

Ei tiedettä ilman ennustuksia

■ Syksy Räsänen

Hahmottelen ennustamista tieteessä, käyttäen esimerkkeinä hiukkasfysiikkaa ja kosmologiaa. Sana tiede tarkoittaa tässä luonnontiedettä laajasti ymmärrettynä, eli karkeasti sanottuna rationaalisia yrityksiä selvittää sitä, millainen fysikaalinen todellisuus on. En väitä näiden huomioiden olevan omaperäisiä.

”Itseä on helpoin huijata”

Tieteen tavoitteena on selvittää, mikä on totta, eli millainen asiointila maailmassa vallitsee, ja ymmärtää miksi näin on. Tieteellinen teoria on rakennelma, joka antaa maailmasta ei-subjektiiivisiä lausuntoja, joiden todenperäisyys on periaatteessa mahdollista varmistaa vertaamalla havaintoihin. Sana ei-subjektiiivinen viittaa siihen, että eri henkilöt päätyvät, toisistaan riippumatta, samoihin lausuntoihin.

Tällaisia lausuntoja on kahdenlaisia: sellaisia, jotka koskevat menneitä havaintoja ja sellaisia, jotka koskevat tulevia havaintoja. Keskityn aiheen mukaisesti jälkimmäisiin, eli ennustuksiin. Ne ovat tärkeitä kahdesta syystä.

Ensinnäkin, voi olla eduksi tietää, mitä tulevaisuudessa tapahtuu. Vaikkapa sään tuntemisesta on ilmeistä hyötyä. Toisaalta teknologinen kehitys perustuu fysiikan ennustusten ymmärtämiselle ja varmentamiselle, esimerkiksi elektroniikan tapauksessa kvanttikenttäteoriaan.

Toisekseen, ilman ennustuksia on vaikea tietää, onko teoria oikein. Paikkansapitävä teoria on välttämättä sopusoinnussa menneiden havaintojen kanssa, ja erityisen vakuuttavaa on se, jos teoria pystyy selittämään sellaisia menneisyyden havaintoja, joita ei ole muiden teorioiden puitteissa tyydyttävästi ymmärretty. Vuonna 1915 esitetty yleinen suhteellisuusteoria selitti 1850-luvulta asti tunnetun tekijän Mer-

kuriuksen radan kiertymisessä, ja tällä oli suuri merkitys teorian hyväksymiselle.

Menneissä havainnoissa on kuitenkin se ongelma, että on helppo keksiä järveviä mutta virheellisiä selityksiä asioille, jotka jo tietää. Richard Feynmanin, joka oli yksi kvanttikenttäteorian kehittäjistä, yllä oleva sitaatti viittaa tähän¹. Vaikka teorioiden lausunnot eivät riipu esittäjästä, on mahdollista ensin vakuuttua siitä, mikä on oikea selitys ja sitten sovittaa se teoriaksi, joka selittää menneet havainnot jollain monimutkaisella tavalla, jota kuvittelee luonnolliseksi. Toinen ongelma on se, että havaintoja voi usein selittää eri tavoilla. Tällöin valinta teorioiden välillä edellyttää toisistaan eroavia ennustuksia. Lisäksi teoriat ennustavat usein asioita, joihin ei muuten olisi tullut kiinnitettyä huomiota, ja vievät siten ymmärrystä eteenpäin.

Esimerkiksi hiukkasfysiikassa on olemassa suurellisen vaatimattomasti nimetty Standardimalli. Se selittää onnistuneesti kaikki hiukkas-kiihdyttimissä tehdyt havainnot (ja on ennustanut niitä oikein vuosikymmeniä). On olemassa satoja Standardimallin laajennuksia, jotka ovat sopusoinnussa menneiden havaintojen kanssa, mutta joiden ennustukset eroavat toisistaan. Ilman uusia havaintoja ei ole mahdollista selvittää, mikä niistä on oikein (vai ovatko ne kaikki väärin). Vaikka laajennuksia olisi vain yksi, niin ilman ennustuksia ei voisi tietää pitääkö se paikkansa. Yleisen suhteellisuusteorian tapauksessa sen ennustaman valon taipumisen näkeminen Auringon lähellä vuonna 1919 oli tärkeä osoitus teorian oikeellisuudesta, vaikka Merkuriuksen radan muutos oli havaintona luotettavampi.

