



Gravitaation absorptio – tarua vai totta?

Juhani Kakkuri

Newtonin gravitaatioteorian mukaan kaksi kappaletta vetää toisiaan puoleensa voimalla, joka on suoraan verrannollinen niiden ainemäärien tuloon ja kääntäen verrannollinen niiden välimatkan neliöön. Tämä kahden kappaleen välillä vallitseva voima riippuu teorian mukaan ainoastaan ja vain kappalten välimatkasta r sekä massoista m_1 ja m_2 . Se selittää melko tarkasti planeettojen liikkeitä Auringon ympäri. Merkuriuksen perihelliike jää kuitenkin selittämättä. Monet fyysikot, heidän joukossaan *Albert Einstein*, ovat siitä syystä epäilleet Newtonin teorian tarkkuutta.

Julkaistuaan erikoisen suhteellisuusteoriansa vuonna 1905, Einstein ryhtyi tutkimaan gravitaatiovoimaa. Kun hän vuonna 1915 jätti Berliinin tiedeakatemialle kirjoituksensa yleisestä suhteellisuusteoriasta, sai Merkuriuksen perihelliike selityksensä. Lisäksi teoria ennusti kaksi muutakin ilmiötä, valonsäteiden taantumisen ja spektriviivojen siirtymisen punaiseen päin Auringon gravitaatiokentässä. Kun kumpikin näistä sai kokeellisen vahvistuksen, yleinen suhteellisuusteoria katsottiin todistetuksi ja se korvasi Newtonin gravitaatioteorian. Vaikka uusi teoria osoittautui suureksi menestykseksi, se ei kuitenkaan kyennyt selittämään gravitaatiovoiman otaksuttua absorboitumista kahden kappaleen välille asetettuun massaan.

Kahdeksannelatoista vuosisadalla, Newtonin teorian tultua yleisesti hyväksytyksi, gravitaatiovoimaa pidettiin selittämättömänä voimana – se oli jonkinlaista “etäisyyden välitöntä vaikutusta”. Moni fyysikko pohdiskeli kuitenkin sen olemusta – Newton itsekin – nimittäin sitä, mikä sen aiheutti ja miten sen vaikutus välittyi. Eräiden mielestä se oli “eetterin” tasaista virtausta avaruudesta maapallon keskipistettä kohten. Kappale painoi rakennuksen sisällä vähemmän kuin ulkopuolella, vaimensihan katto eetterin virtausta.

Ranskalaisen *Le Sage*'n esittämän teorian mukaan avaruus oli täynnä hyvin nopeasti liikkuvia hiukkasia, jotka työnsivät kappaleita toisiaan kohten. *James Clerk Maxwell* totesi tämän johdosta, että hiukkasten törmäyksissä syntyy lämpöä. Sitä kehittyy myös radioaktiivisissa reaktioissa. Tämä yhdisti gravitaatiovoiman radioaktiivisuuteen. Sen aiheuttajaksi epäiltiin avaruuden “säteitä”. Tätä mieltä olivat mm. molemmat *Curie, Pierre ja Marie*. Heidän mielestään radioaktiivisuus johtui säteistä, jotka kulkivat “kaiken avaruuden halki ja lävistivät kaikki kappaleet”. Samanlaiseen käsitykseen oli päätenyt myös lordi *Kelvin*.

Oli siis luonnollista, että ensimmäiset gravitaatiovoiman absorboitumista koskevat punnituskoeket suoritettiin radioaktiivisilla aineilla. Positiivisia tuloksia ei kuitenkaan saatu. Eräänä synä oli mittausten huono tarkkuus, ehkä myös epäonnistuneet koejärjestelyt, vaikutuksen kertaluokasta kun ei oltu lainkaan perillä. Näiden kokeiden ja niiden tekijöiden enempi esittely ei kuitenkaan kuulu tämän kirjoituksen piiriin, joten siirrymme 1920-luvulle ja Italiaan.

Quirino Majoranan onnistuneet punnituskoeket

Torinon polyteknillisen korkeakoulun fysiikan laboratoriossa työskenteli viime vuosisadan alkupuolella lahjakas fyysikko *Quirino Majorana*. Hänen ymmärryksensä mukaan kaikista kappaleista virtasi vetovoimaenergiaa ympäröivään avaruuteen. Kappaleet absorboivat sitä ja muuttivat sitä lämmöksi. Mitä suurempi oli kappaleen tilavuus, sitä enemmän lämpöä syntyi, ja mitä suurempi oli kappaleen pinta-ala, sitä enemmän lämpöä säteili ympäröivään avaruuteen.

