hyvän esimerkin vaikkapa mallikkaasta ryhmäkeskustelun ohjaamisesta tai avoimien kysymysten käytöstä. Vertaisohjaajilla on samalla tilaisuus antaa palautetta toisilleen videoiden pohjalta. Toinen tapa on käyttää keskustelun pohjana valmiita videoita, joissa simuloidaan opetustilanteita. Tällaisia videoita on saatavilla Vertaisopettajaverkoston sivuilta (<https://digicampus.fi/course/view.php?id=3145>).

KOULUTUKSEN JÄRJESTÄMINEN LAITOKSEN NÄKÖKULMASTA

Yhdysvalloissa monet yliopistot ovat luo- neet ”learning assistant” -ohjelmia, joissa ohjaajat saavat sekä muodollista koulutusta että työkokemusta. Myös useat yliopistot Suomessa ovat viime vuosina alkaneet tarjota ohjaajakoulutusta. Koulutuksen laajuus vaihtelee parin tunnin koulutuksesta muu- taman opintopisteen kurssiin, räätälöitynä ohjaajien ja laitosten tarpeisiin. Kevyemmät mallit, kuten Helsingin yliopiston ja Tampe- reen yliopiston fysiikan ohjaajakoulutukset, nojaavat 2–3 tunnin koulutukseen lukukau- den tai lukuvuoden alussa (malli 1 yllä). Opintopisteitä on mahdollista tarjota vain, jos kurssi on opetussuunnitelmassa, kuten esimerkiksi Jyväskylän ja Itä-Suomen yli- opistoissa (malli 2 yllä).

Koulutus voi olla vaikea sovittaa opetusoh- jelmaan tavallisena kurssina. Pyyntö oh- jaustyöhön saattaa tulla opiskelijoille yllät- täen, jolloin koulutus on haastavaa mahdut- taan ohjaajien yhteisiin aikatauluihin. Jos opintopisteitä tarjotaan, määrä on yleensä pieni (yleensä 2 op) ja koulutuksen työmää- rä vastaavasti maltillinen.

Yliopiston näkökulmasta ohjaajakoulutuk- sella pyritään parantamaan opetuksen laatua ja sitouttamaan ohjaajia yhteisiin työtapoi- hin. Usein ohjaajien opetustapoihin vaikut- taan enemmän heidän omiin kokemuksiinsa perustuvat oppimiskuskomukset kuin tutkittu tieto. Koulutuksella on iso rooli opetusme- netelmien ja hyvien käytäntöjen jakamises- sa erityisesti tilanteessa, jossa ohjaaja itse on opiskellut toisessa yliopistossa. Koulu- tus auttaa laitosta tai yksikköä selventä-

mään pelisäännöt opetukseen käytettävästä ajasta, maksettavasta työstä, valmistelutyön määrästä ja yleisistä ohjaajiin kohdistuvista odotuksista.

Ohjaajien kouluttaminen on yksi askel yleisempään opetuksen kehittämiseen. Koulutuksessa voi esimerkiksi esitellä vaihtoehtoisia tapoja pitää laskuharjoitustilaisuuksia ja kannustaa opetuskokeiluihin. Esittelystä on kuitenkin hyötyä vain, jos laskuharjoitustilaisuuksien työtapoja ollaan myös valmiita muuttamaan; tällainen päätös on tietenkin kurssien vastuupettajien käsissä. Parhaimmillaan myös vastuupettajat oppivat ohjaajiltaan.

“Kun olen nähnyt kokeneemman ohjaajan ohjaavan, olen alkanut itsekkin miettiä, että hei, voisinko ehkä ottaa tuollaisen käyttöön!”

KOULUTUKSESTA HYÖTYVÄT KAIKKI

Kandidaattivaiheen opiskelijat ovat suuren osan opinnoistaan vuorovaikutuksessa nimenomaan ohjaajien kanssa, joten ohjaajakoulutuksella on suuri potentiaali opetuksen laadun parantamiseen. Se mahdollistaa opetuskulttuurin uudistamisen ja parhaimmillaan katkaisee opiskelijoita passivoivien opetusmenetelmien periytymisen sukupolvesta toiseen. Ohjaajakoulutus voi myös tukea vastuupettajien opetusta, jos he kurssiensa ohjaajien kautta altistuvat uudentilaiselle pedagogiikalle tai rohkaistuvat opetuskokeiluihin. Ohjaajakoulutuksen avulla voidaan myös tukea koulutusohjelman opetuksen linjakkuutta ja tasalaatuisuutta läpi eri kurssien.

Koulutukseen osallistuminen tarjoaa ohjaajille myös henkilökohtaista hyötyä. Se kasvattaa itsevarmuutta ja kykyä omien taitojen reflektointiin ja kehittämiseen. Lisäksi formaaliin ohjaajakoulutukseen osallistuminen voi olla eduksi esimerkiksi jatko-opintoihin, post doc -tehtäviin tai yliopiston ulkopuolisiin tehtäviin hakeuduttaessa.

