

# Sata vuotta fysiikan kehitystä samoissa kansissa

Pekka Jauho

**Helge Kragh: *Kvanttisukupolvet – 1900-luvun fysiikka*. Suom. Kimmo Pietiläinen. Terra Cognita. Nid. 584 s.**

Helge Kragh on fysiikan tapahtumien keskipisteessä, Nils Bohrin laitoksen ilmapiirissä, elänyt tanskalainen matematiikan, fysiikan ja teknologian historian tutkija, jolla on kunnioitettavan laaja julkaisumäärä näiltä aloilta. Hänen pätevyytään lisää vielä työskentely teollisuuden ongelmien parissa. Alkaessaan kirjoittaa fysiikan kehitystä viime vuosisadalla käsittelevää teosta, hän kumminkin itse huomasi joutuneensa äärimmäisen vaikean tehtävän eteen. Tapahtumien vyöryä oli vaikea rajoittaa käytettävissä olevaan sivumäärään, siksi oli rajoitettava vain tärkeimpien tapahtumien esittämiseen yksityiskohtaisemmin. Kun samalla oli määriteltävä kohdeyhtymäksi fysiikasta kiinnostuneiden tavallisten sivistyneiden ihmisten joukko, oli pakko tehdä rajoituksia mukaan otettavassa aineistossa ja sen käsittelyssä.

Silmiinpistävin rajoitus on kaikkien kaavojen puuttuminen. Kun tästä huolimatta on käsiteltävä niin Einsteinin suppea ja yleinen suhteellisuusteoria ja kvanttimekaniikka kuin myös hiukkasfysiikan esoteeriset teorit, voi se tapahtua vain älyllisellä taitovoimistelulla.

Yksi teoksen jännitys kohdistuu mielenkiintoon tekijän onnistumisesta vaativassa tehtävässään.

Mukaan on otettu paitsi tärkeimmät fysiikan läpimurrot myös osa niiden mahdollistamista sovelluksista astronomiaan ja kosmologiaan. Myös osa sovelluksista tekniikkaan ovat osoittaneena perustutkimuksen tulosten merkityksestä tuotantoelämälle ja ihmisten toimeentulolle. Fyysikkojen lukumäärän kasvu tarkasteluaikana satakertaiseksi on merkittävä sosiaalinen tapahtuma eritoten, kun siihen liittyy vielä suurempi taloudellisten voimavarojen kasvaminen.

Mielenkiintoinen asia on fysiikan tutkimuksen maantieteellisessä jakautumassa tapahtunut radikaali muutos: Euroopan ollessa vielä vuosisadan alussa dominoiva maanosana on ylivaltaisuus alkaen 1930-luvun puolivälistä vähitellen siirtynyt Yhdysvaltoihin. Syynä ei ole ollut vain vainojen aiheuttama juutalaisten fyysikoiden massamuutto, vaan myös Atlantin takana tapahtunut tutkimuksen tason huimaava nousu, joka houkutteli etevät tutkijat muuttamaan tiedon lähteelle. Niinpä uusien tieteellisten keksintöjen ja teorioiden synty muutti maanosaa, tieteelliset artikkelit hakeutuivat valtaosin amerikkalaisiin julkaisusarjoihin ja aivan valtaosa Nobelin palkinnoista myönnettiin töistä, jotka oli suoritettu

sikäläisissä yliopistoissa. Euroopan tieteen tasoa korjattiin myös valtameren takana.

Jotta ymmärrettäisiin kirjan varsinainen viesti, on muistettava, että 1800-luvun fysiikka oli sen harrastajien mielestä täydellinen teoria, jota kokeelliset tosiseikat tukivat. Ajateltiin, että mullistavaa uutta ei enää löydetäisi, kaikki olisi vain tunnettujen teorioiden soveltamista ja tulosten hienosäätöä. Fysiikka olisi loppunut Newtonin ja Maxwellin aikaan. Mekaniikka kertoi, että Jumala oli käynnistänyt kellon, joka ohjasi determinististä tapahtumaketjua. Kaikki sähköiset ilmiöt voitiin selittää Maxwellin yhtälöillä. Tämän erehdyksen kohtaamiseen käytetään Kraghin kirjan liki 600 sivua. Rajapyykkinä toimii 1800-luvun lopussa tapahtunut röntgensäteiden löytö. Voitiin nähdä aineen läpi. Tästä itse asiassa seurasi myös se, että atomit olivat reaalisia olioita, aineen ”jakamattomia” perushiukkasia. Samalla luotiin yhdellä iskulla pohja modernille lääketieteelle, kun palpaatio eli koettelu voitiin korvata tuskattomalla läpivalaisulla.

