

{MAL}

LEHTI 3-2025

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLISTEN ALOJEN AKATEEMISET

190000



Emergenssi osoittaa tietojemme
rajallisuutta matematiikassa ja fysiikassa

Matematiikka ja luonnontieteet
osaamisen kehittämisen ytimessä



Onko mielessäsi hyvä jutun aihe?
Muistissa hauska tai haastava työjuttu?
Oletko lukenut mielenkiintoisen kirjan,
joka kiinnostaisi kenties myös kollegoita?

**Kirjoita tai ideoi
juttu MAL-lehteen!**

Lehteen tarvitaan eri pituisia ja eri aiheisia kirjoituksia jatkuvasti ja kaikenlaiset alaa sivuavat jutunaiheet ovat tervetulleita!

Tartu kynään ja kirjoita lehteemme artikkeli haluamastasi aiheesta. Jutun pituus 2500-6000 merkkiä ja lisäksi kuva/kuvia mahdollisuuksien mukaan.

Erityisesti toivomme saavamme uratarinoita, mutta myös aivan vapaamuotoiset muut kirjoitukset sopivat lehteemme.

Kirjoittamasi artikkelin voit lähettää lehtemme päätoimittajalle **Suvi Lahdenmäelle** (suvi.lahdenmaki@gmail.com) ja/tai MALin tiedottajalle Ilkka Norrokselle (tiedottaja@mal-liitto.fi).

Jos et itse halua kirjoittaa artikkelia, mutta sinulla on kiinnostava aihe, niin senkin voi lähettää edellä mainituille henkilöille. Etsimme sitten sopivan kirjoittajan. •



{MAL} 3-2025

Emergenssi osoittaa tietojemme rajallisuutta matematiikassa ja fysiikassa	4
Gustaf Hällström 250 v	7
Einstein, Weber ja LIGO: gravitaatioaaltojen tarina	8
Pohjoismaista kvanttiteknologiayhteistyötä terästettiin Tukholmassa	11
Matematiikka ja luonnontieteet osaamisen kehittämisen ytimessä	12
Alihankintamessut 2025 ja Teknologiamessut 2025	14
MAOLin syntyhistoriasta ja perustamisesta 1935	16
MALin gradupalkinto Miika Manulle Jyväskylään	17
Merja Korpela in memoriam	18
MAL:n syyspäivät 2025 Jyväskylässä: katsaus monitieteiseen tutkimukseen	19
Gradujen aiheita vuonna 2024	20
Kylmäfuusion lämpimät lupaukset	23

Kannen kuva: Härkää sarvista -kirja



PUHEENJOHTAJA



Matematiikan ja luonnontieteiden soveltamisella joustavuutta energiajärjestelmiin

Suomen energiajärjestelmän ongelmat maamme välttämättömän energiantarpeen huolehtijana riippuu voimakkaasti sääolosuhteista. Ongelmat korostuivat alkuvuoden 2024 aikana pitkään vallinneen erittäin kylmän sään vuoksi. Suomen leveysasteilla kesän ja talven väliset erot vaativat monipuolisia energiaratkaisuja. Vihreää sähköä tuotetaan jo ylimäärin kesällä, mutta silti se ei riitä talven pakkasilla. Akut ja pumppuvoimalat ovat nimenomaan lyhytaikaista säästövoimaa, joka ei riitä vuodenaikojen välisten erojen hallintaan. Talven pakkasjaksot ovat tässä vaikeimpia. Alkuvuoden 2024 pakkasjaksot osoittivat, että huolimatta suurista sähkön säästöistä sähkömarkkinat eivät pystyneet hoitamaan tilannetta, kun tuulivoimaa ei juuri ollut. Sähkön puute taas johti pörssisähkön rajuihin hintavaihteluihin.

Ydinvoimaloiden lisärakentamisella voitaisiin hoitaa talviolosuhteet, mutta kesällä talvelle suunniteltu kapasiteetti on turhan suuri. Varastointi lämpönä on välttämätöntä ja siihen olisi järkevää liittää myös aurinko- ja geotermistä lämpöä sekä CHP-tuotantoa. Pienydinvoimaloita joutuu vielä odottelemaan. Vihreästä sähköstäkin seuraa haittoja luonnolle: aurinkopaneelit, tuulivoimalat ja erityisesti siirtolinjat vievät metsää pois muusta käytöstä ja heikentävät ratkaisua hiilen kiertokulun varmistamiseen. Lämmön käytön tehostaminen vapauttaa sähkön siirtokapasiteettia.

Prosessiteollisuudesta saatava hiilidioksidi voidaan käyttää sähköisten polttoaineiden ja monien erilaisten hiiltä sisältävien tuotteiden valmistamiseen yhdessä vedyn kanssa. Vedyn tuotannosta tulee merkittävästi lämpöä, jota voidaan aurinkolämmön ja geotermisen lämmön kanssa viedä kaukolämpöön ja teolliseen käyttöön. Syntyvä happi soveltuu sellun valkaisuun. Vedyn käyttäminen sopii siten paikallisesti hyvin monipuoliseen integroituun tuotantoon. Integroinnin avulla voidaan vähentää myös tarvetta vihreän sähkön ja vedyn siirtämiseen.

Integroitujen toteutuksien suunnittelussa ja hallinnassa tarvitaan matematiikkaa ja luonnontieteitä.

• Esko Juuso

PÄÄTOIMITTAJA



Ydinkysymysten äärellä

TV:stä tuli jälleen uusintana **Christopher Nolanin** ohjaama *Interstellar* (2014) ja jumituin sen ääreen ties kuinka monetta kertaa. Elokvassa on mielestäni kiehtova teema, upea käsikirjoitus ja onnistunut näyttelijäntyö, musiikki ja visuaalinen toteutus. Scifi eli Science fiction on saanut alkunsa tieteiskirjallisuudelta. Se sijoittuu usein johonkin kaukaiseen maahan tai aikaan, eri galakseihin tai tulevaisuuteen, henkilöihin kuuluu tiedemiehiä ja kyborgeja, ja siinä tuodaan esiin joko utopistinen tai useimmiten dystooppinen maailma.

Interstellar alkaa 2000-luvun puolivälin paikkeilta. Maapallo on vähitellen muuttamassa elinkelvottomaksi. Ryhmä avaruusmatkaajia lähetetään Saturnuksen lähellä olevan madonreiän läpi toiseen galaksiin, jotta he löytäisivät ihmiskunnalle uuden kodin. Päähenkilö Cooper jättää lapsensa ja lähtee ryhmän mukana matkalle luvaten palata mahdollisimman pian. Matkalla tietenkin tulee vastaan haaste toisensa jälkeen, ja koska aika kuluu eri planeetoilla eri tahtiin, lyhyt hetki on maapallon ajassa vuosia ja vuosikymmeniä. Cooper ei pysty pitämään lupaustaan ja lopulta selviää, että koko tutkimusmatkan tarkoitus on pimitetty myös matkaan lähteneiltä.

Tästä päästäänkin elokuvan ydinkysymysten ääreen: antaako hyvä tarkoitus luvan toimia väärin tai valehdella? Onko ihmiskunnan pelastaminen tärkeämpää kuin yksilön elämä? Ja onko rakkaus sittenkin se suurin voima?

Kaiken filosofisen pohdinnan ja tunteisiin vetoavan näyttelijäntyön lisäksi elokuva vyöryttää tietoa suhteellisuusteoriasta, tapahtumahorisontista ja päällekkäisistä ulottuvuuksista.

Scifi onkin parhaimmillaan loistava väline tutkia tavallisia ja ikiaikaisia ihmiselämän kysymyksiä ja samalla tarjota viihdettä, seikkailua ja suuria tunteita. Ei ihme, että se on suosittu genre.

Syksyn MAL-lehdessä asiaa mm. gravitaatioaalloista ja emergenssistä. Lisäksi saamme lukea mm. MAOL:n synnystä ja siitä, kuka oli **Gustaf Hällström**, jonka mukaan on nimetty katu Kumpulan kampukselle.

Hyviä lukuhetkiä ja vuoden loppua!

Syksyn pimeydessä on hyvää aikaa käydä elokuvissa tai lukea vaikka tieteiskirjaa!

• Suvi Lahdenmäki

Emergenssi osoittaa tietojemme rajallisuutta matematiikassa ja fysiikassa

Systeemi- eli järjestelmäajattelu on tieteidenvälistä ajattelua, joka perustuu luonnontieteissä ja tekniikassa tuttuun järjestelmän käsitteeseen. Järjestelmä koostuu sen osista ja niiden välisistä suhteista, esim. fysiikassa sähkömagneettisista tai gravitaatiovoimista. Kun alamme pohtia mekanismin ja organismin välisiä eroja, lähestymme hyvin nopeasti matemaattisten ja fysikaalisten tietojemme rajoja. Ongelma on tullut ajankohtaiseksi tekoälyn kehittymisen vuoksi. Tekoäly on esimerkki mekanismista, mistä seuraa joukko perustavanlaatuisia rajoituksia, joita organismilla ei ole, ja joista ei useinkaan puhuta kirjallisuudessa.

Johdanto

Emergenssiä ei ymmärretä hyvin, vaikka luonto näyttää käyttävän sitä vaivattomasti. Esimerkkejä emergenssistä ovat elämä ja tietoisuus. Ne koettelevat tietojemme rajoja matematiikassa ja luonnontieteissä. Pyrin selittämään, miksi emergenssi on niin vaikea asia meille ihmisille.

Emergenssi on hierarkkisessa järjestelmässä syntyvä odottamaton ominaisuus tai käyttäytyminen, kun siirrytään alemmalta hierarkiatasolta ylemmälle tasolle. Ylemmän tason käyttäytymistä ei aina voida ennustaa alemman tason käyttäytymisestä. Emergenssissä ei ole varsinaisesti mitään salaperäistä. Järjestelmän kompleksisuus vaikeuttaa intuitiivista ymmärrystämme, eivätkä matemaattiset työkalumme hallitse emergenssiä, mikä näkyy laskennallisena vaikeutena (intractability).

Emergenssi voi olla joko positiivista tai negatiivista. Positiivinen emergenssi tuottaa hyödyllisiä uusia järjestelmäfunktioita, mutta negatiivinen emergenssi johtaa järjestelmän vikaantumiseen kuten epävakautteen ja jopa kaaokseen. Tekniikassa negatiivinen emergenssi vältetään järjestelmäsuunnittelulla.

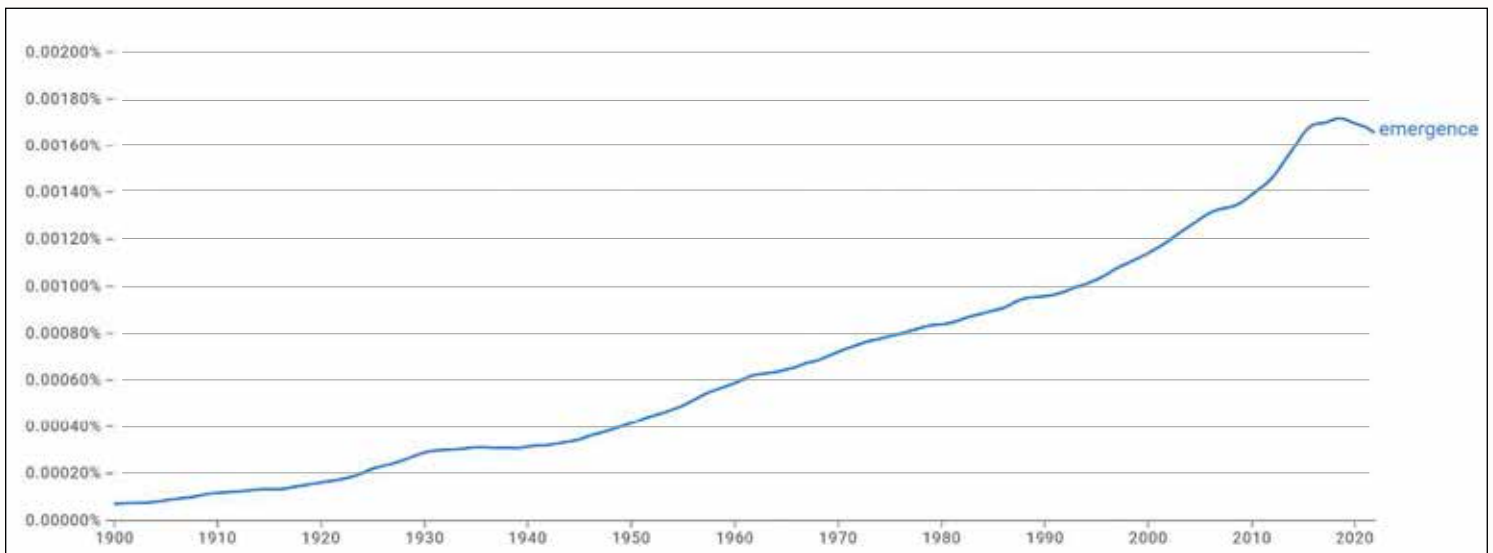
Automaation kehityksen uusin aste on neuroverkkoihin perustuva kone- eli tekoäly, joka ylittää ihmisen kyvykkyyden tiedonhankinnassa suuren muistinsa ja laskentanopeutensa vuoksi mutta suuren energiankulutuksen ja tilankäytön kustannuksella. Tekoäly käyttää hyväksi ihmisen tuottamaa aineistoa, tekstiä, kuvia ja videoita. Tekoäly on pohjimmiltaan vain kone eikä elävä organismi, jolle emergentit ilmiöt ovat tunnusomaisia. On tärkeää erottaa toisistaan koneiden pohjalla olevat elottomat mekanismit ja elävät organismit.

Järjestelmän osien väliset suhteet ovat tavallisesti staattisia eli muuttumattomia, mutta ne voivat muuttua itseorganisoiutuvissa järjestelmissä. Yksinkertainen itseorganisoiutuva järjestelmä on adaptiivinen suodatin, koska sen painokertoimia eli parametreja muutetaan adaptiivisella, usein takaisinkytketyllä algoritmilla. Painokertoimet määrittävät osien väliset suhteet. Kun ne muuttuvat, analyysi tulee usein vaikeaksi. Suodatin-esimerkissä painokertoimien seuraava arvo riippuu paitisi niiden nykyisestä arvosta myös suodattimen muistissa olevista muuttujista eli suodatettavasta datasta.

