

Fyysikko yhteiskunnallisena vaikuttajana (Pekka Jauho)

Me olemme sukupolvi, joka on ensimmäisenä nähnyt atomit konkreettisina olioina ja täten siirtyneet lopullisesti atomiteoriasta atomioppiin. Fysiikan tulevaisuus onkin yhä enenevässä määrässä löydettävissä sen sovellutuksista: kemiasta, biologiasta, tekniikasta ja ihmistieteistä, joiden edistyminen tulevaisuudessa painottuu fysiikan ja matematiikan menetelmien laajaan soveltamiseen. Fyysikkojen kyky rakentaa matemaattisia malleja ja heidän kokemuksensa niiden soveltamiseen liittyvistä rajoituksista ovat erittäin hyödyllisiä hyvin laajalla yhteiskuntamme toiminnan alueella. Jo lukioissa, mutta myös yliopistokoulutuksessa tulee myös kiinnittää huomiota fysiikan maailmankatsomusta muokkaavaan funktioon.

On sanottu, että vain tyhmyt pyrkivät ennustamaan, koska onnistumisen toteutumistodennäköisyys useasti on hyvin pieni. Tästä huolimatta uskallan kurkistaa fyysikon yhteiskunnallisen aseman tulevaisuuteen, koska sen kaavailu on paitsi huvittavaa myös mahdollisesti jopa hyödyllistä. Vaikka näkemykseni ei olisikaan totta, toivon sen silti olevan hyvin keksitty.

Fysiikan kehityksen vallankumouksellinen yhteiskunnallinen vaikutus

Modernin fysiikan ensimmäiset askeleet löytyvät antiikin Kreikasta, jonka kultaisella vuosisadalla muotoutui pariksi vuosituhanneksi käsityksemme luonnon ilmiöistä ja niiden lainalaisuuksista. Aristoteles ja muut peripateetikot loivat maailmankatsomuksen, jonka kristillinen kirkko hyväksyi ainoaksi oikeaksi. Sen mukaan Jumala, joka oli täydellinen, oli luonut maailman täydelliseksi ja pysyväksi ainakin maailman loppuun saakka. Tiede oli paljolti tästä johtuen dogmaattista keskustelua eikä ilmiöiden kokeellista tutkimusta juuri harjoitettu.

Renessanssi muutti täydellisesti tilanteen. Kun Galileo Galilei suuntasi primitiivisen instrumenttinsa kohti planeettoja, romahti koko aikaisempi maailmankatsomus, joka oli jo kärsinyt löytöretkien vuoksi pahoja kolhuja. Kuu ei ollutkaan sileä taso, Venuksella olivat vaiheet, Jupiterilla kuut, Auringolla pilkut ja Linnunrata muodostunut miljoonista tähdistä. Maakeskinen käsitys sortui ja muuttui Kopernikuksen työhön perustuen vähitellen aurinkokeskiseksi. Mikroskooppi avasi nähtäväksi solujen ja mikrobien maailman, jota paljas ihmissilmä ei kyennyt erottamaan. Käsitys elämästä muuttui, veri ei värähdellytkään maksan ja verisuonten välillä, vaan oli kiertoliikkeessä sydämen pumppaamana. Galilei loi uuden tavan lähestyä luonnonilmiöitä kokeiden ja mittausten avulla. Syntyi moderni fysikaalinen ajattelu, jossa totuus perustui mittausten ja teorian yhtäpitävyyteen. Siirryttiin uskomusten maailmasta vähemmän romanttiseen reaali maailmaan. Kirkon tukema vanha usko maailman ilmiöistä oli pakko hylätä paikkansa pitämättömänä. Tämä oli ensimmäinen vallankumous.

Keplerin lait saivat selityksensä Newtonin nerokkaasta painovoiman tulkinnasta ja hänen kehittämistään liikelaistaan, jotka voitiin esittää matemaattisessa muodossa ja ratkaista tarkasti. Ensimmäisen kerran fysiikka muuttui tieteeksi, joka kykeni hämmästyttävän tarkasti ennustamaan tulevaisuutta jopa miljooniksi vuosiksi eteenpäin. Vasta hiljattain tapahtunut deterministisen kaaoksen keksiminen on osoittanut, että asia

