

**ODABRANA POGLAVLJA NUKLEARNE FIZIKE I FIZIKE  
ELEMENTARNIH ČESTICA**

**ZADACI ZA VJEŽBU**

Predavač: Doc. dr. Marijan Mileković  
Asistent: Davor Horvatić, dipl.inž.  
Zagreb, 2002

Zadaci koji su ovdje sakupljeni većim dijelom su radjeni na vježbama iz kolegija "Odabrana poglavlja nuklerane fizike i fizike elementarnih čestica" odnosno pojavljivali su se na pismenim ispitima iz tog kolegija tijekom protekle dvije godine. Zadaci sa pismenih ispita su označeni sa zvjezdicom.

Tabele fizikalnih konstanti, periodički sustav elemenata te svojstva elementarnih čestica potrebnih pri njihovom rješavanju mogu se naći na web-adresi:

<http://pdg.lbl.gov/>

Razni podaci o jezgrama nalaze se na web-adresi:

<http://www.nndc.bnl.gov/>

Nadam se da će objavljivanje ovih zadataka pomoći idućim generacijama studenata profesorskog smjera fizike da lakše prodju ispitno gradivo.

M.Mileković

# SADRŽAJ

- A. JEDINICE
- B. RASPRŠENJA I STATIČKA SVOJSTVA JEZGARA
- C. MODELI JEZGARA
- D. RASPADI
- E. SIMETRIJE I KINEMATIKA ČESTICA

## A. JEDINICE

1.

U SI sustavu jedinica Newtonova konstanta gravitacije,  $G_N$ , i Fermijeva konstanta slabe interakcije,  $G_F$ , imaju slijedeće vrijednosti:

$$G_N = 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg s}^2$$

$$G_F = 1.4 \cdot 10^{-62} \text{ J m}^3$$

Kako su  $G_N$  i  $G_F$  'mjere' jakosti interakcija, na prvi se pogled čini da je gravitacija puno jača od slabe interakcije.

Izrazite  $G_N$  i  $G_F$  u GeV-ima i provjerite da li je gornji zaključak točan.

2\*.

Ako suvremene akceleratorne shvatimo kao 'mikroskope' kojima 'probamo' male udaljenosti, koju prostornu rezoluciju imaju mašine koje operiraju na:

- (a) MeV-skoj skali
- (b) GeV-skoj skali
- (c) TeV-skoj skali

3.

Izrazite u MeV-ima slijedeće temperature:

- (a)  $10^{12}$  K
- (b) 273 K
- (c) 2,7 K

4\*.

Dva protona se nalaze na udaljenosti  $r = 2fm$ .

Izračunajte (u MeV-ima i J) energiju gravitacionog privlačenja i Coulombova odbijanja. Usporedite rezultate sa energijom veze nukleona u jezgri.

5\*

Izračunajte (u MeV-ima i J) elektrostatsku potencijalnu energiju između dvije sferne jezgre sa 46 protona ( $A = 115$ ) koje se tek dodiruju svojom površinom.

6.

Elektronskim snopom želimo proučavati jezgre tipičnog radijusa  $5fm$ , i nukleone tipičnog radijusa  $0.5fm$ .

Koliki moraju biti impulsi snopa?

7\*.

Na jezgru  ${}^9\text{Be}$  naliće proton. Procijenite minimalnu energiju koju mora imati proton da bi svladao Coulombovu barijeru.

8.

Udarni presjeci se često izražavaju u *barnima* ( $1b = 10^{-24}cm^2$ ). Pokažite da je

$$1GeV^{-2} = 0.389mb$$

9.

U sustavu jedinica  $\hbar = c = 1$  pokažite da je Comptonova valna duljina elektrona  $1/m$  a Bohrov radijus vodikovog atoma  $1/\alpha m$ , gdje je  $\alpha$  konstanta fine strukture.

10.

Planckova skala, na kojoj se očekuju efekti kvantne gravitacije, definirana je Planckovom masom  $M_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2.177 \cdot 10^{-5}g$ , Planckovom duljinom  $L_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616 \cdot 10^{33}cm$  i Planckovim vremenom  $T_P = L_P/c = 5.39 \cdot 10^{44}sec$ . Izrazite te veličine u jedinicama energije tj. u GeV-ima.

11.

Koliki linearni moment ( $\vec{p}$ ) ima proton kinetičke energije 1 GeV?

## B. RASPRŠENJA I STATIČKA SVOJSTVA JEZGARA

1\*.

