

Kommentteja Heikki Mäntylän viestiin "Faktaa ja Fiktiota" 26.2.2003 ja Eero Bycklingin vastineeseen 28.2.2003

Tämä tekniikan tohtori Tuomo Suntolan Luonnonfilosofian seuran sähköpostipiirissä 2.3.2003 esittämä kannanotto perustuu hänen kehittämäänsä "Dynaamisen Universumin" yhtenäisteoriaan, jota on kuvattu yksityiskohtaisemmin hänen kotisivuillaan osoitteessa <http://www.sci.fi/~suntola/>

Vaikka suhteellisuusteorian selitys- ja ennustevoima ovat osoittautuneet erinomaisiksi ja teoria läpäissyt lukuisat testit jo lähes sadan vuoden aikana, on myös teoriaa kohtaan osoitettu kriittikki sitkeästi säilynyt puheenaiheena koko suhteellisuusteorian historian ajan. Kriittikin perusteina ovat olleet sekä teorian filosofiset perusteet että ainakin näennäinen järjenvastaisuus ja ristiriitaisuudet koetulosten tulkinnassa.

Minun on varsin helppo yhtyä Eero Bycklingin esittämiin toteamuksiin tieteelliselle teorialle asetettavista perusvaatimuksista loogisen konsistenssin ja havaintoja vastaavien ennusteiden tuottamisen suhteen. Fysikaalisten mallien luokittelussa näkisin vielä yhtenä ominaisuutena sen pyritäänkö vuorovaikutuksiin ja perusaksiomeihin perustuviin ilmiöiden kuvaamiseen vai tyydytäänkö havaintoja vastaavien matemaattisten mallien löytämiseen. Jälkimmäisestä ryhmästä hyvänä esimerkkinä on Ptolemaiolainen tähtitiede, joka kykeni hyviin ennusteisiin huolimatta siitä, että se ei perustunut mihinkään fysiikan lakeihin vaan otti puhtaasti havainnot matemaattisen mallin pohjaksi.

Mielelläni lisäisin vielä hyvän teorian tunnusmerkkeihin sen, että teorian perusteina ja ilmiöiden kuvaamisen pohjana olevat käsitteet ovat sellaisia, että ne mahdollistavat loogisesti selkeän todellisuuskuvan synnyttämisen. Mielestäni on hälyttävää, jos fyysikko joutuu aloittamaan luentonsa vetoomuksella, että luontoa ei pidä kuvitella ja vaatia loogisesti ymmärrettäväksi (kuten Richard Feynmannilla oli tapana valmistella kuulijakuntaansa).

En puutu Mäntylän ja Bycklingin keskusteluun ajatuskokeista. Jostain syystä minulle tuli mieleen arvostamani elektronifysiikan opettajani prof. Tor Stubbin aikoinaan esittämä määritelmä tasokkaasta luennosta: "Kyllä tasokkaassa luennossa kuulija on ainakin kerran pudotettava kärryiltä, mieluummin melko alussa." - Stubb oli tunnetusti hyvä luennoitsija.

Oma kritiikkini suhteellisuusteoriaa kohtaan kiteytyy lähinnä koordinaatistovalintaan, joka mielestäni loukkaa mittaamisen peruseriaa "mittanauhaa ei saa käsitellä". Kun valon nopeus on määritelty vakioksi, on koordinaatistosuureista (aika [s], etäisyys[m]) jouduttu tekemään parametrejä havaintojen selittämiseksi. Nähdäkseni tähän valintaan palautuu oleellinen osa suhteellisuusteoriaa kohtaan esitetystä kritiikistä sekä filosofisella että ilmiöiden tasolla. Esitänkin seuraavassa päättelyketjun, jolla faktoja etsien ja fiktioita vältellen hakeudutaan havaintojen kuvauksesta ilmiöiden kuvaukseen ja samalla koordinaatistoon, jossa aika ja paikka palautuvat koordinaattisuureiksi ja jossa paikallinen lepotila voidaan suhteuttaa tähtiavaruuden (käytännössä lähinnä taustasäteilyn) määrittelemään universaaliin lepotilaan.