ei olekaan niin yksinkertainen, hyvin pitkällä aikavälillä voi ilmetä yllättäviä kaaosmaisia liiketiloja. Luonnon noudattamien kokeellisten lakien tutkimisen ja niiden matemaattisen käsittelyn yhdistämisen oli todellinen mullistava läpimurto, joka laukaisi vuosisataisen kehityksen fysiikassa ja mahdollisti myös tämän menetelmän voitollisen leviämisen aluksi astronomiaan, kemiaan, biologiaan ja tekniikkaan. Nämä alat ovat kaikki senlaatuista, että voidaan puhua tarkasti määritellystä tilasta, sen ajallisesta kehityksestä eli dynamiikasta, sekä järjestelmän osien välisistä vuorovaikutuksista. Myöhemmin menetelmä on myös levinnyt ihmisiä käsitteleviin tieteisiin kuten ekonomiaan, psykologiaan ja yhteiskuntatieteisiin. Näissä tieteissä vuorovaikutus on useimmiten informaation vaihtoa, liikeyhtälöitä ei ole olemassa siinä muodossa kuin ne määritellään fysiikassa eikä myöskään ole löydettävissä fysiikassa tunnettuja säilymlakeja. Luonnontieteellinen metodi onkin viimeksi mainituilla tieteiden alueilla venytetty pätemisensä äärialueille. Voinee väittää, että jopa marxismien synnyn liittyvän läheisesti Newtonin lähestymistapaan. Ihmistieteissä todennäköisyyteen perustuva formalismi olisi usein ehkä ollut oikeampi lähestymistapa. Tämä oli toinen vallankumous.

Sähkömagnetismin lakien keksiminen ja saattaminen Maxwellin yhtälöiden häikäisevän kauniiseen muotoon suppeassa suhteellisuusteoriassa aukaisi oven sähköenergian kehittämiseksi, siirrolle ja hyväksikäytölle. Siihen liittyi myös myöhemmin viestinnän valtava kehitys ja tiedonkäsittelyn siirtyminen tietokoneille. Ilman sähkömagnetismin kokeellista ja teoreettista tutkimista nämä, koko nyky-yhteiskunnan olemassaololle keskeiset toiminnat, eivät olisi olleet lainkaan mahdollisia. Voidaan sanoa, että yksi globalisaation syistä on Maxwellin yhtälöiden keksiminen. Tämä oli kolmas vallankumous.

Suppean ja laajennetun suhteellisuusteorian avautuminen loi puitteet sekä astronomian että ydinfysiikan kehitykselle kvanttimekaniikan syntymisen muodossa. Einstein ja Bohr aukaisivat tien atomien ja ytimien maailmaan, tekivät mahdolliseksi ydinaseen sekä ydinenergian synnyn ja kvantitatiivisen hiukkasfysiikan kehittämisen vieläkin ratkaisemattomine syvällisine ongelmineen. Maailmankatsomuksellisesti kvanttimekaniikalla on syvä vaikutus, osoittihan se tietomme tarkkuusrajojen olemassaolon atomaarisia ilmiöitä tutkittaessa. Se oli tietoteoreettinen kvanttihyppy klassillisesta ajattelusta modernin fysiikan maailmaan. Fysiikan kehitystä myötäili myös matematiikassa Gödelin lause sellaisten loogisten väitteiden olemassaolosta, joita ei annetun täydellisen aksiomatiikkajärjestelmän puitteissa voida osoittaa oikeiksi eikä vääräksikään. Jumalan pysyväksi uskottu järjestynyt maailmankaikkeus olikin monessa suhteessa ihmiselle vain osittain avautuva, mutta samalla niin haasteellinen ja uusia vielä ratkaisemattomia tieteellisiä ongelmia tarjoava kokonaisuus. Tämä oli neljäs vallankumous.

Edellä on pyritty lyhyesti osoittamaan, että fysiikka on aina ollut ja tulee myös tulevaisuudessa olemaan yksi ja ehkä tärkein keskeisesti maailmankatsomustamme muokkaavista oppirakennelmista. Se ei ole tylsä eikä vailla inhimillisiä tiedollisia sekä taiteellisia arvoja oleva tiede. Sen omaksuminen viestinsä keskeisiltä osiltaan onkin muodostunut sivistyneen länsimaisen ihmisen tukeväksi reaktiopohjaksi monia elämän tilanteita varten, sen avulla voidaan siirtyä uskomusmaailmoista vahvistetun tieteellisen tiedon maailmaan. En kumminkaan halua väittää, että se olisi koko maailmamme, ihmisen alitajunta ja mielikuvitus sallivat hänen liikkuvan monissa muissa viehättävissä maailmoissa. Tämä tilanne asettaa hyvin vaativat kriteerit fysiikan opetukselle sen

kaikilla asteilla kouluista yliopisto-opetukseen ja tieteelliseen koulutukseen saakka.

