

RATKAISUT: 7. Hiukkasfysiikka

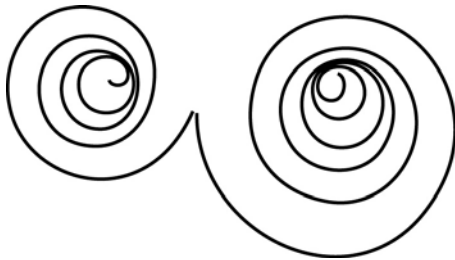
1. Protoni on nukleoni, myoni on leptoni, positroni on antihukkanen, ja lumo on kvarkki.
2. a) Hiukkasreaktioihin liittyy muutamia eri säilymlakeja. Reaktioissa säilyy hiukkasten liikemäärä. Myös energia säilyy hiukkasreaktioissa, mutta energian säilymisessä on otettava huomioon massan energia. (Massa ei hiukkasreaktioissa tyypillisesti säily.) Syntyvien hiukkasten yhteenlaskettu varaus on sama kuin lähtöhiukkasten kokonaisvaraus (varauksen säilymlaki). Näiden lisäksi hiukkasreaktioissa tyypillisesti säilyvät eräät kvanttiluvut (...).
3. Taulukkokirjassa hiukkasten massat on ilmaistu yksiköissä MeV/c^2 . Hiukkasten järjestys keveimmästä massiivisimpaan on:

| Hiukkanen | Massa (MeV/c^2) |
|------------------|-------------------------------|
| välibosoni Z^0 | 91 200 |
| neutroni | 939,57 |
| protoni | 938,27 |
| pioni | 134,96 ja 139,57 |
| myoni | 105,66 |
| elektroni | 0,511, |
| fotoni | 0 |

4. a) Hadronit ovat hiukkasia, jotka koostuvat kvarkeista.
b) Hadronit jakautuvat kahteen ryhmään: mesoneihin ja baryoneihin.
c) Mesoni on kvarkin ja antikvarkin yhdistelmä, kun taas baryoni on kolmen kvarkin tai kolmen antikvarkin muodostama hiukkanen. Mesonien spinkvanttiluku on kokonaisluku, kun taas baryonien spinkvanttiluku on puoliluku.
5. a) Perusvuorovaikutukset ovat: Gravitaatiovuorovaikutus, sähkömagneettinen vuorovaikutus, vahva vuorovaikutus ja heikko vuorovaikutus.
b) a)-kohdassa mainittuja vuorovaikutuksia sanotaan perusvuorovaikutuksiksi, koska niiden avulla voidaan selittää kaikki maailmankaikkeudessa tunnetut vuorovaikutukset.
c) Nykyisen mallin mukaan kaikki perusvuorovaikutukset selitetään siten, että vuorovaikutus tapahtuu niin sanottuja välittäjähiukkasia vaihtelemalla. Muiden paitsi gravitaation välittäjähiukkaset on kokeellisesti todennettu.

6. a) Kuplakammio on magneettikentässä, joten kaikki varatut hiukkaset etenevät siellä pitkin käyräviivaista rataa.
- b) Hiukkasenvarauksen etumerkki voidaan selvittää, kun tiedetään magneettikentän suunta. Jos halutaan selvittää hiukkasen varauksen suuruus, on lisäksi tiedettävä hiukkasen massa ja magnetiikentän magneettivuon tiheys.
- c) Hiukkasten ratojen säde pienenee, koska hiukkanen menettää käyräviivaisella radalla energiaa lähettämällä sähkömagneettista säteilyä. Energian pienentyessä hiukkasen vauhti pienenee, ja ratakäyrän säde pienenee.

7.



8. a) Vain varattuja hiukkasia voidaan kiihdyttää hiukkaskiihdyttimissä, koska kiihdytys tapahtuu sähkökentän avulla. Varatut hiukkaset myös lähettävät sähkömagneettista säteilyä silloin, kun ne ovat kiihtyvässä liikkeessä. Niin ollen käyräviiviasella radalla hiukkanen menettää koko ajan energiaa. Suurella nopeudella kehäkiihdyttimessä etenevien hiukkasten normaalikiihtyvyyden on hyvin suuri, joten suuri osa hiukkasten kiihdytyksessä saamasta energiasta menetetään säteilynä. Lineaarikiihdyttimessä hiukkasilla ei ole normaalikiihtyvyyttä, joten tätä hävikkiä ei ole.
- b) Lineaarikiihdyttimillä hiukkasta voidaan kiihdyttää vain kiihdyttimen pituuden mittainen matka. Kehäkiihdyttimillä hiukkasen kiihdytysmatka voi periaatteessa olla rajattoman pitkä. Siksi kehäkiihdyttimillä hiukkasille saadaan suurempia energioita kuin lineaarikiihdyttimillä.

