

**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET – ZAGREB
ZAVOD ZA FIZIKU**

D. VESELIĆ – M. BAĆE

**ZADACI IZ FIZIKE
IV**

Jedinice u nuklearnoj fizici

U praktičnoj nuklearnoj fizici dužina se izražava u fermijima /F/ = 10^{-15}m , a nuklearni udarni presjeci u barnima / 1 barn = 10^{-24}cm^2 /

Energijske se izražavaju u eV ili većim jedinicama

$$1 \text{ eV} = 10^{-3} \text{ keV} = 10^{-6} \text{ MeV} = 10^{-9} \text{ BeV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Mase također mogu biti izražene u jedinicama energije / MeV-ima / upotrebljavajući mc^2 umjesto m . Tako na primjer, za elektron vrijedi da je masa mirovanja elektrona 0,51101 MeV jer mc^2 numerički izražen u MeV-ima ima tu vrijednost. Na sličan način se količina gibanja može izraziti u jedinicama MeV/c. Potrebno je naći umnožak količine gibanja i brzine svjetlosti u MeV-ima. Brojčani iznos će nam tada davati količinu gibanja u MeV/c.

Relativistička relacija između ukupne energije / koja uključuje energiju mirovanja / i količine gibanja je :

$$E^2 = p^2 c^2 + m^2 c^4$$

Možemo razlikovati dva ekstremna slučaja

$$E = mc^2 + \frac{p^2}{2m} \quad \text{nerelativistički slučaj}$$

$$E = cp \quad \text{ekstremno relativistički slučaj}$$

Na dva načina možemo testirati pojedini slučaj u smislu da li da primijenimo relativističku ili nerelativističku relaciju.

Relativističku relaciju primjenjujemo u sljedeći :

1/ Ako je kinetička energija čestice usporediva ili veća od energije mirovanja mc^2 .

2/ Ako je količina gibanja jednaka ili veća od mc .

Osnovne karakteristike jezgre

1/ Radius jezgre s masenim brojem A

$$R = \frac{1,2}{A^{1/3}} \cdot A^{1/3} \text{ fm} *$$

2/ Dekrement mase $\Delta = M - A$ gdje je M izotopna masa atoma

U RJEŠENJIMA JE $R = 1,2 \cdot 10^{13} \text{ fm}$ – ispraviti.

u atomskim jedinicama mase AJM /1/12 mase atoma C^{12} / A maseni broj izražen u istim jedinicama.

3/ Defekt mase jezgre

$$\Delta M = Z m_H + (A - Z) m_n - M$$

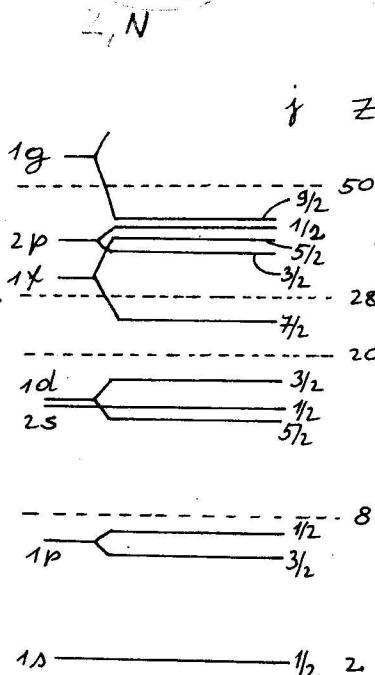
gdje je Z naboј jezgre / ujedinicama elementarnog naboja e / m_H masa atoma vodika, m_n masa neutrona.

4/ Weizsäckerova formula za energiju vezanja jezgre

$$E(\text{MeV}) = 14 A - 13 A^{2/3} - 0,58 \frac{Z^2}{A^{1/3}} - 19 \frac{(A-2Z)}{A} + \frac{33,5}{A^{3/4}} \delta$$

gdje je $\delta = \begin{cases} + & \text{za parne } Z \text{ i } A \\ 0 & \text{za neparni } A / Z \text{ proizvoljan} \\ -1 & \text{za neparni } Z \text{ i parni } A \end{cases}$

5/ Model jezrenih ljušaka. Slika prikazuje "ljuske" međusobno odijeljene isprekidanim crtom. j - je unutarnji kvantni broj $/j = \ell + \sigma /$ nukleona. $(Z(N))$ je broj protona ili neutrona.