Osaava ohjaaja on opiskelijalle muutakin kuin vastauspankki kysymyksiin. Hän on opiskelijalle keskustelukumppani sekä tuki ja turva – vähän enemmän kuin vertainen.

Tekstissä esiintyvät lainaukset ovat opiskelijoiden kommentteja ohjaajakoulutuksista.

SANKARITARINOITA

Keijo Kajantie

Heikki Oja: *Tähtitieteen sankareita — Newtonista nykypäivään* . Ursa ry, 2023

Tässä on Arkhimedeeseen lukijoille hauskaa ja hyödyllistä luettavaa. Tyyppiä vaikea lopettaa kun kerran on aloittanut. Heikki Oja kirjoittaa 42:sta tähtitieteen sankarista, suurten keksintöjen tekijästä, mutta kirja on yhtä hyvin kertomus maailmankuvamme kehityksestä. Newtonista lähtien käydään läpi tärkeimmät kehitysaskleet: maapallon liike havaitaan (Bradley), tähtien etäisyydet määrätään (Bessel), galaksien etäisyydet määrätään ja niiden loittoneminen havaitaan (Hubble), kosminen taustasäteily havaitaan (Penzias, Wilson) ja lopulta myös sen pienen pienet epätasaisuudet (Mather, Smoot) ja laajemisen kiihtyminen (Perlmutter, Schmidt, Riess) todennetaan. Moni muukin käänteentekevä edistysaskel henkilöidään sankariinsa.

Tuhti annos tiedettä ja siihen liittyvää henkilöhistoriaa. Sopisi hyvin alan tohtoriopintojen vaatimuksiin. Arvattavasti suuri osa on Arkhimedeeseen lukijoille pääpiirteittään tuttua, mutta tuskin suomalaisille tähtitieteen harrastajille yleensä. Heidän uskoisin innolla paneutuvan tähän kirjaan. Luettavuuden kannalta Ojan henkilölähtöinen lähestymistapa on erinomainen valinta. Löy-

töjen takaa ilmenee kaikenlaista inhimillistä toimintaa, suunnitelmallisuutta, sattumaa, kilpailua, epäonnistumista. Kaiken tämän Oja tarkasti käy läpi, perhesuhteita myöten. Kun tämä on sankaritarinoiden kokoelma jää tosin tieteen raaka arkipäivä syrjään.

Yksi selvä epäkohta sankarien historiassa on: naisia on kirjan 57 sankarista vain 5. Näistä Nobel-komitean hylkimät Jocelyn Bell (pulsarit) ja Vera Rubin (pimeä aine) ovat tunnettuja ja muuten hyvin palkittuja tapauksia, mutta Oja tuo esille muitakin huipputaso naisia: Andrea Ghez (Linnunradan musta aukko, fysiikan Nobel 2020), Jane Luu (kaukaiset asteroidit) ja Nancy Roman (Hubble-teleskoopin suunnittelu).

Kirjan 42 sankariryhmästä 14 ryhmää on fysiikan nobelisteja. Osoittaa tieteen yhtenäisyyttä, alan nimi voi erota vaikka asia on ihan samaa, miten asiat ovat luonnossa. Hawking on tähtitieteen sankari. mutta ei fysiikan nobelisti - kun ei sitä Hawkingin säteilyä ole havaittu. Tähtitieteen puolella ei aina ole fysiikan suunnalta tulleita ideoita hyväksytty. Musta aukko fysikaalisena objektina eikä pelkästään Einsteinin yhtälöi-

den erikoisena ratkaisuna ei pitkään ollenkaan kelvannut, nyt niitä on kosmos täynnä. Einsteinin yhtälöiden kosmologista vakiota vieläkin epäillään. Klassillinen esimerkki on myös Chandrasekharin yläraja valkoisen kääpiön massalle, jonka suuri tähtitieteilijä Eddington vuonna 1935 perusteellisesti haukkui virheelliseksi. Ja päättyi Ojan kirjan ainoaksi konnaksi. Mutta onhan fysiikan puolelta toki tullut myös paljon superideoita, jotka ovat syystä päättyneet historian roskakoriin.

Nobel-palkinto on noussut arvoon arvaamattomaan ja syystä tai toisesta syrjään joutuminen voi tuntua kohtuuttomalta. Ojalla on mielenkiintoinen lisä Nobel-komitean hairahduksiin. Palkintoa eksoplaneetoista ei olisi pitänyt myöntää Geneven yliopiston tutkijoille Mayor ja Queloz, vaan puolalaiselle Aleksander Wolszczanille. Hän kiistatta päätteli tekemistään tarkoista pulsarin aikahavainnoista, että sen ympärillä on yksi tai useampi pienempi kappale, siis planeetatunka. Löytö tehtiin kolme vuotta ennen geneveläisiä.

