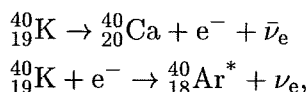


1. Kerro, mistä on kyse ytimen kuorimallissa ts. mitkä ovat mallin perusediat ja mitkä ytimen ominaisuudet pystytään selittämään kuorimallin avulla. Kerro myös, milloin kuorimalli toimii erinomaisen hyvin ja milloin taas mennään pahasti metsään. Vertaile lopuksi kuorimallia ja ytimen kollektiivimalleja toisiinsa. Älä unohda antaa esimerkkejä eri mallien ennusteista ja vastaavuudesta todellisuuden kanssa. (6p)
2. a) Luonnonkalium (atomimassa 39,089 u) sisältää 0,0118 atomiprosenttia isotooppia ^{40}K , jolla on kaksi eri hajoamiskanavaa:



- missä isotoopin $^{40}_{18}\text{Ar}$ virittynyt tila purkautuu perustilalle emittoimalla yhden γ -kvantin. Ensimmäisessä reaktiossa syntyy keskimäärin $2,7 \cdot 10^4$ elektronia kilogrammaa luonnonkaliumia kohti sekunnissa ja jälkimmäisessä reaktiossa puolestaan 12 γ -kvanttia 100 emittoitunutta elektronia kohti. Määritä näiden tietojen avulla $^{40}_{19}\text{K}$:n keskimääräinen elinaika. (1,5p)
- b) Tippavaaran isännän takaniitylle pudonnut meteoriitti sisältää tarkkojen analyysien perusteella 1 g kaliumia ja 10^{-5} g argonia, joka on syntynyt yksinomaan $^{40}_{19}\text{K}$:n hajotessa. Olettamalla, että yhtään argonia ei ole päässyt karkuun, määritä meteoriitin ikä. (3p)
 - c) Vertaile lopuksi eri reaktioissa syntyvien hiukkasten — elektronien, neutriinon ja γ -kvanttien — vaarallisuutta keskenään. (1,5p)
3. a) Reaktiossa $^{14}_7\text{N} + n \rightarrow p + ^{14}_6\text{C}$ havaitaan resonanssi neutronin energialla 3,1 MeV. Typpiydin on aluksi paikoillaan. Mikä on reaktiossa muodostuva väliydin sekä sen viritystilan energia? Koordinaatistosta toiseen siirtymistä helpottaa muunnoskaava $\mathbf{v}' = \mathbf{v} - \mathbf{v}_{\text{CM}}$, missä pilkuton suure tarkoittaa nopeutta laboratoriokoordinaatistossa ja \mathbf{v}_{CM} massakeskipisteen nopeutta. Kahden hiukkasen (massat m_1 ja m_2) tapauksessa $\mathbf{v}_{\text{CM}} = (m_1\mathbf{v}_1 + m_2\mathbf{v}_2)/(m_1 + m_2)$. (3p)
 - b) Suurienergisten π -mesonien liikemäärä pystytään määrittämään spektrometrillä, jossa hiukasia poikkeutetaan alkuperäisestä liikesuunnastaan voimakkaan magneetin avulla ja ohjataan ulostullut hiukkassuihku detektorille, jonka edessä on kapea kollimointirako. Käytössäsi olevassa spektrometrissä magneettivuon tiheys on $B = 1,5$ T ja magneetin pituus on 2 m; kollimointiraon leveys on puolestaan 3 mm. Olet kiinnostunut pioneista, joiden liikemäärä on 50 GeV/c.
Näytä nyt, että liikemäärä on $p \propto RB$, missä R on hiukkasen radan kaarevuussäde. Laske tämän jälkeen, kuinka kauas magneetista kollimointirako (ja detektori) pitäisi sijoittaa, jotta detektori näkisi vain ne hiukkaset, joiden liikemäärä poikkeaa korkeintaan 1 % tavoitearvosta. (3p)

4. Vastaa seuraaviin kysymyksiin lyhyesti mutta kattavasti (1,5p kustakin kohdasta).

- a) Mitä ovat baryonit ja mesonit? Minkälaisia otuksia ne ovat kvarkkimallin mukaan?
- b) Mitä tarkoitetaan kvarkkien värillä? Mihin väriä tarvitaan ja miten se liittyy vahvaan vuorovaikutukseen?
- c) Mitä ovat Cabibbon kulma ja CKM-matriisi? Mihin tällaisia käsitteitä tarvitaan ja mitä tekemistä niillä on heikon vuorovaikutuksen kanssa?
- d) Mikä on sähköheikko vuorovaikutus? Miksi ja mihin tätä kurssilta tuttua käsitettä tarvitaan?

5. Tee selkoa Feynmanin graafeista ja kerro, miten ne liittyvät vuorovaikutusten kvanttikenttäteorioihin ja miten niiden avulla kuvataan eri vuorovaikutusprosesseja. Anna tässä yhteydessä kattava selitys ainakin avainkäsitteille ”verteksi”, ”kantama”, ”välittäjähiukkanen” ja ”propagaattori”.

Piirrä Feynmanin graafit kuvaamaan seuraavia prosesseja: (i) deuteriumin ja tritiumin fuusioreaktio neutroniksi ja heliumiksi, (ii) tritiumin β^- -hajominen, (iii) elektronin ja positronin siroaminen toisistaan ja (iv) charmonium-mesonin $c\bar{c}$ hajoaminen kevyemmiksi hiukiksi. Esitä kussakin kohdassa kaikki topologisesti erilaiset graafit alimmassa kertaluvussa. (6p)

Aputietoja:

$$\begin{aligned} m(^{40}\text{Ar}) &= 39,962384 \text{ u}, m(^{40}\text{K}) = 39,963999 \text{ u}, m(^{40}\text{Ca}) = 39,962591 \text{ u}, m(^{13}\text{C}) = 13,003355 \text{ u}, \\ m(^{14}\text{C}) &= 14,003242 \text{ u}, m(^{15}\text{C}) = 15,010599 \text{ u}, m(^{13}\text{N}) = 13,005739 \text{ u}, m(^{14}\text{N}) = 14,003074 \text{ u}, \\ m(^{15}\text{N}) &= 15,000109 \text{ u}, m(^1\text{H}) = 1,007825 \text{ u}, m_p = 1,00727647 \text{ u}, m_n = 1,00866501 \text{ u}, \\ m_e &= 5,485803 \cdot 10^{-4} \text{ u}, 1 \text{ u} = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,5 \text{ MeV}/c^2, c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}, e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}, \\ N_A &= 6,0 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \end{aligned}$$