

ARTO ANNILA

# PIMEÄN AINEEN ONGELMA

Maailmankaikkeuden aineen arvellaan olevan pääosin pimeää, tuntematonta, mutta havainnot voidaan selittää näkyvän kaikkeuden laajenemisesta aiheutuvana painovoimana.

**P**imeän aineen olemus on nykyfysiikan suurimpia ongelmia. Mystistä substanssia ei ole suoranaisesti havaittu, vaan sen olemassaolo nojaa päättelyyn siitä, että galaksit pyöriivät ja liikkuvat nopeammin kuin mihin niissä näkyvän aineen aiheuttama painovoima riittää.

Jo 1960-luvulla amerikkalaisastronomit Vera Rubin ja Kent Ford huomasivat, että tähtien ja kaasupilvien kehänopeudet nousevat galaksin keskuksesta pois päin toisin kuin planeettojen ratanopeudet, jotka laskevat aurinkokunnan keskuksesta pois päin. Galaksin ytimen supermassiivinen musta aukkokaan ei selitä suuria kehänopeuksia, sillä pimeää ainetta on ennen muuta etäällä keskuksesta.

Pimeän aineen hypoteesin esitti sveitsiläisastronomi Fritz Zwicky jo 1930-luvulla selittämään sen, että galaksit liikkuvat ryhmissään nopeammin kuin niissä näkyvän aineen painovoima edellyttäisi. Myös naapurigalaksimme Andromeda tulee meitä kohti kovaa vauhtia, suunnilleen 300 km/s. Niin ikään galaksien takaa tulevien valonsäteiden taipumisesta on päätelty, että noin neljä viidesosaa tähtisumujen massasta on näkymätöntä. Vain gravitaatio näkyy.

Pimeää ainetta on vaikea havaita, ellei tiedä, mitä se on. On mitä on, sen vaikutuksen pitäisi vaihdella vuodenkierrossa, järkeilivät Andrzej Drukier, Katherine Freese ja David Spergel 1986. Ilmaisimet näyttävätkin suurimpia luke-

mia kesäkuussa, jolloin Maa kiertää Auringon kiertoliikkeen suuntaisesti Linnun-radan keskuksen ympäri. Vastaavasti lukemat ovat pienimpiä joulukuussa, kun Maa kiertää Auringon liikettä vastaan. Maa siis liikkuu jonkin substanssin suhteen, mutta minkä, on hämärää.

Pimeän aineen hiukkasiksi epäiltiin ensin neutriinoja, mutta niitä ei ole alkuunkaan kyliksi selittämään ”ylimääräistä” painovoimaa. Sitten ehdotettiin, että kaikkeus olisi nimenomaisesti tulvillaan heikosti vuorovaikuttavia massiivisia hiukkasia, mutta sellaisistakaan ei ole näyttöä. Myös hypoteettista alkeishiukkasta, aksionia, on kaavailtu pimeän aineen substanssiksi, muttei siitäkään ole jälkeäkään.

On jokseenkin merkillistä, että näkyvä aine määrää pimeän aineen levittäytymisen luonnonlainomaisesti. Miksei tuntematon materia ole ajautunut tunnetusta erilleen esimerkiksi galaksien törmäyksissä? Tätä Rochesterin teknillisen korkeakoulun fysiikan ja astronomian professori David Merritt pitää varteenotettavaa mutta sivuutettuna todisteena pimeän aineen hypoteesia vastaan (*Stud. Hist. Philos. Sci. B* 57, 41, 2017). Sen sijaan että nykyparadigma olisi hylätty, sitä on täydennetty, mikä näyttää älylliseltä epärehellisyydeltä.

Amerikkalainen astronomi Stacy McGaugh vuorostaan hämmästelee sitä, ettei edes himmeimmissä kääpiögalakseissa ole merkkejä siitä, että pimeä aine olisi irrallaan havaittavasta aineesta, vaikka pikkugalaksien pitäisi koostua lähes yksinomaan pimeästä aineesta (*Astrophys. J.* 836, 152, 2017). Tutkijoita askarruttaa myös se, että pimeä aine levittäytyy tavallista ainetta laveammalti galaksiryhmissä ja kääpiögalakseissa. Kosmologian standardimallia siis epäillään niin kuin tieteessä kuuluukin epäillä.

## Onko universaalihihtyvyys vain kosminen yhteensattuma?

Suurta läpimurtoa odotellessamme voimme kiinnittää huomiomme pieneen seikkaan. Galaksin kehänopeus ei kasva loputtomiin vaan vakiintuu kaukaisuudessa. Ääri nopeus mää-

räytyy galaksin massasta ja pienestä kiihtyvyydestä, joka näkyy myös galaksien keskinäisissä liikkeissä.