$\alpha$ -čestica kinetičke energije 6 MeV-a raspršuje se na jezgri zlata ( $A = 197$ ). Vrijedi li Rutherford-ova formula za udarni presjek? Obrazložite!

2\*.

$\alpha$ -čestica kinetičke energije  $E_k = 50$  MeV-a nalijeće na jezgru zlata ( $A = 197$ ). Kako blizu jezgri može doći  $\alpha$ -čestica

(a) ako je sudar centralan?

(b) ako je kut otklona  $\alpha$ -čestice  $60^\circ$ ?

(c) ako je radijus jezgre zlata  $7fm$ , koliki je kut raspršenja  $\alpha$ -čestica?

3.

$\alpha$ -čestica kinetičke energije  $E_k = 5$  MeV-a raspršuje se na zlatnoj foliji debljine  $d = 10^{-7}m$ . Gustoća zlata je  $19.3g/cm^3$ .

Koliki se postotak  $\alpha$ -čestica rasprši u kut  $\theta \geq \pi/2$ ?

4\*.

Eksperimentalni podaci za difrakcijsko raspršenje elektrona na jezgrama kalcija prikazani su na slici 1. Pomoću tih podataka procijenite radijuse jezgara  $^{40}Ca$  i  $^{48}Ca$ . Usporedite rezultate sa formulom za radijus jezgre  $r = R_0A^{1/3}$ ,  $r_0 = 1.2fm$ .

5\*.

$\alpha$  čestice kinetičke energije 100 MeV-a difrakcijski se raspršuju na jezgri  $^{56}Fe$ . Na kojim

se kutevima javljaju prva dva difrakcijska minimuma?

Jezgru shvatite kao nepronični disk radijusa 5 fm.

6.

Pomoću formule za radijus jezgre  $r = R_0 A^{1/3}$  ( $r_0 = 1.2 \text{ fm}$ ) nadjite

(a) broj nukleona po jedinici volumena

(b) gustoću nuklearne materije

Usporedite gustoću sa gustoćom bijelih patuljaka i neutronske zvijezde.

7.

Procijenite za koliko je postotaka jezgra  $^{237}\text{Np}$  veća ili manja od jezgre  $^{207}\text{Pb}$ .

8\*.

Jezgra masenog broja  $A = 235$  rascijepi se na dvije nove jezgre čiji se maseni brojevi odnose kao 2 : 1.

Nadjite radijuse tih jezgara.

9\*.

Pretpostavite da se raspodjela naboja u jezgri  $^{237}\text{Np}$  ravna prema formuli

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{(r/r_0)}}$$

gdje je  $r_0 = 0.5$  fermija.

(a) ako se površinska debljina jezgre ( $\delta$ ) definira kao interval radijusa u kojemu gustoća naboja ( $\rho$ ) padne sa 90 posto početne vrijednosti ( $\rho_0$ ) na 10 posto početne vrijednosti, odredite  $\delta$ . (b) Koliki je radijus jezgre  $^{237}\text{Np}$  ?

10.

Raspršenje brzih elektrona na jezgrama ukazuje da se volumna gustoća električnog naboja jezgre može parametrizirati sa

$$\rho(r) = \frac{\rho_0}{1 + e^{\frac{(r-r_0)}{\delta}}}$$

gdje je  $r_0 = 1.2 \text{ fm}$  i  $\delta = 0.5 \text{ fm}$ .

Grafički odredite najvjerojatniji radijus raspodjele naboja jezgre srebra. Usporedite rezultat sa formulom  $r = r_0 A^{1/3}$ .

11.

Eksperimenti sa raspršenjem brzih elektrona na protonu pokazuju da se gustoća naboja protona može približno opisati funkcijom

$$\rho(r) = \frac{a^3}{8\pi} e^{-ar}$$

gdje je  $a = 4 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-1}$ .

(a) odredite form-faktor protona

(b) odredite srednji kvadrat radijusa raspodjele naboja  $\langle r^2 \rangle$ .

12\*.

Eksperimentalni podaci za form-faktor protona prikazani su na slici 2.

(a) odredite srednji kvadrat radijusa raspodjele naboja  $\langle r^2 \rangle$

(b) eksperimentalni podaci se mogu aproksimirati formulom

$$\rho(r) = \frac{a^3}{8\pi} e^{-ar}$$

Odredite parametar  $a$  koristeći rezultat iz (a).