Kun atomikellon käynti kiistämättä hidastuu kellon ollessa liikkeessä tai voimakkaassa gravitaatiokentässä syyllistetään suhteellisuusteoriassa aika sen sijaan että osoitettaisiin fysikaalinen mekanismi, joka aiheuttaa kellon hidastumisen. Esim. heilurikellon osalta tunnemme mekanismin, jolla kello hidastuu kun se viedään laaksosta vuorelle heikompaan gravitaatiokenttään, joten ajan syyllistämiseen ei tässä ole tarvetta. Atomikellon hidastumismekanismi on epäilemättä toisenlainen, vuorelle vietäessä kellon käynti nopeutuu eikä hidastu kuten heilurikello. Mielestäni ajan muokkaaminen havaintoja vastaavaksi pudottaa suhteellisuusteorian ilmiöiden kuvaamiseen perustuvasta teoriasta havaintojen kuvaamiseen perustuvaksi teoriaksi.

Suhteellisuusteorian mukaisesti atomikellolla havaittavaan ajan hidastumiseen nopeassa liiketilassa (aikadilaatioon) liittyy liikkeen suuntaisten dimensioiden lyheneminen (pituuskontraktio). Tarkoittiko Byckling kommentissaan "...Lorentz-kontraktio ja aika-dilataatio tulevat kaavasta *neliöjuuri luvusta* $(1-v^2/c^2)$. Siten nopeuden suunnalla ei ole väliä.." että pituuskontraktio tapahtuu kaikkiin suuntiin? Fysikaalisesti se epäilemättä olisikin mielekkäämpää, mutta ymmärtääkseni ainakin perusteet, jolla pituuskontraktio on teoriaan aikoinaan otettu, edellyttivät nimenomaisesti kontraktiota liikkeen suunnassa.

Sitten muutamia faktoja. Vedynekaltaisten atomien karakteristisen säteilyn taajuuksia kuvataan Balmerin kaavalla, joka yksinkertaisessa (ilman suhteellisuusteoriaa johdetussa) muodossaan ilmaistaan yleensä lausekkeella

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = R c Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

missä R on Rydbergin vakio

$$R = \frac{\mu e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} \quad (2)$$

Kun tähän sijoitetaan atomin Bohrin säde a_0

$$a_0 = \frac{h^2 \epsilon_0}{\pi m_e e^2} \quad (3)$$

ja hienorakennevakio α ,

$$\alpha = \frac{e^2}{2 \epsilon_0 h c} = \frac{e^2 \mu_0 c}{2 h} \quad (4)$$

saa Rydbergin vakio yksinkertaisen muodon

$$R = \frac{\mu e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} = \frac{\alpha}{4 \pi a_0} \quad (5)$$

jolloin Balmerin kaavan mukainen karakteristinen taajuus voidaan ilmaista muodossa

$$\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{\alpha c}{4 \pi a_0} Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (6)$$

ja vastaava aallonpituus muodossa

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{4 \pi a_0}{\alpha} / Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (7)$$

Mielenkiintoinen huomio yhtälössä (7) on, että atomin säteen (a_0) voidaan näin osoittaa olevan suoraan verrannollisen emissio/absorptio aallonpituuteen, jonka puolestaan tiedetään kasvavan atomin ollessa nopeassa liikkeessä. Jos liikkuvan atomin emittoiman säteilyn aallonpituus kasvaa (fakta) kasvaa yhtälön (7) mukaan myös emittoivan atomin Bohrin säde. Edelleen kiinnostavaa on, aallonpituuden lausekkeessa esiintyy Bohrin säteen lisäksi vain hienorakennevakio α , protonien lukumäärää kuvaava Z

sekä kvanttiluvut n_1 ja n_2 .

Kokeellisesti tiedämme, että valon kulku hidastuu massakeskusten läheisyydessä (fakta). Tämä näkyy esim. GPS signaaleissa ns. Shapiro-viiveenä (n. 0,07 ns vastaten signaalin noin 20 mm:n kulkumatkaa). Ilmiö on perustana myös yleisessä suhteellisuusteoriassa johdetulle valon taipumalle massakeskuksen läheisyydessä. Radiosignaalin hidastuminen (Shapiro-viive) auringon läheisyydessä on mitattu myös mm. Mariner-luotainten signaaleista niiden ollessa Marsin lähellä maasta katsottuna auringon takana. Shapiro-viive selitetään suhteellisuusteorian formalismissa kahden tekijän summana: ajan hidastumana massan lähellä ja aika-avaruuden kaareutumisesta johtuvana matkan pitenemänä.

