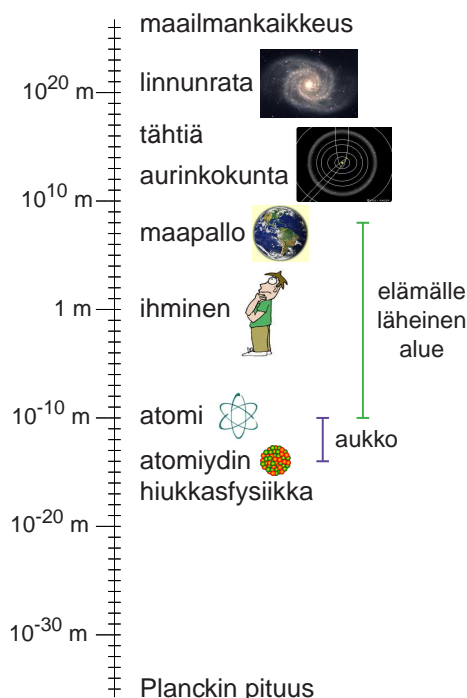


Teoreettisen fysiikan tulevaisuuden näkymiä

Tämä on teoreettisen fysiikan professori Erkki Thunebergin virkaanastujaisesitys, jonka hän piti Oulun yliopistossa 8.11.2001. Esitys on omistettu professori Juhani Kurkijärvelle, joka erikoisesta sattumasta johtuen piti jäähyväisluentonsa Åbo Akademiassa samanaikaisesti.

Luonnontieteissä tutkitaan meitä ympäröivää luontoa. Kuvassa 1 olen pyrkinyt hahmottamaan eri asioita käyttäen niiden kokoa luokitteluperusteena. Keskeellä on yksi metri, joka on pituuden perusyksikkö. Koska perusyksikkö on ihmisten valitsema, on luonnollista, että se on samaa suuruusluokkaa kuin ihminen itse.



Kuva 1: Pituusskaalat

Kuvan asteikolla jokainen väliviiva vastaa pituutta joka on aina kymmenen kertaa suurempi kuin sitä alempi. Näin ollen metristä seuraava askel on 10 m, joka on tyypillinen etäisyys tässä salissa. Seuraava askel on 100 m, joka voisi olla etäisyys bussipysäkille. Sitten tulee 1000 m eli 1 km, etäisyys lähimpään kauppaan. 10 km on kaupungin mittakaava, 100 km maakunnan, 1000 km Suomen ja 10000 km maapallon mittakaava.

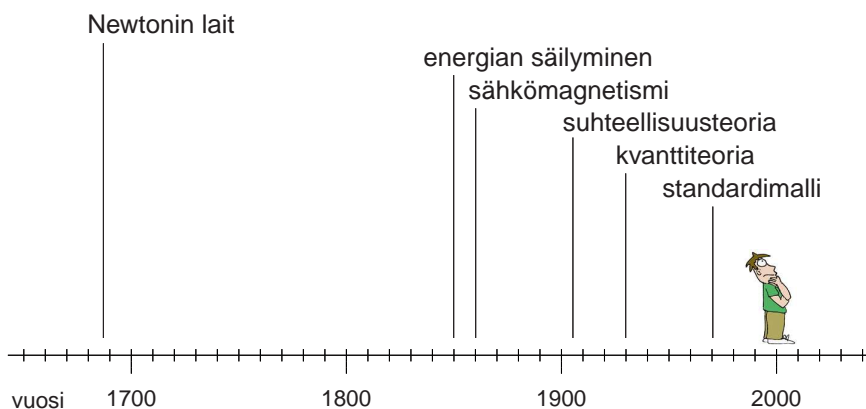
Tälle välille mahtuu myös valtavasti erilaisia fysiikan ilmiöitä, esimerkiksi lähiavaruuden fysiikka, sääilmiöt ja geofysiikka. Lisäksi se fysiikka joka tarvitaan ihmisten tekemissä eri rakennelmissa.

Maapallon suuruusluokka on 10^7 m. Kun mennään ylöspäin 5 kertalukua, päästään auringon etäisyydelle. Kun siitä mennään 4 kertalukua ylöspäin, päästään muihin tähtiin. Linnunradan koko saavutetaan 5 kertaluvun päästä. Vielä 5 kertalukua ylöspäin niin ollaan koko havaittavan maailmankaikkeuden koossa. Se on äärellinen johtuen siitä että valolla on äärellinen kulkunopeus. Vaikka kuinka kauan odottaisimme, emme pääse tästä juuri eteenpäin.