Emergenssiin liittyvä keskeinen käsite on takaisinkytkentä (feedback, arkikielessä palaute), jossa toistuu rakenne sensorointi-päätöksenteko-ohjaus. Ohjauksen aiheuttamia muutoksia sensoroidaan eli havainnoidaan ja tehdään uusi ohjauspäätös. Emergenssi johtaa laskennallisesti vaikeaan ongelmaan, joka syntyy usein epälineaarisuudesta ja toisiinsa vaikuttavista takaisinkytketyistä silmukoista. Joillakin ilmiöillä voi olla useita samanaikaisia syitä, joiden analyysi on todettu melkein mahdottomaksi **Isaac Newtonin** (1687) ajoista lähtien. Monisyisyys on tyypillistä biologisissa ja sosiaalisissa järjestelmissä mutta myös monissa



Aarne Mämmelä toimi VTT:n tutkimusprofessorina Oulussa, mistä hän eläköityi toissa vuonna. Radiotekniikan tutkimuksen ohella Mämmelä on pohtinut paljon myös järjestelmien yleisen tason kysymyksiä ja luennoinut Oulun yliopistossa systeemijattelun kursseja. Tähän aihepiiriin liittyy hänen viime keväänä Springeriltä ilmestynyt kirjansa *Unifying Systems: Information, Feedback, and Self-Organization*. MAL-lehdessä häneltä on aiemmin ilmestynyt artikkeli *Mooren laki ei ole luonnonlaki* (M-L 3/2023).



Kuva 1. Emergenssikäsitteen suosion kehittyminen kirjoissa. Prosenttiluvut kertovat kuinka usein sana emergenssi (emergence) esiintyy eri vuosina (© Google Books Ngram Viewer).

fysikaalisissa järjestelmissä. Emergenteille ilmiöille ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyjä tieteellisiä teorioita, ja useimmat tutkijat jättävät emergenssin filosofien vastuulle. Emergenttien ongelmien pohtimista voidaan pitää joskus jopa näennäistieteenä. Silti ne ovat todellisia ilmiöitä.

Luonnossa esiintyviä esimerkkejä emergenssistä ovat aineen, energian, elämän ja tietoisuuden alkuperä. Tietoisuuteen sisältyvät aistiminen, tunteet, vapaa tahto ja ajattelu, joka ei ole vain loogista päättelyä eli deduktiota vaan sisältää mm. semantiikan eli merkityksen ymmärtämisen. Aivoissamme on kuva maailmasta ja ymmärrämme sanojen merkityksen tuossa maailmassa. Koneelle merkityksen eli symbolin (esim. sanan) ja todellisuuden yhteyden ymmärtäminen on vaikea viitekehysongelma. Yksi biologian emergentti ilmiö on toiminnallinen neurologinen häiriö, jota ei voida selittää elimellisellä sairaudella, ja koululääketieteen mahdollisuudet ovat rajallisia, vaikka oireet ovat potilaan näkökulmasta hyvin todellisia.

Emergenssin lyhyt historia

Sana emergenssi tulee latinan sanasta emergere, 'nousta ylös'. Merkitys 'ennakoimaton tapahtuma' on 1600-luvulta. **Aristoteles** (n. 300 eaa.) huomasi, että kokonaisuus on enemmän kuin osiensa summa. Tieteellisessä yhteydessä **John Stuart Mill** (1843) ja **Thomas H. Huxley** (1868) huomasivat ilmiön, ja **George Henry Lewes** (1875) alkoi käyttää emergenssi-termiä. **C. Lloyd Morgan** (1894) oli ensimmäinen, joka ymmärsi käsitteen suuren merkityksen. Myöhemmin Morgan (1923) ja **Charlie Dunbar Broad** (1923) pohtivat sitä tarkemmin. Emergenssin käsite ei esiinny useinkaan tekniikan kirjallisuudessa, vaikka se on jo noin 250 vuotta vanha käsite (kuva 1).

Emergenssi ja termodynamiikan toinen pääsääntö

Termodynamiikassa järjestelmän osilla (esim. molekyyleillä) on klassisessa fysiikassa paitsi kineettistä energiaa myös potentiaalienergiaa sähköisten ja gravitaatiovoimien vuoksi. Termodynamiikan toisella pääsäännöllä on kolme muotoa riippuen siitä, onko järjestelmä eristetty, suljettu vai avoin. Eristetty järjestelmä ei vaihda ympäristönsä kanssa ainetta eikä energiaa. Suljettu järjestelmä vaihtaa ympäristönsä kanssa energiaa, mutta ei ainetta, ja avoin järjestelmä vaihtaa molempia. Fysiikassa tarkastellaan melkein aina vain eristettyjä järjestelmiä, vaikka todelliset järjestelmät ovat usein suljettuja tai avoimia. Biologiset elävät järjestelmät ovat avoimia.

Eristetyissä järjestelmissä on voimassa entropialaki, jonka mukaan epäjärjestys ei koskaan vähene vaan joko lisääntyy tai pysyy samana. Laki on voimassa vain, jos osien välillä ei ole voimia (riippuvuuksia), joita on vaikea analysoida. Osien väliset törmäykset oletetaan usein kimmoisiksi analyysin helpottamiseksi, sillä energia säilyy kimmoisissa törmäyksissä. Yleensä vain entropialaki esitetään oppikirjoissa toisen pääsäännön muotona, ja sen oletetaan usein olevan yleispätevämpi kuin se onkaan. Elämää ei voi syntyä eristetyssä järjestelmässä, jossa entropia lisääntyy, sillä elämän synty merkitsee järjestyksen kasvua.

Energian minimointiperiaate on termodynamiikan toisen pääsäännön muoto suljetuille järjestelmille. Monet luonnon järjestelmät minimoivat potentiaalienergiansa. Vapautuva energia muuttuu toiseen muotoon, esim. lämmöksi tai säteilyksi ja siirtyy ympäristöön. Kyseessä on yksi itseorganisoitumisen muoto. Esimerkkejä ovat pallo kulhossa ja kemiallisten molekyylin muodostuminen atomien välisten sidosten vuoksi.

Useat samanaikaiset voimat johtavat vaikeisiin ongelmiin monisyisyyden vuoksi. Fysiikassa $n:n$ kappaleen eli massan järjestelmä ($n > 2$) on usein dynaaminen eli muuttuva ja kaoottinen, jollei kappaleitten välillä ole

massahierarkiaa kuten aurinkokuntamme auringon, planeettojen ja kuiden välillä on. Aurinkokuntamme on hyvin vakaa johtuen massahierarkiasta. **Henri Poincaré** (1890) osoitti, että $n:n$ kappaleen ongelma on yleensä laskennallisesti vaikea.

Kemiassa emme pysty yleensä ennustamaan kompleksisen orgaanisen molekyylin rakennetta, vaikka rakenne on staattinen, ja tunnemme kaikki molekyylin atomit. Hallittavana voi olla tuhansia voimia. Yksinkertaisten molekyylin, esim. vesimolekyylin rakenne hallitaan hyvin. Epälineaariset monisyiset vuorovaikutukset aiheuttavat laskennallisen vaikeuden. Kysymys on yhdestä takaisinkytkennän muodosta massojen tai molekyylin välillä. Epälineaarisuus syntyy siitä, että voimat ovat kääntäen verrannollisia etäisyyden neliöön.

Tunnettu elämä ja tietoisuus syntyvät vain luonnon menetelmällä. Vain hiiliatomi voi muodostaa kompleksisia orgaanisia molekyylejä vahvoilla kovalenttisilla sidoksillaan. Esim. elektroniikassa käytetty piiatomi ei voi tiettävästi olla elämän perusta, koska sen sidokset eivät ole riittävän vahvoja, eikä kompleksisia molekyylejä synny. Piillä toteutetut rakenteet ovat epäorgaanisia mekanismeja. Koska tekoäly perustuu piihin, sillä ei voi olla elämää, tietoisuutta eikä ymmärrystä ja siksi se tekee toisinaan outoja virheitä. Hiili on poikkeuksellinen alkuaine kemian jaksollisessa järjestelmässä omassa ryhmässään ylimpänä. Vahvat sidokset johtuvat atomin pienuudesta. Pii on heti hiilen alapuolella.

Avoimen järjestelmän käsittelyssä tarvitaan **Ilya Prigoginen** (1955) tutkima epätasapainoista termodynamiikkaa, jossa järjestelmä on kaukana tasapainosta. Järjestelmässä kulutetaan sen ulkopuolelta tulevaa ainetta ja energiaa. Epätasapainoista termodynamiikkaa edustaa pyörre, joka syntyy, kun vettä täynnä olevan ammeen tulppa irrotetaan. Energia tulee gravitaatiosta. Elävät solut ovat aineenvaihdunnallisia pyörteitä. Muita esimerkkejä epätasapainoisista järjestelmistä ovat auringon energian ylläpitämät biosfäärin vesi-, typpi- ja hiilikerrot, jotka ovat elämän välttämät-

tömiä edellytyksiä. Epätasapainoista termodynamiikkaa on sovellettu paitsi biologiaan myös kompleksisuus-taloustieteeseen.

Laskennallinen kompleksisuus

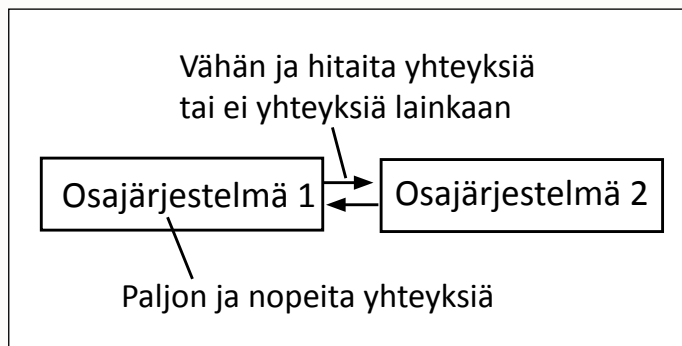
Laskennallinen kompleksisuus riippuu ongelman koosta, esim. verkon solmujen lukumäärästä n . Vain ongelmat, joiden kompleksisuus voidaan esittää polynomina kuten esim. n^2 ovat ratkeavia (tractable) ongelmia. On olemassa tuhansia ongelmia, joiden kompleksisuus on tiettävästi eksponentiaalinen kuten esim. 2^n . Niistä kaikki ovat esimerkkejä toteutuvuusongelmasta (satisfiability problem). Sellaiset ongelmat ovat laskennallisesti vaikeita, kun niiden koko on suuri. Jos meillä on esim. todistettavana $n:n$ väitteen joukko, ei riitä, että jokainen väite on yksinään tosi, vaan myös väitejoukon kaikkien mahdollisten osajoukkojen on oltava tosia, ja tutkittavia osajoukkoja on $2^n - 1$, sillä tyhjää osajoukkoa ei tarvitse ottaa huomioon. Toteutuvuusongelman kompleksisuus on siis eksponentiaalinen. **Richard E. Bellman** (1957) kutsui eksponentiaalista kompleksisuutta ulottuvuuden kiroukseksi, koska se syntyy moniulotteisissa ongelmissa ja johtaa käsittämättömään kompleksisuuteen suhteellisen pienellä ongelman koolla.

Esimerkkejä kompleksisista ongelmista ovat myös kauppamatkustaja- ja reppuongelma. Kauppamatkustajaongelmassa etsitään lyhin mahdollinen reitti, jota pitkin kauppamatkustaja kulkee kaikkien solmupisteiden (esim. kaupunkien) kautta tasan kerran ja palaa lähtöpisteeseen. Reppuongelmassa reppuun pyritään valitsemaan joukko esineitä niin, että niiden yhteenlaskettu arvo maksimoituu ilman, että sallittu painoraja ylitetään.

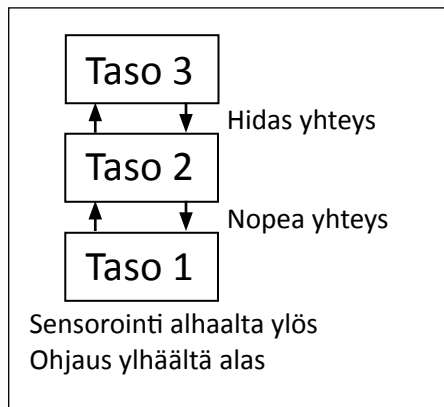
Eksponentiaalisen ongelman ratkaisemiseen kuluva aika on äärellinen, mutta laskentaongelma on vaikea. **Larry J. Stockmeyer** ja **Albert R. Meyer** (1974, 2002) pohtivat universumin käyttöä laskentatehtävissä, kun ongelman kompleksisuus on eksponentiaalinen. Matematiikassa luku 10^{100} on nimetty googoliksi. **Edvard Kasner** (1940) piti nimeämäänsä lukua googol käsittämättömän suurena. **Walter Elsasser** (1987) määritteli lukua 10^{100} suuremmat luvut valtaviksi (immense). Jos joku tehtävä vaatii valtavan määrän vaiheita, sitä ei voida käytännössä suorittaa, vaikka laskentaan käytettäisiin koko universumia ja aikaa olisi koko universumin kesto aika. Jos tehtävän kompleksisuus on 2^n , se on valtavan suuri, jos $n > 332$, joka on suhteellisen pieni luku. Laskennallisesti vaikeita ongelmia voidaan ratkaista käyttämällä heuristikkaa ja muita approksimaatioita. Heuristikka on yksi intuition muoto, joka perustuu usein odottamattomiin keksintöihin käyttäen esim. yrityksen ja erehdyksen menetelmää, takaisinkytkentää, peukalosääntöjä ja arvauksia.

Insinööriratkaisu negatiivisen emergenssin välttämiseksi

Hierarkkisessa säätöjärjestelmässä ympäristön tilaa ilmaisevat sensorointisignaalit etenevät alhaalta ylös-



Kuva 2. Horisontaalinen löyhä kytkeytyminen eri hierarkiatasoilla (© IEEE).



Kuva 3: Vertikaalinen löyhä kytkeytyminen hierarkiassa (© IEEE).

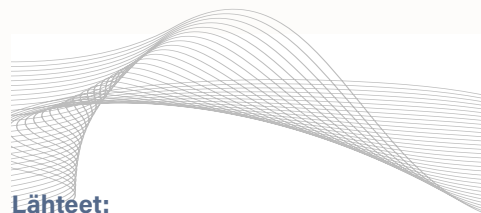
päin ja ohjaussignaalit ylhäältä alaspäin muodostaen päätöksenteon kanssa takaisinkytkentäsilukan. Signaalit voivat vaikuttaa toisiinsa aiheuttaen helposti järjestelmään epävakautta. Jos ne ovat keskenään löyhästi kytkeytyviä, epävakausongelma voidaan välttää. Löyhä kytkeytyminen on käytössä myös sosiaalisissa organisaatioissa läheisyysperiaatteen muodossa: päätökset tehdään lähellä ihmisiä ja yleinen ylhäältä tuleva ohjaus on mahdollisimman löyhää.