Jos valon nopeuden hidastuminen massakeskuksen läheisyydessä tulkitaan todelliseksi fysikaaliseksi ilmiöksi, merkitsee se yhtälön (6) valossa, että atomaarisen värähtelijän taajuus eli myös atomikellon käyntinopeus todella hidastuu massakeskuksen tuntumassa. Yhtälön (6) mukaisesti atomikellon käyntitaajuus on suoraan verrannollinen valon nopeuteen, mikä merkitsee, että atomikellolla paikallisesti mitattu valon nopeus näyttää aina vakiolta. (Jos ajaksi määritellään atomikellon näyttämä, säilyy havaittu paikallinen valon nopeus tällöin vakiona).

Tarkkaavainen lukija huomaa tässä vaiheessa, että hienorakennevakion α lauseke yhtälössä (4) sisältää valon nopeuden, jolloin valon nopeus supistuisi pois karakteristisen taajuuden lausekkeesta yhtälössä (6). Vastaus löytyy Planckin vakion h tarkemmasta tarkastelusta. Dipolin lähettämän sähkömagneettisen säteilyn energia yhtä säteilyjaksoa kohti voidaan ilmaista muodossa

$$E_{\lambda} = \frac{P}{f} = \frac{N^2 e^2 z_0^2 \mu_0 16\pi^4 f^4}{12\pi c f} = N^2 \left(\frac{z_0}{\lambda} \right)^2 \frac{2}{3} (2\pi^3 e^2 \mu_0 c) f \quad (8)$$

missä N on z_0 :n mittaisessa dipolissa värähtelevien alkeisvarausten lukumäärä, l on emittoitujen säteilyn aallonpituus, f sen taajuus, e alkeisvaraus, m_0 tyhjiön permeabiliteetti ja c valon nopeus. Kerroin $2/3$ yhtälössä (8) kuvaa dipolin säteilemän keskimääräisen energiatiheyden suhdetta dipolin normaalitasolla esiintyvään energiatiheyteen. Taajuuden f edessä yhtälössä (8) olevalla kertoimella ($2\pi^3 e^2 \mu_0 c$) on Planckin vakion dimensio [kgm^2/s], lukuarvoltaan ko. vakio on

$$2\pi^3 e^2 \mu_0 c = 6,00036 \cdot 10^{-34} = 1,1042 \cdot h \quad (9)$$

ts. isotrooppinen, joka suuntaan normaalitason energiatiheydellä emittoiva "ideaalidipoli" lähettää yhden emissiojakson aikana energian

$$E_{\lambda} = N^2 D \cdot h f = N^2 D \cdot c \cdot h_0 f \quad (10)$$

missä N on dipolissa värähtelevien alkeisvarausten lukumäärä, $D \gg 1$ on geometriakerroin ja h_0 valon nopeudesta riippumaton Planckin vakion "intrinsic" osa. Yhtälö (10) esittää oleellisesti ottaen kuuluisaa Planckin hypoteesia

$$E_{rad} = h f \quad (11)$$

josta muodostui kvanttimekaniikan perusyhtälö. Periaatteessa kaikki ainekset yhtälön (10) johtoon olivat olemassa jo Planckin hypoteesin aikaan, sillä yhtälön (10) johtaminen perustuu suoraan dipolin säteilyyn Maxwellin yhtälöiden mukaisesti. Jos tämä huomio olisi tuolloin tehty, olisi kvantti todennäköisesti ymmärretty yksinkertaisesti yhden alkeisvarauksen "ideaalidipolissa = kvanttiemitterissä" yhden värähdyksen aikana synnyttämäksi säteilyksi.