Fysiikon ura modernissa maailmassa

Koulujen fysiikan opetuksen asema on Suomessa aivan liian heikko ja alan opetus ei yleensä ole fysiikkaa hyvin tuntevien opettajien käsissä. Opettaminen yliopistotasolla taas on valitettavan usein aliarvostettua, koska siinä menestyksellisesti toimivia ei erikoisesti huomata ja palkita. Päinvastoin tieteellinen työ taas on korkeasti arvostettua, monin tavoin julkisesti palkittua, uralla etenemistä suosivaa ja siten houkuttelevaa. Tämä tilanne ei ole suotuisa fysiikan opetukselle eikä myöskään yliopistojen omalle kehitykselle. Väite, että hyvä tutkija on usein huono opettaja, ei voi yleisesti pitää paikkaansa. Todella asiaansa syvällisesti perehtyneellä tutkijalla tulisi olla voimakas halu myös jakaa tietojaan oppilailleen, jotka myöhemmin omalta osaltaan ovat vastuussa alan jatkuvuudesta ja kehityksestä yliopistossa. Periaatteena tulisikin olla, että jokainen tutkija yliopistoympäristössä olisi velvoitettu ajoittain myös luennoimaan - toki siten, ettei se estä vaan tukisi hänen tutkimustyötään. Useimmissa ulkomaisissa yliopistoissa luennointia pidetäänkin keskeisenä menestyvän yliopisto-opettajan tehtävänä.

Fysiikan maisterin tutkinto tai tohtorin arvo poikkeaa monista yliopistoissa opetettavista aineista siinä, että opetuksen ja tutkimuksen lisäksi ei yhteiskunnassa ole olemassa nimettyä alan teollisuutta tai muuta selvää elämänuravaihtoehtoa. Suomen Fysikkoseuran matrikkelin perusteella voi päätellä, että tällä hetkellä opetus ja tutkimus ovat täysin hallitsevia fysiikkouran suuntautumisessa. Vain noin 10 % heistä on teollisuudessa, kaupan alalla tai hallinnollisissa tehtävissä, johon silloin on laskettu mukaan myös sairaalafysikot. Tämä ei ole Suomen kaltaisessa pitkälle kehittyneessä teollisuusmaassa lainkaan tyydyttävä jakautuma. Yhdysvalloissa laaditun tilaston mukaan fysiikan maistereista toimi vuonna 1994 teollisuudessa 33 %, yksityisellä sektorilla 27 %, valtion hallinnossa 18 %, akateemisella uralla 17 % ja tuntemattomissa tehtävissä 5%. Vastaavat luvut tohtorien kohdalla olivat 21 %, 9 %, 23 %, 42 % ja 5%. Verrattaessa omiin lukuihimme on ero todella huolestuttava. Voidaan jopa väittää, että fysiikkojen ääni ei kuulu yhteiskunnassamme sillä voimakkuudella, mikä olisi maalle tarpeellista. Monet päätökset tehdään tästä syystä ilman tajua ilmiöiden suuruusluokasta ja merkityksestä; mittayksikköjäkään ei ymmärretä, Megawatti sotkeentuu milliwattiin, kvantifioitavissa olevia ilmiöitä ei edes yritetä saattaa määrälliseen muotoon ja harvoin pyritään käyttämään mallintamista, vaikka yhteiskunnan toimintojen monimutkaistuminen sitä edellyttäisi.

Tilanteen korjaamiseksi fysiikan keskeinen merkitys yhteiskunnassa on tehtävä selväksi jo kouluopetuksessa. Se voi tapahtua vain tekemällä opetus oppilaille mielenkiintoiseksi ja haastavaksi. Vastakkaisista väitteistä huolimatta en nimittäin usko siihen, että nykynuoret välttämättä pyrkisivät yli siitä, mistä äita on matalin. Aineen mielenkiinto lisääntyy, jos tulevaisuudessa voidaan osoittaa fysiikan yliopistollisten opintojen avaavan mahdollisuuksia moniin mielenkiintoisiin tehtäviin, joissa voi toteuttaa itseään ja jopa luoda nousujohtoisen uran.