Monimutkainen järjestelmä jaetaan hierarkkisiin tasoihin ja kullakin hierarkiatasolla alijärjestelmiin eli moduuleihin. Samalla hierarkiatasolla olevien alijärjestelmien pitää olla löyhästi kytkeytyneitä (kuva 2). Tätä kutsutaan horisontaaliseksi eli vaakasuuntaiseksi löyhäksi kytkeytymiseksi. Silloin osajärjestelmien välillä on vain muutamia hitaita yhteyksiä tai ei mitään yhteyttä, jolloin niiden välillä ei ole mitään häiriötä.

Hierarkiatasojen pitää olla löyhästi kytkeytyneitä käyttäen aikaskaalojen erotelua (kuva 3). Tätä kutsutaan vertikaaliseksi eli pystysuuntaiseksi löyhäksi kytkeytymiseksi. Aurinkokuntamme massahierarkia voidaan pitää löyhän vertikaalisen kytkeytymisen muotona, josta seuraa aurinkokuntamme vakaus, mikä on ollut yksi edellytys elämän synnylle. Aurinkokunta on ikään kuin joukko toisiinsa löyhästi kytkeytyneitä kahden kappaleen ongelmia, ja epävakaus ja kaoottisuus voidaan välttää. Fysikaalinen evoluutio on johtanut tähän, sillä epävakaut aurinkokunnat ovat joko hajonneet tai eivät voi synnyttää elämää.

Johtopäätökset

Emergenssi on odottamaton mutta todellinen ilmiö siirryttäessä kompleksisen järjestelmien hierarkiassa ylöspäin. Se on laskennallisesti vaikea ongelma, jolla on eksponentiaalinen kompleksisuus. Esim. toteutuvuusongelman kompleksisuus on eksponentiaalinen. Emergenssi syntyy epälineaarisista, usein monisyisyydestä ja dynaamisista riippuvuuksista (takaisinkytkentäsilmoista) järjestelmän osien välillä. Emergenssi ja itseorganisointi ovat käsitteellisesti eri asioita, mutta tyypilliset emergenssiä synnyttävät järjestelmät ovat itseorganisoituvia. Epätoivottu negatiivinen emergenssi (epävakaus tai kaaos) vältetään käyttäen vertikaalista ja horisontaalista löyhää kytkeytymistä hierarkiatasojen ja saman hierarkiatason osajärjestelmien välillä. Kompleksisten ongelmien (esim. toteutuvuusongelman) ratkaisemiseksi on käytännössä käytettävä approksimaatioita, koska laskentaan on käytettävissä äärellinen tila ja aika. Elämä ja tietoisuus ovat emergenssin muotoja, ja tekoälyn virheet ja hallusinaatio johtuvat siitä, ettei tekoälyllä ole ihmisen kaltaista ymmärrystä, mihin tarvittaisiin elävän olennon tietoisuus. •



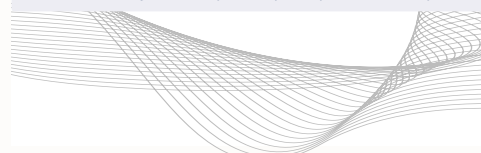
Lähteet:

Emergenssi, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Emergenssi>.

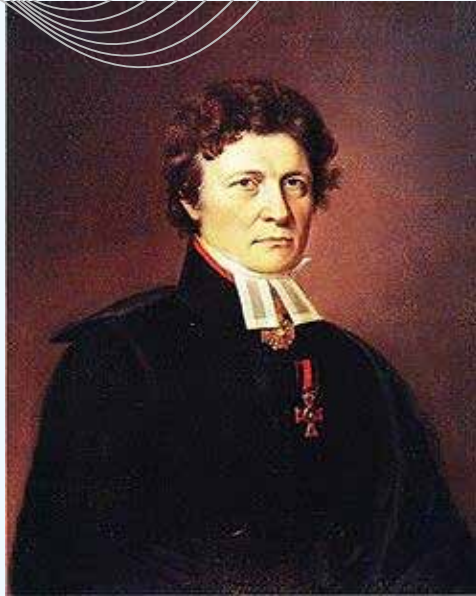
D. T. Jacob. *There is no silicon-based life in the solar system*. Silicon, vol. 8, s. 175-176, 2016, <https://doi.org/10.1007/s12633-014-9270-7>.

A. Mämmelä. *Unifying Systems: Information, Feedback, and Self-Organization*. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2025.

S. L. Price. *Predicting crystal structures of organic compounds*. Chemical Society Reviews, vol. 43, no. 7, s. 2098-2111, 2014.



Gustaf Hällström 250 v



Helsingin yliopiston Physicum-rakennuksen osoite on Gustaf Hällströmkatu 2. Lokakuussa järjestetty seminaari ”Gustaf Gabriel Hällström 250 vuotta – Autonomian alkuaika, tieteen historia ja virkamiesaateli” osoitti, että kampuksen kadunnimen valintaan oli hyvät syyt. Turun akatemian fysiikan professoriksi 25-vuotiaana nimitetty Hällström (25.11.1775 – 2.6.1844) oli merkittävä niin fyysikkona kuin laaja-alaisena vaikuttajana Suomen tieteen nousussa 1800-luvun alkupuolella.

Hällströmin sukutausta oli 1800-luvun tiedemiehillemme varsin yleinen: ensin talonpoikaisperheen vesa lähtee kotiseudultaan opintielle Turun yliopistoon ja päätyy papiksi, ja sitten, yhtä tai useampaa sukupolvea myöhemmin, pappisperheen nuori luo uransa jollain muulla tieteenalalla. Hällström teki molemmat: väitelti tohtoriksi fysiikassa, mutta myös vihittiin papiksi, vaikkei jälkimmäistä tointa varsinaisesti hoitanutkaan.

Hällströmin elämäkertaa valmistelevalle dos. **Johan Sten** luonnehti tämän tieteellisiä tuloksia kansainvälisesti ajankohtaisiksi ja merkittäviksi. Hällström oli hyvin perillä tieteen eturintamasta, tunnisti mie-

lenkiintoisia kysymyksiä ja tutki niitä kekseliäillä koeasetelmilla ja näiden terävällä analysoimisella. Hänen tunnetuin tuloksena oli veden suurimman tiheyden lämpötilan tarkka paikantaminen vajaaseen 4 asteeseen. Merkittäviä olivat myös tutkimukset niinkin erilaisista aihepiireistä kuin maan noususta Merenkurkussa, jäähtymistrendistä jääänlähdon aikasarjoissa, akustikasta ja tähtitieteestä.

Tilastotieteen professorit **Pekka Pere** ja **Jukka Nyblom** valaisivat, miksi Hällström luetaan myös suomalaisen tilastotieteen uranuurtajiin. Hän oli näet pioneereja oleellisen tiedon löytämisessä mittausdatasta käyttämällä pitkiä mittausarjoja ja satunnaisten poikkeamien suodattamista pienimmän neliösumman menetelmällä. Legendre oli julkaissut menetelmän klassisen esityksen vain muutamaa vuotta aiemmin kuin Hällström sitä jo sovelsi. •

Viite: www.finlit.fi/ajankohtaista/tapahtumat/gustaf-gabriel-hallstrom-250-vuotta-autonomian-alkuaika-tieteen-historia-ja-virkamiesaateli



Einstein, Weber ja LIGO: gravitaatioaaltojen tarina

Einstein epäili itse aaltojensa todellisuutta, Weber väitti kuulleensa ne, ja LIGO lopulta todisti ne. Gravitaatioaaltojen historia on kertomus sinnikkydestä, epäilyistä ja tieteellisistä läpimurroista.

Kymmenen vuotta sitten avautui uusi ikkuna maailmankaikkeuteen. LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) havaitsi 14. syyskuuta 2015 ensimmäistä kertaa historiassa yleisen suhteellisuusteorian ennustamat gravitaatioallot. Kaksi noin 30 Auringon massaista mustaa aukkoa yhdistyivät noin 1.3 miljardin valovuoden päässä. Tapahtuma sai itse aika-avaruuden värisemään ja sen synnyttämät mainingit kantautuivat tänne saakka. Äärimmäisen herkkä LIGO onnistui ne havaitsemaan.

Sittemmin on havaittu useita mustien aukkojen tai neutronitähtien yhteensulautumisia. Gravitaatioaaltoihin perustuvat havainnot ovat antaneet paremman kuvan mustien aukkojen kokojakaumasta. Mustien aukkojen yhdistymisistä saadaan selville niiden massa- ja pyörimisjakaumat. Erityisesti gravitaatioaaltojen avulla on saatu selville, että mustia aukkoja löytyy sellaisissakin kokoluokissa, jossa niitä ei odotettu.

Perinteisesti on ajateltu, että neutronitähdet ovat tyypillisesti 1.1–2.3 Auringon massaa ja mustat aukot taas yli 5 Auringon massaa. LIGOn havainnot ovat ravistelleet tätä käsitystä. Vuonna 2020 havaittiin tapahtuma, jossa toinen osapuoli oli noin 2.6 Auringon massaa. Todennäköisesti kyseessä oli harvinaisen raskas neutronitähti, mutta kyseessä saattoi olla myös kevyin tunnettu musta aukko.

Toisaalta LIGO on löytänyt myös harvinaisen raskaita mustia aukkoja. Jos tähti on kyllin suuri, sen uskotaan hajoavan niin täysin, että se ei jättäisi jälkeensä mustaa aukkoa. Kuitenkin gravitaatioallot ovat kertoneet hyvin raskaidenkin mustien aukkojen törmäyksistä.

Gravitaatioallot kiistettiin jo ennen suhteellisuusteoriaa

Gravitaatioaaltojen tie teoriasta kokeelliseen vahvistukseen ei ollut suora tahi lyhyt. Reitti kulki muutaman



Ligon observatorio Hanfordissa. (Wikimedia)

harhapolunkin kautta. Tarinan voi aloittaa jo ajasta ennen yleisen suhteellisuusteorian syntyä. Kuten **Gunnar Nordströmistä** kertovassa jutussa (MAL-lehti 3/2023) kerroin, oli kilpajuoksussa suhteellisuusteorian oikean muotoilun etsimisessä mukana **Albert Einsteinin** lisäksi muitakin kilpailijoita. Yksi heistä oli **Max Abraham**, jonka vuonna 1912 esittämää teoriaa Einstein kritisoi kovin sanoin. Paperissaan Abraham kuitenkin pohti myös gravitaatioaaltoja ja esitti, ettei sellaisia voi olla.

Säteilyä voi olla monen tyyppistä. Monopolisäteily on pallosymmetristä, esimerkiksi symmetrisesti sykkivän pallomaisen lähteen aiheuttamaa säteilyä. Sellaisella ei ole sijaa sähkömagnetismin tai painovoiman teorioissa, koska pallosymmetrinen varaus tai massa aiheuttaa samanlaisen kentän kuin pistemäinenkin.

Sähkömagnetismissa merkittävää on dipolisäteily, joka syntyy esimerkiksi varauksen liikkeessä edestakaisin suoraa viivaa pitkin. Tilanne ei ole pallosymmetrinen, mutta aksiaalinen symmetria löytyy. Akselilla on kaksi napaa ja siksi puhutaan dipolisäteilystä. Painovoiman kohdalla dipolisäteily ei tule kyseeseen liikemäärän säilymisen lain takia. Jos massaa liikkuu johonkin suuntaan, tulee vastakkaiseen suuntaan liikkuu jotta-kin samalla liikemäärällä.

Abraham päätteli, että koska sähkömagnetismissakin olennainen yksinkertainen säteilylaji ei ole relevantti painovoimateorioissa, ei painovoiman säteilyä eli gravitaatioaaltoja voi olla olemassa. Abraham ei kuitenkaan harkinnut seuraavaa tapausta eli kvadrupolisäteilyä. Yksinkertainen tapa synnyttää kvadrupolisäteilyä on pyörittää akselin päissä olevia napoja. Poista akseli ja kyseessä onkin kaksoistähtijärjestelmä – tai kaksi toisiaan kiertävää mustaa aukkoa tai neutronitähteä.

Nordström huomauttaa virheestä

Einstein sai suhteellisuusteorian kenttäyhtälöt muotoiltua loppuvuodesta 1915. Seuraavana vuonna hän julkaisi artikkelin, jossa esitti aaltoyhtälöratkaisun. Kiihtyvässä liikkeessä olevat epäsymmetriset massasysteemit säteilevät gravitaatioaaltoja. Einsteinin laskuissa piili kuitenkin virhe. Eikä virhe jäänyt muilta fyysikoilta huomaamatta.

Tutustuttuaan suhteellisuusteoriaan Gunnar Nordström kävi läpi samoja laskuja kuin Einsteininkin, mutta päätyi eri tulokseen. Kirjeessään Einsteinille Nordström kertoi, että hänen laskujensa mukaan gravitaatioallot eivät kuljettaisi energiaa toisin kuin Einstein esitti. Mikä aalto se semmoinen on, jolla ei ole havaittavia vaikutuksia?

Aluksi Einstein väitti vastaan, eikä myöntänyt tehneensä virhettä. Nordström toisti laskutoimitukset huolella uudestaan päätyen taas samaan tulokseen. Lopulta Einsteinin oli myönnettävä virheensä.

Ovatko gravitaatioaalto pelkkää matematiikkaa?

Einstein esitti korjatun version vuonna 1918. Uudessa julkaisussa hän näytti, että aika-avaruuden aaltoilu voi olla pitkittäistä tai poikittaista. Pitkittäinen aaltoilu on vain matemaattinen illuusio, mutta poikittaiset aallot kuljettavat todellakin energiaa, ja ovat siten periaatteessa havaittavissa.

Einstein laski vauhdin, jolla kaksi toisiaan kiertävää massiivista kappaletta menettävät energiaa gravitaatioaaltojen takia. Tässäkin kaavassa hän teki pienen virheen, jonka **Arthur Stanley Eddington** korjasi muutamaa vuotta myöhemmin.

Einsteinin gravitaatioaaltoja käsittelevät artikkelit ilmestyivät ennen kuin Eddington osoitti vuoden 1919 auringonpimennyksen aikana valon taipuvan yleisen suhteellisuusteorian ennusteen mukaisesti. Vasta sen jälkeen suhteellisuusteoriasta tuli yleisesti hyväksytty. Varhaisina vuosina ei ollut selvää, mitkä kaikki suhteellisuusteorian yhtälöiden ratkaisuisista olisivat olennaisia. Esimerkiksi Schwarzschildin esittämää ratkaisua Einstein piti matemaattisena kuriositeettina. Ratkaisu kuvaa mustaa aukkoa, ja nyt tiedämme, että mustia aukkoja on olemassa. Vaikka gravitaatioaalto olisivatkin todellisia, ei ollut selvää, olisiko niitä mahdollista mitata.