Tarkastellaan seuraavaksi pituuksia yhdestä metristä alaspäin: 10 cm, 1 cm, 1 mm jne. Seuraavaksi etapiksi olen valinnut atomin koon, 10^{-10} m. Tällä skaalavälillä tapahtuu valtava joukko ilmiöitä. Erityisesti biologisessa systeemissä olennaisia uusia ilmiöitä tulee vastaan kaikilla pituusskaaloilla, mutta myös epäorgaanisessa luonnossa ja ihmisen kehittämässä laitteissa.

Mentäessä tästä alaspäin tulee vastaan jonkinmoinen aukko, jossa ei juuri tapahdu mitään uutta. Ytimen koossa, noin 10^{-14} m, tulevat olennaisesti uudet fysiikan ilmiöt vastaan, jotka tunnetaan heikkona ja vahvana vuorovaiikutuksena. Nykyisillä hiukkaskiihdyttimillä on päästy tutkimaan pituusskaaloja, jota ovat tästä vielä kolme kertalukua alaspäin, mitä voi pitää erinomaisena saavutuksena. Tässä nousee kuitenkin seinä pystyyn: eteneminen olennaisesti pidemmälle on lähes mahdotonta. Tämän jälkeen alkaa siis tuntematon alue. Nykyisistä teorioista voidaan päätellä että jotain merkittävästi uutta tapahtuu viimeistään mittakaavalla 10^{-35} m, jota kutsutaan Planckin pituudeksi.

Tarkastellaan seuraavaksi fysiikan teorioita. Kuvassa 2 on esitetty joitakin fysiikan perusteorioita. Teoriat on asetettu aika-asteikolle, joka alkaa 1600-luvulta ja ulottuu nykyaikaan.



Kuva 2: Perusteoriat

Ensimmäinen perusteoria on Newtonin lait. Nämä käsittävät sekä mekaniikan lait että painovoimalain. Seuraavana on energian säilymisen laki. Olennaisin oivallus tämän lain keksimisessä oli ymmärtää lämmön olemus, siis se että lämpö on yksi energian muoto. Lähes samoihin aikoihin oli sähkön ja magnetismin tutkimus edennyt niin pitkälle että niille voitiin muodostaa yhteinen teoria. Tämän teorian perusyhtälöt tunnetaan Maxwellin yhtälöinä.

1900-luvun teorioista olen poiminut kolme. Einsteinin suhteellisuusteoria on Newtonin teorian yleistys, jota tarvitaan siinä tapauksessa kun hiukkasten no-

peus lähestyy valon nopeutta, tai kun painovoimakenttä on erityisen voimakas.

1900-luvun ehdottomasti merkittävin keksintö on kuitenkin kvanttiteoria. Se kehittyi atomin rakenteen selvittämisestä. Sillä pystytään selittämään mm. alkuaineiden jaksollinen järjestelmä, ja siten se yhdisti fysiikan ja kemian. Siten se antaa fysikaalisen pohjan myös muille tieteille kuten biologialle.

Hiukkasfysiikan standardimalli sisältää kvanttiteorian kehittämisen koskemaan heikkoa ja vahvaa vuorovaikutusta. Se näyttää olevan lähes täydellisen yhtäpitävä kaikkien kokeellisten havaintojen kanssa. Toisaalta se ei kuitenkaan selitä esimerkiksi alkeishiukkasten massoja.

Kun tutkiskellaan näitä peruslakeja, havaitaan että kolme ensimmäistä ovat hyvin yleiset. Ne ovat suoraan havaittavissa ihmisen mittakaavassa. Nämä teorit myös muodostavat lähes täydellisen perustan ihmisen skaalan fysiikalle.

Kun siirrytään 1900-luvun teorioihin, mennään selvästi ihmisen välittömän kokemuspiirin ulkopuolelle. Valon nopeutta lähenteleviä nopeuksia on mahdollista saavuttaa vain hyvin pienillä hiukkasilla tai tähtitieteellisillä kohteilla. Kvanttimekaniikka tulee useimmiten olennaiseksi vasta lähellä atomien mittakaavaa, standardimalli vasta ytimien skaalalla.

Voidaan siis havaita perusteorioiden siirtyminen kohti äärialueita. Samalla keskeisskaalan, jota tässä olen kutsunut ”elämälle läheiseksi alueeksi”, perusteorit ovat säilyneet muuttumattomina viimeiset 70 vuotta. Tällä on olennaisia vaikutuksia teoreettisen fysiikan työnkuvaan.

Väitteet

Valtaosa fyysikoista työskentelee lähtien hyvin tunnetuista peruslaeista. He soveltavat niitä ilmiöihin jotka luonnossa esiintyvät joko luonnostaan tai ihmisen toiminnan seurauksena.