Mielestäni edellä kuvatulle kvantin tulkinnalle ei tänä päivänäkään ole esteitä, päinvastoin, näkisin sen

hävmentävän kvanttikäsitteeseen rakentunutta turhaa mystiikkaa. Itse asiassa mm. Heisenbergin epämääräisyysperiaate saisi varsin maanläheisen tulkinnan, sillä yhden jakson liikemäärän määrittämiseksi tulisi tosiaankin mitata koko kvantin pituus, eli aallonpituus. Yleisesti ottaen tällaisella tulkinnalla ei ilmeisesti muutoin olisi kovinkaan dramaattista merkitystä kvanttimekaniikan formalismille.

Toinen tärkeä viesti yhtälössä (10) on, että Planckin vakio $h = h_0 c$ sisältää "piilotekijänä" valon nopeuden, jolloin hienorakennevakio α puolestaan vapautuu yhtälön (4) mukaisesta riippuvuudestaan valon nopeuteen. Maxwellin yhtälöistä ja Coulombin energiasta on edelleen pääteltävissä, että permeabiliteetti μ_0 on riippumaton valon nopeudesta. Tällöin yhtälön (6) mukainen karakteristisen säteilyn taajuus yhtälössä (6) pysyy paikalliseen valon nopeuteen verrannollisena ja perusteet sille, että paikallinen valon nopeus atomikellolla mitattuna antaa aina saman tuloksen.

Yhtälöstä (8) voidaan edelleen päätellä, että "kvanttiemitterinä" toimivan dipolin efektiivisen pituuden tulisi olla yhden aallonpituuden luokkaa ($z_0 \gg 1$) ja edelleen, että homogeenisesti kaikkiin avaruussuuntiin säteilevänä kvanttiemitterinä toimivan dipolin tulisi olla kohtisuorassa kaikkia kolmea avaruussuuntaa vastaan. Vaatimukset toteutuisivat jos voisimme olettaa pistemäisen säteilijän liikkuvan valon nopeudella avaruussuuntiin nähden kohtisuorassa suunnassa, jolloin kaikki avaruussuunnat vastaisivat dipolin normaalitasoa.

Suhteellisuusteoriaan nähden tämä tarkoittaisi lähinnä, että neljännen ulottuvuuden viivaelementti $ds_4 = c \times dt$ tulkittaisiin yksinkertaisesti matkaksi, jonka avaruus (kaikki pisteet 3-ulotteisessa avaruudessa) etenee nopeudella c ajassa dt . Tämä tulkinta irrottaa ajan avaruudesta, sillä neljäs ulottuvuus näyttäytyisi näin luonteeltaan puhtaana geometrisenä ulottuvuutena; samalla avaruuden itsensä nopeus, c , muodostaisi referenssin nopeuksille avaruudessa.

Palaan seuraavassa aikaisemmin siteeraamani Richard Feynmanniin. Kollegani Heikki Sipilä löysi vastikään Richard Feynmannin vuosina 1962-63 pitämistä gravitaatioluennosta seuraavan toteamuksen:

"...One intriguing suggestion is that the universe has a structure analogous to that of a spherical surface. If we move in any direction on such a surface, we never meet a boundary or end, yet the surface is bounded and finite. It might be that our three-dimensional space is such a thing, a tridimensional surface of a four sphere. The arrangement and distribution of galaxies in the world that we see would then be something analogous to a distribution of spots on a spherical ball." [Feynman, R., Morinigo, W., Wagner, W., Feynman Lectures on Gravitation (during the academic year 1962-63), Addison-Wesley Publishing Company (1995), p. 164]

ja edelleen,

"If now we compare this number [total gravitational energy $M_S^2 G/R$] to the total rest energy of the universe, $M_S c^2$, lo and behold, we get the amazing result that $GM_S^2/R = M_S c^2$, so that the total energy of the universe is zero. — It is exciting to think that it costs nothing to create a new particle, since we can create it at the center of the universe where it will have a negative gravitational energy equal to $M_S c^2$. — Why this should be so is one of the great mysteries—and therefore one of the important questions of physics. After all, what would be the use of studying physics if the mysteries were not the most important things to investigate". [Feynman, R., Morinigo, W., Wagner, W., Feynman Lectures on Gravitation (during the academic year 1962-63), Addison-Wesley Publishing Company (1995), p. 10]