Arthur Stanley Eddington oli kiistatta yksi niistä harvoista, jotka ymmärsivät yleisen suhteellisuusteorian hyvin. Vuonna 1922 ilmestyneessä artikkelissaan hän osoitti Einsteinin perusteellisemmin, että pitkittävät gravitaatioaalto eivät ole todellinen ilmiö, mutta poikittaiset ovat ja ne kulkevat valon nopeudella. Eddington ei ollut gravitaatioaaltojen kieltäjä, mutta osoitti pientä varovaisuutta aihetta kohtaan. Hän muistutti, että suhteellisuusteorian kenttäyhtälöille ei tunnettu yhtään kahden kappaleen ratkaisua. Ehkä hän ei ollut halukas uskomaan kaksoistähtien ratojen hiljalleen rappeutuvan.

Einstein epäili aaltoja itsekkin

Einstein ei ollut tottunut siihen, että hänen artikkelinsa alistettiin vertaisarvioinnille. Kun *Physical Review*-lehden toimittaja lähetti Einsteinille vertaisarvioijan kritiikin, paloi Einsteinilta pinna. Vertaisarviointi ei ollut tuohon aikaan vielä vakiintunut käytäntö. Saksalaisissa lehdisä oli arviointi aika harvinaista. Amerikassa se oli vähän yleisempää, mutta myös *Physical Review* oli aiemmin julkaissut Einsteinin artikkeleja ilman arvioijan lausuntoa.

Einstein ja **Nathan Rosen** olivat lähettäneet kesälä 1936 lehteen artikkelin otsikolla ”Do Gravitational Waves Exist?” eli ”Onko gravitaatioaaltoja olemassa?”. Kun lehden toimittaja kehtasi vastata kritiikkiä sisältävällä vertaisarvioijan lausunnolla, kirjoitti Einstein hänelle lähettäneensä artikkelin julkaistavaksi, ei jaettavaksi kenellekään muulle. Einstein ei enää koskaan julkaissut artikkeleitaan *Physical Review* -lehdessä.

Rosen ja Einstein olivat tulleet siihen tulokseen, että suhteellisuusteorian aaltoratkaisuihin liittyi singulariteetteja. He tulkitivat, että gravitaatioaalto eivät ole mahdollisia. Matemaattiset singulariteetit eivät kuitenkaan aina ole todellisia, vaan saattavat johtua koordinaattien valitsemisesta. Esimerkiksi pituuspiirin määrittäminen pohjoisnavalla ei onnistu, mutta pohjoisnapa on silti todellinen paikka.

Rosen oli ehtinyt palata Neuvostoliittoon, joten artikkelin julkaiseminen oli jäänyt Einsteinin kontolle. Ilman Rosenia Einstein muokkasi artikkeleita ennen kuin lähetti sen vähemmän tunnettuun *Journal of the Franklin Institute* -lehteen. Julkaistu artikkeli ei enää kiistänyt gravitaatioaaltojen olemassaoloa. Kun Rosen jälkikäteen kuuli, miten artikkeli oli muuttunut, ei hän ollut iloinen. Hän esitti vielä pitkään kritiikkiä gravitaatioaaltoja kohtaan.

Ennen artikkelin julkaisua Einsteinin oli kertonut tuloistaan yhteistyökumppanilleen, **Leopold Infeldille**, joka taas keskusteli sapattivuodeltaan Princetoniin palanneen **Howard Percy Robertsonin** kanssa. Robertson osasi esittää yllättävän tarkkanäköisiä huomioita. Infeld ei tiennyt, että Robertson oli *Physical Review*n käyttämä anonyymi vertaisarvioija. Kun Infeld keskusteli Robertsonin huomioista Einsteinin kanssa, kertoi tämä edellisiltana itsekin huomanneensa artikkelissa virheen.

Chapel Hillin konferenssi oli käännekohta

Vielä 1950-luvulla fyysikkojen keskuudessa esiintyi epävarmuutta sitä kohtaan, että ovatko gravitaatioaalto todellisia. Käännekohtana voidaan pitää Pohjois-Carolinassa vuonna 1957 pidettyä Chapel Hillin konferenssia. Konferenssiin osallistui sellaisia merkittäviä fyysikkoja kuin **Freeman Dyson**, **John Archibald Wheeler** ja **Bryce DeWitt**.

Konferenssiin osallistui myös **Richard Feynman**, joka kylläkin puhui painovoiman kvanttimekaanisesta kuvailusta. Feynmanin esitys sai **Léon Rosenfeldin** kommentoimaan, että koska elektrodynamiikassa koko kvantisoinnin idea tulee säteilykentästä, tulisi ensin ymmärtää, että onko painovoimalla säteilykenttää olennaan ennen kuin kannattaa pohtia sen kvantisointia.

Vastauksena Rosenfeldille Feynman esitti tahmeiden helmien ajatuskokeen. Tangon päälle on pujotettu

kaksi tahmeaa eli kitkaista helmeä. Kun gravitaatioaalto kulkee ohi, se venyttää ja kutistaa tankoa sekä myös liikuttaa helmiä toisiinsa nähden. Koska tanko on jäykkä, vastustaa se venytystä ja kutistumista jonkin verran. Helmet liukuvat silloin tankoa pitkin. Helmien ja tangon välinen kitka tuottaa lämpöä. Tämä lämpöenergia on peräisin gravitaatioaallost, joten niiden täytyy kuljettaa energiaa.

Feynman esitti argumentillaan asian yksinkertaisesti. Merkittäviä edistysaskelaita aaltojen matemaattisen tarkan kuvauksen kehittämisessä ottivat **Hermann Bondi** ja **Felix Pirani**, jotka hekin osallistuivat Chapel Hillin konferenssiin. Konferenssin jälkeen fyysikot pääsivät yksimielisyyteen siitä, että gravitaatioaalto ovat todellisia fysikaalisia ilmiöitä.

Weberin sylinterit värähtelivät

Chapel Hillin konferenssi teki suuren vaikutuksen yhteen osallistujista. Pian konferenssin jälkeen **Joseph Weber** ja **Wheeler** julkaisivat artikkelin, joka julisti gravitaatioaaltojen todellisuutta ja pohti, miten niitä voisi havaita.

Weber oli koulutukseltaan kokeellinen fyysikko ja entinen insinööriupseeri, jolla oli käytännön lahjakkuutta ja kokemusta sähkötekniikan ja fysiikan rajapinnasta. Hän oli jopa julkaissut vuonna 1952 artikkelin stimuloidusta mikroaalto- säteilystä – ideasta, joka ennakoii laserteknologiaa.

Weber ei siis ollut kuka tahansa kaheli, vaikka hänet helposti sellaisena nykyään nähdään. Weber nimittäin vei gravitaatioaaltojen havaitsemisen teoriasta käytäntöön. Itse hän uskoi kuolemaansa saakka havainneensa gravitaatioaalto.

1960-luvulla Weber ryhtyi rakentamaan ensimmäisiä gravitaatioaaltoilmaisimia: suuria alumiinisylintereitä, jotka oli ripustettu tyhjiökammioon. Kun aalto kulkisi sylinterin läpi, se värähtelisi, ja pietsosähköiset muuntimet muuttaisivat värähtelyn sähköiseksi signaaliksi. Weber käytti kahta ilmaisinta, toista Marylandin yliopistossa ja toista lähes tuhannen kilometrin päässä Argonnen laboratoriossa.

Vuonna 1969 Weber julkaisi havainneensa gravitaatioaalto. Molemmat ilmaisimet olivat nähneet yhtä aikaa jotakin, joka ylitti hänen satunnaiskohinalle asettamansa rajat. Seuraavana vuonna Weber osasi kertoa gravitaatioaaltojen tulevan Linnunradan keskustan suunnasta. Data viittasi siihen selvästi. Kun sylintereiden kyljet olivat galaksin keskustan suuntaan, tehtiin havaintoja enemmän kuin muina aikoina.

1970-luvun ensimmäinen puolisko oli täynnä innostusta Weberin havainnoista. Niihin suhtauduttiin kuitenkin pienellä varauksella. Weberin havaitsemat signaalit olivat monta kertaa suurempia kuin mitä oli odotettu. Weberin mittaustekniikatkin herättivät epäi-



Weber työskentelemässä ilmaisimensa parissa. (Special Collections and University Archives, University of Maryland Libraries)

lyjä. Kyseessä oli kuitenkin merkittävä saavutus, joten useat tutkimusryhmät ympäri maailmaa pyrkivät toistamaan mittaukset. Vastaavia instrumentteja rakennettiin, mutta mitään ei havaittu. 1970-luvun lopussa kaikki paitsi Weber itse tulivat siihen tulokseen, että Weberin havainnot eivät olleet todellisia.

Joseph Weber ei antanut periksi. Vaikka hänen tuloksensa kiistettiin, hänen metodejaan kyseenalaistettiin ja kukaan muu ei vastaavilla laitteilla mitään havainnut, uskoi Weber löytäneensä gravitaatioaaltoja. Hän jatkoi työtään elämänsä loppuun asti.

Ensimmäinen epäsuora havainto

Samaan aikaan, kun pessimismi kasvoi ja Weberin tulokset hylättiin, oli gravitaatioaaltoista tulossa totisinta totta. Vuonna 1974 **Joseph Taylor** ja **Russell Hulse** löysivät toista neutronitähteä kiertävän pulsarin. Pulsari on nopeasti pyörivä neutronitähti, joka lähettää napojensa kautta kapeita radiosäteilyn säteitä. Kun tähti pyörii, nämä säteet pyyhkäisevät avaruuden halki kuin majakan valokila. Jos säde osuu Maahan, näemme säännöllisiä radiosignaaleja, kuin tarkasti sykkivän kellon tikitystä.

Taylorin ja Hulsen löytämää kaksoisneutronitähteä havainnointiin usean vuoden ajan. Seuraamalla pulsarin pulssia voitiin todeta kiertoradan kutistuvan hitaasti. Kutistuminen vastasi juuri sitä, kuinka paljon järjestelmä menettää energiaa gravitaatioaaltoina. Hulselle ja Taylorille myönnettiin vuonna 1993 Nobelin palkinto gravitaatioaaltojen epäsuorasta havainnosta.

Pulsariverkko värisee

Samoihin aikoihin, kun Taylor ja Hulse julkaisivat mitauksensa, yhdysvaltalainen fyysikko **Steven Detweiler** esitti, että joukko pulsareita voisi muodostaa valtavan kelloverkon, jonka kautta avaruuden hienovaraiset värähtelyt voitaisiin mitata. Gravitaatioaalto muuttaisivat pulssien saapumisaikoja mitättömästi, mutta yhteinen signaali voitaisiin havaita, kun tarpeeksi monta pulsaria tarkkaillaan samanaikaisesti.

Vaati vuosikymmenien työn kehittää radioteleskooppeja ja atomikelloja kyllin tarkoiksi, mutta lopulta pulsarien verkostosta tuli koko galaksin laajuinen gravitaatioaalto-detektor. Kesällä 2023 kaikki pulsariverkostoja tarkkailevat tutkimusryhmät julkaisivat yhtäpitäviä tuloksia, jotka osoittivat gravitaatioaaltojen taustasäteilyn.

Havainnoista ei saada tietoa yksittäisistä tapahtumista, vaan ne ovat matalataajuisia maininkeja avaruuden kudoksessa. Aallonpituudet ovat valovuosien pituisia ja liittyvät todennäköisesti supermassiivisten mustien aukkojen kaksoisjärjestelmiin.

Pulsariverkkojen näkemät aallot voisivat olla myös kaikua varhaisen maailmankaikkeuden tapahtumista. Inflaation, siis sekunnin murto-osan aikana tapahtuneen varhaisen maailmankaikkeuden eksponentiaalisen nopean laajenemisen, uskotaan venyttäneen kvanttimekaaniset fluktuaatiot makroskooppisiksi gravitaatioaalloiksi.

Väärä hälytys ennen läpimurtoa

Inflaation aikaiset gravitaatioaaltoja voisi nähdä myös kosmisesta mikroaaltotaustasta. Maaliskuussa 2014 hurmio valtasi maailmankaikkeuden alkuperän tutkijat. Etelänavalla toiminut BICEP2-teleskooppi oli havainnut kosmisessa mikroaaltotaustassa hienovaraisen kiertokuvion, niin sanotun B-moodin polarisaation. Se tulkittiin merkiksi inflaation aikaisista gravitaatioaaltoista, maailmankaikkeuden ensimmäisten hetkien jäännöksenä. Löytöä pidettiin Nobel-tasoisena tuloksena.

Riemua kesti vain hetken. Toiset tutkijat alkoivat epäillä, että signaali saattoi syntyä galaksimme pölystä, jonka hiukkaset polarisoivat valoa lähes samalla tavalla. Syksyllä 2014 Planck-satelliitin tarkemmat mittaukset osoittivat pölyä olevan luultua enemmän. Lopulta vuonna 2015 yhteisanalyysi osoitti, että koko havainto voitiin selittää pelkällä pölyllä.

Yhtä aikaa BICEP2-mittausten kanssa LIGOa oli valmisteltu otettavaksi käyttöön. Viimeisimpien muutosten myötä sen toivottiin olevan tarpeeksi herkkä havaitsemaan gravitaatioaaltoja. Kuinka ollakaan, lähes välittömästi sen jälkeen, kun ilmaisimet kytkettiin päälle syyskuussa 2015, ne rekisteröivät selkeän gravitaatioaalto-signaalin. Universumin väreily oli vihdoinkin havaittu suoraan. •



UUTISIA



>> **MALin syyspäivät** järjestettiin tänä vuonna Jyväskylässä 18.–19. syyskuuta. Ohjelmassa oli tutustuminen yliopiston tutkimustyöhön, mm. hiukkaskiihdytimeen, sekä Alvar Aalto-museoon. Lisää asiasta tässä numerossa.

>> Jo perinteeksi muodostunut **MALin matemaatikkoelokuva** jälkikeskusteluineen oli tällä kertaa John Nashista kertova Kaunis mieli. Elokuva esitettiin teatterissa Helsingissä ja Oulussa marraskuussa. Tapahtumista tulee artikkeli seuraavaan MAL-lehteen.

>> **MALin gradupalkinnon** sai tänä vuonna Miika Manu Jyväskylän yliopistosta. Tarkempi uutinen tässä numerossa.

MAL mukana tieteidessä 2026

MAL osallistuu tammikuun 22. päivä järjestettävään Tieteiden Yöhön järjestämällä **luonnontiedeaiheisen pubivisan** kaikille aiheesta kiinnostuneille. Visailu järjestetään **ravintola Sing & Poreessa (Mikonkatu 4) klo 20–22**. Voittajille tiedossa drinkkilippuja ja muuta kivaa. Tervetuloa osallistumaan, ja tuomaan kaverit ja perheenjäsenetkin mukaan!