### *Uuden oppimisen vaikeus*

Ensimmäinen todellinen läpimurto oli mustan kappaleen säteilyn spektrin selvittäminen. Tämä kauan aikaa fyysikkoja kiusannut ongelma selvisi, mutta kuinka yllättävällä tavalla. Max Planckin ja muiden tutkijoiden työt osoittivat, että säteilyn taajuusjakautuminen oli mahdollista ymmärtää vain ottamalla käyttöön säteilyn energian annoistuminen eli kvanttittuminen. Tämä totuus ja siitä seuraavat lukemattomat tarkkojen mittausten todentamat ilmiöt olivat niin vaikeita omaksua, että melkein koko edellisen vuosisadan fyysikkopolvi kuoli uskossa vanhoihin oppeihin.

Toinen vaikeasti hyväksyttävä mullistus oli Einsteinin suhteellisuusteorioiden syntyminen ja pukeminen häikäisevän kauniiseen kaava-muotoon, joka sisälsi valon nopeuden vakioisuuden kaikissa järjestelmissä ja mekaniikan eli kappaleiden ratojen selittämisen ei painovoiman vaan avaruuden käyristymisen seurauksena. Valon nopeuden vakioisuus oli huomattu kokeellisesti jo ennen Einsteinia. Sen sijaan yleisen suhteellisuusteorian sisältämä avaruuden metriikan muuttuminen massojen vaikutuksesta havaittiin kokeellisesti vasta kymmenen vuotta myöhemmin. Näiden uusien ajatusten juurtuminen fyysikkojen ajatusmaailmaan oli tuskallinen prosessi, voi melkein väittää, että se edellytti uuden sukupolven syntymistä.

Kolmas uusia ajatuskäytäntöjä edellyttävä havainto oli materiaalien hiukkasten aaltoluonne. Eräissä kokeissa ne käyttäytyivät kuin valoallot, niiden suihkuilla tapahtui interferenssi-ilmiö, sama, joka oli tuttu valolla. Kaikki tämä merkitsi sitä, että mekaniikka oli muutettava perusteitaan myöten siten, että se selitti sekä hiukkasluonteisen että aaltoluonteisen käyttäytymisen. Syntyi kvanttimekaniikka, joka käsittämättömällä tarkkuudella kykenee kuvaamaan atomaaristen elektronien ja muiden alkeishiukkasten käyttäytymistä. Onkin osoitettu, että ilmiöt, jotka voidaan tulkita joko klassillisella tai kvanttimekaanisella tavalla poikkeuksetta noudattavat jälkimmäistä teoriaa. Tämä ei kumminkaan edellytä vanhojen teorioiden täydellistä hylkäämistä, ne ovat edelleen käyttökelpoisia päätömisalueillaan kuten monissa käytännön elämän ongelmissa (esim. taivaanmekaniikassa ja sähköisten aaltojen etenemisessä).

Yksi asia on kumminkin muuttunut perusteellisesti ja peruuttamattomasti. Luonnon tapahtumien kuvaaminen on pohjimmaltaan tilastollista, ei ole mahdollista esimerkiksi sama aikaisesta paikantaa hiukkasta ja määrätä sen energiaa mielivaltaisella tarkkuudella. Tiedollamme luonnosta on niin muodoin raja, joka kulkee Heisenbergin epämääräisyysperiaatteen nimellä. Tästä tietojemme puutteellisuuden aiheuttamasta kielteisestä yllätyksestä huolimatta kvanttimekaniikka avasi uudet suuret alueet hyvin menestykselliselle tutkimukselle.

Kvanttimekaniikan omaksuminen on vaikea prosessi, mutta ilman sitä ei voi syventyä modernin fysiikan ajatusmaailmaan. Monelle se valitettavasti muodostuikin ylittämättömäksi esteeksi ja johti siten usein pitkiin, täysin hyödyttömiin keskusteluihin.

### *Hiukkasfysiikka ja fysiikan loppu?*

Hiukkasfysiikka on puhdas viimevuosisadan lapsi. Se on vaatinut massiivisia sijoituksia hiukkaskiihdyttimiin ja niitä käyttävien fyysikkojen palkkoihin. Näin suurisuuntainen sijoitus fysiikan kapeaan mutta tietenkin silti tärkeään osa-alueeseen ei olisi ollut mahdollinen ilman toisen maailmansodan aikaista suurprojektia, nimeltään Manhattan-projekti. Se työlli satojatuhansia ihmisiä, joukossa tuhansia fyysikkoja, ydinaseen kehittämiseen. Onnistuminen tehtävän ratkaisussa ja kahden ydinaseen käyttö sodassa aiheutti monille fyysikoille kollektiivisen trauman, jonka yksi purkautumistie oli osallis-

tuminen ydinenergian rauhanomaisen käytön edistämiseen. Niin ydinfysiikot loivat sekä ydinenergian että muut lukemattomat rauhanomaiset sovellutukset. Voidaan katsoa, että myös Cernin perustaminen oli eurooppalainen vastaus amerikkalaisten ylivoimaan ydinfysiikassa.