9. LHC:n tutkimuskohteita voi alkaa selvittää esimerkiksi CERN:in sivulta <http://public.web.cern.ch/Public/Content/Chapters/AboutCERN/CERNFuture/WhyLHC/WhyLHC-en.html>

10. Hiukkasutkimuskeskusten internetsivuja:

CERN: <http://public.web.cern.ch/Public/Welcome.html>

SLAC: <http://www.slac.stanford.edu/>

Fermilab: <http://www.fnal.gov/>

DESY: <http://www.desy.de/html/home/index.html>

Brookhaven: <http://www.bnl.gov/world/>

KEK: <http://www.kek.jp/intra-e/>

INFN: <http://www.lngs.infn.it/>

11. Kahden pisteen välille mitattu etäisyys on pituuskontraktion vuoksi suurin aina siinä koordinaatistossa, jossa nämä pisteet ovat levossa. Myonien syntykohdan ja hajoamiskohdan välinen etäisyys on siten Maan koordinaatistossa mitattuna suurempi kuin myonien mukana liikkuvassa koordinaatistossa mitattuna. Matka, joka myonien on liikuttava omassa koordinaatistossaan, ennen kuin ne saavuttavat maanpinnan, on niin lyhyt, että ne ehtivät edetä sen elinaikanaan alle valonnopeudella.

12. Liikkuva havaitsijan koordinaatistossa tangon pituus on $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, missä l_0 on tangon pituus sen lepokoordinaatistossa.

a) Havaittu tangon pituus on $l = \frac{l_0}{4}$. Silloin

$$\frac{l_0}{4} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$

Ratkaistaan tästä kysytty nopeus v :

$$\frac{l_0}{4} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{1}{4} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{1}{16} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{16}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{15}{16}$$

$$v^2 = \frac{15}{16} c^2$$

$$v = \sqrt{\frac{15}{16}} c = 0,9682 c \approx 0,97 c (= 2,90 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

b) Nyt havaittu tangon pituus on $l = \frac{3l_0}{4}$. Jolloin

$$\frac{3l_0}{4} = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{3}{4} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$\frac{9}{16} = 1 - \frac{v^2}{c^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{9}{16}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = \frac{7}{16}$$

$$v^2 = \frac{7}{16} c^2$$

$$v = \sqrt{\frac{7}{16}} c = 0,6614 c \approx 0,66 c (= 1,98 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

Vastaus: a) 0,97 c, b) 0,66 c .

13. Avaruusaluksen nopeus on $v = 250\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Maassa sattuvan tapahtuman itseisaika Δt on Maassa mitattu tapahtuman kesto.

Avaruusaluksessa mitattu aika on

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1,00 \text{ s}}{\sqrt{1 - \frac{\left(250\,000\,000 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{\left(299\,792\,458 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}} = 1,8119 \text{ s} \approx 1,8 \text{ s}$$

Vastaus: Avaruusaluksessa mitattu aika on 1,8 s.

Huom! Kirjan ensimmäisessä painoksessa on väärä tulos.

14. Kun koordinaatistojen suhteellinen nopeus on 0,10 c, ei-lepokoordinaatistossa aikaväli on

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{(0,10 c)^2}{c^2}}} = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - 0,10^2}} = 1,0050378 \Delta t_0.$$

Mitattu aikaväli on siten 0,50 % suurempi kuin tapahtuman itseisaika.

Vastaus: Mitattu aikaväli on 0,50 % suurempi.

15. Liikkuvan havaitsijan havaitsema aikaväli on $\Delta t = 1,010 \Delta t_0$. Siten

$$1,010 \Delta t_0 = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \text{ Ratkaistaan tästä havaitsijan nopeus}$$

$$1,010 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{1}{1,010}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{1}{1,010^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{1}{1,010^2}$$

$$v^2 = \left(1 - \frac{1}{1,010^2}\right) c^2$$

Nopeus on siten

$$v = \sqrt{1 - \frac{1}{1,010^2}} c = 0,14037 c \approx 0,14 c$$

Vastaus: Havaitsijan nopeuden on oltava $0,14 c$.

16. Liikkuvan havaitsijan mittaama Kuun ja Maan välinen etäisyys on

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \text{ jossa } l_0 = 384\,400 \text{ km}.$$

Ratkaistaan tästä liikkuvan havaitsijan nopeus Maan suhteen

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = \frac{l}{l_0}$$

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = \frac{l^2}{l_0^2}$$

$$\frac{v^2}{c^2} = 1 - \frac{l^2}{l_0^2}$$

$$v^2 = \left(1 - \frac{l^2}{l_0^2}\right) c^2$$

$$v = \sqrt{1 - \frac{l^2}{l_0^2}} c$$

Nopeus on siten

$$v = \sqrt{1 - \frac{(300\,000 \text{ km})^2}{(384\,400 \text{ km})^2}} c = 0,62523 c \approx 0,63 c.$$

Vastaus: Havaitsijan nopeus on $0,63 c$.