Kun yhdistämme edellä tekemämme tulkinnan avaruuden liikkeestä nopeudella c neljännessä ulottuvuudessa Feynmannin "kiehtovaan ehdotukseen", että kolmiulotteinen avaruus sulkeutuu pallosymmetrisesti neljännen ulottuvuuden kautta neliulotteisen pallon pintana, tulemme Dynaamiseen Universumiin, jossa näin suljetun pallon dynamiikan määrää juuri Feynmannin toisessa luentositeerauksessa esittämä nollaenergiaperiaate. Avaruuden 4-säteen suuntaiseen nopeuteen liittyvä liike-määrä on tällöin $\mathbf{p} = M_S \times \mathbf{c}$ ja avaruudessa olevan massan lepoenergia näyttäytyy 4-pallon laajenemisesta johtuvan liikkeen energiana. Kun neljännessä ulottuvuudessa etenevän massan liike-energia ilmaistaan suoraan verrannollisena liikemäärään, $E = c \times p = c \times mc$ (kuten nopeudella c avaruudessa etenevän sähkömagneettisen säteilyn energia) huomaamme, että massan kokonaisenergia saa suoraan suhteellisuusteoriassakin johdetun muodon,

$$E_{\text{tot}} = c \cdot p_{\text{tot}} = c \sqrt{(mc_4)^2 + p^2} \quad (12)$$

jossa massan kokonaisliikemäärä muodostuu avaruudessa esiintyvän liikemäärän p ja avaruuden oman liikkeen neljännessä ulottuvuudessa antaman liikemäärän (mc_4) vektorisummana. Yhtälöstä (12) voidaankin sitten johtaa kaikki suppeasta suhteellisuusteoriasta tutut liikemäärän ja kineettisen energian lausekkeet.

On huomattava, että edellä esitetyt päättelyt, yhtälö (12) mukaan luettuna, eivät millään tavoin perustu Lorentz transformointiin tai muihin suhteellisuusteorian oletuksiin tai tuloksiin. Tämä koskee myös energian lauseketta $E = c \times p$, joka voidaan päätellä säteilyn mm. sähkömagneettisen säteilyn energiasta. Liikkeen energian lauseke $E = c \times p$ olisi itse asiassa tarkoituksenmukaista määrittellä liikemäärän energiaekvivalentiksi, $\mathbf{E} = c\mathbf{p}$, jolloin sitä voitaisiin käsitellä vektorisuureena (neliulotteisessa järjestelmässä).

Erityisen mielenkiintoista on nollaenergiaperiaatteen toteutuminen yksittäisten objektien tasolla. Homogeenisessa avaruudessa olevan objektin energia voidaan kuvata energeettisenä "viritystilana" siihen neljännen ulottuvuuden suunnassa vaikuttavan liikkeen energian ja gravitaation energian summana. Ko. energioiden aritmeettinen summa on nolla mutta vastakkaismerkkisillä liikkeen ja gravitaation energioilla on kuitenkin itseisarvonsa. On helposti osoitettavissa esim., että atomaarisen värähtelijän taajuus on verrannollinen sen energeettiseen viritystilaan neljännessä ulottuvuudessa.

Entä sitten suhteellisuusteoriassa niin keskeinen Lorentz-kerroin ja sen tuoma liikkeen vaikutus atomaarisen värähtelijän taajuuteen?

Neliulotteisen pallon pintana kuvatussa avaruudessa jokainen liike on keskeisliike, jolloin nopeuden neliöön verrannollinen keskeiskiihtyvyys kumoaa osan avaruuden muun massan gravitaatiovaikutusta. Kuinka ollakaan, avaruudessa nopeudella $b = (v/c)$ etenevän objektin redusoiduksi (sisäiseksi) energeettiseksi viritystilaksi saadaan tarkalleen

$$E_I = c_0 \cdot p_I = c_0 mc \sqrt{1 - \beta^2} \quad (13)$$

Kuten yksityiskohtaisemmalla tarkastelulla voidaan osoittaa, on kellon taajuus suoraan verrannollinen yhtälössä (13) esiintyvään sisäiseen liikemäärään p_I ja siten paikalliseen valon nopeuteen c , joten kellon hidastuminen liikkeen vaikutuksesta näyttäytyy todellisena ilmiönä ilman, että aikaa koordinaattisuurena tarvitsee ajatella muuttuneeksi. Suure c_0 yhtälössä (13) tarkoittaa homogeenisen avaruuden laajenemisnopeutta.