13.

Odredite form-faktore za raspodjelu naboja u jezgrama  ${}^6\text{Li}$  i  ${}^{40}\text{Ca}$ . Za jezgru litija pretpostavite Gaussovu raspodjelu naboja a jezgru kalcija aproksimirajte homogenom sferom radijusa  $R$ .

14.

Procijenite električni kvadrupolni moment jezgre  ${}^{123}\text{Sb}$ . Pretpostavite da je 'izvor' kvadrupolnog momenta nespareni proton. Usporedite rezultat sa eksperimentalnom vrijednošću i objasnite neslaganje.

15.

Jezgra  ${}^{176}\text{Lu}$  ima oblik homogeno nabijenog rotacionog elipsoida i kvadrupolni moment  $7 \text{ barna}$ .

Nadjite omjer velike i male poluosi elipsoida i odredite (u postocima) odstupanje od sferne simetrije.

16\*.

Pretpostavite da jezgra  ${}^{167}\text{Er}$  ima oblik homogeno nabijenog elipsoida. Velika poluos iznosi  $a = 6.5 \text{ fm}$  a male poluosi su  $b = c = 4.5 \text{ fm}$ .

Koliki električni kvadrupolni moment očekujete?

17.

Izračunajte sumu magnetskih momenata protona i neutrona i usporedite rezultat sa izmjerenim magnetskim momentom deuterona. Objasnite razliku.

18.

Operatori magnetskog dipolnog momenta  $\hat{\mu}$  i ukupnog spina jezgre  $\hat{I}$  su

$$\hat{\mu} = g_L \hat{L} + g_S \hat{S}$$

$$\hat{I} = \hat{L} + \hat{S}$$

Pokažite da je moguće za ukupni spin jezgre  $\hat{I}$  definirati giromagnetski faktor  $g_I$ , tako da je

$$g_I = g_L \pm \frac{g_S - g_L}{2L + 1}$$

gdje predznaci ( $\pm$ ) vrijede za  $I = L \pm 1/2$ , respektivno.

19.

Eksperimentalne vrijednosti magnetskog dipolnog momenta za jezgre  $^{93}\text{Nb}$  i  $^3\text{He}$  su  $+6.1$  i  $-2.23$  nuklearna magnetona. Pretpostavite da je 'izvor' magnetskog momenta nesparesni nukleon.

Odredite vrijednosti orbitalnog angularnog momenta  $L$  za te jezgre.

20\*.

$^{41}\text{Ca}$  i  $^{41}\text{Sc}$  imaju po jedan nesparesni nukleon u stanju  $L = 3$ . Ukupni spin jezgara je  $I = 7/2$ .

Procijenite magnetski dipolni moment  $^{41}\text{Ca}$  i  $^{41}\text{Sc}$  pod pretpostavkom da magnetskom dipolnom momentu doprinose isključivo nesparesni nukleoni.

21.

Izračunajte energiju veze za  $^{39}\text{K}$ ,  $^{41}\text{Ca}$  i  $^{126}\text{Te}$ .

22.

Koliko energije morate uložiti da bi 'izvukli' najslabije vezani neutron odnosno proton u  $^{40}\text{Ca}$ ?

23.

Nadjite defekt mase jezgara  $^3\text{H}$  i  $^3\text{He}$  i objasnite kvalitativno zašto se razlikuju.

24\*.

Dvije jezgre deuterija fuzioniraju se u  $\alpha$ -česticu. Procijenite energiju oslobodjenu fuzijom.

### C. MODELI JEZGARA

1\*.

$^{232}\text{U}$  se raspada emisijom  $\alpha$ -čestice. Pomoću poluempirijske masene formule procijenite red veličine oslobodjene energije.

2\*.

Procijenite za koliko je postotaka površinski doprinos energiji veze veći/manji za jezgru  $^{237}\text{Np}$  u odnosu na jezgru  $^{207}\text{Pb}$ .

3\*.

Jezgra  $^{235}\text{U}$  raspada se na dvije jednake polovice. Procijenite koliko se energije oslobodi.

4\*.

"Zrcalne" jezgre ( npr.  $^{23}_{11}\text{Na}_{12}$  i  $^{23}_{12}\text{Mg}_{11}$  ) imaju istu (neparnu) vrijednost  $A$ . Pomoću poluempirijske formule mase odredite razliku masa "zrcalnih" jezgara  $^A_Z\text{X}_N$  i  $^A_{Z+1}\text{X}_{N-1}$ . Koliko  $\text{MeV}$ -a iznosi ta razlika za jezgre natrija i magnezija?