Majorana oli tietoinen aikaisemmista laboriokokeista ja niiden epäonnistumisten syistä – oli metsästetty liian suureksi oletettua efektiä. Päästäkseen perille absorptioon kertaluokasta Majorana suoritti teoreettisia laskelmia. Olettakaamme, että homogeeninen massa täyttää erään tilan. Jos testikappale, jonka massa on M , sijoitetaan tämän tilan keskelle, on gravitaatiovoima g tilan sisällä seuraava:

missä H on homogeenisen massan absorptiokerroin, joka ei Majoranan mielestä riippunut lainkaan aineen kemiallisesta koostumuksesta, ja r on tarkastelupisteen etäisyys testikappaleesta.



Majorana oletti myös, että homogeenisen pallonmuotoisen kappaleen sisällä aines absorboi "itseään" siten, että ulommat kerrokset absorboivat sisempien vetovoimaa. Kappaleen ulkopuolella vetovoima määräytyi "näennäisen" massan M_a mukaan. Jos kappaleen "todellinen" massa oli M_v , ja todellinen tiheys P_v , oli

missä R on kappaleen säde. Edelleen oli $M_a=M_v$, missä μ on kerroin, joka huomioi kappaleen sisällä tapahtuvan itseabsorption. Majorana johti homogeeniselle pallonmuotoiselle kappaleelle lausekkeen

jossa $H=hp_v$ ja josta h voidaan iteroimalla ratkaista.

Majorana otaksui, että parametri h on universaalinen vakio. Johtaakseen sille arvon hän sovelsi yllä olevaa homogeenisen pallon lauseketta Aurinkoon, vaikka ei voinutkaan pitää sitä homogeenisena kappaleena, ja laski sille tiheyttä kasvattamalla sarjan h :n likiarvoja. Äärettömän suurta tiheyttä vastasi arvo $h = 7,65 \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$. Absorptio oli enintään sen suurinen. Kysymyksessä oli siis erittäin pieni efekti. Se asetti suuret vaatimukset punnituskokeille - kilon massa oli punnittava 0,1 mikrogramman tarkkuudella, jotta absorptiosta johtuva painonvähennys olisi voitu luotettavasti mitata.

Punnituskokeensa Majorana suoritti Torinossa vuosina 1919–1921. Ensimmäisessä koesarjassa testimassana oli runsaan kilogramman painoinen lyijypallo, jonka Majorana sijoitti messinkipallon sisälle tyhjiöön ja tämän elohopealla täytetyn lieriön keskiakselille siten, että vetävät massat ympäröivät palloa symmetrisesti joka puolelta. Sivuumamme huolellisesti suunnitellun ja toteutetun koesarjan teknilliset yksityiskohdat tässä yhteydessä, sillä vain positiivinen lopputulos, $h = (6,7 \pm 1,1) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$, on mielenkiintoinen. Toisessa koesarjassaan Majorana käytti varjostavana massana elohopealieriön sijasta lyijystä tehtyä 9 603 kg painoista kuutiota. Testimassa sijoitettiin sen painopisteeseen. Lopputulos, $h = (2,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-12} \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$, oli tälläkin kerralla positiivinen.

Jälkimmäisessä koesarjassaan Majorana yritti testimassan paikkaa muuttelemalla myös selvittää, vaikuttiko gravitaatiovoima alhaalta eli maasta vaiko ylhäältä eli avaruudesta käsin. Näiden kokeidensa tuloksista hän päätteli, että vaikutus tuli alhaalta eli että maa "säteili" gravitaatiovoimaa ympäröivään avaruuteen. Tässä hän kuitenkin erehtyi kuten myöhemmin on osoitettu, kokeet eivät itse asiassa antaneet tästä asiasta mitään vihjettä puoleen eikä toiseen.

Pian tämän jälkeen Majorana nimitettiin fysiikan professoriksi Bolognaan. Siellä hän valmisteli lisäkokeita, mutta jätti syystä tai toisesta niiden tulokset julkaisematta. Syynä saattoivat olla epäonnistumisen lisäksi myös toista maailmansotaa edeltäneet tapahtumat Italiassa. Ennen vuotta 1957 tapahtunutta kuolemaansa hän kuitenkin julkaisi joitakin tutkimuksia, joissa oli viittauksia gravitaation absorptioilmiöön.