On huomattavaa, että nopeudella c avaruudessa liikkuva energiaobjekti (kuten sähkömagneettinen säteily) on ikään kuin satelliittiradalla laajenevassa avaruudessa, jolloin sen energeettinen viritystila neljännen ulottuvuuden suunnassa on nolla.

Yhtälöstä (13) kuvastuu myös työ, joka on tehty massaobjektin kiihdyttämiseksi avaruudessa: se on työ, jolla objektille avaruuden muusta massasta aiheutuvaa gravitaatioenergiaa on pienennetty

$$\Delta E_4 = mc^2 \left(1 - \sqrt{1 - \beta^2} \right) \quad (14)$$

tämä onkin kvantitatiivinen ilmaus Machin periaatteelle.

Edellä olevat päätelmät perustuivat homogeeniseen avaruuteen, jossa massa on tasaisesti jakautunut koko neliulotteisen pallon pinnalle (vastaten paikallisesti suhteellisuusteorian Minkowskin avaruutta). On varsin suoraviivaista osoittaa, että nolla-energian säilyttävä massakeskuksen muodostuminen avaruuteen kaareuttaa neliulotteisen pallon pintaa sisään päin massakeskuksen ympärillä. Kaareutuneessa avaruudessa paikallisen neljännen ulottuvuuden suunta poikkeaa avaruuden 4-säteen suunnasta. Nollaenergiaperiaatteen mukaan paikallinen valon nopeus kaareutuneessa avaruudessa on kaareutumiskulman kosinin verran pienempi kuin homogeenisessä avaruudessa

$$c = c_0 \cos \phi = c_0 (1 - \delta) = c_0 \left(1 - \frac{GM}{rc^2} \right) \quad (15)$$

missä G on gravitaatiovakio, M paikallisen, etäisyydellä r olevan massakeskuksen massa ja d on gravitaatiotekijä, jonka yhtälössä (15) esiintyvä lauseke voidaan helposti johtaa, irrottamalla paikallismassa M homogeenisen avaruuden symmetriasta. Näin yhtälön (6) mukainen karakteristinen taajuus ja atomikellojen käyntinopeus tulevat paikallisesta gravitaatiopotentialista riippuvaisiksi.

Yhtälön (15) mukainen valon nopeus ja paikallisen avaruuden kaarevuuskulmasta f määräytyvä etäisyyden piteneminen tuottavat tarkalleen havaintojen mukaisen Shapiro viiveen ja valon taipuman massakeskuksen lähellä. Näin saatu avaruuden geometria on varsin läheistä sukua yleisen suhteellisuusteorian mukaiselle Schwarzschildin metriikalle, kuitenkin sillä erotuksella, että neljännen ulottuvuuden viivaelementti on yksiselitteisesti avaruuden laajenemisliikkeestä johtuva kulkumatka eikä ajan luonteinen ulottuvuus. Tällöin myös Schwarzschildin metriikassa vaikeasti määriteltävä r -koordinaatti saa yksiselitteisen sisällön. Seurauksena on mm. että planeettaratojen perihelikiertymä voidaan ratkaista suljetussa muodossa, samalla kun näin saatu ratkaisu on vapaa suhteellisuusteorian ratkaisuun tuomasta kumuloituvasta säteeseen vaikuttavasta häiriötermistä.

Avaruuden laajeneminen 4-ulotteisen pallon pintana antaa Hubblen laille ja kosmologiaperiaatteelle yksiselitteisen kuvauksen. Koska laajenemista ohjaa nollaenergiatasapaino, on myös laajenemisen kehittyminen toisaalta singulariteetista tähän päivään ja toisaalta tästä eteenpäin yksiselitteisesti kuvattavissa. Nollaenergiatasapainoon perustuva malli ennustaa myös, toisin kuin yleinen suhteellisuusteoria, että avaruuden laajeneminen tapahtuu myös paikallisjärjestelmissä. Niinpä esim. kuun mitatusta 3,8 cm:n vuotuisesta etääntymisestä 2,8 cm johtuisi avaruuden laajenemisesta ja vain 1 cm vuorovesijarrutuksesta.