- 1/ Odredite gustoću jezgre uz pomoć relacije za radius jezgre.
- 2/ Ocijenite gustoću električnog naboja jezgre. Pretpostavite približnu jednakost broja protona i neutrona u jezgri.
- 3/ Nadite energiju vezanja jezgre deuterija, tricija i Be^9 , ako je poznat " dekrement mase" $\Delta = M - A = 0,01410, 0,01605,$ $0,01219 \text{ AJM}$ za deuterij, tricij i Be^9 .
- 4/ Koliku bi minimalnu energiju trebalo utrošiti za razbijanje jezgre O^{16} na 4 jednakih dijela / $M-A$ za O^{16} iznosi $-0,00509,$ a za He^4 $0,00260 /$
- 5/Kao rezultat sinteze jezgre Li^6 i H^2 dobivaju se dvije alfa čestice. Energija vezanja po jednom nukleonu u tim jezgama je $5,33, 1,11$ i $7,08 \text{ MeV}$ za Li^6, H^2 i He^4 . Odredite energiju koja se oslobađa u toj sintezi.
- 6/ Uz pomoć Weizsäckerove formule za energiju vezanja jezgre odredite energiju vezanja po jednom nukleonu za jezgre $^{23}\text{V}^{50}$ i $^{80}\text{Hg}^{200}$.
- 7/ Pretpostavite da je energija vezanja / prema Weizsäckerovoj formuli / neprekinuta funkcija od Z i zanemarite spinsku δ korekciju .
 - a/ Odredite Z za koji je jezgra s masenim brojem A najbolje vezana / najveća energija vezanja /
 - b/ Nadite odnos broja neutrona i broja protona u tom slučaju.
- 8/ Pomoću modela ljsaka napišite konfiguraciju osnovnih stanja jezgre $\text{Li}^7, \text{C}^{13}, \text{Mg}^{25}$.
- 9/ Pomoću modela ljsaka odredite spin / moment vrtnje / osnovnih stanja slijedećih jezgara :
 ${}_1\text{H}^3, {}_8\text{O}^{17}, {}_{14}\text{Si}^{29}.$

Udarni presjek

Totalni udarni presjek je vjerojatnost raspršenja po jednom centru raspršenja sveden na jedinični upadni tok u jedinici vremena.

$$\sigma_{\text{TOT}} = \frac{\Delta N}{N n}$$

Diferencijalni udarni presjek $\frac{d\sigma}{d\Omega}$ je vjerojatnost raspršenja u neki smjer po jednom centru raspršenja sveden na jedinični upadni tok i jedinični prostorni kut. Dakle

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\Delta N}{N n d\Omega} \quad \Delta N = f(\vartheta, \varphi) \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = F(\vartheta, \varphi)$$

Broj raspršenih čestica ovisi o smjeru raspršenja, jer sam mehanizam procesa nipošto ne mora biti izotropan. S druge strane o veličini upadnog kuta $\Delta\Omega$ kojeg obuhvača detektor ovisi broj raspršenih čestica ΔN kojeg će detektor detektirati. Tu ovisnost uklanjamo dijeleći s veličinom prostornog kuta $\Delta\Omega$ kojeg obuhvača detektor. Dakle diferencijalni udarni presjek ovisi o smjeru raspršenja koji je dan kutovima ϑ i φ , ali ne ovisi o prostornom kutu $\Delta\Omega$, pod kojim detektor vidi metu.

Prostorni kut je po definiciji $\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}$, gdje je ΔS površina a r udaljenost od mesta iz kojeg promatramo površinu ΔS . U našem slučaju je to udaljenost od mete do detektora. Taj je račun približan jer zanemarujuemo dimenziju mete / uzimamo da je meta točkasta /.

10/ Snop čestica naletiće na kuglu radiusa R i elastično se od nje odbija. Koliki je udarni presjek za to raspršenje?

11/ Koliki je udarni presjek za Rutherfordovo raspršenje alfa čestica na Al na kutu $\vartheta = 90^\circ$ ako je energija alfa čestica 1 MeV? Koliko će čestica u sekundi detektirati poluvodički detektor promjera 1 cm, udaljen od mete 5 cm, ako je upadni snop 10^6 čestica/cm²s. Neka je meta vrlo malih dimenzija kružnog oblika / $r = 0,3$ cm / debljine $14 \mu m$.

