

Vastaa valintasi mukaan korkeintaan kolmeen (3) tehtävään! Voit vastata suomeksi, ruotsiksi tai englanniksi. Kokeessa saa käyttää tavallista funktiolaskinta.

1. Tämän tehtävän teemana ovat relativistisella alueella tapahtuvat hiukkasreaktiot.

- a) Tarkastellaan ensiksi varatun pionin hajoamisreaktiota $\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu$. Jos pioni liikkuu laboratorikoordinaatistossa nopeudella v positiivisen x -akselin suuntaan ja neutriino ν_μ emittoituu positiivisen y -akselin suuntaan, niin mikä on syntyvän myonin μ^+ nopeus ja liikesuunta (eli sirontakulma θ) samaisessa koordinaatistossa? Entä jos pioni on aluksi levossa: millä nopeudella ja mihin suuntaan myoni nyt liikkuu? (3,5p)
- b) Elektronin ja positronin annihiloidessa toisensa suurilla energioilla voi lopputuloksena syntyä joko myonipari tai joukko erilaisia hadroneita. Näiden reaktioiden vaikutusalojen suhde

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{hadroneita})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

massakeskipistekoordinaatiston kokonaisenergian funktiona on piirretty näkyviin kuvaan 1. Mitä informaatiota kuva antaa meille annihilaatioreaktiosta? (2,5p)

2. Kurssin aikana olemme puhuneet paljon luonnon perusvuorovaikutusten kvanttikentäteorioista, eritoten sähkömagnetismia kuvaavasta kvanttielektrodynamiikasta (QED). Kerro, mitkä ovat QED:n peruslähtökohdat, miten sähkömagnetismia käsitellään matemaattisesti QED:n viitekehyksessä ja miten teorian voi ilmaista graafisessa muodossa Feynmanin diagrammien avulla. (3p)

Piirrä sitten Feynmanin diagrammit kuvaamaan seuraavia QED:n prosesseja: (i) elektronin emittoima jarrutussäteily volframiytimen ($Z = 74$, $A = 184$) läheisyydessä, (ii) elektroni–positroni-parin muodostuminen samaisen volframiytimen lähistöllä, (iii) elastinen elektroni–positroni-sironta (huomaa, että vaihtoehtoja on monta, sinun riittää piirtää näkyviin kolme niistä). (3p)

3. Tässä tehtävässä uppoudumme kvarkkimallin syövereihin.

- a) Kuvassa 2 on esitetty kevyimmät kokeellisesti havaitut $\frac{1}{2}^+$ -baryonit (Y, I_z)-koordinaatistossa, missä $Y = S + B$ on outouden ja baryoniluvun summa ja I_z on isospinin z -komponentti. Selvitä kunkin hiukkasen kvarkkikoostumus käyttämällä vain kevyimpiä kvarkkimakuja u, d ja s . Muistathan, että $I_z(u) = -I_z(d) = 1/2$ ja että $S(s) = -1$. Miten hiukkaset Λ^0 ja Σ^0 eroavat toisistaan — päteehän kummallekin $Y = I_z = 0$? (3p)
- b) Ovatko seuraavat hiukkasreaktiot sallittuja vai kiellettyjä? Jos ne ovat sallittuja, mikä luonnon perusvuorovaikutuksista on todennäköisimmin vastuussa reaktion tapahtumisesta? (3p)
- (i) $\Omega^- \rightarrow \Xi^0 + K^-$
(ii) $\pi^- + p \rightarrow \pi^0 + n$
(iii) $K^- \rightarrow \pi^+ + \pi^- + e^- + \bar{\nu}_e$.

KÄÄNNÄ

4. Vastaa seuraaviin kysymyksiin lyhyesti (=noin 0,5 sivua per kysymys) ja ytimekkäästi (=turhia jaarittelematta mutta tarpeellisia kaavoja ja relaatioita käyttäen).

- Fuusiosta puhuttaessa keskeisessä roolissa on Lawsonin kriteeri. Mitä Lawsonin kriteeri kertoo meille ja mitä ehtoja se asettaa fuusioreaktioiden tapahtumiselle? (1,5p)
- Suurienergisten hiukkasten analysoiminen onnistuu vain Diracin yhtälöä käyttämällä. Kirjoita vapaan hiukkasen Diracin yhtälö niin hyvin kuin muistat ja kerro, mitä muotoa yhtälön ratkaisut ovat. Miten tulokset ratkaisussa esiintyvät eri termit? (1,5p)
- Selitä, mitä ovat Cabibbon kulma θ_C sekä heikko sekoittumiskulma θ_W ja mihin niitä tarvitaan heikosta vuorovaikutuksesta puhuttaessa. (1,5p)
- Selitä, mitä tarkoittavat vahvan vuorovaikutuksen yhteydessä esiintyvät käsitteet värivaraus, antivirjostus sekä asymptoottinen vapaus. (1,5p)

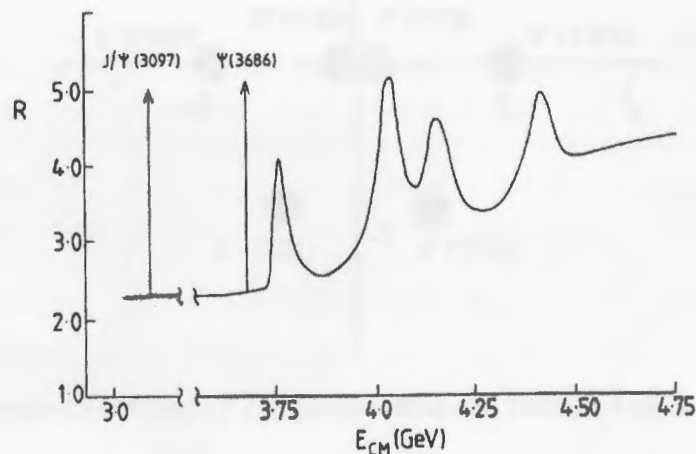
Aputietoja:

$e \approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ J, $\epsilon_0 \approx 8,9 \cdot 10^{-12}$ F/m, $h \approx 6,6 \cdot 10^{-34}$ Js, $c \approx 3,0 \cdot 10^8$ m/s, $m_p = 1,00727647$ u, $m_n = 1,00866501$ u, $m_e = 5,485803 \cdot 10^{-4}$ u = $0,5110$ MeV/c², $m_\mu = 105,7$ MeV/c², 1 u $\approx 1,7 \cdot 10^{-27}$ kg $\approx 931,5$ MeV/c²

Hadronien massoja (MeV/c²) sekä kvarkkikoostumuksia:

$\pi^+(139,57) = u\bar{d}$, $\pi^-(139,57) = d\bar{u}$, $\pi^0(134,98) = \frac{1}{\sqrt{2}}(u\bar{u} - d\bar{d})$,

$K^+(493,68) = u\bar{s}$, $K^-(493,68) = \bar{u}s$, $K^0(497,61) = d\bar{s}$, $\Omega^-(1673) = sss$.



Kuva 1: Reaktioiden $e^- + e^+ \rightarrow$ hadroneita ja $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ vaikutusalojen suhde massakeskipistekoordinaatiston kokonaisenergian funktiona.