Todettakoon, että nollaenergiaperiaatteen mukaisesti laajenevaan 4-pallosymmetriaan perustuvan avaruuden mallin antama ennuste esim. magnitudin riippuvuudelle punasiirtymästä vastaa tarkalleen viimeaikaisia supernovahavaintoja (yleisen suhteellisuusteorian ennuste saadaan täsmäämään vain lisäämällä malliin kosmologiavakio tai tuntematon repulsiivinen voima).

Nollaenergiaperiaate tekee jokaisesta suljetusta liikejärjestelmästä itsenäisen energiakehyksen, jossa voidaan määritellä paikallinen lepotila. Käytännön energiakehykset muodostuvat useasta sisäkkäisestä gravitaatiokehystä (gravitaatiojärjestelmistä mihin havainnoitava kohde kuuluu) sekä esim. maan pinnalla olevista liikekehysistä. Atomikellojen käyntitaajuus f voidaan näin suhteuttaa niiden käyntinopeuteen $f_{(0,0;0,0)}$ hypoteettisessa homogeenisessä avaruudessa yhtälön

$$f = f_{(0,0;0,0)} (1 - \delta) \sqrt{1 - \beta^2} \prod_{i=0}^n \left[(1 - \delta_i) \sqrt{1 - \beta_i^2} \right] \quad (16)$$

mukaisesti. Yhtälössä (16) d ja b kuvaavat tarkasteltavan objektin gravitaatiotilaa ja nopeutta paikallisessa havaintokehyksessä ja d_i ja b_i paikalliskehyksen gravitaatio- ja liiketilaa isäntäkehyksessään sekä kunkin isäntäkehyksen tiloja omissa isäntäkehyksissään. Yhtälö (16) kuvaa atomaarisen värähtelijän taajuutta absoluuttiseen referenssilepotilaan ja aikaan perustuvassa koordinaatistossa.

Yhtälön (16) johtamiseksi on oletettava nolla-energiaperiaate ja avaruuden rakenne suljettuna neliulotteisen pallon pintana. Samalla voidaan luopua mm. seuraavista suhteellisuusteorian edellyttämistä olettamuksista: valon nopeuden vakioisuus, Lorentz-muunnoksen käyttö koordinaatistojen korjaamiseen, suhteellisuusperiaate ja ekvivalenssiperiaate.

Palaan nyt Mäntylän ja Bycklingin keskusteluun koordinaatistokehyksen valinnasta mm. GPS kellojen ja signaalien tarkastelussa. Atomikellojen kehitys mullisti ajan mittaamisen muutama vuosikymmen sitten. Myös aikadilaation tulkintaa jouduttiin tarkistamaan 70-luvulla tehtyjen havaintojen selittämiseksi. Aikadilaatiota ei enää voitu tarkastella eri liiketilasta tapahtuvaan havaitsemiseen liittyvänä ilmiönä (kuten aikaisemmin), sillä kumuloivalla laskurilla varustettu atomikello mittasi kellon tuottamia värähtelyjaksoja *in situ* siinä gravitaatio- ja liiketilassa, jossa kello oli (riippumatta siitä missä gravitaatio- ja liiketilassa vertailukello oli). Insinöörikielessä alettiinkin puhua "proper frequency":stä suhteellisuusteorian "proper time":n sijaan. Shapiro-viiveen myötä vastaava kielenkäyttö ulottui myös valon nopeuteen; massakeskuksen lähellä hidastuneesta valon nopeudesta on kirjallisuudessa jossain määrin käytetty nimitystä "proper velocity of light".