Standardointi

Lars Gröndahl

Pohjoismaista kvanttiteknologiyhteistyötä terästettiin Tukholmassa

Pohjoismaat terästävät yhteistyötään kvanttiteknologian kehittämisessä. Kvanttistandardoinnin pohjoismaisen verkoston Teams-kokous pidettiin 21.10.2025. Kokoukseen osallistuivat Suomesta **Meri Valtiala** (SFS Suomen Standardit), professori **Juha Rönning** (Oulun yliopisto) ja **Lars Gröndahl** (MAL-liitto).

Kokouksessa Suomen osallistujat esittelivät Suomen panostusta kvanttiteknologioiden standardointiin ja luotettavien kvanttietokoneiden ohjelmistojen kehittämiseen, sivuten suomalaisen kvanttiteknologiyrityksen rahoitusta.

Pohjoismaisen yhteistyön tavoitteena on mm. saada kokonaiskuva kvanttiteknologian kehittämisestä Pohjoismaissa ja parantaa yhteistyötä. Yhtenä tavoitteena on saavuttaa riittävä riippumattomuus muista maantieteellisistä ja taloudellisista blokeista. Tulevaisuus näyttää, tehdäänkö kehittämistä Trumpetin tahdissa vai kanteleen sävelien ohjaamana, ja tuoko suomalainen Sisu parhaan ratkaisun vai voittaako viheriöillä parhaan Putin saanut ryhmittymä. Ilmiselvää on, että taistelu digitalisaation maailmanvalloituksessa on kovaa ja vaatii osapuolilta hyvää yhteistyötä ja riittävää tukea.

Suomen asemaa tulevaisuudessa tukee se, että kvanttietokoneita tekevän suomalaisen yrityksen IQMn johto on hyvin perillä myös standardoinnista ja sen vaikutuksista. Lisäksi IQM myi tänä vuonna yhdysvaltalaiselle tutkimuskeskukselle kvanttietokoneen.

Nordean mukaan informaatioteknologian alueella Nordean netto-ostetuimmat sektorit ovat kvanttilaskenta ja tekoäly. Esimerkkinä kvanttilaskennan suosiosta on suomalainen QuantrolOx, joka keräsi kahdessa päivässä 6,5 Me pörssin ulkopuolista rahoitusta.

Suurimmat taloudelliset arvot ja vaikuttavuudet saadaan kvanttietokoneiden laskentatehon soveltamisesta arvoketjun ylempiin liiketoimintatoteutuksiin, kuten ilmastonmuutoksen hallintaan tai datamassojen hallintaan suurissa valtioiden isännöimissä pilvipalveluissa – ”kaiken” hallinnassa. •



VTT:n 50 kubitin kvanttietokone kuvattuna rakentamiskuvassa. Kuvallähde: VTT

Matematiikka ja luonnontieteet osaamisen kehittämisen ytimessä

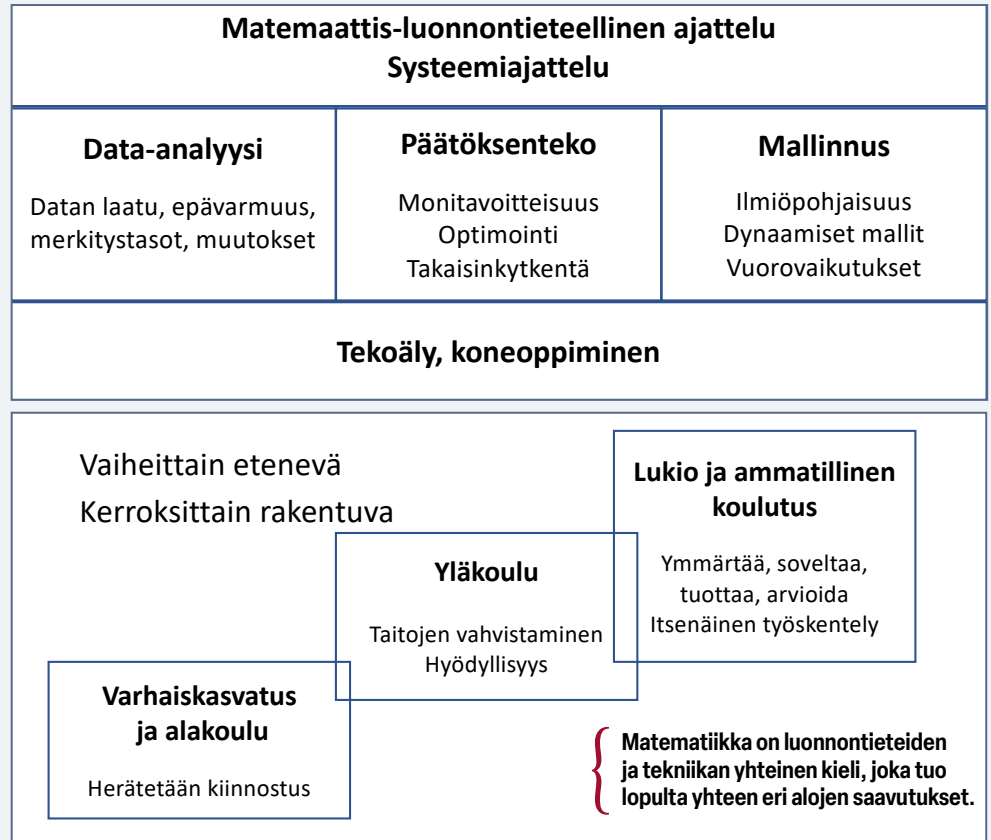
Matematiikkaa ja luonnontieteitä tarvitaan keskeisesti teknologisten ratkaisujen kehittämisessä erityisesti muutostilanteissa. Uusiutuvaa energiaa tarvitaan korvaamaan fossiilista energiaa. Ilmastonmuutoksen hillitsemisessä korostetaan voimakkaasti päästötöntä sähkön perustuvaa vihreää siirtymää, jota esitetään avaimena hyvin moneen asiaan, myös vetytalouden rakentamiseen. Kestävässä kehityksessä tarvitaan monien asioiden yhteensovittamista, joten avointa vaihtoehtojen vertailua ja valintaa – ei kieltoja ja kaavamaisia ohjeita! Kaikissa ratkaisuissa on sekä etuja että haittoja. Hiili- nielujen toiminta ja biotalous liittyvät toisiinsa. Tämä korostuu energiajärjestelmissä. Biotalous tuo uusia tuotteita, joten maa- ja metsätaloutta tulee käsitellä yhä enemmän ratkaisujen tuottajana – ei ongelmana. Skaalaa laajentuu sekä yhteiskunnan että yksilöiden tasolla. Hyvinvointialueilla tarvitaan kipeästi ennaltaehkäisyä, jossa korostuu tasapainoinen ravinto, liikunta ja palautuminen sekä poikkeamien tunnistaminen. Elinkaariaalyysi tuo paremman käsityksen muutosten etenemisen mahdollisuuksista. Mukana tarvitaan kasvihuonekaasujen päästöjen laskentaa ja tekoälypohjaisia terveysasioiden kehittämisympäristöjä ratkaisujen kehittämisessä.

Osaajien koulutuksen varmistamiseen tarvitaan puolestaan koulutusjärjestelmän eri vaiheiden tasapainoinen toiminta. Valtakunnallinen seminaarisarja kouluopetuksen kehittämiseen on tärkeä askel osaamisen pohjan rakentamisessa. Matemaattis-luonnontieteellinen ajattelu on kehitystyön ytimessä yliopistoissa ja korkeakouluissa. Osaajat tarvitsevat erilaisille kokonaisuuksille kehitettyjä malleja, dataa sekä menetelmätuntemusta uusien mallien ja ratkaisujen kehittämiseen sekä vahvistuvaa asiantuntemusta.

Matemaattis-luonnontieteellistä ajattelua ja systeemiajattelua tarvitaan data-analyysiin, mallinukseen ja päätöksentekoon. Tekoäly ja koneoppiminen ovat käytössä tämän kokonaisuuden data- ja tekstipohjaisessa osassa (kuva 1).

Kouluopetus luo pohjan

Yliopistoissa ja yrityksissä kasvanut huoli tutkimuksen ja talouden toimivyyden säilymisestä kestävässä kehityksessä ja vahvistuva digitalisaation olosuhteissa oli valtakunnallinen kouluopetuksen seminaarisarjan ajava voima. Kouluissa matematiikan ja luonnontieteiden saa-



Kuva 1. Matemaattis-luonnontieteellinen ajattelu ja vaiheittain etenevä opetus.

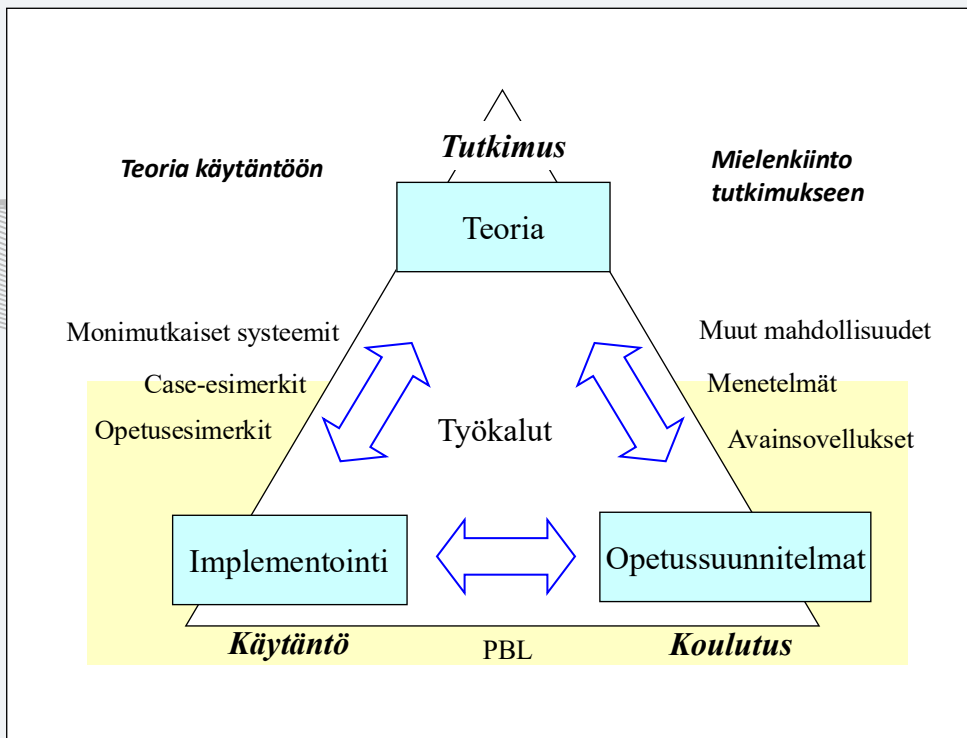
tuttavan oppimistason heikentyminen oli jo selvästi nähtävissä lokakuussa 2022, kun seminaarisarja aloitettiin. Tämä trendin pohjalta marraskuussa 2023 todettu PISA-tulosten romahdus oli hyvin odotettavissa. Seminaarisarjassa oltiin silloin jo etsimässä ratkaisuja tilanteen korjaamiseen.

Seminaarisarja osoitti, että tarvitaan juurihoitoa kaikilla tasoilla. Avainasemassa on kerroksittain rakentuva oppiminen, joka perustuu ikävaiheiden mukaisesti etenevään opetukseen (kuva 1). Kiinnostuksen herättäminen jo varhaiskasvatuksessa on ensiarvoisen tärkeää opiskelumotivaation luomisessa. Kannustavia ajatuksia herättävät kokemukset ovat pohjana myöhemmälle oppimiselle. Alakoulussa tuodaan mukaan tarvittavia työkaluja ja yläkoulun tehtävänä on taitojen vahvistaminen. Hyödyllisyyden näkökulma tulee mukaan

matematiikan luonnontieteen esimerkkien kautta. Lukio ja ammatillinen koulutus tuovat mukaan tavoitteita ymmärtää, soveltaa, tuottaa ratkaisuja yhä enemmän itsenäisen työskentelyn kautta.

Kukin vaihe vaatii aina edellisten vaiheiden hallintaa, joten jatkuvuuden varmistamiseksi tarvitaan joustavuutta opetuksen toteutuksessa – ei vaatimusten helpottamista. Opetuksen tavoitteet ja toteutus noudattaa kaikissa vaiheissa samoja periaatteita: aikaisempien vaiheiden tuottamalta pohjatasolta pyritään kohti seuraavan vaiheen lähtövaatimuksia. Oppilaisaineen heterogeenisuus vaikuttaa toteutukseen. Toisaalta tarvitaan oppimisvaikeuksissa olevien tukemista ja lisämateriaalia hyvin edistyneille.

Oppimisen jatkuvuuden varmistamisessa motivoivaan säilyttäminen ja vahvistaminen tulee keskeiseksi,



Kuva 2. Tutkimuksen ja käytännön yhdistäminen ongelmakeskeisessä oppimisessä (muokattu Open Eng., doi: 10.1515/eng-2018-0006).

kun mennään yhä monimutkaisempiin kokonaisuuksiin. Oppimisen eteneminen vaatii harjoitusta rauhallisessa ympäristössä ja myös seurantamittauksia. Opettajille tarvitaan mahdollisuus opetuksen ohjaamiseen, jotta keskeiset asiat opitaan. Oppimislustat täydentävät, mutta itseohjautuvuus kasvaa vasta oppimisen myötä. Monimuotoiset häiriötekijät vaikeuttavat vakavasti kaikkien oppimista, jos yhdessä oleva oppilasjoukko on liian heterogeeninen. Hyvin edistytäkkin saattavat menettää mielenkiintonsa. Muita aikuisia voidaan käyttää tukemaan opetustyötä hallitun työnjaon puitteissa, mutta tasoryhmät ja -kurssit ovat tarpeen vaikeammissa tapauksissa.

Matematiikkaan painottunut seminaarisarja oli koulutuksen kehittämisen ensimmäinen vaihe. Jatkossa tulee edetä matemaattis-luonnontieteelliseen kokonaisuuteen. Matematiikka on luonnontieteiden yhteinen kieli ja kehitetyt askelmerkit sopivat hyvin myös luonnontieteisiin ja tietojenkäsittelytieteeseen. Kerroksittain tapahtuva kehittäminen sopii myös näille alueille. Samalla saadaan lisää painoa matematiikan käyttämömahdollisuuksiin ja ratkaisujen toteuttamiseen. Matematiikan käyttökelpoisuus ei myöskään rajoitu luonnontieteisiin ja tekniikkaan. Digitaalisuuden kautta matematiikka voi yhdistää monia toiminta-alueita.

Seminaarisarjan loppuraportti ”Härkää sarvista – matematiikan osaaminen nousuun” käsittelee oppimisen ja opetuksen haasteita eri koulujärjestelmän eri vaiheissa, luo näkymän oppimislustoihin ja esittää ehdotuksia ja suosituksia.