Huomiota herättävää on, että Newton on listattu sankariksi, mutta Einsteinia ei. Syyinä voisi olla se, että Einstein painii aivan omassa superraskaassa sarjassaan kaikkien muiden sankarien yläpuolella. Ja onhan Einsteinista jo paljon kirjoitettu. Oja tosin kertoo, että Einstein on poissa koska hän on niin surkea tähtitieteilijä, on vain fysiikan sankari. Yhtä vanhaa sankaria olisin kaivannut: Erathostenes määräsi maapallon koon nerokkaalla menetelmällä jo 2200 vuotta sitten. Työ taisi olla enemmänkin perustutkimusta eikä sitä osattu hyödyntää kun ei ymmärretty, että kyseessä oli pla-

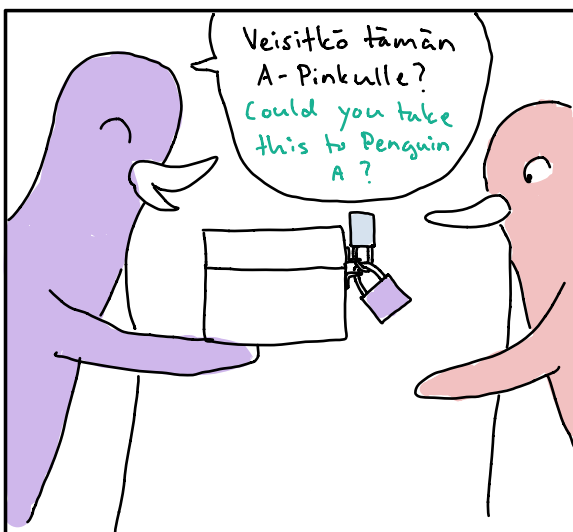
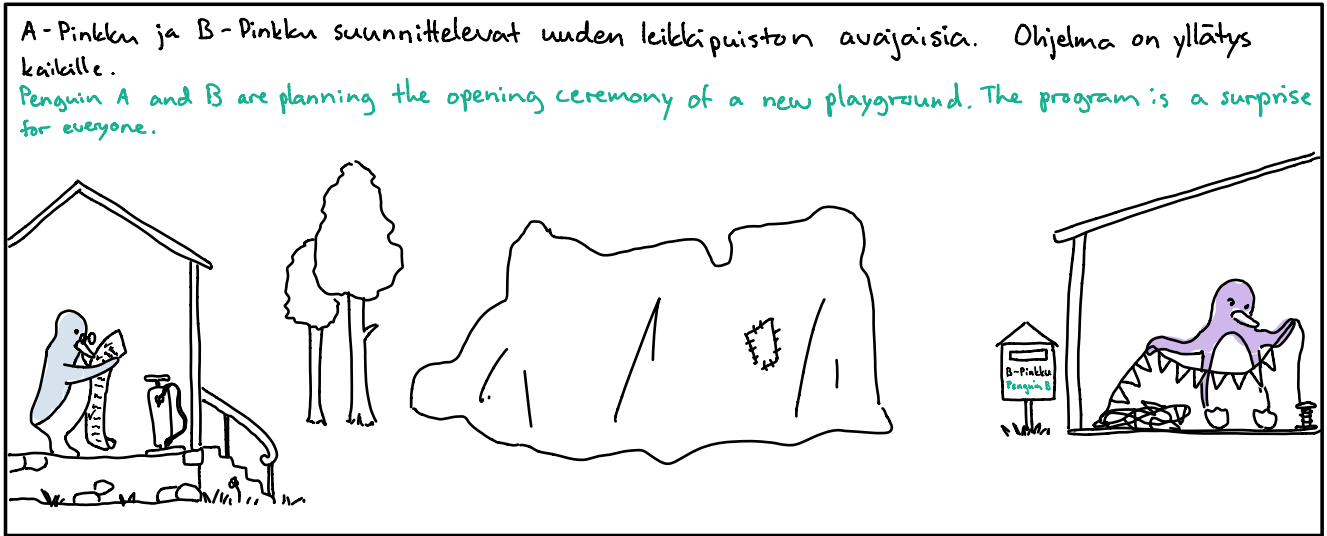
neettatieteen alku. Ja henkilöhistoria olisi ollut enemmän faktaa kuin fiktiota.