Tutkittavien ilmiöiden kirjo on uskomattoman suuri. Niissä siis riittää tutkimista. Opiskelijoilla on usein aluksi pyrkimys tutkia kaikkein äärimmäisimpiä tapauksia. Itsekin ajattelin niin aikaisemmin. Ohjeeni tässä on että mielenkiintoisia tutkimuskohteita löytyy useimmiten myös lähempää ja usein ne saattavat olla paljon palkitsevampia.

Kokeellinen ja teoreettinen tutkimus lähentyvät. Kaikkien mahdollisesti tutkittavien ilmiöiden moninaisuus on aivan liian suuri. Teoreettinen työ kannattaa suunnata sellaisiin tapauksiin, joita kokeissa voidaan testata. Tämä taas riippuu koetekniikan kehityksestä. Esimerkiksi Bose-Einstein kondensaatio alkaliatomien kaasussa saatiin kokeellisesti aikaan 1995. Tämä sai monet teoretikot laskemaan tähän liittyviä asioita. Mikään ei periaatteessa olisi estänyt näitä laskuja tehtäväksi jo ennen vuotta 1995. Paitsi se että laskut silloin olisi todennäköisesti tehty sellaisilla parametrien arvoilla, joita kokeissa ei syystä tai toisesta toteuteta.

Tutkimuskohteet ovat spesifisiä ja yksityiskohdat ovat oleellisia. Tutkimukset antavat vastauksia tarkkaan rajattuihin kysymyksiin. Usein johtavissa lehdissä vaaditaan julkaisuilta kuitenkin laajaa kiinnostavuutta. Tätä keinotekoisesti tavoiteltaessa todelliset fysikaaliset tulokset saattavat hämärtyä. Yleisiksi väitetyt tulokset eivät olekaan sitä, tai sitten ne surkastuvat trivialiteeteiksi, jotka jo ovat alan tutkijoiden tiedossa.

Esimerkkinä tutkimusintressien hajautumisesta palataan vielä pituusskaaloihin (kuva 1). Olen määritellyt elämälle läheisen fysiikan pituusskaaloilla jotka

alkavat atomin koosta ylöspäin suunnilleen maapallon mittakaavaan.

Tässä alaraja on varsin selkeä, mikä johtuu siitä neljän kertaluvun aukosta joka vallitsee atomin koon ja ytimen koon välillä. Kuten tavallista fysikaalisissa teorioissa, joissa on kaksi selvästi eroavaa pituusskaalaa, ongelmaa kannattaa yrittää ratkaista kummassakin skaalassa erikseen. Osoittautuu että pienemmän skaalan ongelman täydellinen ratkaisu ei useinkaan ole välttämätön suuremman skaalan ongelmaa ratkaistaessa. Pienempi skaala näkyy isommassa skaalassa vain tiettyjen parametrien kautta. Atomien ja ytimien tapauksessa näitä parametreja ovat mm. ytimien massat ja magneettiset momentit. Näiden arvot tiedetään mittauksista.

Tämä tarkoittaa sitä, että atomitason fysiikka on suljettu alhaaltapäin. Ydin- ja hiukkasfysiikan alalla saavutettavilla uusilla tutkimustuloksilla ei ole vaikutusta atomitason fysiikkaan.

Samanlaista separoitumista voidaan joissakin yksinkertaisissa tapauksissa saavuttaa myös elämälle läheisen fysiikan sisällä. Esimerkkinä tästä on suprajohtavuuden teoria. Se on yksi tarkimmin tunnettuja tiiviin aineen teorioita siksi, että siinä pituusskaala on olennaisesti atomiskaalan yläpuolella. Siksi atomiskaala voidaan eliminoida teoriasta, ja se näkyy vain muutamina parametreinä, jotka saadaan mittauksista. Samanlainen separoituminen ei kuitenkaan yleisesti ole mahdollista. Toisin sanoen kaikki pituusskaalat yleisesti vaikuttavat toisiinsa sekä ylös että alaspäin.

Vastaavasti atomitason fysiikalla ei ole mitään vaikutusta ydintason fysiikkaan. Patsi tietysti se, että kaikki koelaitteistot ovat rakentuneet atomeista, joten atomiskaalan parempi tuntemus saattaa johtaa parempiin koelaitteistoihin.