Ongelma on olemassa myös yliopistojen piirissä, alalle ei ole helppo saada riittävän runsaasti opiskelijoiksi parasta ylioppilasainesta, joka tuntuu olevan enemmän kiinnostunut nopeasta rahasta kuin mahdollisimman tasapainoisen kuvan luomisesta

ympäröivästä maailmasta. Henkisten arvojen painottaminen on kumminkin sitä todella aitoa eurooppalaisuuden ydintä, johon meidänkin olisi Suomessa pyrittävä yliopisto-opetuksessa.

Fyysikkojen toiminta-alueen laajentaminen perinnäisen opetuksen ja tutkimuksen ulkopuolelle ei ole helppo tehtävä, sillä nämä uudet alueet vaativat usein fyysikoille vieraita valmiuksia kuten ihmisten käsittelytaitoja, johtamiskykyä ja talouselämän lakien tuntemista. Tarvitaan siis näiden alojen koulutusta vasta valmistuneille fyysikoille.

Fysiikka - loppuuntutkittu tiede?

Fysiikkaa on usein sanottu loppuuntutkituksi tieteeksi, voimallisimmin 1800-luvun lopulla -

juuri ennen suhteellisuusteorian ja kvanttimekaniikan keksimistä. Niin kuin yhteiskuntamme kehitys on surmannut sankarit, niin myös fysiikassa tuntuu sankariteorioiden aika nyt olevan hetkellisesti ohitse. Kaiken Teoria olisi hyvä kandidaatti sankarikasvatukseen, mutta läpimurtoa ei ole tullut ja sen pikaista tulemistakin ovat monet alkaneet epäillä. Fysiikan ehkä lupaavin uusi alue on nanotekniikka, josta Feynmania lainaten "on löydettävissä paljon mielenkiintoista". Me olemme sukupolvi, joka on ensimmäisenä nähnyt atomit konkreettisina olioina ja täten siirtyneet lopullisesti atomiteoriasta atomioppiin. Fysiikan tulevaisuus onkin mielestäni yhä enenevässä määrässä löydettävissä sen sovellutuksista: kemiasta, biologiasta, tekniikasta ja ihmistieteistä, joiden edistyminen tulevaisuudessa painottuu fysiikan ja matematiikan menetelmien laajaan soveltamiseen.

Fyysikkojen kyky rakentaa matemaattisia malleja ja heidän kokemuksensa niiden soveltamiseen liittyvistä rajoituksista ovat erittäin hyödyllisiä hyvin laajalla yhteiskuntamme toiminnan alueella. Niinpä esimerkiksi lääketieteessä voidaan kehittää kemiallisena tehtaana toimivan solun ja jopa kokonaisen elimen toimintaakin kuvaava malli. Energiantuotanto ja hapenkuljetus organismeissa avautuvat nekin mallintamiselle. Nanotekniikan futurologien ajatukset solutasolla toimivista roboteista edellyttävät robottien ja kudoksen välisen vuorovaikutuksen selvittämistä mallintamalla. Kemiassa on esimerkiksi proteiinien laskoistumisen massiivinen mallintamisongelma vielä ratkaisematta, vaikka sen merkitys niin terveelle kuin myös sairaalle kudokselle on tullut selväksi. Teollisuudessa ympäristöongelmien teoreettiset mallit, jotka liikkuvat usein menetelmän pätevyysalueen ulkoreunoilla, vaativat jatkuvaa tarkentamista.

Luotettavuus- ja turvallisuusmallit edellyttävät usein niiden kohteena olevien järjestelmien fysikaalisten ominaisuuksien syvällistä tuntemusta. Eräänä esimerkkinä vaikkapa aineiden vanhenemisilmiöt ja niiden nopeutettu kokeellinen tutkimus, jossa saatujen tulosten tulkinta voi olla erittäin vaikeata. Monien yhteiskunnan prosessien riittävän luotettava ja turvallinen toiminta perustuu kvantitatiiviseen luotettavuus- ja turvallisuusanalyysiin. Voidaan väittää, että ilman näiden käyttöä tietokoneet eivät toimisi, lentoliikenne ei olisi riittävän turvallista eikä ydinvoimalaitoksen käyttö olisi hyväksyttävää. Uudet tietokone- ja ohjelmointitekniilliset sovellutukset kumpuavat usein fysiikan ongelmista, joiden suora matemaattinen ratkaisu ei ole osoittautunut

mahdolliseksi.