Kirja on ladattavissa sähköisessä muodossa ja ti-lattavissa paperisena, ohjeet sivulla 22.

Yliopistot ja korkeakoulut tuovat ratkaisuja osaajille

Kouluopetus tuottaa pohjan yliopistojen ja korkeakoulujen opetukselle ja tutkimuksen kehittämiselle. Koulu-opetuksen osalta lähdetään yliopistojen ja työelämän vaatimuksista ja palataan vaihe vaiheelta takaisinpäin kysyen mihin pitäisi päästä ja mitä siihen vaaditaan. Tarkastelu etenee vastavirta-algoritmin (Backpropagation) tapaan. Eri kouluvaiheissa on toimittava rinnakkaisesti. Lukioiden ja yliopistojen yhteistyö täydennettynä ammattikorkeakoulun kanavilla on keskeistä osaamisen varmistamisessa.

Yliopiston osalta lähdetään eteenpäin lukion tuot-tamasta tilanteesta. Kerroksittain rakentuva oppi-minen painottuu aineopintoihin ja syventäviin opintoihin. Ikävaiheiden sijaan opetus etenee opiskeluvuosien mukaisesti. Opetuksessa käytetään luentoja koko-naisuuden ja ajan mukana ratkaisujen kehittymisen kuvaamiseksi. Yleisinä tavoitteina ovat teorian siirto käytäntöön ja tutkimuskiinnostuksen herättäminen. Käytännön puolella tarkastellaan keskeisiä sovelluk-sia ja niiden toteuttamisvaihtoehtoja implementointia kohti. Tutkimuksen puolella pääpaino on menetelmien kehittäminen opetussuunnitelmissa. Kummassakin alu-eessa harjoitellaan ohjatusti esimerkitapauksia, joista mennään kohti monimutkaisempia tehtäviä opinnäyte-töissä. Ongelmakeskeisessä oppimisessä (Problem-based Learning, PBL) nämä erilaiset työkalut kootaan yhteen. Teoria, implementointi ja sovellus ovat koko-naisuuden eri näkökulmia, joita käsitellään luennoilla, harjoituksissa ja case-esimerkeissä (kuva 2).

Motivaatiota rakennetaan käyttämällä projekti-esimerkkejä ja tutkimuksen tuomia mahdollisuuksia. Itsenäisesti tai ryhmässä tehtävät seminaarityöt ovat case-tutkimuksia, jotka tuodaan keskusteluun aihepiiri-kohtaisissa seminaareissa. Tätä opetusratkaisua on käytetty eräissä yliopistokursseissa. Kurssien arviointi on perustunut erityyppisten opetustapahtumien raporttien painotettuun keskiarvoon. Mukautettu toteutus soveltuu myös ammattikorkeakoulujen opetukseen.

Jatko-opiskelussa painottuu itsenäinen ongelma-pohjainen työskentely. Väitöskirjoissa tutkimuksen kohde voi olla hyvinkin tiivistä rajattu. Yhtenäisistä ohjauskäytännöistä tulee kuitenkin tukea opiskelijoille.

Uudet asiat ja alueet

Uusien asioiden oppiminen on olennainen osa osaamisen kehittämistä. Monia asioita tuodaan esille hyvin ratkaisevasti vaikuttavina - suorastaan mullistavina ratkaisuuina. Asiantuntemukseen kuuluu myös näiden kriittinen arviointi sekä sisällön että toteutusaikataulujen suhteen.

Generatiivinen tekoäly on herättänyt innostusta ja suuria lupauksia, mutta myös pettymyksiä ja odotusten hiipumista. Sen keskustelukumppaneiksi ja avustajiksi sopivat työkalut toimivat aikaisempien ratkaisujen ja kehitysideoiden etsimisessä, kun käytetään useita työkaluja ja monipuolisesti varioituja kysymyksiä. Uusien kielimallien aktiivinen kehittäminen tuo tähän uusia mahdollisuuksia. Kielimallien kehitys nostaa esille kieliin sisältyvä ajattelumallin merkityksen. Suomen kielen sisältämä oma ajattelumalli tulee pitää mukana opetuksessa ja tutkimuksessa.

Tekoäly on rakentunut pitkän ajan kuluessa. Käyttökelpoisten data- ja tekstiaineistojen laajentuminen on tuonut lisää mahdollisuuksia, mutta samalla näiden aineistojen laatuvaatimukset ovat korostuneet. Soveltamisen kannalta tasapainoinen aineisto asettaa rajat ratkaisun käyttöalueelle. Tähän tarvitaan kohteen asiantuntemusta ja kokonaisuuksien ymmärtämistä. Tekoäly ei korvaa asiantuntemusta - tekoälyä tulee käyttää asiantuntevasti.

Kvanttitietokoneet on esitetty uutena hyvin tehokkaana tieteellisen laskennan työkaluna. Uusia lupaavia sovellusalueita on hahmoteltu, mutta vielä ollaan kaukana tavoitteesta. Supertietokoneiden asema säilyy ja kvanttietokoneille tulee erikoistapauksia.

Käytännössä uudet ratkaisut integroituvat menetelmä- ja työkaluvalikoimiin, joista valitaan sovelluksissa käytettävät ratkaisut.

Asiantuntemuksen päivittäminen

Koulutus on tärkein investointi. Suomen kilpailukyky perustuu ennen kaikkea osaamiseen. Opetuksen sisällön on seurattava muuttuvaa toimintaympäristöä. Data- ja tekstipohjaiset menetelmät vaativat lisää huomiota käytettävän aineiston laatuun ja soveltavuuteen. Osaamisen ylläpito vaatii usein täydennyskoulutusta. Tiedon hankkiminen ja oppimisvalmius ovat tässä olennaisia. Tarvittavan osaamisen suuriin muutoksiin mukautuminen vaatii myös uudelleen koulutusta. Kaikkein tähän tarvitaan yhteistyötä ja resursseja. •

Syksyn messusatoa:
**Alihankintamessut 2025 ja
Teknologiamessut 2025**



Alumiiniprofiileja esillä alihankintamessuilla.



Messuhallin takarivissä esillä oli useamman pisteen voimin tänä vuonna trendikäs aihe, vetytalous.

Syksyllä 2025 Suomen teollisuuden kentällä nähtiin voimakas kaksikko, kun Alihankinta-messut järjestettiin Tampereella 30.9.–2.10.2025 ja Teknologia 25 kokoontui Helsingin Messukeskuksessa 4.–6.11.2025.

Molemmat tapahtumat korostivat vastuullisuutta, teknologisia innovaatioita ja teollisuuden kansainvälisyyttä.

Alihankinta on Pohjoismaiden suurin teollisuustapahtuma, ja vuoden 2025 messuilla se keräsi yli 23 000 teollisuusammattilaista mukaan. Esillä oli satoja erilaisia yrityksiä jotka tarjosivat palveluitaan.

Messu kattoi laajasti alihankinnan osa-alueita kuten metalliteollisuuden, elektroniikan, muovin ja kumiosien valmistuksen sekä teollisen ICT:n.

Teknologia 25 -messut keräsivät yli 13 000 ammattilaista ja päättäjää kolmen päivän aikana. Mukana oli taas satoja yrityksiä teknologian alalta esittelemässä tuotteitaan ja palveluitaan.

Ohjelma sisälsi myös 140 sessionumeroa ja 11 keynote-puheenvuoroa, joissa käsiteltiin ajankohtaisia teemoja teollisuudessa. Tärkeimmät teemat olivat muun muassa kestävä teollisuus, teknologian rooli turvallisuudessa, tekoäly kilpailuetuna sekä vetytalous ja teollisuuden modernit energiaratkaisut.

Messuilla korostui myös turvallisuuden näkökulma: esimerkiksi kyberturvallisuus ja puolustusteknologiat saivat tilaa seminaareissa. Myös puolustusministeri Antti Häkkinen kävi pitämässä puheen aiheeseen

liittyen. Lisäksi Teknologia 25:ssä nähtiin uuden dual-use-teknologiaryhmän tuotejulkistuksia, kuten Lumikko Oy:n lämmönhallintaratkaisut puolustus-teollisuuteen.

Molemmilla messuilla esittäytyi myös MAKE In Finland -verkosto, jossa lukuisat suomalaisyritykset toimivat yhteistyössä parantaakseen Suomen kilpailukykyä maailmanmarkkinoilla jakamalla keskenään tietoa, ideoita ja teknologioita. Tämän mielenkiintoisen hankkeen vetäjänä toimii DIMECC Oy.

Alihankinta 2025 ja Teknologia 25 muodostivat yhdessä teollisuuden merkittävän syyssesongin: Tampereella käynnistettiin keskustelua alihankinnan roolista kilpailukyyn ja vastuullisuuden näkökulmasta, ja Helsingissä korostettiin teollisuuden murrosta kohti kestävämpiä ja teknologisesti edistyneempiä toimintamalleja. Molemmat tapahtumat tarjosivat yrityksille tilaisuuden esitellä innovaatioitaan, solmia uusia kontakteja ja rakentaa tulevaisuuden strategioita teollisuuden haasteisiin vastaamiseksi. •



Lasse Paajanen

MAOLin syntyhistoriasta ja perustamisesta 1935

Kuluvaa vuotta 2025 vietetään Matemaattisten Aineiden Opettajien Liiton MAOL ry:n 90-vuotisjuhlavuotena. Miten ja millaisen prosessin jälkeen liittomme sai 30-luvulla alkunsa? Näin juhlavuoden kunniaksi lienee paikallaan luoda katsaus tähän osaan liiton historiasta.

Olavi Junnilan kirjoittaman MAOL:n 60-vuotishistoriikirjan mukaan 1920-luvulla oli matematiikan ja fysiikan opettajilla eri tavoilla järjestäytynyttä kerhotoimintaa silloisissa suurimmissa kaupungeissa kuten Viipurissa, Helsingissä ja Turussa.

Helsingissä pidettiin **Niilo Kallion** aloitteesta valtakunnalliset matematiikan ja fysiikan opettajien päivät 3.–7.6.1932, ja tällöin tapahtui koko maata käsittävän liiton perustamisen kannalta tärkeä vaihe. Päivillä oli osallistujina 180 opettajaa eri puolilta Suomea. Silloin Seinäjoelta tullut lehtori **Heikki Wegelius** teki ehdotuksen maan kaikkia oppikouluja koskevan matematiikan ja fysiikan opettajien yhdistyksen perustamisesta. Esitys sai sekä vastustusta että kannatusta. Kun asiaa ei ollut enempää valmisteltu, niin Helsingin kerho valtuutettiin kehittämään valtakunnallisen liiton perustamista.

Valmistelutyö

Ensimmäisen kerran valtakunnallisen yhdistyksen perustamista käsiteltiin Niilo Kallion johdolla Helsingin kerhon kokouksessa jo samana syksynä eli lokakuun 4. p:nä 1932. Tuolloin ei vielä päätetty mitään. Keskustelua jatkettiin kerhon kokouksessa joulukuussa 1932. Mutta sitten asiaan tuli kuitenkin parin vuoden tauko. Taukoon vaikutti Junnilan 60-vuotishistoriikirjan mukaan vuonna 1934 pidetty yleinen oppikoulun opettajien kokous. Odotettiin mitä tässä kokouksessa päätettäisiin mm. opetussuunnitelmista, linjajaoista, oppiennätyksistä ja ylituntipalkkioista. Tämän yleisen kaikkien aineiden opettajien kokouksen ehdotukset eivät kuitenkaan tyydyttäneet matemaattisten aineiden opettajia. Näin oman aineopettajaliiton tarve kasvoi ja kypsyi.

Oman valtakunnallisen yhdistyksen perustamis-asiaan palattiin Helsingissä Kallion yhteiskoulussa

18.2.1935 pidetyssä kokouksessa. Silloin uusi kerhomestari **Bruno Malmio** alusti matematiikan opettajien liiton perustamisesta. Perustettavan liiton tarkoituksena olisi edistää matemaattisten oppiaineiden opetusta ja valvoa näiden aineiden opettajien yhteiskunnallisia ja taloudellisia etuja. Nyt asiaa valmistelemaan nimettiin myös toimikunta. Siihen tulivat Malmion lisäksi lehtorit **Reinhold Westlin** ja **Uno Sipinen**. Toimikunnan tehtävänä oli kirjeellä tiedustella eri koulujen opettajien näkemyksiä asiasta ja jos se saa kannatusta, kutsua yhdistyksen perustava kokous koolle jo kesäkuussa 1935.

Nyt valmistelu etenikin ripeästi, sillä jo parin kuukauden kuluttua 17.4.1935 Malmio selosti Normaali-lyseossa pidetyssä kokouksessa liiton perustamista koskevaan kirjelmään saapuneita vastauksia. Niistä ilmeni, että maaseutukoulujen opettajat pitivät uutta liittoa suotavana ja kaikin puolin tarpeellisena. Kokous päätti, että liiton perustava kokous pidetään alkuperäisen suunnitelman mukaan kesäkuun alussa 1935. Sääntöehdotusta ja perustamiskokousta valmistelevaan toimikuntaan valittiin peräti 10 jäsentä; **Britta Hallonblad**, **Bruno Malmio**, **Veikko Paatero**, **Viljo Laine**, **Salome Hollo**, **Reinhold Westlin**, **Otto Kaimio**, **Hellin Leikola**, **Mikael Gyllenberg** ja **Uno Sipinen**.

Perustava kokous

Kesäkuun alku 1935 oli luonnollinen ajankohta perustavalle kokoukselle, sillä Helsingissä oltiin jälleen järjestä-mässä koko maata käsittäviä matematiikan ja fysiikan opettajien koulutuspäiviä 2.–3.6.1935. Koulutuspäivien ohjelmassa olikin maanantaina, 3.6. klo 15, *Matematiikan ja fysiikan opettajain Liiton perustava kokous – Matematik- och fysiklärarförbundets konstituerande möte, ja klo 17 Liiton vuosikokous- Förbundets årsmöte*.

Yhdistys perustettiin ja sen nimeksi tuli *Suomen Matematiikan ja Fysiikan Opettajien Liitto – Finlands Matematik- och Fysiklärarförbund*. Perustamiskirjan allekirjoittivat Bruno Malmio, Mikael Gyllenberg ja Reinhold Westlin. Liiton ensimmäiseen hallitukseen

valittiin edellisten lisäksi Viljo O. Laine, Britta Hallonblad ja **Vilho Kallio**. Hallituksen puheenjohtajaksi tuli Bruno Malmio, varapuheenjohtajaksi Reinhold Westlin, rahastonhoitajaksi **Viljo O. Laine** sekä sihteeriksi Mikael Gyllenberg.