5\*.

Pomoću polu-empirijske masene formule procijenite red veličine energije  $S_n$ , potrebne da

se jezgri  $^{167}\text{Er}$  'otrgne' jedan neutron.

6\*.

Potencijalna energija jednoliko nabijene sfere ukupnog naboja  $Q$  i radijusa  $R$  iznosi:

$$V(R) = \frac{3Q^2}{20\pi\epsilon_0 R}.$$

Procijenite veličinu koeficijenta  $a_C$  u Coulombovom članu energije veze,  $B(Z, A)$ , za  $^{181}\text{Ta}$ .  
Pretpostavite da se jezgra  $^{181}\text{Ta}$  može aproksimirati jednoliko nabijenom sferom.

7\*.

Za lake jezgre, energija potrebna da se iz jezgre izdvoji jedan proton ( $S_p$ ) odnosno jedan neutron ( $S_n$ ) je približno ista.

Što očekujete za teške jezgre? Provjerite Vaš odgovor na primjeru  $^{167}\text{Er}$ , tako da izračunate razliku  $\Delta = S_p - S_n$ .

8\*.

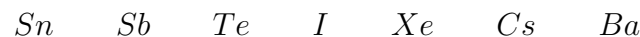
Za jezgru  $^{237}\text{Np}$  procijenite energiju veze po nukleonu.

Usporedite rezultat sa energijom veze po nukleonu koju bi dobili iz modela kapljice, uzimajući samo klasične doprinose.

(za parametre uzmite  $a_1 = a_2 = 15\text{MeV}$  i  $a_3 = 0.7\text{MeV}$ ).

9.

Koji su od slijedećih izobara s  $A = 127$  najstabilniji? Koristite poluempiričku formulu mase.



10.

U modelu kapljice nađite najstabilniji izobar neparnog  $A$ .

11\*.

Fermijeva energija za neku jezgru s jednakim brojem protona i neutrona iznosi  $40\text{MeV} - a$ . Kolika je srednja vrijednost kinetičke energije po nukleonu u toj jezgri?

12\*.

U okviru modela Fermijevog plina procijenite srednju kinetičku energiju nukleona u jezgri  $^{59}\text{Co}$ .

13\*.

Jezgra  $^{42}_{21}\text{Sc}$  ima niskoležeći nivo  $J^P = 7^+$ . Energija pobudjenja tog nivoa je  $618\text{keV}$ -a. Koju vrijednost magnetskog momenta očekujete iz modela ljusaka?

14.

Iz modela ljusaka odredite spin osnovnog stanja jezgara  $^{15}\text{O}$ ,  $^{39}\text{K}$  i  $^{20}\text{Ne}$ .

16\*.

Eksperimentalni podaci za rotacione spektre jezgara  $^{232}\text{Th}$  i  $^{238}\text{U}$  prikazani su na slici 3.

Koja jezgra ima veći moment inercije?

17\*.

Rotacioni spektar  $^{238}\text{U}$  shematski je prikazan na slici 3. Procijenite veličinu momenta inercije.

18\*.

Rotacioni spektar neke parno-parne jezgre ima slijedeće nivoe (v.sliku 4). Ako jezgru tretirate kao kruto rotirajuće tijelo, koliki bi imala moment inercije?

## D. RASPADI

1.

Period raspada radioaktivnog izotopa  $^{90}\text{Sr}$  iznosi 20 godina. Za koliko se postotaka smanji početna količina izotopa nakon 10 i 100 godina?

2.

Izračunajte aktivnost jednog grama  $^{226}\text{Ra}$ . Poluživot  $^{226}\text{Ra}$  je 1622 godine.

3.

Radioaktivni materijal A, sa konstantom raspada  $\lambda_A$ , raspada se u radioaktivni materijal B (konstanta raspada  $\lambda_B$ ).

Koliko ostane materijala B nakon vremena  $t$ ? Ako u početnom trenutku nije bilo materijala B, nakon koliko vremena broj jezgara B dostiće maksimum?

4.

Neutronsni snop ima energiju od 1 KeV-a. Ako je snop u vakuumu, nakon kolike udaljenosti će se njegov intenzitet reducirati na 1/2 početnog intenziteta?

5.

Jezgra  $^3\text{H}$  raspada se  $\beta$ -raspadom.