Hiukkasfysiikka on edelleen valinkauhassa, ryhmien esitysteoriaan perustuvat teoreettiset rakennelmat eivät ole saaneet aikaan samaa järjestystä kokeellisten mittausten antamiin tuloksiin kuin aikanaan Mendelejevin alkuaineiden systemaattinen taulukko tai ydinfysiikan ytimien nukliiditaulukko. Jos jossakin voidaan puhua fysiikan lopusta niin se on löydettävissä kokeellisesta hiukkasfysiikasta. Cerniin valmistuva hadronitörmäytin voi olla viimeinen kokeellinen laite, jota voidaan käyttää teorioiden verifiointiin; seuraavat voivat osoittautua liian paljon resurssija vaativiksi.

### *Kaikkien tieteiden äiti*

Teoksessa käsitellään myös fysiikan tulosten vaikutusta ja sovellutuksia eri alueilla. Kreikan klassillisena aikana filosofia oli tieteiden äiti. Viime vuosisatoina fysiikka puolestaan on siirtänyt tuloksensa, teoriansa ja kokeelliset metodinsa kaikkiin modernin eksaktin tieteen alueisiin. Niitä käyttävät kemia, biologia ja tekniikka siinä määrin, että on vaikea vetää rajaa fysiikan ja näiden tieteiden välille. Myös humanistiset tieteet ovat saaneet vaikutelmia; voidaan esimerkiksi väittää, että marxismin oppirakennelmana on osittain 1800-luvun fysiikan aikaansaamaa uskoa kaiken tapahtumisen yksikäsitteisestä määräytymisestä teoreettisten lakien ratkaisuilla. Kosmologiassa moderni fysiikka antoi selityksensä alkuaineiden synnylle ja avaruuden kehityksen laeille aina maailmankaikkeuden alkuhetkestä lähtien.

Nyky aikaista tekniikkaa ei voida ajatella olevan olemassa ilman fysiikan kehitystä. Siihenhän perustuvat metallurgia, sähkötekniikka, puolijohdetekniikka ja monet tuotantotekniikan prosessien toiminnan ja säädön keskeiset ratkaisut. Ei ole lainkaan liioiteltua väittää, että se kehittänyt maailma, jonka koemme ympärillämme, ei

olisi mahdollista ilman fysiikan valtavaa kehitystä. Monet muut inhimillisen elämän alueet, kuten lääketiede ja genetiikka, toimivat myös fysiikan varassa käyttämällä fysikaalisia mittalaitteita ja menetelmiä. Röntgen- ja gammasäteisiin tai ydinmagneettiseen resonanssiin perustuvien viipalekuvauksien runsas käyttö diagnostiikassa ja hoidon suunnittelussa ovat oivallisia esimerkkejä fysikaalisen tiedon merkityksestä.

### *Kaavattomuus ja esteettisen kokemuksen puute*

Helge Kraghin teos on ainakin fyysikolle helposti luettava ja se sisältää paljon jo unhoon vaipunutta tietoa kilpailevien teorioiden myllerryksestä ennen lopullisen laajan kattavuuden teorian syntyä. Tekijä on valinnut viisaasti oman referointijärjestelmän, jossa ei viitata vaikeasti saataviin alkuperäisjulkaisuihin, vaan käytetään sekundaarista referointia modernissa kirjallisuudessa. Nämä täydentävät tiedot käsiteltävistä aiheista ovat hyvin arvokkaita ei-fysiikon tutustuessa kirjan antiin.

Kaavojen puuttuminen on johtanut siihen, että fysiikan uniikki ominaisuus tuottaa tulevaisuudesta varmaa tietoa monilla alueillaan jää käsittelyn ulkopuolelle. Mikäpä muu tiede kuin fysiikka voisi ennustaa planeettojen liikkeitä satoja tuhansia vuosia eteenpäin. Tosin tähän on lisättävä, että ennustetta ei voida jatkaa satoihin miljooniin vuosiin epälineaarisisissa järjestelmissä havaitun deterministisen kaaoksen vuoksi. Toinen puute mielestäni on kaavattoman esityksen aiheuttama esteettisen kokemuksen puute. Tämä esteettinen kokemus kuuluu erottamattomasti fysiikan syvälliseen ymmärtämiseen ja sen kokemiseen mielenkiintoisena. Kuinka paljon kauneutta sisältyykään Maxwellin yhtälöihin niiden suhteellisuusteoreettisessa muodossa!

Kirja on suositeltavaa lukemista fysiikasta kiinnostuneille, intellektuaalisia haasteita harrastaville ihmisille. Teksti on sulavaa ja virheetöntä, kääntäjänä kokenut tieteellisen kirjallisuuden suomentaja Kimmo Pietiläinen.

*Kirjoittaja on akateemikko.*