12/ Izračunajte broj alfa čestica energije 10 MeV, koje se rasprše u prostor omeđen kutovima $\Theta_1 = 90^\circ$ i $\Theta_2 = 130^\circ$ na foliji zlata površine 1 cm² debljine 4 mg/cm², a tok neka je 10^6 čestica po cm² u sekundi.

- 13/ Koji se postotak deuterona energije 8 MeV rasprši u prostor omeđen kutevima $\theta_1 = 45^\circ$ i $\theta_2 = 90^\circ$, na aluminijskoj foliji debeloj 27mg/cm^2 ?
- 14/Snop rendgenskih zraka raspršuje se na foliji kositra površine 1 cm^2 , a debljine $x = 10\text{ mg/cm}^2$. Detektor je smješten pod kutem od 60° prema smjeru upadnih X zraka. Udaljenost detektora od mete iznosi 10 cm, a promjer mu je 2 cm. Intenzitet upadnog snopa je $4 \cdot 10^7$ fotona po cm^{-2} . Detektor je registrirao 157 fotona. Odredite o kojem je izotopu kositra riječ, ako znamo da se radi o Thomsonovom raspršenju X zraka.
- 15/ Koji se postotak neutrona energije 14 MeV rasprši pri prolazu kroz olovnu foliju / Pb^{203} / debelu $0,8\text{ g/cm}^2$?
- 16/ Neutroni energije 15 MeV raspršuju se na foliji niklja / Ni^{58} / Postotak raspršenih neutrona je 2,68%. Koliko je debela folija?
- 17/ Koliki je omjer raspršenih X zraka prema upadnim kod Thomsonovog raspršenja na grafitu debelom 5 mm? Gestoća grafita je $2,25\text{g/cm}^3$
- 18/ Intenzitet kolimiranog snopa X zraka reducira se samim raspršenjem na 73% od početne vrijednosti pri prolazu kroz foliju ugljika debelu 0,5 cm i gostoće $2,25\text{ g/cm}^3$. Na temelju tih podataka nadite broj elektrona u atomu ugljika.
- 19/ Kroz komoru ispunjenu dušikom pod normalnim uvjetima, prolazi struja monokromatskih neutrona / $0,025\text{ eV}$ / intenziteta 10^8 neutrona /s/. Nadite udarni presjek za reakciju / n, p / ako je ustanovljeno da se za vrijeme 0,01 s, na 1cm dužine snopa stvori 95 protona.
- Radioaktivni raspadi
- 20/ Kinetička energija alfa čestice, emitirane iz jezgre Ra^{213} iznosi 6,9 MeV. Nadite brzinu odskoka rezidualne jezgre. / primjenite zakon o sačuvanju količine vibriranja /
- 21/ Nadite energiju koja se oslobađa prilikom alfa raspada jezgre Po^{213} . Energija emitirane alfa čestice iznosi 8,34 MeV.

- 22/ Odredite količinu topline koju daje jedan gram alfa radioaktivnog izotopa Ac^{225} , za period vremena jednakom srednjem životu zadane jezgre. Energija emitiranih alfa čestica je 5,3 MeV. / Napomena: srednje vrijeme života $T = \frac{T}{\ln 2}$ gdje je T' vrijeme za koje se raspadne polovina zadanih jezgara /
- 23/ Nadite širinu kulonske barijere / dužinu tuneliranja / za alfa česticu emitiranu iz jezgre $^{86}\text{Rn}^{222}$ energije 5,5 MeV.
- 24/ Nadite ukupnu kinetičku energiju čestica koje nastaju raspadom \checkmark neutrona, ~~prethodno na miru~~. *mornog neutriona* / u 1. prof. /
- 25/ Nadite kolika je brzina jezgre $^{80}\text{Hg}^{198}$ nakon emisije ġama zrake energije 412 keV, ako je prethodno bila na miru. Za koliko je umanjena energija ġama zrake zbog toga ?

