

# OPPITUNTEJA NÄKYMÄTTÖMÄSTÄ MAAILMASTA



## SYKSY RÄSÄNEN

Kun fysiikan läpimurroista kerrotaan vain valmiiseen kehykseen laitettu ongelma, keskeiset havainnot ja oikea ratkaisu, voi olla vaikea ymmärtää, mikä niissä on ollut vaikeaa.

Todellisuudessa tutkimuksen tie on harvoin suora. Yleensä ongelmana ei ole vastauksen keksiminen annettuun kysymykseen, vaan sen hahmottaminen, mikä on oikea kysymys. On tyypillistä, että aluksi on vain hämärä idea, joka selkeytyy hiljalleen teorioiden ja havaintojen vuorovaikutuksessa. Valaiseva esimerkki ymmärryksen hitaasta kasautumisesta on pimeä aine.

**E**nsimmäisen kerran pimeästä aineesta kirjoitti tähtitieteilijä *Jacobus Kapteyn* vuonna 1922. Hän tarkoitti ainetta, jota ei nähdä, mutta joka havaitaan gravitaation kautta. Vuonna 1932 *Jan Oort* ilmoitti havainneensa pimeää ainetta. Oort mittasi Linnunradan kiekkoa vastaan kohtisuoraan sahaavien tähtien nopeuksia. Mitä enemmän massaa kiekossa on, sitä voimakkaammin se vetää tähtiä puoleensa eli sitä nopeammin ne liikkuvat. Vertaamalla tähtien nopeuksia kiekossa näkyvän aineen massaan Oort päätteli, että on huomattavasti ainetta, jota ei nähdä.

Oortia ei kuitenkaan muisteta pimeän aineen löytäjänä, siitä surullisesta syystä, että hän oli väärässä. Huoleellisempi tarkastelu osoittaa, että näkyvä aine riittää hänen havaintojensa selittämiseen varsin mainiosti. Ensimmäisen oikeaksi osoittautuneen havainnon pimeästä aineesta teki *Fritz Zwicky* 1933, vuotta myöhemmin. Hän ei tarkastellut tähtien liikkeitä galakseissa, vaan galaksien liikkeitä Coman galaksiryppäässä, mutta idea on sama: mitä enemmän massaa, sitä vinhemmin kappaleet kieppuvat. Zwicky päätteli, että suurin osa Coman massasta on pimeää ainetta.

Havainnoissa on usein tulkinnanvaraa, eikä pimeän aineen olemassaoloa vuosikymmeniin hyväksytty yleisesti (Zwicky oli sitä mieltä, että syynä oli tähtitieteilijöiden keskinkertaisuus). 1970-luvulla *Vera Rubin* ja muut tähtitieteilijät tutkailivat muita galakseja entistä tarkemmin ja huomasivat, että tähdet ja kaasu niiden reunamilla kiertävät odotettua nopeammin. Tämä teki selväksi, että pimeää ainetta todella tarvitaan. Havaintojen perusteella pimeää ainetta pitäisi olla neljä-viisi kertaa niin paljon kuin näkyvää ainetta, niin että se muodostaa maailmankaikkeuden rakenteen näkymättömän luurangon. Seuraava kysymys oli se, mitä pimeä aine on.

Ensin kannattaa kokeilla yksinkertaisinta vastausta: ehkä kyse on tavallisesta aineesta ra-

kentuvista isoista kappaleista, jotka ovat liian himmeitä jotta niitä erottaisi? Yksinkertaisin vaihtoehto on usein väärä: pian selvisi, että kyse ei ole tavallisesta aineesta, vaan pimeä aine koostuu joistakin hiukkasista, jotka vuorovaikuttavat heikosti sekä valon että tavallisen aineen kanssa. Tämä selittyy helposti sillä, että hiukkasella ei ole sähkövarausta. Näemme kappaleita siksi, että niiden sähkövaraukset lähettävät tai heijastavat valoa, joka osuu silmiimme. Samoin pystymme koskemaan kappaleita siksi, että ihomme uloimpien atomien elektronien sähkövaraus hylkii aineen elektronien sähkövarausta.

