$\frac{28,3}{4} \approx 7,1$

$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}\alpha$

$m_p + m_n =$ 938,280 + 939,573 = 1877,853

Teknillinen korkeakoulu
Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto

Tfy-0.3243 Ydin- ja alkeishiukkasfysiikka **Tentti, 15.5.2009**

Kurki-Suonio, Hakola

1. Selitä lyhyesti ja ytimekkäästi, mitä tapahtuu ytimen alfahajoamisessa ja miten hajoamisprosessia mallinnetaan kvanttimekaanisesti. Lähtemällä liikkeelle hajoamisreaktion Q-arvon määritelmästä määritä, kuinka suuri ytimen massaluvun pitää olla, jotta α-hajoaminen olisi mahdollista. Käytä hyväksesi kuvassa 1 esitettyä kuvaajaa ytimen sidosenergiasta nukleonia kohti (B/A) massaluvun A funktiona ja approksimoi käyrän loppuosaa suoralla. Isotoopin ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$ sidosenergia on noin 28,3 MeV. (6p)

2. Tarkastellaan neutronin ja protonin kaappausreaktiota deuteroniksi $\mathrm{n} + \mathrm{p} \rightarrow \mathrm{d} + \gamma$. Protonin, neutronin ja deuteronin massat tunnetaan: $m(\mathrm{p}) = 1{,}00727647\ \mathrm{u} = 938{,}280\ \mathrm{MeV}/c^2$, $m(\mathrm{n}) = 1{,}00866501\ \mathrm{u} = 939{,}573\ \mathrm{MeV}/c^2$ ja $m(\mathrm{d}) = 2{,}01355321\ \mathrm{u} = 1875{,}628\ \mathrm{MeV}/c^2$.

   a) Määritä reaktiossa syntyvän gamman energia siinä tapauksessa, että neutroni–protoni-systeemi on aluksi levossa. Muista ottaa huomioon deuteronin saama rekyyli! (1,5p)

   b) Tarkastellaan sitten tilannetta, jossa alkutilan kineettinen energia on nollasta poikkeava mutta hyvin pieni, jolloin voidaan ajatella reaktion tapahtuvan s-tilalta ts. neutroni–protoni-systeemille $l_\mathrm{i} = 0$. Mitkä sähköiset ja magneettiset multipolimoodit El ja Ml ovat mahdollisia syntyvälle säteilykentälle? Neutronin ja protonin spin–pariteetti on $\frac{1}{2}^+$, deuteronin puolestaan 1^+. (3p)

   $i = 0, 1$

   $i =$

   c) Mitä voit yleisesti sanoa deuteronin muodostavan neutroni–protoni-parin kokonaisratakulmaliikemäärästä l sekä kokonaisspinistä s, kun tiedetään deuteronin spin–pariteetin olevan 1^+? (1,5p)

3. Vastaa kysymyksiin lyhyesti ja ytimekkäästi mutta täsmällisesti käyttämällä hyväksesi kurssilla oppimiasi asioita!

   a) Mistä on kyse indusoiduissa fissioreaktioissa ja millä edellytyksillä nämä reaktiot tapahtuvat? Miten väliydin, aktivaatioenergia ja ytimen deformaatio liittyvät asiaan? (1,5p)

   b) Miten fuusioreaktiot ja plasma liittyvät toisiinsa? Millä edellytyksillä fuusioreaktioita saataisiin tapahtumaan tarpeeksi paljon plasmassa? (1,5p)

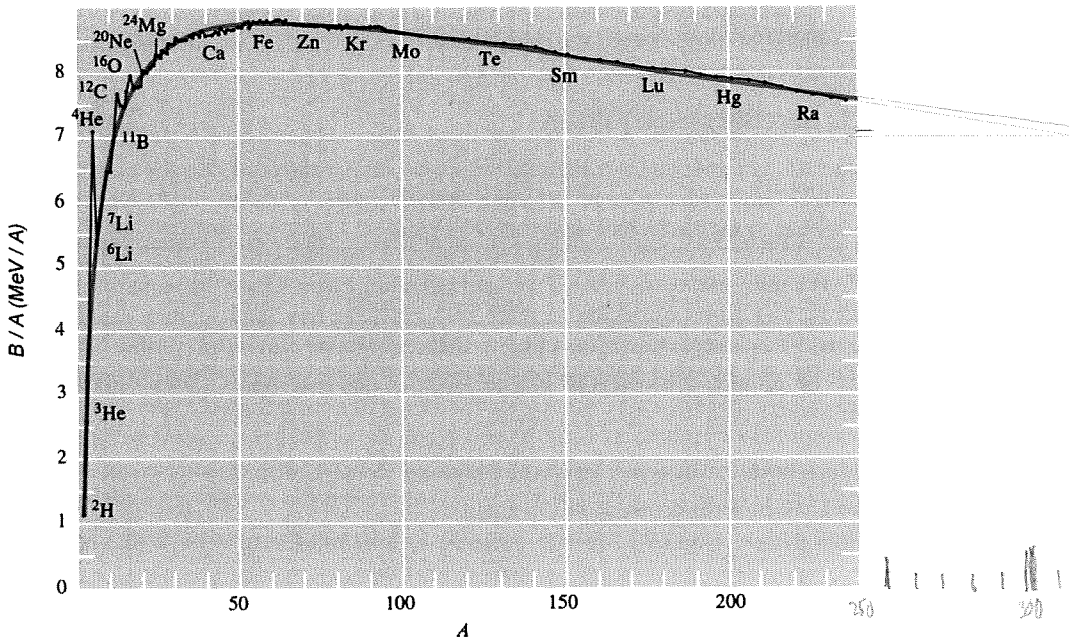
   c) Miten luonnon eri perusvuorovaikutukset suhtautuvat toisiinsa nykyään ja miten vuorovaikutusten voimakkuudet ovat muuttuneet maailmankaikkeuden historian aikana? (1,5p)

   d) Mikä rooli fuusiolla on ollut maailmankaikkeuden muotoilemisessa sellaiseksi kuin sen tänä päivänä näemme? (1,5p)