Seuraava väitteeni on, että merkittävien tulosten saavuttaminen on helppoa isossa tutkimusryhmässä. Internetin kehityksestä huolimatta lounaskeskustelut ja muu henkilökohtainen kanssakäyminen ovat tärkeitä tutkimukselle. Hyödyllisiä keskusteluja on vaikea synnyttää, jos tutkijoiden alat ovat liian kaukana toisistaan. Teoreettisilla fyysikoilla on vaarana irtautua todellisuudesta, jos he eivät ole henkilökohtaisessa kosketuksessa kokeilijoiden kanssa. Pelkkä julkaisujen lukeminen antaa usein harhaanjohtavan kuvan kokeellisesta työstä. Sama lienee totta myös toisin päin: kokeilijoiden on vaikea ymmärtää teoreettista työtä pelkästään julkaisuja lukemalla.

Teoreettisen fyysikon tulee olla entistä monipuolisempi. Ei riitä, että kehittää vain yhtä teoriaa, vaan samaa ongelmaa on lähestyttävä eri suunnista. Tutkimus tulee olemaan poikkitieteellisempää ja lähempänä sovellutuksia. Tietokoneet ja numeeriset menetelmät ovat välttämättömiä. Ne eivät kuitenkaan koskaan tule korvaamaan hyviä ideoita ja laskemista kynää ja paperia käyttäen. Suuri osa fysiikassa esiintyvistä ongelmista on niin monimutkaisia, että niitä on täysin mahdoton ratkaista suoraan numeerisesti siitäkin huolimatta, että tietokoneet ovat kehittyneet valtavasti.

Tavoitteena pitäisi olla vähemmän mutta laadukkaampia julkaisuja. Uskon että kaikki julkaisuja lukevat tutkijat yhtyvät tähän. Valitettavasti tutkimuksen rahoitus ei tue tätä tavoitetta. Päinvastoin, rahoitus suosii enemmän julkaisuja. Myöskin aikakauslehdien impaktifaktorin käyttö rahoitusperusteena on arveluttavaa, sillä sen korrelaatio julkaisun laadun kanssa on hyvin kyseenalainen. Väitöskirjoja tehtäessä ei pitäisi laskea julkaisujen määriä: yksikin julkaisu riittää, jos sen eteen on tehty riittävästi työtä. Äärimmäisessä tapauksessa suuri julkaisumäärä voi olla tapa jolla pyritään väsyttämään arvioijat ja siten häivyttämään se mahdollinen tosiasia, että julkaisuissa ei ole todellista sisältöä.

Fyysikon koulutus on edelleen hyvin yhtenäinen. Tämä siitä huolimatta että tutkimuskohteet ovat hajautuneet. Tavoitteena on laaja luonnon peruslakien tuntemus. Myös tutkimuksen apuvälineet kuten matematiikka ja tietokoneet ovat yhteisiä kaikille. Teoreettisen fysiikan opiskelu on edelleen vähintään yhtä kiinnostavaa ja haastavaa kuin ennenkin. Usein suurin ilo syntyy pienten yksityiskohtien hallitsemisesta. Itse olen äskettäin iloinnut mm. siitä että opin ymmärtämään sateenkaarta. Varsin yksinkertaisella mutta mielenkiintoisella laskulla voi tutkia valon taittumista vesipisarasta. Käyttäen ainoastaan veden taitekerrointa voi esimerkiksi laskea että sateenkaaren punainen reuna näkyy 42 asteen ja violetti reuna 40 asteen kulmassa kun katsotaan auringosta poispäin.

Teoreettisen fysiikan opiskelu antaa valmiuksia jotka ovat hyödyllisiä monessa muussakin työssä kuin tutkimuksessa ja opetuksessa. Teoreettisille fyysikoille tulee aina olemaan kysyntää.

Fysiikan tutkimus kaikilla pituusskaaloilla tulee olemaan tärkeää pyrittäessä saavuttamaan yhä tarkempi kuva meitä ympäröivästä luonnosta. Jos halutaan panostaa kärkitason tutkimukseen, olisi tutkimussuuntia kuitenkin Suomessa jaettava eri yliopistojen kesken niin että saataisiin aikaan suurempia tutkimusryhmiä. Myöskin yksittäisen yliopiston sisällä kannattaa miettiä miten estää tutkimuksen sirpaloituminen.

Kommentit voi lähettää osoitteella:

Erkki Thuneberg

Fysikaalisten tieteiden laitos

PL 3000, 90014 Oulun yliopisto

puh. (08) 553 1874

sähköposti: etunimi.sukunimi@oulu.fi

<http://cc.oulu.fi/~ethunebe/>

Tämä esitelmä on luettavissa verkossa osoitteessa

<http://cc.oulu.fi/~ethunebe/virkast.pdf>