1 Richard Feynman, valmistujaispuhe California Institute of Technologyssä, 1974.

Huomattakoon, että ei ole oleellista, minä aikana tapahtuneita asioita havainto koskee, ainoastaan se, milloin havainto tehdään. Esimerkiksi kosmologiassa lähes kaikki havainnot liittyvät menneisyyden tapahtumiin. Kosminen mikroaaltotausta muodostui 13 miljardia vuotta sitten, mutta ennen kuin se oli havaittu, kaikki sitä koskevat kosmologisten teorioiden lausunnot olivat ennustuksia. On yhä mahdollista tehdä ennustuksia niistä kosmisen mikroaaltotaustan piirteistä, joita ei ole vielä tarkkaan mitattu. Esimerkiksi geologiassa ja ilmastotutkimuksessa on samanlaisia piirteitä.

Ennustuksilla on siis keskeinen, käytännössä välttämätön, rooli sen varmistamisessa, onko teoria totta, riippumatta siitä, ovatko ennustukset käyttökelpoisia. Esimerkiksi kosmologian ennustuksista ei ole mitään nähtävissä olevaa käytännön hyötyä. Mutta ennustusten tekemistä ei voi sivuuttaa sillä, että sanoo haluavansa vain ymmärtää asioita. Ilman ennustusten tarkistamista ei tiedetä, koskeeko ymmärrys todellisuutta vai virheellisen teorian kuvaamaa mielukuvitusmaailmaa.

”Tiede etenee hautajaiset kerrallaan”

Kun on korostettu sitä, että on tärkeää että teorit tekevät oikeita ennustuksia, on syytä tarkentaa kuvaa: suuri osa teorioiden ennustuksista on väärin, ja teorioiden kyky ennustaa asioita on rajoitettu.

Ennen kuin jokin ilmiö ymmärretään, siitä on yleensä kilpailevia teorioita. Jos ne eivät osoittautu samaksi teoriaksi eri vaatteissa, niin ne ovat keskenään jossain suhteessa ristiriitaisia. (Esimerkiksi kvanttimekaniikasta kehitettiin erillinen matriisiteoria ja aaltofunktioiteoria, jotka jälkikäteen ymmärrettiin yhtäpitäviksi.) Ristiriitaisista teorioista korkeintaan yksi voi olla oikein. On tietysti mahdollista, että kaikki esitetyt teorit ovat sellaisenaan väärin, mutta joissakin niissä on paikansäpitäviä piirteitä. Esimerkiksi Peter Higgsin vuonna 1964 esittämä teoria siitä, miten hiukkaset voivat saada massat oli yksityiskohdissaan väärin, mutta idean toteutus Standardimallissa on osoittautunut oikeaksi.

Senkin jälkeen, kun löydetään jotakin ilmiötä

kuvaava oikea teoria, on asioita, joita sillä ei pystytä ennustamaan. Tähän on kolme syytä.

Ensimmäinen ja mielenkiinnostomin syy on se, että ihmiset tekevät virheitä. Mutta koska teorioiden lausunnot määriteltiin alussa ei-subjektiiiviseksi, tässä ei oikeastaan ole kyse virheellisistä ennustuksista, vaan väärinkäsityksestä siitä, mitä teoria ennustaa.

Inhimillisiin rajoituksiin liittyy toinenkin ongelma: joidenkin ennustusten laskeminen teoriasta voi olla ylivoimaista, vaikka se olisi periaatteessa mahdollista. Esimerkiksi yksi Standardimallin osa on teoria nimeltä QCD, joka kuvaa kvarkkien ja gluonien vuorovaikutusta ja sitä, miten ne sitoutuvat protoneiksi, neutroneiksi ja muiksi hadroneiksi. QCD määrittää sen, millaisia hadronit ovat ja miten ne vuorovaikuttavat (muilla Standardimallin osilla on tässä myös pieni osuus). Hadroneja koskevien lakien, eli ydinfysiikan, johtaminen QCD:stä on kuitenkin ihmisten kykyjen ulottumattomissa ilman supertietokoneita, ja niidenkin avulla siinä on onnistuttu vain hyvin rajoitetusti. Sää on arkisempi esimerkki: on mahdotonta luotettavasti ennustaa sään yksityiskohtia muutamaa päivää pidemmälle siksi, että ilmakehä on niin monimutkainen ja alkuarvoille herkkä järjestelmä.

Kiinnostavin ennustamisen epäonnistuminen liittyy siihen, että teorioilla on rajoitettu pätevyysalue. Jotkut pätevyysalueen rajoitukset ovat selviä jo teoriaa muotoiltaessa, toiset paljastuvat vasta kun ennustuksia verrataan havaintoihin. Tällöin teoriaa ymmärretään paremmin, koska tiedetään tarkemmin, mihin sitä ei voi soveltaa.