Bruno Malmion ja Urpo Kuuskosken aikakaudet

Liiton perustamista jo 1935 valmistelemassa ollut Bruno Malmio toimi sitten puheenjohtajana aina vuoteen 1951 asti eli 16 vuotta. Häntä seurasi puheenjohtajana **Urpo Kuuskoski**. Kuuskoski oli tullut liiton sihteeriksi jo 1936. Sihteerinä hän oli aina puheenjohtajaksi tuloonsa asti. Kuuskoski oli puheenjohtajana kaikkiaan 13 vuotta eli vuoteen 1965 asti, siis lähes yhtä kauan kuin Malmio. Näin ollen liitto oli 30 ensimmäistä vuottaan näiden kahden miehen, Malmion ja Kuuskosken hallinnassa. Näiden kahden tohtorin rooli korostuu vielä entisestään, kun muistetaan, että he toimivat myös liiton julkaisun Dimension edeltäjän Matemaattisten Aineiden Aikakauskirjan (MAA:n) päätoimittajina. Julkaisun perustamispäätös oli tehty Niilo Kallion alustuksen pohjalta liiton vuosikokouksessa Tampereella 10.6.1936, ja lehti alkoi ilmestyä 1937. Päätoimittajana oli aluksi Bruno Malmio 1937–1941. Vuodesta 1941 päätoimittajana jatkoi kukas muu kuin Urpo Kuuskoski, joka oli päätoimittajana aina vuoteen 1965 asti.

Sekä Bruno Malmio että Urpo Kuuskoski olivat li-säksi ahkeria oppikirjojen laatijoita. He tuottivat oppi- ja tietokirjallisuutta yksin ja eri ryhmissä. Helposti voi ajatella niinkin, että heidän toimintansa tavoitteena matematiikan ja fysiikan opettajien keskuudessa oli myös luoda suotuisa ympäristö oppikirjojensa tuottamiselle ja markkinoimiselle.

MAOL arvosti Urpo Kuuskosken ansiokasta liitos-ta tehtyä työtä kutsumalla hänet liiton ensimmäiseksi kunniapuheenjohtajaksi vuonna 1966. Malmio taas oli kutsuttu liiton kunniajäseneksi vuonna 1952. •

MALin gradupalkinto Miika Manulle Jyväskylään



Miika Manu (Kuva: Anssi Kumpula)

MAL jakaa vuosittain palkinnon parhaaksi katsomalleen edellisenä vuonna valmistuneelle pro gradu tutkielmalle matematiikan, fysiikan ja tietojenkäsittelytieteen alueilta. Tämänvuotinen palkinto ojennettiin 12. marraskuuta **Miika Manulle** hänen työstään ”*Geodeettisen sädemuunnoksen ja valonsädemuunnoksen injektiivisyys*”. Työtä ohjasi Jyväskylän yliopiston matematiikan ja tilastotieteen laitoksella apulaisprofessori **Joonas Ilmavirta**.

Euklidisessa avaruudessa määritelty reaaliarvoinen funktio määrittyy yksikäsitteisesti integraaleistaan kaikkien suorien yli. Tätä klassista matemaattista tulosta voidaan pitää tietokonetomografian perustana: kuvataan esimerkiksi kappaleen tiheyttä kussakin pisteessä funktiona, röntgensäteitä geometrisina suorina ja niiden läpimenon vaimenemista kullakin läpäisevällä säteellä tiheysfunktion integraalilla kyseisen suoran yli. Työs-

sä on näytetty yksityiskohtaisesti, että edellä mainittu klassinen tulos yleistyy kaareviin ja myös suhteellisuusteorian aika-avaruuden tyyppisiin avaruuksiin. Suoria vastaavat tällöin geodeesit eli lyhimmän etäisyyden polut kyseisessä avaruudessa. Työ on kirjoitettu suomeksi (mikä varmaan pannaan positiivisesti merkille TEKin Pilkkukerhossa!), ja se on ladattavissa linkistä <https://jyx.jyu.fi/bitstreams/6277db9f-5402-4aa5-9d2f-df34d1513f90/download>

Aihe on graduksi erittäin haastava. Tutkielman rakenne ja argumentaation kulku ovat Manun itsenäisesti rakentamia, ja työn eräät kohdat nojaavat varsin tuoreisiin matematiikan tuloksiin. Tuore filosofian maisteri Miika Manu jatkaa nyt gradunsa aihealueella väitöskirjatutkijana Jyväskylän yliopistossa inversio-ongelmien tutkimusryhmässä. Onnittelut kaikkien MALilaisten puolesta! •



Merja Korpelan muistolle

Merja tuli järjestömme MALin (Matemaattis-luonnon-tieteellisten Alojen Akateemiset ry) jäseneksi lähes 40 vuotta sitten. Pian hän tuli myös mukaan toimintaan ja aktiiviseksi hallituksen jäseneksi.

Muistamme Merjan ahkerana ja ututterana järjestöihmisenä. Hän toimi aikoinaan hallituksessa sihteerinä ja hänellä oli omia vastuutehtäviä ja eri rooleja toiminnan osa-alueilla.

Mieleemme jäi pysyvästi se innokkuus, sitoutuneisuus ja tekemisen ilo, mikä välittyi Merjan osallistumisesta ja läsnäolosta. Hän oli keskeisenä puuhaajana mm. järjestämässä tilaisuuksia kuten tutustumismatkoja eri kohteisiin, viimeksi vielä viime vuoden keväänä Loviisan ydinvoimalaitokselle. Myös järjestön matkojen suunnittelussa, koulutustapahtumien ja kirjoittajakurssien järjestelyissä hän oli vahvasti mukana. Merja muisti aina myös ideoita ja hankkia järjestömme pikku muistamisia ja lahjoja, joita annettiin mm. vierailukäyntiemme yhteydessä.

Merja oli ammattialojemme todellinen asiantuntija. Hänen omin alueensa oli ns. ATK, myöhemmin IT ja ICT jne., eli tietotekniikka eri muodoissaan. MAL-lehteen kirjoittamassaan uratarinassa ”IBM:stä Intiaan”

(MAL-lehti 4/2020, <https://bin.yhdistysavain.fi/1602541/KSHa5Lju0IqYIWqHGtyY0Usnfr/MAL-4-2020.pdf>) hän kertoo monista työ- ja päällikkötehtävistään tietotekniikkayhtiöissä. Jo lapsena Merjalle oli tullut selväksi, että hän hakeutuu alalle, jossa tarvitaan numeromaista ajattelua. Em. uratarinassaan hän kirjoitti hauskaasti siitä, miten kiinnostui jo lapsena numeroista: ”... luki yhtä, luki toista, luki viimein viit-tätoista, yksi, kaksi, kolme, ... viisitoista”.

Merja arvosti suuresti tutkimusta ja tiedettä, mikä tuli usein esiin hänen kommentoidessaan alamme asioita ja eri henkilöitä. Intiassa työskennellessään hän osallistui myös vapaaehtoistyöhön mm. opettamalla nuorille naisille tietokoneen käyttöä. Tässä tuli mielestäni esiin Merjan empaattinen olemus toisia kohtaan. •

Me MALissa jäämme suremaan ja muistellemme lämmöllä Merjaa!

Jaakko Ojala,
Merja Korpelan hautajaisissa 23.8.2025

Merja Korpela on poissa

MALin pitkäaikaisimpiin aktiivitoimijoihin kuului filosofian maisteri Merja Korpela kuoli pitkälliseen sairauteen 2. elokuuta. Hän oli syntynyt 16.1.1950. Merja toimi MALin hallituksessa todellakin loppuun asti, sillä vielä heinäkuussa sairaalaan jouduttuaan hän huolehti sähköpostitse siitä, että MALin syyspäivistä muistettiin tiedottaa ajoissa. MAL jää syvästi kaipaamaan Merjan iloista, sydämellistä ja aikaansaavaa hahmoa, joka oli jotta-kuinkin aina paikalla, kun MALissa jotain tapahtui.

Ilkka Norros

MAL:n syyspäivät 2025 Jyväskylässä: katsaus monitieteiseen tutkimukseen

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemisten syyspäivät järjestettiin 18.–19. syyskuuta 2025 Jyväskylässä. Tapahtuma kokosi yhteen jäsenistöä tutustumaan yliopiston ajankohtaiseen tutkimukseen sekä alueen tieteellisiin ja kulttuurisiin kohteisiin.

Torstain ohjelma käynnistyi kokoontumisella ja lounaalla Agora-rakennuksen ravintola Piatossa. Iltapäivän tieteellisessä osuudessa kuultiin ensin professori **Teiko Heino-saarelta** katsaus IT-tiedekunnan kvanttitutkimukseen. Esitelyssä käsiteltiin muun muassa kvanttilaskennan teoreettisia perusteita ja alan sovelluksia. Tämän jälkeen tutustuttiin kognitiotieteen tutkimukseen, jossa korostuivat ihmisen ajattelun mallintaminen ja kognitiivisten prosessien analyysi.

Lyhyen kahvitauon jälkeen vuorossa oli Matematiikan ja tilastotieteen laitoksen tutkimuksen esittely, jossa esiin nousivat sekä perustutkimus että sen yhteydet data-analyysiin ja soveltavaan mallintamiseen. Torstain ohjelma huipentui opastettuun kierrokseen Alvar Aalto -museossa, minkä jälkeen osallistujat kokoontuivat illalliselle hotelli Alban Clubi-kabinettiin.

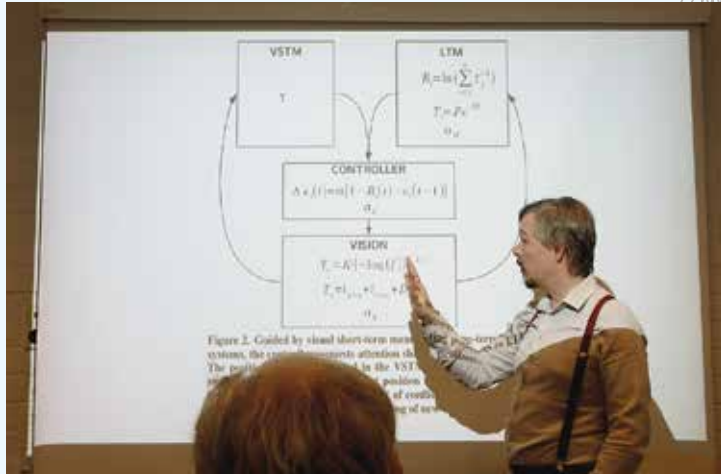
Perjantain ohjelma alkoi Fysiikan laitoksella, jossa esiteltiin laitoksen hiukkaskiihdytintä. **Taneli Kalvaksen** johdolla osallistujat saivat katsauksen kiihdyttimen toimintaperiaatteisiin ja sen tarjoamiin tutkimusmahdollisuuksiin.

Seuraavaksi tutustuttiin analyttisen kemian ja kiertotalouden tutkimusryhmään professori **Ari Väisäsen** johdolla. Esitelyssä painottuivat uudet menetelmät, joilla pyritään edistämään kestäväen kehityksen tavoitteiden toteutumista ja tehostamaan ainekiertoja.

Lounaan jälkeen ohjelma jatkui biologian tutkimuksen parissa. Professori **Marja Tiisola** esitteli sekä yliopiston biologian tutkimuslinjoja että BiopSense Oy:n toimintaa, joka hyödyntää biologisia analytiikkamenetelmiä käytännön sovelluksissa.

Iltapäivällä siirryttiin Nanotiedekeskukseen, jossa osallistujat nauttivat kahvitauon ennen tutkimuskeskuksen toiminnan esittelyä. Professori **Jussi Topparin** johdolla tutustuttiin nanoteknologian tutkimukseen, sen välineistöön ja uusia sovelluksia avaaviin ilmiöihin.

Syyspäivät päättyivät perjantaina klo 16. Tapahtuma tarjosi osallistujille monipuolisen katsauksen Jyväskylän yliopiston tutkimusaloihin sekä mahdollisuuden verkostoitua ja vaihtaa kokemuksia eri alojen asiantuntijoiden kanssa. •



Gradujen aiheita vuonna 2024

Osa III: Fysiikka

Tänä vuonna MAL-lehti on kurkistanut eri alojen pro gradu -töihin.

Tällä kertaa vuorossa on fysiikka.

Fysiikan alan opinnäytteisiin perehdymme tutustumalla Helsingin yliopistossa viime vuonna julkaistuihin pro graduuihin. Yhteen yliopistoon rajautuminen ei kerro koko totuutta, mutta antaa silti varsin kattavan kuvan alan kirjosta. Helsingin yliopistossa maisteriohjelmaa on useita: teoreettiset ja laskennalliset menetelmät, alkeishiukkasfysiikka ja astrofysikaaliset tieteet, materiaalitutkimus sekä meteorologia, ilmakehä- ja ilmastojärjestelmätieteet. Gradulista onkin yllättävän monipuolinen. ”Fysiikka” ei selvästikään tarkoita vain yhtä asiaa.

Aiheet kattavat koko skaalan: puhtaasti teoreettisista pimeään aineen malleista aina käytännönläheisiin tutkimuksiin, kuten lääkinällisten laitteiden kehitykseen. Mahtuupa mukaan myös kvanttilaskennan hyödyntämistä sijoitusportfolion hallinnassa.

Perustutkimus on vahvassa asemassa, mutta laskennalliset mallit ovat sitäkin vahvemmin läsnä. Monet gradut eivät rakenna teoreettisia malleja alusta tai raportoi kokeellisia tuloksia, vaan soveltavat laskennallisia menetelmiä, simulointia ja data-analyysiä monenlaisiin ongelmiin. Tämä näkyy kaikilla osa-alueilla, oli sitten kyseessä kvanttisysteemit tai ilmastomallit.

Maisterin tutkielma syntyy usein osana yliopiston tutkimusryhmän toimintaa. Niinpä vakiintuneiden tutkimuslinjojen tai yksittäisten ohjaajien vaikutus saattaa näkyä aihevalinnoissa. Tuskin lienee sattumaa, että esimerkiksi ultraääni on vahvasti esillä elektronikan graduissa.

Kuusi graduista on kirjoitettu suomeksi. On ilahduttavaa, että fysiikasta voi ja edelleen kirjoitetaan äidinkielellä. Tosin suomenkieliset työt painottuvat soveltaviin aloihin, kuten lääketieteelliseen fysiikkaan ja ilmakehätieteisiin, missä termistö lienee vakiintuneempaa kuin vaikkapa teoreettisessa fysiikassa.

Yhteiskunnalliset trendit näkyvät graduissa vain hillitysti. Kvanttilaskenta on mukana useissa töissä, mutta niin on ollut jo pitkään. Tekoäly on läsnä, mutta sekin maltillisesti. *Machine learning*-termi toistuu muutamassa otsikossa, mutta *deep learning* vain kerran.