Kvadrupolni i magnetski momenti jezgre

Kvadrupolni moment dan je izrazom: $Q_2 = \frac{1}{e} \int \rho \alpha^2 \left(\frac{3}{2} \cos^2 \theta - \frac{1}{2} \right) d\Omega$

To je klasični izraz za kvadrupolni moment. U kvantnoj mehanici se dobije dvostruka vrijednost:

$$Q_2 / \text{kvantnomehanički} / = 2 Q_2 / \text{klasični} /$$

Ako jezgru shvatimo kao elipsoid / rotacioni /, onda se kvadrupolni moment može izraziti kao: $Q_2 = \frac{4}{3} Z \eta R^2$

gdje su: ηZ - efektivni broj protona koji sudjeluju pri formiranju kvadrupolnog momenta

R - srednji radius jezgre / $R = R_0 A^{1/3}$ /

Potrebno je računati s vrijednošću $R_0 = 1,07 \text{ fm}$.

Magnetski moment jezgre $\mu = g \mu_N \sqrt{j(j+1)}$ gdje je μ_N nuklearni magneton / $\mu_N = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ Am}^2$ /, a j nutarnji kvantni broj. Češće se susreće "maksimalna projekcija" vektora μ na smjer vanjskog magnetskog polja / Z os /

Faktor g ima slijedeće vrijednosti:

Cestica	Orbitalno vibranje ($j=\ell$) g_ℓ	Vlastita rotacija ($j=s$) g_s
elektron	-1	-2
proton	1	5,586
neutron	0	-3,826

- 26/ Pokaži da je kvadrupolni moment kugle u kojoj su naboji jednoliko prostorno rasporedeni jednak nuli.
- 27/ Nađite kvadrupolni moment jezgre koja ima jedan proton na ekvatoru jezgre uz pretpostavku sferne simetrije ostalih naboja. Neka je radius jezgre 4 fermija.
- 28/ Koliki je kvadrupolni moment jezgre $^{83}_{\text{Bi}}{}^{209}$, ako pretpostavimo da se posljednji proton gibati na površini jezgre u ekvatorialnoj ravnini?
- 29/ Koliki je efektivni broj protona koji sudjeluju pri formiraju kvadrupolnog momenta jezgre lutecija $^{71}_{\text{Lu}}{}^{176}$, kojoj je kvadrupolni moment jednak 700 fm^2 ?
- 30/ Ocijenite vrijednost projekcije magnetskog momenta deuterona čiji se nukleoni nalaze u s stanju, ako znate g-faktore za proton i neutron.
- 31/ Odredite projekcije magnetskih momenata jezgre H^3 i He^3 , čiji se nukleoni nalaze u s stanju.

Prolaz teških nabijenih čestica kroz materiju

Impuls koji nabijena čestica predaje jednom elektronu dan je relacijom : $P = \frac{ze^2}{2\pi b v_c \epsilon_0}$

gdje su : z - redni broj nabijene čestice

b - udaljenost na kojoj nabijena čestica prolazi kraj elektrona

v_c - brzina nabijene čestice

ϵ_0 - apsolutna dielektrična konstanta vakuma

Ukupni slobitak energije po svim elektronima po jedinici puta dan je relacijom: $-\frac{dE}{dx} = \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0 m_e} \frac{z^2}{v_c^2} \eta \ln \frac{v_c^2 m_e}{tv}$

gdje je : m_e - masa mirovanja elektrona

η - broj elektrona u jedinici ~~vremena~~ volumena

v - srednja frekvencija obilaska elektrona oko jezgre

Tu relaciju možemo i drugačije pisati, ako uvedemo masu teške čestice M

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{e^4}{8\pi\epsilon_0^2 m_e} \frac{M z^2}{E} \eta \ln \frac{2E m_e}{M tv}$$

gdje su : E - kinetička energija upadne čestice

M - masa teške čestice

Veličinu $\frac{dE}{dx}$ nalazimo tabeliranu / vidi dodatak ili skripta / Iz relacije za gubitak energije po jedinici puta moguće je računati doseg :

$$R = - \int_{E_0}^{\infty} \frac{dE}{\frac{e^2}{8\pi\varepsilon_0 m_e} \frac{Mz^2}{E} \ln \frac{ze^mc}{M\kappa\nu}} = - \int_{E_0}^{\infty} \frac{dE}{f(E)}$$