Tarvitaan siis hiukkanen, jolla ei ole sähkövarausta ja joka ei hajoa nopeasti. Tällainen ehdokas löytyikin kaupan hyllyltä: vuonna 1956 oli löydetty neutriinot. Neutriinot sopivat pimeän aineen muottiin täydellisesti: niillä ei ole sähkövarausta, ne elävät ikuisesti ja niitä on kaikkialla maailmankaikkeudessa, noin 340 kappaletta kuutiosenttimetrissä. Vuonna 1980 eräs tutkimusryhmä raportoi mitanneensa ensimmäistä kertaa laboratoriossa neutriinon massan, ja ilmoitti tuloksen sopivan siististi yhteen tarvitun pimeän aineen massan kanssa. Hiukkasfysiikka ja kosmologia paikkasivat kättä.

Sääli vain, että koetulos neutriinon massasta oli täysin väärä. Kaupan päälle tarkempi tutkimus vielä osoitti, että neutriinot eivät muutenkaan kelpaisi pimeän aineen hiukkasiksi. Koska neutriinon massa on pieni, ne liikkuvat nopeasti: jos pimeä aine koostuisi neutriinoista, niiden vipellys paikasta toiseen pyyhkisi tiheyseroja ja tasoittaisi rakenteita, eikä galakseja voisi muodostua. Pimeä aine ei siis koostu mistään tunnetusta hiukkasesta, pitää keksiä jotain uutta.

No, teorioiden kehittäminen on teoreetikkojen työtä, ja pimeä aine on helpoimmasta päästä ideoita. Seuraava suosikki oli hiukkanen, joka on vähän kuin neutriino, mutta raskaampi. Sille annettiin

vitsikkäästi nimeksi *WIMP*, *Weakly Interacting Massive Particle*, heikosti vuorovaikuttava raskas hiukkanen, suomeksi siis nynny. (Nynnyjen pääasiallinen kilpailija olivat MACHO:t. Ne hävisivät kisan, joten ei niistä tässä sen enempää.)

Sana "Weak" nynnyjen nimessä viittasi alun perin yhteen hiukkasfysiikan Standardimallin kolmesta vuorovaikutuksesta, heikkoon vuorovaikutukseen, jonka neutriinotkin tuntevat. 1970- ja 80-luvulla Standardimalli vakiinnutti asemansa, ja katseet nostettiin sen tuolle puolen. Yleisesti ajateltiin, että uutta hiukkasfysiikkaa tulee pian vastaan kiihdyttimissä, ja nynny on vain yksi kohta tehtävistä löydöistä.

Kulman takana ei kuitenkaan ollutkaan mitään. Hiukkaskiihdyttimissä ei ole neljän vuosikymmenen ajan havaittu mitään poikkeamia Standardimallista. Lisäksi pimeään aineen etsimiseen erikoistuneet kokeet eivät ole löytäneet yhtään mitään, mikä osoittaa, että pimeään aineen hiukkasen massa ja vuorovaikutukset eivät ole sellaisia kuin heikolta vuorovaikutukselta odottaisi. Fyysikot ovat tulkinneet asian niin, että sana "Weak" lyhenteessä WIMP tarkoittaakin (ja on itse asiassa aina tarkoittanut) noin yleisesti ottaen heikkoa, ei suinkaan Standardimallin heikkoa vuorovaikutusta. Nynnyjen tappio ei ole pimeään aineen häviö. On kehitetty satoja erilaisia malleja sille, millaisista hiukkasista pimeä aine koostuu, mutta ei tiedetä, mikä niistä on oikein – tai ovatko kaikki nykyiset mallit väärin.