Fyysikoilla on maine monialaisina ongelmanratkaisijoina. Yksittäinen fyysikko ei ehkä pysty aivan kaikkeen, mutta tämän listan perusteella väite on kollektiivisesti hämmästyttävän tosi: yksi pohtii hiukkasfysiikan standardimallin laajennuksia, toinen optimoi sädehoitoannoksia ja kolmas mallintaa eksoplaneettojen pilviä. Fysiikan kieli taipuu kuvaamaan monenlaisia ilmiöitä maailmassa.

Teoreettisten ja laskennallisten menetelmien maisteriohjelma

Optimizing coherence and anharmonicity of superconducting qubit

Vector dark matter as an SU(2) extension of the Standard Model

Suppression of leakage errors during single-qubit gates by destructive interference in multimode driving

Singlet Fermion Dark Matter

Soft gluon self-energy at NLO in cold quark matter

QCD outcomes in e-e⁺ -collision in collinear factorization

Information theoretical analysis of ULF Pc5 waves and electron fluxes at the Earth's radiation belts

Velocity Profile Relaxation Times in Phase Transitions

Supervised dimensionality reduction for molecular data

Chern–Weil theory of characteristic classes of complex vector bundles

Deep Learning-Based Damage Detection in Carbon Fiber-Reinforced Polymer

An investigation of hydration layer structures on K-feldspar surfaces using atomistic simulations

Pure SU(N) gauge theory with a twist: measuring interface tension in SU(4)

Proton Transfer through the E Channel of Respiratory Complex | Probed by Hybrid QM/MM MD Simulations

Sampling Directed Acyclic Graphs Using Dynamic Parallel Tempering Schemes

Bubble nucleation in finite-density gauge theory using the AdS/CFT correspondence

Comparative study of Variational Quantum Eigensolver for small molecules

First principles parametrization of electron-phonon interaction in swift heavy ion irradiation

The activation mechanism of metabotropic glutamate receptor 5

Quantum Monte Carlo Study of Positron-Molecule Binding

Addressing Barren Plateaus in QAOA using layer-wise and adaptive optimization

The effect of sound speed on the gravitational wave spectrum of first order phase transitions in the early universe

Alkeishiukkasfysiikan ja astrofysikaalisten tieteiden maisteriohjelma: Astrofysikaaliset tieteet

The Impact of AGN Feedback on Galaxy Formation in Gas-Rich Mergers at z~1-2

Fast radial transport of equatorially trapped particles in the Earth's radiation belts

A Study on Magnetic White Dwarfs from the LAMOST DR7

Correlation of solar wind parameters and MLT dependent ground-based ULF wave index during large solar wind structures

Surface Heterogeneity on Near-Sun Asteroid (3200) Phaethon Through Linear Polarimetry

Magnetotail jet fronts as seen by a global hybrid-Vlasov simulation

AXES-2MRS: a new all-sky catalogue of extended X-ray galaxy groups

The Earth's Magnetospheric Convection in Vlasiator

Galaxy morphology analysis on James Webb Space Telescope data

Satellite Solar Cell Degradation Estimates for Carrington-Scale Space Weather Events

Alkeishiukkasfysiikan ja astro-fysikaalisten tieteiden maisteriohjelma: Alkeishiukkasfysiikka ja kosmologia

Constraining twin stars with ab-initio calculations

Lattice measurements of the static quark-antiquark potential and holographic bulk reconstruction

One-Point Functions in ABJM Theory and Integrability

Exploring the gravitational wave power spectrum from cosmological phase transitions with PTPlot

Junction conditions in general relativity

Modeling Vector Boson Scattering in the Hadronic Final State with MadGraph5 aMC@NLO

Materiaalitutkimuksen maisteriohjelma: Kokeellinen materiaalfysiikka

The Impact of Impurities on the Formation Stages of Sputtered Thin Metallic Films

Development of X-ray μ CT Analysis Methods for studying Fibrous Meat

Materiaalitutkimuksen maisteriohjelma: Laskennallinen materiaalfysiikka

ML-MD simulations of the effect of beryllium on plastic deformations in copper

Modelling the formation of NV centers in nitrogen doped diamond

Mechanical and Thermal Model of Metallic Objects in a Changing Magnetic Field

Materiaalitutkimuksen maisteriohjelma: Lääketieteellinen fysiikka ja biofysiikka

Initial Target Development for an Accelerator-based Neutron Irradiation Station

Kuvanlaadun parantaminen kartiokeilatomografiassa

Production of ^{52}Mn with IBA Cyclone 10/5 medical cyclotron for early PET studies

Potilasannosten optimointi kuvantamishjatussa sädehoidossa

Quality Assurance in Diffusion Magnetic Resonance Imaging: Evaluating Imaging Protocols in a Multiscanner Hospital

Materiaalitutkimuksen maisteriohjelma: Elektroniikka ja teollisuusfysiikka

Internally Calibrated Scanning Acoustic Microscope Imaging of Rabbit Femur

Recovering Gold from E-waste Using High-Intensity Focused Ultrasound

Investigation of the Physical, Chemical, and Morphological Factors affecting the Oleogelation Abilities of Ultrasound-Enhanced and Needle-Based Electrospun Dextran, Gelatin, and Starch Fibers

Development of a Wireless Ultrasound Sensor Network for Structural Health Monitoring

Wireless ultrasonic system for pipeline defect localization

Scaling Up Ultrasound-enhanced Electrospinning

Ultrasonic manipulation of phase separated matter at water-air interface

Ilmakehätieteiden maisteriohjelma: Aerosolifysiikka

Analyzing Volatile Organic Compounds from the Baltic Sea using Vocus PTR-TOF-MS

Description and characterization of a novel Coughing Head Aerosol Generator

Reproducing Large-Eddy Simulation of Pollutant Concentration Using Machine Learning

Ilmakehätieteiden maisteriohjelma: Hydrosfäärin geofysiikka

Comparison of Surface Albedo and Top of Atmosphere Albedo in the Arctic

Maaperän jään mallinnus routajäristysten ennakoinnissa

Ilmakehätieteiden maisteriohjelma: Kaukokartoitus

Quantifying environmental thresholds for increased Norway spruce mortality in Finland

Validation of XCO₂ retrieval in high latitudes from OCO-2 version 10 product using ground-based TCCON measurements

Radio Frequency Interference (RFI) in Solid-State Weather Radars

Ilmakehätieteiden maisteriohjelma: Meteorologia

Studying the effect of a new aerosol option on HARMONIE-AROME sea fog forecasts

Kansalaisten Netatmo-kesäsadehavaintojen laatuanalyysi

The effect of large-scale circulation pattern variability in the northern Atlantic-European region on the boundary layer characteristics in Helsinki, Finland

Suomen lumivyöryennusteiden tila ja tulevaisuus osana eurooppalaista lumivyöryvaroituspalvelua (EAWS)

Changes in diurnal temperature range in Finland between 1961–1990 and 1991–2020

Proximity Sounding Analysis of Supercell Environments in Finland

Effect of forest management on carbon and energy budgets on mineral soil, in pine forests in Finland

Lorenz energy cycle of a baroclinic wave simulation

Impact of warming sea surface temperature on anticyclonic Rossby wave breaking during Northern Hemisphere winter and summer

Pilvet eksoplaneettojen kaasukehässä: vaikutukset elinkelpoisuuteen ja transmissiospektriin •

HÄRKÄÄ SARVISTA

Tilaa Härkää sarvista - Matematiikan osaaminen nousuun

Kirja on saatavilla sähköisessä muodossa
sivulla mal-liitto.fi/julkaisut.
Se on kaikkien ladattavissa.



Kirjasta voi myös hankkia paperisen version.
Kirjaa painaa painotalo Copy-set Oy.

**Kirjaa on saatavissa Book on Demand-
tyyppisesti hintaan 44 EUR,
jossa mukana myös ALV.**

Hinta sisältää kirjan ja sen toimittamisen
lähimmälle noutopisteelle. Kirja maksetaan
lähetyksen mukana tulevalla laskulla.

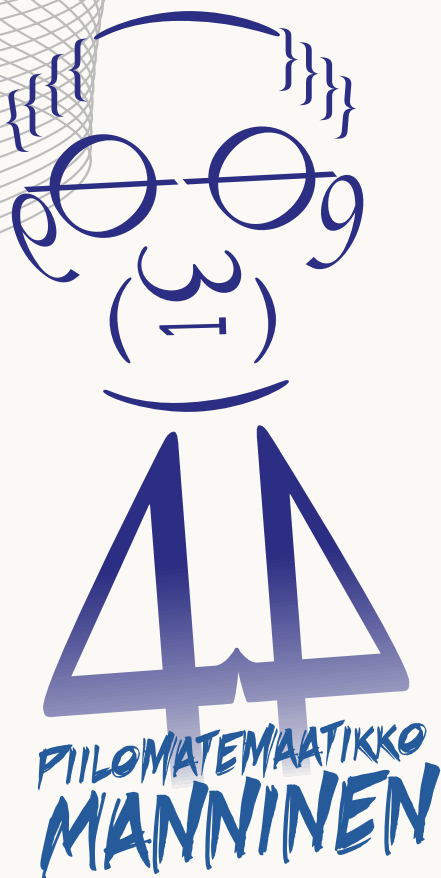
Tilaus lähetetään Copy-set Oy:lle
(copy-set@copy-set.fi). Tilauksesta tulee
ilmetä tilaajan nimi, osoite,
sähköpostiosoite ja puhelinnumero.

Toimitusaika noin 2–3 työpäivää.
Laskun maksuehto: 14 pv netto.

Kirjaa voi tilata myös isommissa erissä.
Tällöin 50 kpl maksaa 875 EUR + alv 10%
ja 100 kpl maksaa 1 450 EUR + alv 10%.

Hinnat sisältävät toimituksen yhteen
osoitteeseen. Jos haluaa lähettää kirjaa
yksittäisiin osoitteisiin, niin tällöin
toimitus maksaa 15 EUR per osoite.

Kirjaa voi tilata myös jonkin muun halutun
määrän ja siten, että ne jaellaan toimitetun
osoitteiston mukaan. Tällöin tulee pyytää
erillinen tarjous painotalolta.



Kylmäfuusion lämpimät lupaukset

Aina silloin tällöin fysiikan kentälle putkahtelee ilmiö, joka lupaa ratkaista kaikki ongelmat kerralla. Kylmäfuusio kuuluu tähän sarjaan. Se vaikuttaa uhmaavan kaikkia tunnettuja sääntöjä, mutta säieteorian ja monen muun tapaan se pysyy pinnalla vuodesta toiseen.

Kylmäfuusion ongelma on tunnettu ja helppo muistaa: kukaan ei ole onnistunut toistamaan sitä luotettavasti eikä saamaan ulos enempää energiaa kuin systeemiin on laitettu sisään. Toisin sanoen tulos on vakaa: se on aina epävarma. Jos koe ei tuota energiaa, niin ainakin se tuottaa selityksiä!

Toisaalta, markkinoille on ihan oikeasti saatu näiden kokeiden seurauksina Sandia National Laboratoriesin valmistama neutristori. Tämä yksinkertainen siru tuottaa neutroneita kokeisiin kun siihen syöttää virtaa. Neutronilähteenä toimii palladiumpinnalle vangittu deuterium, joka selvästikin tekee jotain fusion kaltaista koska laite puskee ulos neutroneita. Harmi kyllä tästä systeemistä ei kannata haaveilla saavansa ulos enempää energiaa kuin siihen on laitettu sisään.

Onhan se selkeää. Jos laite tuottaisi enemmän energiaa kuin siihen laitetaan, se olisi välittömästi Nobelin arvoinen, EU:n kiireellisesti säädeltävissä ja naapurin kellarissa käyttökiellossa. Mutta koska se ei tee niin, sitä saa vapaasti myydä, kantaa, kuljettaa ja unohtaa varastoon muiden harrastusten, kuten kuntopyöräilyn ja abstraktin algebran, seuraan.

Neutronilähde siis muistuttaa kylmäfuusiota siinä missä säieteoria muistuttaa suhteellisuusteoriaa: omalla tavallaan samankaltainen, mutta ilman vaarallisia sivuvaikutuksia. Sillä erotuksella, että neutristori ei koskaan väitä ratkaisevansa kaikkea, tai edes energiakriisiä. Korkeintaan se ratkaisee fyysikon neutronitarpeet.

Kylmäfuusion lupaukset jäävät siis odottamaan tulevaisuutta, joka ei ole vieläkään tullut (eikä näillä näkymin ole tulossakaan). Neutristorit puolestaan jatkavat hiljaista elämäänsä laboratorioden hyllyillä. •

{ MEDIAKORTTI }

MAL-lehden julkaisija:

Matemaattis-luonnontieteellisten alojen Akateemiset ry

Puheenjohtaja:

Esko Juuso puheenjohtaja@mal-liitto.fi

Toimituskunta:

Suvi Lahdenmäki, päätoimittaja

suvi.lahdenmaki@gmail.com

Ilkka Norros tiedottaja@mal-liitto.fi

Taneli Prittinen

Niklas Hietala

Juulia Kärki

Painettu lehti ilmestyy helmikuussa

Sähköinen lehti: kesäkuu ja lokakuu

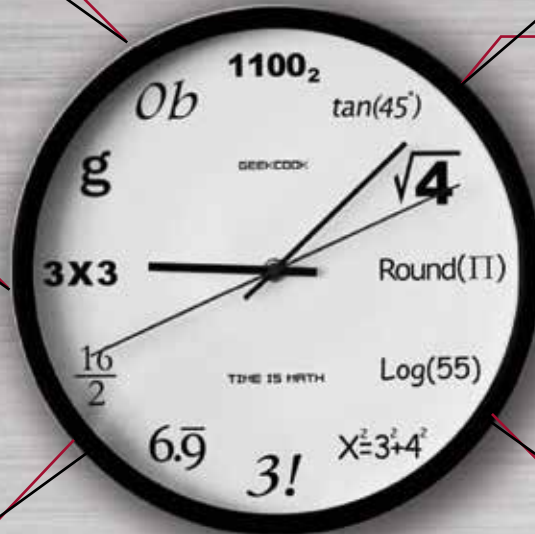
Julkaisija varaa itselleen oikeuden ilmestymisaikojen muutoksiin.

Lehden kaikki numerot ovat luettavissa **pdf-muodossa**

sivulta <https://www.mal-liitto.fi/julkaisut/mal-lehti>

sekä hakutoiminnoilla varustetussa **blogimuodossa**

sivulta <https://mal-lehti.fi>.



**Seuraavan lehden aineistopäivä:
13.2.2026**

Formaatti: 220x280 mm

Taitto: Sivupainajainen Kirsi Pääskyvuori

Paino: Copy-Set Oy, Helsinki

{MAL}

Ratavartijankatu 2, 00520 Helsinki

puh. (09) 229 121

www.mal-liitto.fi

toimisto@mal-liitto.fi