Esimerkiksi ydinfysiikassa protoneita ja neutroneita käsiteltiin pistemäisinä hiukkasina, kunnes havaittiin, että niillä on sisärakennetta, jonka kuvaamiseen kehitettiin QCD. Yleisen suhteellisuusteorian ja Standardimallin pätevyysalueen rajat eivät ole vielä tulleet vastaan, vuosikymmenien mittavasta etsinnästä huolimatta. Näiden teorioiden ennustusten menestystä pidetään ongelmana, koska sen takia ei ole päästy käsiksi tietoon siitä, mitä niiden tuolla puolen on.

Epäonnistuneet ennustukset ovat portti laajempaan ymmärrykseen. Yllä oleva Max Planckin, joka on yksi kvanttimekaniikan kehittäjistä, nimiin laitettu otsikkositaatti viittaa näkemykseen, jonka mukaan teoria ei syrjäytä edeltäjäänsä siten, että vanhan teorian kannattajat vakuuttuvat sen paremmuudesta, vaan siksi, että he kuolevat pois ja uusi sukupolvi oppii uuden teorian vailla ennakkoluuloja. Mutta se kelpaa myös kuvaamaan teorioiden menehtymistä tieteilijöiden kuoleman sijasta.

”Kosmologit ovat usein väärässä, mutta eivät koskaan epäröi”

Ajatusrakennelmat, jotka eivät tarjoa ennustuksia eivät kuitenkaan ole – ainakaan vielä – tieteellisesti hyödyttömiä, koska ne saattavat kehittyä ennustusvoimaisiksi teorioiksi. Teoriat aloittavat elämänsä vajaanuotoisina, usein spekulatiivisina, ideoina. Alussa niitä ei ymmärretä kunnolla, eikä niillä yleensä ole selkeitä ennustuksia, jos on niitä lainkaan. Jotkut ideat kehittyvät teorioiksi, jotka ymmärretään vähintäänkin kohtuullisesti ja joilla on ennustuksia. Kun ennustuksia on testattu, ne on huomattu paikansapitiviksi ja teoria ymmärretään hyvin, se voidaan katsoa varmennetuksi, vaikka sen pätevyysalue voikin olla pitkään epäselvä.

Joillakin ideoilla voi kestää pitkään kehittyä teorioiksi, eikä ole selvää, missä vaiheessa idea pitäisi hylätä ja todeta, että siitä ei tule teoriaa. Joskus tämä tapahtuu vasta silloin, kun keksitään samasta aiheesta parempi idea. On kui-

tenkin tärkeää, että tutkijat ovat rehellisiä siitä, missä vaiheessa teorian kehitystä ollaan. Ennustusten meneminen väärin ei ole ongelmallista, jos teoria ei ole vielä kunnolla kasassa. Mutta silloin teoriaa ei voi käyttää maailman selittämiseen, ainakaan ilman isoa kysymysmerkkiä.

Kun sanotaan, että teoriaan voi luottaa, niin sen ennustusten pieleen meneminen kertoo joko inhimillisistä virheistä laskuissa, käytettyjen havaintojen ongelmista tai pätevyysalueen ylittamisestä. Tai sitten siitä, että kyseessä ei itse asiassa ole tieteellinen teoria, eikä sen väitetyille ennustuksille pidä antaa sen enempää arvoa kuin arvauksille.

Väliotsikkona oleva sitaatti on laitettu suprajohtavuuden teoriaa kehittäneen fyysikko Lev Landaun nimiin. Viime vuosisadan alkupuolella kosmologiassa ja tähtitieteessä oli paljon spekulatiota ja väitteet maailmankaikkeudesta olivat kohtuuttoman varmoja, mutta tilanne muuttui 1990-luvulla. Nykyään kosmologiset havainnot ovat tarkkoja, analyysi on huolellista epävarmuutensa suhteen ja tutkijat ovat pettyneitä, kun vallitseva teoria ei ole vielä osoittautunut vääräksi. Näin saattaa käydä muillakin aloilla.

Kirjoittaja toimii teoreettisen fysiikan lehtorina Helsingin yliopistossa. Kirjoitus perustuu yhteiskuntatieteen filosofian huippuyksikön (TINT) järjestämällä tiedeidenvälisen keskustelun foorumilla (AID: www.helsinki.fi/tint/aid.htm) 8.12.2014 pidettyyn puheenvuoroon.