U slučaju različitih nabijenih čestica iste brzine relativan doseg tih čestica se odnosi kao:

$$R_1 : R_2 = \frac{M_1}{M_2} \frac{z_2^2}{z_1^2}$$

- 32/ Koja je minimalna udaljenost na koju se može pribлизити alfa čestica energije 9 MeV jezgri urana $^{92}_{\text{U}}\text{U}^{235}$?
- 33/ Kolika mora biti minimalna kinetička energija alfa čestica da bi osjetile utjecaj nuklearnih sila , ako s njima obavljamo jezgre aluminijsa?
- 34/ Proton energije 10 MeV prolazi na udaljenosti 10^{-11}m od elektrona . Koliku energiju predaje elektronu ?
- 35/ Alfa čestica energije 20 MeV prolazi kraj slobodnog elektrona i preda mu energiju od 0,31 eV. Na kolikoj udaljenosti od elektrona je prošla alfa čestica ?
- 36/ Alfa zraka ima brzinu od $2 \cdot 10^7 \text{ m s}^{-1}$. Prolazeći kroz zrak u normalnim uvjetima gubi energiju zbog ionizacije. Gubitak u brzini po jednom mm putu je $8 \cdot 10^4 \text{ m s}^{-1}$.
- a/ Koliki gubitak energije po 1 mm puta?
 - b/ Koliki je gubitak energije po 1 mm puta za protone i deuterone iste brzine ?
 - c/ Koliki je gubitak energije po 1 mm puta za protone i deuterone iste energije?
 - d/ Koliki je doseg protona i deuterona iste brzine ako je doseg alfa čestica 7,86 cm u zraku?
- 37/ Dana je tabela domet-energija u slučaju alfa čestica u zraku pod normalnim uvjetima. Na temelju te tabele načinite odgovarajuće tabele za protone i deuterone .

R / m /	1,6	1,2	0,8	0,4	0,2	0,1	0,05
E /MeV/	47,6	40,3	32,2	21,7	14,5	9,68	6,3

- 38/ Čestica He^3 ima brzinu $1,8 \cdot 10^7 \text{ m/s}$. Nadite njezin domet u zraku pod normalnim uvjetima služeći se poznatom tabelom za domet alfa zraka /prošli zadatak /
- 39/ U području između 12 MeV i 15 MeV ovisnost između dometa i energije alfa čestice u zraku , u dobroj približnosti je dana ovom relacijom :
- $$R/\text{cm}/ = 1,8 E / \text{MeV} / - 6,8$$
- Koliki će biti domet protona u zraku ako mu je energija 3,5 MeV?
- 40/ Snop deuterona energije 10 MeV pada na aluminijsku foliju / $^{13}\text{Al}^{27}$ / debeline $2,7 \text{ mg/cm}^2$. Kolika se snaga oslobađa u foliji , ako je jakost deuteronske struje $16 \mu\text{A}$?
- 41/ Nadite omjer gubitka energije alfa čestice polonija / $E = 5,3 \text{ MeV}$, pri prolazu kroz aluminijski i kroz olovo . Izrazite gubitak prvo kao $\frac{dE}{d(\rho x)}$, zatim kao $\frac{dE}{dx}$.
- 42/ Ako proton energije E gubi u jednom mg/cm^2 aluminijskog materijala 100 keV, koliko će energije izgubiti proton jednake energije u 2 mg/cm^2 olova ?
- 43/ Nadite gubitak energije alfa čestice koja ima početnu kinetičku energiju 10 MeV pri prolazu kroz aluminijsku foliju debeline 1 mg/cm^2 .

Prodiranje elektromagnetskog zračenja kroz materiju

Elektromagnetsko zračenje prilikom prolaska kroz materiju može se raspršiti i može biti posve apsorbirano . Ako gledamo procese raspršenja razlikujemo dva slučaja, tzv. Thomsonovo raspršenje u slučaju energija manjih od $0,5 \text{ MeV}$, te Comptonovo raspršenje. Kod Thomsonovog raspršenja energija raspršene zrake jednaka je energiji upadne zrake. Kod Comptonovog raspršenja energija raspršene zrake manja je od energije upadne zrake. Prilikom apsorpcije elektromagnetskog zračenja može doći do fotoefekta, ili do tvorbe para elektron-pozitron u polju jezgre. Osim ovih procesa ima još nekoliko drugih , no oni su ■ zanemarivi prema navedenim procesima.