Koska pimeään aineen hiukkasta ei ole löytynyt ja kaikki todisteet pimeästä aineesta perustuvat gravitaatioon, herää kysymys voisiko koko idea olla pielessä. Ehkä emme vain ymmärrä gravitaatiota kunnolla? Etenkin fysiikan ulkopuoliset kysyvät asiasta usein. Fyysikko *Richard Feynman* aikoinaan kommentoi tämän tyyppisiä ehdotuksia sanomalla, että aukkojen tekeminen on helppoa, mutta niiden paikkaaminen on vaikeampaa. Vaihtoehtoisen gravitaatioteorian pitäisi selittää samat asiat

kuin pimeä aine – mihin yksikään ehdotus uudeksi gravitaatioteoriaksi ei ole pystynyt – sekä mielellään tehdä uusia ennustuksia. Pimeä aine havainnollistaa sitä, miten ongelmallista on fysiikan arvioiminen arkikokemuksen perusteella. Näkymätön ja koskematon aine kuulostaa arkiajattelun kannalta eksoottiselta, mutta hiukkasfysiikan näkökulmasta kyseessä on yksinkertainen asia: hiukkanen, jolla ei ole sähkövarausta.

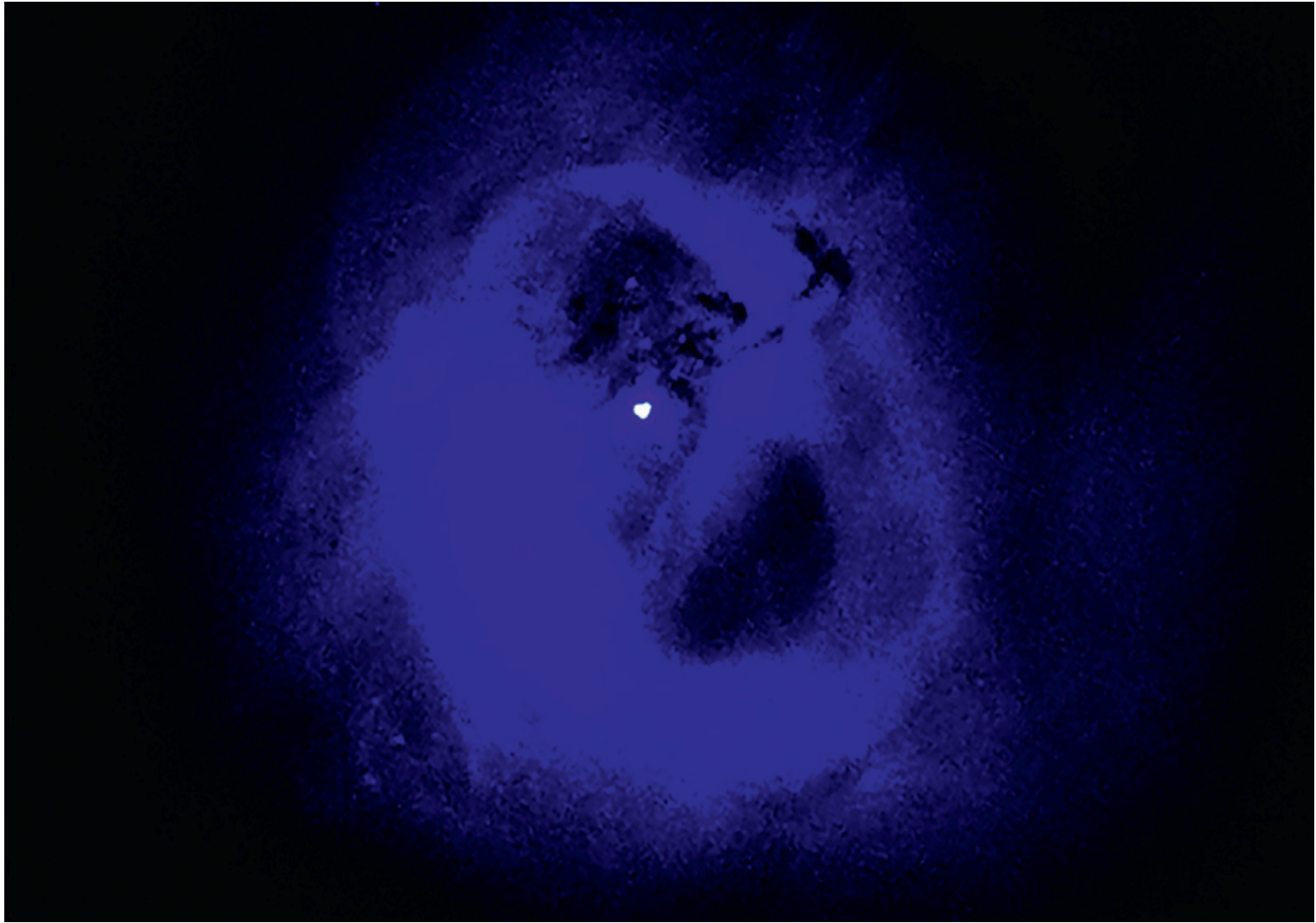
Mutta vaikka pimeään aineen hiukkasta ei ole vielä löytynyt, pimeä aine on menestystarina. Idea näkymättömästä aineesta, joka vuorovaikuttaa heikosti valon, tavallisen aineen ja itsensä kanssa on selittänyt ja ennustanut havaintoja onnistuneesti. Tämä ei tarkoita sitä, että olisimme varmoja siitä, että pimeää ainetta on olemassa, mutta se on paljon todennäköisempi vaihtoehto kuin muokattu gravitaatio. Fysiikassa on kyse epävarmuuden kartoittamisesta ja vähentämisestä, kunnes lopulta todisteita on niin paljon, että epäileminen muuttuu hedelmättömäksi järjettömäksi. Pimeä aine on mielenkiintoinen tapaus, koska se on lähellä tätä rajaa, mutta ei ole vielä ylittänyt sitä, toisin kuin vaikkapa Maapallon kiertoliike Auringon ympäri ja maailmankaikkeuden laajeneminen.