Havaintojen mukainen koordinaatiston valinta ja sisäkkäisten liikejärjestelmien vaikutus vastaa tarkalleen yhtälön (16) mukaista energiakehysten rakennetta. Bycklingin viittaama kiihtyvyyssriteeri havaintokehyksen valinnassa johtaa kyllä aivan oikein mm. ECI-kehysten käyttöön satelliittikellojen tarkastelussa mutta ei nähdäkseni anna perustetta sille, miksi ECI-kehys ei kelpaa esim. sentrifugissa tehdyn Mössbauer-kokeen tai kiihdyttimessä tehdyn aikadilaatiokokeen analyysiin. Näissähan maapallon pyörimisliikettä ei huomioida värähtelijöiden nopeudessa kun taas GPS-järjestelmän maa-asemien kelloissa se huomioidaan. On myös huomattava, että kiihtyvyys ei millään lailla vaikuta atomikellojen käyntinopeuteen, vain gravitaatiopotentiaali ja nopeus vaikuttavat.

Olen liittänyt mukaan kopion viime marraskuussa Ilmatieteen laitoksella järjestetyssä GPS-seminaarissa pitämästäni esitelmästä (*GPS-järjestelmän teoreettisista perusteista; GPS-meteorologian seminaari, Ilmatieteen laitos 27.11.2002; ss. 48-63*), jossa on käsitelty melko kattavasti kellojen taajuuteen ja signaalien kulkuun GPS-järjestelmässä vaikuttavia tekijöitä. Eräs mielenkiintoinen uusi löydös on auringon gravitaatiopotentiaalın vaikutus GPS-kelloihin, minkä yhtälön (16) mukaan pitäisi olla havaittavissa. Yleisen suhteellisuusteorian mukaan auringon gravitaatiopotentiaalın vaikutus kumoutuu aikadilaatioon, joten auringon asema ei nykyisen GPS-teorian mukaan vaikuta satelliittien (eikä maa-asemien) kelloihin. Auringon asemaan korreloitava häiriö on kuitenkin vastikään havaittu. Kun tarkistin efektin havainnon tehneeltä tutkijalta USA:sta, totesin sen vastaavan hyvällä tarkkuudella yhtälön (16) ennustetta. Odotan saavani vahvistusta asiaan vielä tämän vuoden kuluessa.

Näyttääkin siltä, että suhteellisuusteorian ongelmakohdat tulevat selvimmin esiin tapauksissa, joissa on samanaikaisesti huomioitava useamman (sisäkkäisen) energiakehyksen vaikutus. Tällainenhan on tilanne esim. edellä mainitussa auringon vaikutuksessa ECI-kehyksessä tarkasteltaviin satelliittien kelloihin. Vastaava tilanne syntyy Bycklingin mainitsemassa kuun etäisyyden tarkassa mittauksessa. Koska maan rata auringon ympäri on lievästi elliptinen, muuttuu sekä maa-kuu järjestelmän gravitaatiopotentiaali että sen ratanopeus syklistä vuoden aikana. Periaatteessa näillä kummallakin parametrilla on vaikutusta kuun etäisyydsmittauksessa käytetyn edestakaisen valosignaalin kulku-aikaan sekä sitä mittaaviin atomikelloihin. Kirjallisuudesta en ole kuitenkaan löytänyt suhteellisuusteoriaan perustuvaa analyysyä siitä, miksi maasta havaittu vaikutus kuun etäisyyteen näiden vuorovaikutusten

osalta häviää. Otin myös NASA:n kautta yhteyttä Austinin yliopistossa toimivaan ryhmään, joka vastaa Lunar Laser Ranging ohjelman teoriasta, mutta saamani vastauksen mukaan heilläkään ei ole tiedossa tällaista analyysia. Oman analyysini olen tehnyt dynaamisen mallini mukaisesti, jossa sekä valon nopeus, kuun todellinen etäisyys että kellojen käyntitaajuus muuttuvat aurinkoetäisyyden ja ratanopeuden funktiona vuoden aikana. Tuloksena oli, että kaikki nämä muutokset kumoavat toisensa niin että mitattu maan ja kuun etäisyys säilyy vakiona (vaikka todellinen etäisyys laskelman mukaan kasvaa 12,6 cm heinäkuusta tammikuuhun, aphelistä periheliin). Analyysi löytyy www-sivuiltani osoitteessa www.sci.fi/~suntola alakohdasta "Dynaamisen Universumin kokeellinen todentaminen". On huomattava, että tulos vahvistaa samalla teoreettisen perustan GPS-paikannuksen riippumattomuudelle vuodenaajoista, mikä lienee katsottava faktaksi.

Tuomo Suntola