Suhtautumiseen fysiikkaan vaikuttaa valitettavan usein täysin epäoleelliset seikat kuten fyysikkojen osallistuminen ydinaseen kehittämiseen ja ydinenergiatekniikan hyväksikäyttöön. Ydinase meillä on joka tapauksessa keskuudessamme, mutta tämän aseiden käytön ja leviämisen estäminen on myös fyysikkojen tärkeä tehtävä.

Ydinenergiaan suhtautuminen on paljolti riippuvainen globaalin energijärjestelmän ongelmien syvällisen ymmärtämisen kanssa. On ilmeistä, että energia-alalla ajaututaan lähimmän viidenkymmenen vuoden kuluessa syvälliseen kriisiin öljyn ja maakaasun hinnan noustessa niin korkeaksi resurssien vähetessä, että niiden käyttöä on pakko rajoittaa radikaalisesti pelkästään jo kustannussyistä. Energijärjestelmän dynamiikan tutkiminen osoittaa, että sen hallittujen, suurien taloudellisten tappioiden aiheuttamattomien muutosten nopeus voi olla vain suuruusluokkaa 2-3 % vuodessa, eli tästä johtuen ei ole mahdollista korvata kallistuvia energiaraaka-aineita öljyä ja kaasua muilla kuin saastuttavalla kivihiilellä tai ydinenergialla. Uusiutuvat energialähteet eivät voi korvata kuin osan globaalisesta energiatarpeesta ja senkin usein energian hinnasta ja laadusta tinkien. Tilanne sisältää tyypillisen valinnan kahden vaikean vaihtoehdon välillä, jotka molemmat pitemmällä aikavälillä johtavat elintasomme huomattavaan laskuun. Tähän ongelmaan olisi fyysikoillakin paljon tärkeää sanottavaa. Samankaltaisia ongelmia sisältyy myös muihin globaaliin megasysteemeihin kuten, materiaali-, informaatio- ja viestintä-, elintarvike- ja juomavesijärjestelmiin, vain muutamia keskeisiä mainitakseni.

Fysiikan maailmankuvallinen merkitys

Jo lukiossa, mutta myös yliopistokoulutuksessa tulee kiinnittää huomiota fysiikan maailmankatsomusta muokkaavaan funktioon. Ilman fysiikan läpimurtoa ei maailmamme olisi se, jossa nyt elämme. Vain tajuamalla ilmiöiden syyt ja niiden seuraukset on mahdollista pyrkiä hallitsemaan elämänsä rationaalisella tavalla. Fysiikka on paras lääke huuhaa-opeille, jotka jatkuvasti pyrkivät nousemaan luonnontieteellisen tietämättömyyden suosta. Ei vain fyysikoiden vaan jokaisen tulisi tuntea tärkeimmät mekaniikan säilymislaivit: Liikemäärän, impulssimomentin ja energian säilymisen vahvat lait. Olisi myös syytä ymmärtää näiden mittayksiköiden luonne sekä suureiden suuruusluokat eri ilmiöissä. Termodynamiikassa tulisi hallita ensimmäinen ja toinen pääsääntö ja kyetä ymmärtämään niiden yksinkertaisia sovellutuksia. Silloin ehkä ikiliikkujen keksiminen vähenisi ja keksintöjenkin laatu paranisi.

Vaikea kysymys on käytännön töiden ja demonstraatioiden saaminen mielekkäästi mukaan opetukseen. Ongelma koskee erikoisesti kouluja, joissa tietokoneet vievät mielestäni liikaa aikaa. Hyötyä olisi myös sorvaamisen, hitsauksen ja juottamisen alkeiden osaamisesta yleissivistävänä tietona. Ennen radioamatöörit rakensivat laitteitaan ja tulivat siten usein monitaitureiksi, tänään tietoteknillisten laitteiden kohdalla jo yksinkertaisimman pelikoneen ja robotin rakentaminen johtaa kustannusten resurssit ylittävään nousuun.

Loppujen lopuksi: tulisi ymmärtää, että fysiikka on vaativa henkinen haaste ja siinä kuin säveltäminen tai maalaustaide myös kulttuuri- ja kauneusarvoja sisältävä

tietokokonaisuus. Fysiikan tulee olla ei vain hyödyllistä vaan myös hauskaa.

*Kirjoittaja on akateemikko. Kirjoitus perustuu puheeseen Helsingin yliopiston
Physicum-rakennuksen vihkiäisissä 7.9.2001.*