Pimeään aineen tapauksessa todistusaineiston kertymisessä on kestänyt poikkeuksellisen kauan, melkein sata vuotta. Matkassa on ollut useita lupavia reittejä, joilla palaset ovat näyttäneet loksahtavan paikoilleen, mutta jotka ovat lopulta joutaneet umpikujaan.

Jos pimeään aineen tarinasta kirjoittaisi puhtaaksi vain lopulta oikeaksi osoittautuvan suunnan, tämä antaisi harhaanjohtavan kuvan siitä, miten tiede toimii. Ei ole viitoitettua polkua totuuteen, eikä yhtä tieteellistä metodologiaa, joka kertoo miten edetä. Monet vihjeet osoittautuvat vesiperäksi, jotkut havainnot virheellisiksi ja useimmat teoreettiset ideat vääriksi. Tunteamatonta kartoittaessa ei voi välttyä harharetkiltä.



X-RAY IMAGE OF PERSEUS CLUSTER | ABOUT 250 MILLION LIGHT YEARS FROM EARTH. NASA'S CHANDRA X-RAY OBSERVATORY. [TTP://CHANDRA.HARVARD.EDU/PHOTO/2017/DARK/](http://chandra.harvard.edu/photo/2017/dark/)



**KUKA**

**SYKSY RÄSÄNEN, FT**

TEOREETTISEN FYSIIKAN DOSENTTI

HELSINGIN YLIOPISTOLLA,

YLIOPISTOTUTKIJA HIUKKASFYSIIKAN JA

ASTROFYSIIKAN OSASTOLLA,

ADJUNGOITU TUTKIJA FYSIIKAN

TUTKIMUSLAITOKSELLA