

Kvanttifysiikasta lomittumisesta fysiikan Nobelin palkinto

Vuoden 2022 fysiikan Nobelin palkinnon jakavat ranskalainen **Alain Aspect**, yhdysvaltalainen **John F. Clauser** sekä itävaltalainen **Anton Zeilinger**, ilmoitti Ruotsin kuninkaallinen tiedeakatemia 4. lokakuuta. Palkinto myönnettiin ”lomittuneille fotoneille tehdyistä kokeista, joilla osoitettiin Bellin epäyhtälöiden rikkoutuminen, sekä urauurtavasta kvantti-informaatiotieteen kehittämisestä”.

Palkitut tutkijat ovat kukin tahoillaan työskennelleet kvanttimekaniikassa keskeisen ilmiön, lomittumisen, parissa. Kun esimerkiksi kaksi samassa prosessissa syntynyttä valohiukkasta eli fotonia on keskenään lomittuneessa tilassa, on niiden tiettyjen ominaisuuksien välillä yhteys. Tätä voidaan havainnollistaa vertaamalla fotoneita palloihin, jotka ovat väriltään joko mustia tai valkoisia. Kahden pallon tapauksessa toinen pallo on aina musta ja toinen valkoinen. Eli tarkistamalla toisen pallon värin tiedät samalla myös, että toisen pallon täytyy olla väriltään vastakkainen.

Mutta kvanttimekaniikka on paljon kummallisempaa, ja sitä on mahdotonta ymmärtää pelkällä arkijärjellä. Kvanttimekaniikan mukaan palloilla ei ole väriä, ennen kuin joku tekee mittauksen, joka paljastaa minkä värinen pallo on. Kyse ei ole pelkästään siitä, että kokeen suorittaja ei tiedä mittauksen tulosta tai pallon väriä ennen kuin on suorittanut mittauksensa, vaan luonnossa itsessään tämä ominaisuus ei ole määräytynyt, ennen kuin mittaus tehdään.

Kvanttimekaniikan mukaan maailma on pullollaan tämän kaltaisia outouksia, kun vain mennään riittävän pieniin mittakaavoihin. Selittääkseen asiaa arkijärjelle luontevammilla tavoilla ovat fyysikot ehdottaneet, että kvanttimekaniikan taustalla olisi jotain järkevämältä vaikuttavaa, niin sanottuja piilomuuttujia. Me emme tiedä, mitä nämä piilomuuttujat voisivat olla, mutta ehkä ne voisivat toimia täysin arkijärjen mukaisesti ja vain saada maailman näyttämään sellaiselta kuin kvanttimekaniikka meille yrittää kertoa? Tähän kysymykseen ratkaisua hahmoitteli nykyään edesmennyt John Bell, joka kehitti 1960-luvulla nimeään kantavan epäyhtälön, jolla voidaan erottaa nämä kaksi vaihtoehtoa toisistaan.

Bellin epäyhtälöä testasi kokeellisesti ensimmäisenä nyt palkittu John Clauser. Vuonna 1972 Clauser kollegoineen onnistui kehittämään koelaitteiston, jolla saattoi tutkia, voiko kvanttimekaniikan outoudet selittää piilomuuttujilla, vai tulisiko kvanttimekaniikan tulkintaa todellisuuden epämääräisestä luonteesta pitää totuutena. Laitteistolla mitattiin eri suuntaan lähetettyjen, lomittuneiden fotonien niin sanottua polarisaatiota eli sitä, minkä suuntaisia sähkö- ja magneettikenttiä ne kantavat mukanaan. Kvanttimekaniikan mukaan tämä suunta, joka on sama kahdelle lomittuneelle fotonille, määräytyy vasta, kun mittaus tehdään. Piilomuuttujateorioiden mukaan taas polarisaation suunta on jo määräytynyt, kun fotonit syntyivät – me emme vain voi saada sitä selville ennen kuin se mitataan. Kokeessa polarisaatio mitataan asettamalla molempien fotonien reitille on filteri, joka päästää lävitseen vain tietyn suuntaisesti polarisoituneita fotoneita. Kun lomittuneita fotonipareja luodaan valtavia määriä, on filtrit läpäisevien fotonien määrässä yhteys, jonka voimakkuudelle on kaikissa mahdollisissa piilomuuttujateorioissa tietty yläraja. Kvanttimekaniikka sen sijaan mahdollistaa paljon voimakkaamman yhteyden. Clauserin koe, kuten myös Alain Aspectin kollegoineen myöhemmin suorittamat kehittyneemmät kokeet, osoitti, että käytännössä Bellin epäyhtälö rikkoutuu hyvin suurella varmuudella. Tämä tarkoittaa, että kvanttimekaniikan tulkinta todellisuuden epämääräisestä luonteesta vaikuttaisi olevan oikeassa.

Lomittumiselle on kehitetty myös teknologisia sovelluksia. Fotoniparia monimutkaisemmat järjestelmät, joiden tutkimuksessa Anton Zeilingerin johtama ryhmä on toiminut edelläkävijänä, voivat sisältää useampia lomittuneita hiukkasia. Näihin perustuvat esimerkiksi kehitteillä olevat kvanttietokoneet sekä kvanttilaustekniikat.