Tuo kiihtyvyys on – ihme kyllä – valonnopeuden ja universumin iän osamäärän suuruusluokkaa ( $10^{-10}$  m/s<sup>2</sup>). Onko tämä universaalkiihtyvyys vain kosminen yhteensattuma, vai vaikuttaako universumi jotenkin galaksien liikkeisiin? Tämä on kriittinen kysymys, sillä sattuma ei ole selitys. Mikä on syy-yhteys?

Äkkipäätä voi vaikuttaa kummalliselta, miten galaksiin voisi kohdistua kiihtyvyyttä kaikesta aineesta, jota on joka suunnassa yhtä paljon.

Vaikka kaikkeus on keskimäärin joka suunnassa samanlainen eli isotrooppinen, se ei ole tasa-aineinen eli homogeeninen. Lähtienoilla eli vanhimmassa kaikkeudessa ainetta on keskimäärin harvakseltaan, joten näillä main kaiken aineen painovoima on pieni. Sitä vastoin etäinen, varhainen maailmankaikkeus on tiheä, joten siellä painovoima on suuri. Niinpä laajenevan universumin menneisyydestä nykyhetkeen yltää avaruuden tyhjiön energiatihedden loiva liuku. Tätä universaalia painovoimakenttää ei pääse mikään pakoon, siksi se ilmenee luonnonlainomaisena.

Maailmankaikkeuden tiheästä menneisyydestä harvaan nykyisyyteen ulottuva painovoimakenttä näkyy selvästi vasta pitkällä, galaksien mittaisilla matkoilla. Niinpä galaksit pyöriivät ja liikkuvat nopeammin kuin niissä näkyvästä aineesta voisi päätellä. Aurinkokuntammekin kiertää suurella nopeudella (220 km/s) Linnunradan keskustaa.

Galaksien ”ylimääräiset” liikkeet eivät siis aiheudu pimeästä aineesta. Aine ei ole ensinnäkään näkymätöntä, vaan kaiken näkyvän aineen muuntuminen tähdissä tyhjiöksi näkyy ajan kanssa kaukaisten galaksien loittonemisenä ja lähigalaksien lähenemisenä.

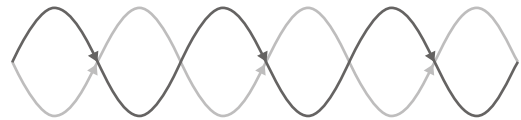
## Joskus voisi olla parasta korjata itse perusoletus

”Teoriaa ei osoiteta vääräksi ennen kuin parempi teoria ilmaantuu”, lausui Imre Lakatos, un-

karilaissyntyinen tieteenfilosofi. Vasta kun pidämme abstraktia aika-avaruutta vain todellisen tyhjiön matemaattisena mallina emmekä painovoiman selityksenä, olemme valmiita luopumaan pimeän aineen hypoteesista.

”Tyhjiö on avain luonnon täydelliseen käsittämiseen”, filosofoi brittifysikko Paul Davies Arizonan yliopistosta (*Superforce*, 1985, s. 104). Vaikka Michelsonin ja Morleyn koe (1887) kielteää valoa välittävän eetterin olemassaolon, se ei kuitenkaan poista sitä mahdollisuutta, etteikö tyhjiö itsessään olisi valoa. Idea vaikuttaa ensi kuulemalta absurdilta. Tyhjiöhän on läpinäkyvää. Miten valokvantit eli fotonit voisivat olla olemassa mutteivät näkyä valona?

Valokuvaajat ja lintuharrastajat tietävät kokemuksesta, ettei ohuella kalvolla päällystetty linssi heijasta häiritsevästi. Tosiasiassa valoaallot heijastuvat sekä linssin että kalvon pinnasta mutta tavoittavat toisensa siten, että yhden aallonharja täyttää täsmälleen toisen aallonpohjan.



Fotoniparit eivät näy valona. Vastakkaisvaiheisina fotonit kumoavat toistensa sähkömagneettiset voimat, mutta ne eivät sinänsä häviä olemattomiin vaan etenevät yhtä matkaa.

Valokvanttiparien tyhjiö on läpinäkyvää muttei olematonta. Koemme tyhjiön olemuksen painovoimana ja massan hitautena (*Kaiken maailman kvantit*, 2019). Tyhjiön spektri eli Planckin säteilylaki kertoo valokvanttien jakautuvan lukuisiin fotoniparien ketjuihin, olettaen, että avaruuden perusyksikkö on fotonin pituinen eli Planckin vakion mittainen, kuten nuori intialaisfyysikko S.N. Bose kirjoitti Einsteinille vuonna 1924.