(a) napišite konačne produkte raspada

(b) odredite maksimalnu kinetičku energiju emitiranog elektrona

6.

Pokažite da je jezgra  $^{236}\text{Pu}$  nestabilna u odnosu na  $\alpha$ -raspad.

7.

Odredite kinetičku energiju  $\alpha$ -čestice emitiranu u  $\alpha$ -raspadu jezgre  $^A_Z\text{X}_N$  ako je poznata Q-vrijednost reakcije.

8.

Odredite Q-vrijednosti reakcija u raspadu  $^{232}\text{U}$  ako su emitirane čestice (a) proton (b) neutron (c) deutron.

## E. SIMETRIJE I KINEMATIKA ČESTICA

1\*.

Razmotrite potencijalne raspade šarmonija  $J/\Psi$  (3.1 GeV) u mezonske kanale:

$$\begin{aligned} J/\Psi &\rightarrow D^+ + D^- \\ J/\Psi &\rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^- \end{aligned}$$

- Nacrtajte kvarkovske dijagrame toka za oba raspada.
- Koji je od navedenih procesa moguć a koji je zabranjen i zašto?

2\*.

Ako suvremene akceleratorne shvatimo kao "mikroskope" kojima "probamo" male udaljenosti, koliku prostornu rezoluciju imaju mašine koje operiraju na:

(i) MeV-skoj skali (ii) GeV-skoj skali (iii) TeV-skoj skali.

(U procjeni koristite relacije neodređenosti i zanemarite mase čestica koje ubrzavate.)

3\*.

- Koji su od navedenih procesa mogućí a koji su zabranjeni i zašto?
- Koje su sile odgovorne za dozvoljene procese ?

$$\begin{aligned} K^- + p &\rightarrow \Lambda^0 + n \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \\ \mu^- &\rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e \\ \pi^0 &\rightarrow 3\gamma \\ \pi^0 &\rightarrow 2\gamma \end{aligned}$$

4\*.

Visokoenergetski foton naliće na mirujući proton i proizvede  $\pi^0$  mezon. Odredite minimalnu energiju fotona pri kojoj je moguć ovaj proces.

5\*.

Za mezone  $D^0$ ,  $D^\pm$  i  $F^\pm$  odredite hipernaboj  $Y$  i treću komponentu izospina  $I_3$ .

6\*.

Pokažite da slobodni elektron ne može emitirati foton odnosno da slijedeći proces, prikazan Feynmanovim dijagramom, nije moguć.

7\*.

Objasnite zašto se opaža raspad

$$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$$

a ne i raspadi

$$\Sigma^0 \rightarrow p + \pi^-$$

$$\Sigma^0 \rightarrow n + \pi^0.$$

8\*.

Ako uzmete da je pionski oblak odgovoran za jaku interakciju između nukleona, procijenite pomoću relacija neodređenosti karakterističnu vremensku skalu jakih sila.

9\*.

Mase kvarkova ( $u, d, s$ ), koji grade najlakše mezone, su:  $m_u = m_d = 310 \text{ MeV}/c^2$  i  $m_s = 483 \text{ MeV}/c^2$ .

Procijenite energije veze dvaju kvarkova u  $\pi^0$  i  $K^0$  mezonima.

10\*.

Iz podataka danih na slici 5. odredite de Broglie-ovu valnu duljinu čestica koja odgovara energijama od  $10 \text{ MeV}$ -a i  $10 \text{ GeV}$ -a.

Ako želite ispitati sustav linearnih dimenzija  $0.5 \text{ fm}$ , koja je od tih čestica *najneprikladnija*?

11\*.

$\Sigma^0$  čestica raspada se u  $\Lambda^0$  česticu i foton.

Odredite energiju fotona.

12\*.

Eksperimentalni fizičar ispituje procese tipa

$$\pi^- + p \rightarrow K^0 + X$$

i utvrdi da je  $X$  lepton.

Zašto mu ne treba vjerovati? Što može biti čestica  $X$ ?

13\*.

Za mezone  $D^0$ ,  $D^\pm$  i  $F^\pm$  odredite hipernaboj  $Y$  i treću komponentu izospina  $I_3$ .

14\*.

Pokažite da slobodni elektron ne može emitirati foton.

15\*.

Pretpostavite da foton ima masu  $1 \text{ eV}$ .

Koliki bi, u tom slučaju, bio efektivni doseg elektromagnetske sile?