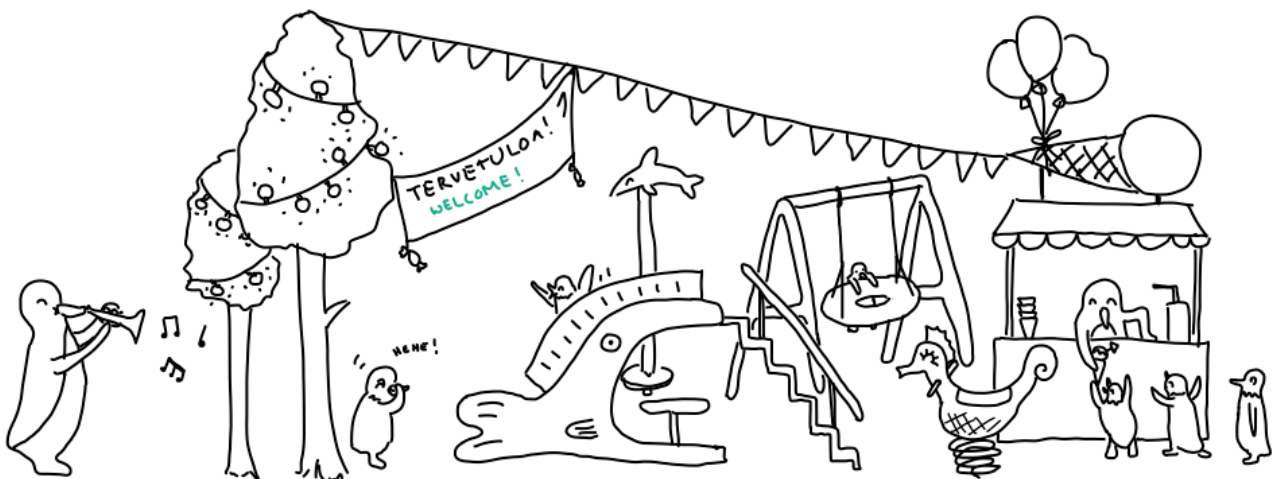
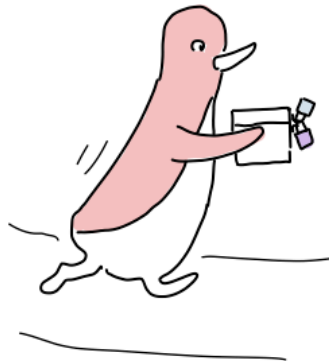
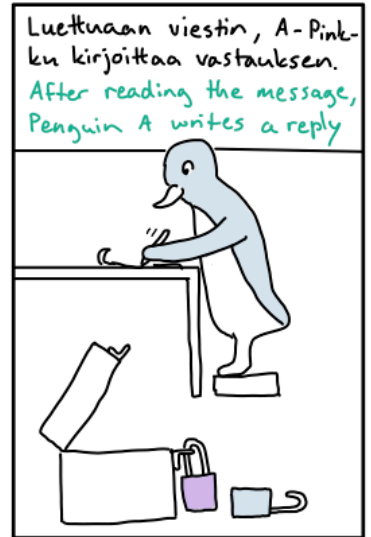
Jos henkilötarinat alkavat kiinnostaa, kannattaa lukea American Institute of Physicsin haastattelujen sarjasta mitä henkilöt itse ovat kertoneet elämästään. Ojan innostamana luin sieltä Gamowin ja Peeblesin tarinat. Verkkolinkki Gamowin tarinaan on <https://www.aip.org/history-programs/niels-bohr-library/oral-histories/4325> Ei ollut Gamow mikään turha mies 30-luvun Stalinin Neuvostoliitossa, kun pääsi Kremlisiin keskustelemaan Molotovin kanssa vaimon viemistä ulkomaan matkalle

Minkähänlainen on sankariluettelo 50 vuoden päästä? Jokohan joku sankari on keksinyt mitä on pimeä aine? Sitä on ainakin tähtimaailma täynnä.

PIKKU-PINKKU © P. Karanko

Diffie-Hellman ~~avainten~~ lukkojen vaihto Diffie-Hellman ~~Key~~ Lock Exchange





KUKA ON P. KARANKO?

“Olen Pihla Karanko, tohtorikoulutettava kryptografiasta Aalto-yliopistosta. Kryptografia on tietojenkäsittelytieteen ja matematiikan välimaastoon kuuluva tiede, joka tutkii kaikenlaisiin salauksiin liittyvää matematiikkaa.”

...JA KUKA ON PIKKU-PINKKU?

“Olen lapsesta asti piirtänyt pinkku-sarjakuvia ja nyt olen päätenyt käyttämään sarjakuvaa välineenä selittää kryptografisia konsepteja, alkuun vain hovin vuoksi henkilökohtaisessa blogissani (pikku-pinkku.blogspot.com) ja myöhemmin pinkkuni ovat esiintyneet myös Aallon kryptografian peruskurssilla ja seminaariesitelmissäni.”