Näin nähtynä pimeä aine muistuttaa episyklejä, joita aikoinaan lisäiltiin toinen toisensa perään, jotta maakeskinen malli saatiin sopimaan tarkentuneisiin havaintoihin. Francis Ba-

con tunki totunnaisen vaalimisen vian (*Novum organum*, 1620, 1: XXV): ”Jos jotain uutta ilmenee, jota emme ole havainneet tai tunteneet aiemmin, pelastamme perusoletuksen jollakin perusteettomalla poikkeuksella, vaikka oikeampaa olisi korjata itse perusoletus.”

## Pimeää ainetta ei tarvita selittämään valon taipumaa

Valonsäde taipuu painellessaan painovoimakentän poikki kuten kulkiessaan linssin läpi. Niinpä galaksin takaa tuleva säde taipuu, joskin paljon enemmän kuin yleisen suhteellisuusteorian mukaan valon suunnan pitäisi muuttua näkyvän aineen painovoimasta. Zwicky tajusi tämän ristiriidan jo 1930-luvulla, joskin varsinaisesti vasta 1980-luvun havainnoista pääteltiin, että pimeää ainetta olisi noin neljä viidesosaa kaikesta aineesta.

Lyhimmän ajan lainalaisuuden mukaan valo taipuu painovoimasta liki viisi kertaa enemmän kuin mitä yleinen suhteellisuusteoria sanoo. Pimeää ainetta ei siis tarvita selittämään valon taipumaa.

Miten yleisen suhteellisuusteorian tulos voisi olla väärin? Teoriahan selittää moitteettomasti kaukaisesta tähdestä tulevan, Auringon pintaa viistävän valonsäteen taipuman. Vai selittääkö?

Sir Arthur Eddington teki ensimmäisenä tuon vaikean, täydellistä auringonpimennystä vaativan mittauksen vuonna 1919. Nykyään painovoiman vaikutus fotonien kulkuun mitataan tarkimmin siitä, kuinka paljon radiosignaali viivästyy sivutessaan Aurinkoa matkallaan, esimerkiksi Venukseen ja takaisin. Fotonin matka-aika Auringon painovoimakentässä on pidempi kuin etäämmällä avaruuden tyhjiön kentässä, kuten se on lasissakin pidempi kuin ilmassa. Lyhimmän ajan periaate antaa viiveen oikein, 195 mikrosekuntia.

Kuten tunnettua yleinen suhteellisuusteoria antaa niin ikään oikean tuloksen, mutta viive lasketaan eri yhtälöstä kuin mistä taipuma. Miksi suhteellisuusteoria tarvitsee eri yhtälöt saman fotonin kulun kuvaamiseen?

Valonsäteen taipuma määritetään erosta tähden suunnassa auringonpimennyksen aikaan ja puoli vuotta myöhemmin kirkkaalla yötaivaalla. On ilmeistä mutta olennaista huomata, että valonsäde saapuu eri kohtaan maanpinnalle kuljettuaan gravitaatiolinssin läpi kuin tultuaan suoraan yötaivaalta. Jotta vertailtavana olisi sama eikä rinnakkainen yötaivaan säde kuin pimennyksen aikaan, kaukoputkea pitäisi siirtää suunnanmuutosta vastaavan matkan verran. Suunnanmuutoksen ja suuntaissiirtymän yhteyden näkee helposti. Kun katsoo ojennetun käntensä etusormeja vuorotellen oikealla ja vasemmalla silmällä, sormi näyttää liikkuvan taustansa nähden. Silmän vaihto eli katselupaikan siirtymä siis vaikuttaa siihen, missä suunnassa kohde näkyy.

Mitä ilmeisimmin Eddington ei ottanut suuntaissiirtymää huomioon, joten taipuma nähtiin pienempänä kuin se oli. Einstein käsitti kirkkaasti kokeen ja teorian suhteen. Mikään määrä kokeita ei milloinkaan osoita teoriaa oikeaksi, mutta vääräksi riittää yksikin koe.

## Selitysten sopusointuinen kokonaisuus on vakuuttavaa

Olennaista ongelmassa on se, etteivät havainnot sinänsä todista yhtä tai toistakaan teoriaa oikeaksi, sillä mittaus edellyttää käsitystä mitattavasta. Lukuarvo ei sellaisenaan merkitse mitään, vaan vasta tullessaan tulkituksi jotenkin. Loppujen lopuksi selitysten sopusointuinen kokonaisuus on vakuuttavaa.

Yhtäältä astronomisten mittausten nykytulokinta tuottaa vaikutelmia pimeästä aineesta, toisaalta hiukkasfysiikan standardimalli ei ole sellaista substanssia vailla. Se on ristiriitaista. Jotta näkisimme nykykäsitysten vahvuudet ja heikkoudet, tarvitsemme tavanomaisesta terävästi eriyvää järkeilyä. Näkökanta vailla vastakkaista käsitystä on sumea kuin kuva vailla kontrastia. ■