Koliki bi bio potencijal između dva elektrona udaljena  $10^{-8}$  metara?

16\*.

U CERN-ovim akceleratorima sudari protona i antiprotona zbivaju se na energiji od  $540\text{GeV}$  – a, mjereno u sustavu centra masa (CMS). Koliku energiju bi morao imati antiproton koji naliže na mirujući proton, e da bi proizveo istu CMS energiju?

17\*.

Vezana stanja postoje u slučaju jake sile ( npr. hadroni ), elektromagnetske sile ( npr. atomi ) i gravitacije ( npr. solarni sustav ) ali se ne opažaju kod slabe sile. Pretpostavite da postoje čestice  $\mathbf{X}$ , mase  $M_{\mathbf{X}}$ , koje međudjeluju isključivo slabom silom. Pretpostavite da vezano stanje dviju  $\mathbf{X}$  čestica ima Bohrov radijus jednak doseg slabe sile ( masa W - bozona je  $80\text{GeV}/c^2$  ).

Procijenite koliku bi masu morale imati čestice  $\mathbf{X}$ .

18\*.

Pomoću podataka u Tabeli 1 dopunite zadnji stupac tj. odredite sile odgovorne za raspade.

19\*.

Ciklotron je dizajniran tako da može ubrzati protone do energije od 150 MeV-a. Mogu li se u takovom ciklotronu proizvesti  $\pi^+$  mezoni procesom

$$p + p \rightarrow p + n + \pi^+$$

20\*.

Koji dijagrami (slika 6) korektno opisuju leptonski i hadronski raspad W-bozona?

21\*.

Ciklotronom se mogu ubrzati protoni do energije od 350 MeV-a. Mogu li se u takovom ciklotronu proizvesti  $\pi^0$  mezoni procesom

$$p + p \rightarrow p + p + \pi^0$$

22\*.

Neka čestica  $X$  raspada se slijedećim procesima:

$$X \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}$$

$$X \rightarrow e^+ + \nu_e$$

$$X \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu} + \gamma$$

Odredite relevantne kvantne brojeve čestice  $X$ . Da li je  $X$  hadron ili lepton?

23\*.

Koliki linearni moment ( $\vec{p}$ ) ima proton kinetičke energije 10 GeV?

24\*.

Neki barion  $\mathcal{B}$  sastavljen je od kvarkova (uds).

(i) Odredite naboj ( $Q$ ), stranost ( $S$ ) i hipernaboj ( $Y$ ) tog bariona.

(ii) Procijenite masu bariona  $\mathcal{B}$ .

(iii) odredite koji su raspadi mogući:

$$\mathcal{B} \rightarrow p + \pi^0$$

$$\mathcal{B} \rightarrow \Lambda + \gamma$$

$$\mathcal{B} \rightarrow e^+ + e^- + \nu_\mu$$

$$\mathcal{B} \rightarrow \pi^0 + \pi^+ + \pi^-$$

25\*.

Strani i šarmirani mezon  $D_s^-$  izgradjen je od  $\bar{c}$  i  $s$  kvarka. Pobudjeno stanje  $D_s^-$  mezona označava se sa  $D_s^{*-}$  i čine ga isti kvarkovi. Odredite:

(a) izospin ( $I, I_z$ ) oba mezona,

(b) da li je moguć raspad

$$D_s^{*-} \rightarrow D_s^- + \pi^0$$

Objasnite odgovor!

26\*.

Nacrtajte Feynmanove dijagrame za slijedeće procese:

$$\tau^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\tau$$

$$K^0 \rightarrow e^+ + \pi^- + \nu_e$$

$$\tau^+ \rightarrow \pi^+ + \bar{\nu}_\tau$$

( Za hadronske kanale nacrtajte kvarkovske dijagrame! )

27\*.

(a) Koji je od navedenih procesa moguć kao "jaki" proces a koji je zabranjen i zašto?

(b) Za svaki od navedenih procesa naslikajte pripadajući kvarkovski dijagram.

$$\pi^- + p \rightarrow \Xi^0 + \pi^0$$

$$\pi^- + n \rightarrow \Xi^- + K^0 + K^0$$

$$\Sigma^- + p \rightarrow \Xi^- + K^+$$

$$K^- + p \rightarrow \Lambda^0 + n$$

28\*.

Nadjite minimalnu energiju koja je potrebna za odvijanje slijedece reakcije:

$$p + p \rightarrow p + p + \pi^+ + \pi^-$$