Täydelliset kuun ja auringonpimennykset

Jo ennen Majoranaa olivat monet tutkijat, erikoisesti astronomina tunnettu saksalainen Kurt Bottlinger, tarkastelleet Kuun rataliikettä absorptioilmiön kannalta. Kuun liikkeessä oli todettu selittämättömiä häiriöitä, joiden vaikutuksesta sen longitudiini heilahteli jaksollisesti. Erään jaksion pituus oli 270 vuotta ja parin lyhyemmän 60 ja 20 vuotta. Bottlinger oletti, että nämä johtuivat kuunpimennyksistä. Niiden aikana maapallo, joka oli Auringon ja Kuun välissä, vaimensi Auringon lähettämiä "gravitaatiohäiriöitä" ja aiheutti häiriöt. Bottlinger käsitteli kaikki täydelliset kuunpimennykset, jotka olivat sattuneet vuosien 1830 ja 1910 välillä, laski niistä longitudiiniin aiheutuneet häiriöt kaavan $F=F_0e^{-ld}$ avulla (F_0 = Auringon vetovoima Newtonin mekaniikan mukaisesti, l = aineen tiheydestä riippuva absorptiokerroin, d = matka, jonka säde etenee absorboivassa kappaleessa) ja vertasi niitä Simon Newcombin kuutauluihin. Korrelaatio näytti selvältä, samoin gravitaatiovoiman heikennys, joka oli 1/60 000, kun säteet lävistivät maapallon sen keskipisteen kautta. Tämä vastasi arvoa $l = 3 \times 10^{-15} \text{ cm}^{-1}$, kun $r = 1 \text{ g cm}^{-3}$. Bottlinger sovelsi edellä selostettua menetelmäänsä hyvällä menestyksellä myös täydellisiin auringonpimennyksiin. Näiden aikana Kuu toimii kuten tunnettua varjostavana massana, ja gravitaation absorptio vaimentaa lunisolaarista vuoksi voimaa, mikä vaikuttaa maapallon rotaatioliikkeeseen ja se puolestaan Kuun

rataliikkeeseen.



Hollantilainen Willem de Sitter arvosteli Bottlengerin tutkimusta vuonna 1912, ei niinkään sen tuloksia vaan laskentamenetelmän yksityiskohtia. Hän oli itsekin tutkinut Kuun liikkeen häiriöitä absorptioteorian näkökulmasta, mutta eri tavalla kuin Bottlenger. Valitettavasti hän oli jättänyt tuloksensa julkaisematta. Ne olivat yleisesti ottaen samoja kuin Bottlengerin tulokset, heilahdusten minimi- ja maksimit osuivat samoihin ajankohtiin ja korreloituivat jokseenkin samalla tavalla Newcombin kuutauluihin, vain häiriöiden kertymisfunktio oli erilainen.



Myös englantilainen astronomi Arthur Eddington pisti monien muiden ohella lusikkansa soppaan. Hän epäili koko ilmiön olemassaoloa ja tähdensi, että jos se olisi olemassa, ei ns. hitaan massan ja gravitoivan massan välillä olisi mitään suhdetta eivätkä Keplerin lait pitäisi paikkaansa. Mitään sellaista ei kuitenkaan ollut koskaan todettu.



Nykyinen käsitys

Useimmat tutkijoista ovat nykyisin sitä mieltä, ettei gravitaation absorptio ole todellinen ilmiö. Geofysikaaliset mittaukset auringonpimennysten aikana, Kuun rataliikkeen mittaukset huipputarkoilla lasertutkilla ja aurinkokunnan muiden kuiden ja planeettojen liikkeitä koskevat tutkimukset ovat osoittaneet, että jos ilmiö on olemassa, absorptiokertoimen täytyy olla paljon pienempi kuin 10^{-15} cm^{-1} . Tämän tuloksen antoivat myös Suomessa vuonna 1990 tehdyt mittaukset.



Kuun liikkeen tarkennukset viittaavat siihen, että Bottlengerin laskemat häiriöt korreloivat Newcombin kuutaulujen kanssa ilmeisesti vain sattumalta. Nykyisen käsityksen mukaan myös Majoranan tulokset ovat virheellisiä – hän on mahdollisesti havainnut absorptioefektin sijasta jotakin systemaattista virhettä.



Edellä esitetystä huolimatta kysymys absorptioilmiön olemassaolosta putkahtaa silloin tällöin uudestaan esille, erikoisesti täydellisten auringonpimennysten yhteydessä, viimeksi Keski-Euroopassa kesällä 1999. Kiinnostus johtunee siitä, että Foucaultin heilurin heilahdustason kiertymisnopeus muuttuu pimennyksen täydellisyyssvaiheen aikana helposti havaittavalla tavalla. Muutos johtunee muusta syystä kuin gravitaation absorptiosta.



KIRJALLISUUTTA:

Roberto de Andrade Martins: "The Search for Gravitational Absorption in Early Twentieth Century. The Expanding Worlds of General Relativity." *Einstein Studies*, volume 7, pp. 3 – 44. Eds. H. Goenner, J. Renn, J. Ritter, T. Sauer.



Kirjoittaja on Geodeettisen laitoksen ylijohtajaemeritus.