4. Selitä yksityiskohtaisesti, miten sähkömagneettinen ja vahva vuorovaikutus eroavat toisistaan ja mitä yhteisiä piirteitä niillä on. Kerro myös, miten nämä molemmat eroavat heikosta vuorovaikutuksesta. Kiinnitä vastauksessasi erityistä huomiota sähkömagneettisen ja vahvan vuorovaikutuksen kvanttikenttäteorioihin ja vertaile niitä keskenään. Kuvat ovat kivoja ja tuttuun tapaan piristävät kuivahkoa vastausta huimasti!

   Selvitä lopuksi, tapahtuvatko seuraavat reaktiot vahvan vai sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäminä — vai ei kummankaan: (i) $\Lambda^0 + \mathrm{p} \rightarrow \mathrm{K}^- + \mathrm{p} + \mathrm{p}$, (ii) $\mathrm{p} + \mathrm{p} \rightarrow \pi^+ + \mathrm{n} + \mathrm{n}$, (iii) $\mathrm{p} + \bar{\mathrm{p}} \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^0$, (iv) $\pi^0 \rightarrow \mathrm{e}^+ + \mathrm{e}^- + \mathrm{e}^+ + \mathrm{e}^-$. (6p)

KÄÄNNÄ



Kuva 1: Sidosenergia nukleonia kohti massaluvun A funktiona.

5. Tässä tehtävässä katsotaan, mitä sinulle on jäänyt käteen kokeellisesta hiukkasfysiikasta.

   a) Haluat tehdä hiukkasfysikaalisen kokeen, jota varten tarvitset raskaita kvarkki–antikvarkki-pareja. Puhtaan $q\bar{q}$-tuoton takaamiseksi sinun kannattaa törmäyttää pistemäisiä hituja kuten elektroneja, myoneja tai taoneja antihiukkastensa kanssa, sillä esimerkiksi protonitörmäyksissä syntyy kaikenlaisia roskahiukkasia kuten pioneja. Elektroneja ja positroneja on kyllä helppo tuottaa, mutta koska $e^{\pm}$ ovat kevyitä hiukkasia, niin massakeskipistekoordinaatiston energiaa on vaikeaa saada tarpeeksi suureksi. Taonit taas ovat raskaita, mutta valitettavasti elinajaltaan kovin lyhyitä hiukkasia. Päädyt siksi tekemään kokeesi suurienergisillä myoneilla upean mahtavassa laboratoriossasi, josta löytyy kiihdyttimiä ja koelaitteistoja vähän joka lähtöön. Kerro, mistä saat tarvitsemasi myonisuihkun, miten saat kiihdytettyä myonit suuriin energioihin ja miten toteutat μ^-:n ja μ^+:n törmäyksen. (4p)

   b) Suoritettuasi myonikokeen menestyksekkäästi alat etsiä kuumeisesti Higgsin bosonia. Millä tavalla sinun nyt kannattaa toteuttaa kokeesi? Ymmärrät varmaan, että sopivien olosuhteiden aikaansaamiseksi on toimittava TeV:n energia-alueella. (2p)

   Laboratoriosi herättää todellakin kateutta kollegoittesi keskuudessa. Sieltä löytyy niin lineaarikiihdyttimiä kuin syklisiäkin kiihdyttimiä, ja osa kiihdyttimistä on integroitu osaksi vinkeitä törmäyttimiä. Lisäksi hiukkassuihkut voidaan ottaa ulos kiihdyttimistä ja ohjata kiinteästi paikoillaan oleviin kohtioihin.

   Perustele valintasi huolellisesti, toki kurssimateriaalin puitteissa. Perustelujesi pohjalta päätämme, onko vastaus oikein vai väärin!

Aputietoja:
$m_e = 5{,}485803 \cdot 10^{-4}$ u, 1 u $= 1{,}7 \cdot 10^{-27}$ kg $= 931{,}5$ MeV/c^2, $c = 3{,}0 \cdot 10^8$ m/s, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ C

Hadronien kvarkkikoostumuksia sekä suluissa niiden massat yksiköissä MeV/c^2:
$\mathrm{p}(938{,}28) = \mathrm{uud}$, $\mathrm{n}(939{,}57) = \mathrm{udd}$, $\Lambda^0(1115{,}68) = \mathrm{uds}$,
$\pi^+(139{,}57) = \mathrm{u\bar{d}}$, $\pi^-(139{,}57) = \mathrm{d\bar{u}}$, $\pi^0(134{,}98) = \frac{1}{\sqrt{2}}(\mathrm{u\bar{u}} - \mathrm{d\bar{d}})$,
$\mathrm{K}^+(493{,}68) = \mathrm{u\bar{s}}$, $\mathrm{K}^-(493{,}68) = \mathrm{s\bar{u}}$.