THOMSONOVO RASPRŠENJE

$$\text{Thomsonov udarni presjek : } \sigma = \frac{8\pi}{3} r_0^2, \quad \frac{d\sigma}{d\Omega} = r_0^2 \frac{1 + \cos^2 \theta}{2}$$

COMPTONOV RASPRŠENJE

Energija raspršenja gama zrake E dana je relacijom :

$$E = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{mc^2} (1 - \cos \vartheta)}$$

E_0 - energija upadne zrake

E - energija raspršene gama zrake

ϑ - kut pod kojim se raspršila gama zraka



Jednostavnim transformacijama relacija dobiva oblik :

$$\lambda - \lambda_0 = \frac{h}{mc} (1 - \cos \vartheta)$$

gdje je : λ - valna dužina raspršene gama zrake

λ_0 - valna dužina upadne gama zrake

$\frac{h}{mc} = 2,42 \cdot 10^{-12} \text{ m}$ - Comptonova valna dužina

$$\text{Udarni presjek dan je relacijom : } \frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{E}{E_0} \right)^2 \left(\frac{E_0}{E} + \frac{E}{E_0} - \sin^2 \vartheta \right)$$

FOTOFEKT

Energija elektrona jednaka je upadnoj energiji gama zrake umanjenoj za energiju vezanja. Udarni presjek dan je relacijom :

$$\sigma' = \sigma_T \cdot \frac{Z^5}{137^4} \cdot 8 \cdot \left(\frac{mc^2}{E} \right)^{7/2}$$

gdje je σ_T - Thomsonov udarni presjek

Z - redni broj sredstva u koje je zračenje prodrlo

E - energija upadne zrake

$$\frac{d\sigma'}{d\Omega} = K \frac{\sin^2 \varphi}{(1 - \frac{v}{c} \cos \varphi)}$$

gdje je φ - kut emisije fotoelektrona prema smjeru upadne zrake

K - konstanta koja ovisi o materijalu

v - brzina, fotoelektrona

- 44/ Pokažite da je nemoguć fotoefekt na slobodnim elektronima.
- 45/ " Crvena granica " fotoefekta za kalij javlja se kod valne dužine od $0,577 \text{ nm}$. Odredite minimalnu energiju kvanta svjetlosti potrebnu za oslobađanje fotoelektrona iz dano ε metala.
- 46/ Fotoelektron izašavši iz tankog sloja olova , opisao je u Wilsonovoj komori , koja je u magnetskom polju, kružnicu radiusa 10 cm . Jakost magnetske indukcije je $2 \cdot 10^{-2} \text{ T}$. Kolika je energija gama kvanta ako je elektron izbačen iz K ljeske olova ? Energija ionizacije K ljeske je $87,6 \text{ keV}$. Pretpostavlja se da je magnetsko polje okomito na smjer vibracija elektrona .
- 47/ Kolimirani snop gama zraka energije $0,51 \text{ MeV}$ fotoelektričnim efektom izbija elektrone iz folije cinka. Fotoelektrone detektiramo na kutu $\varphi = 60^\circ$. Ako je diferencijalni udarni presjek na tom kutu jednak $10 \frac{\text{barn}}{\text{ster}}$, koliki će biti diferencijalni presjek na istom kutu kod energije od 80 keV ?
- 48/ Ako je udarni presjek na K elektronima za fotoelektrični efekt na olovu 28 barna , koliki je udarni presjek u slučaju volframa / $Z=74$ / i aluminija / $Z=13$ / uz istu energiju gama zrake.
- 49/ Zeli se ispitivati raspršenje gama zraka na slobodnim elektronima . Ako se detektor gama zraka postavi pod kutem od 90° s obzirom na smjer upadnih fotona , pod kojim kutem treba staviti beta brojač , koji je s njim u koincidenciji? Energija upadne gama zrake je $1,33 \text{ MeV}$.
- 50/ Kolimirani snop gama zraka raspršuje se na slobodnim elektronima . U smjeru upadnih gama zraka postavljen je beta brojač kojemu je debljina stijenke zanemariva . Kad se na put elektrona stavi folija debljine veće od $0,4 \text{ g/cm}^2$ brojač prestane registrirati impulse. Odredite energiju upadne i raspršene gama zrake .
- 51/ Valna duljina upadnog kvanta jednaka je $0,03 \text{ Å}$. Kolika je energija Comptonski raspršenog elektrona , ako se gama zraka raspršila pod kutem 60° , 90° i 180° prema smjeru upadne zrake.?

- 52/ Comptonski raspršenom gama kvantu početne energije 1 MeV izmijeni se valna duljina za 25%. Kolika je energija raspšrenog elektrona i smjer raspšrenja?
- 53/ Gama zrake energije 1,2 MeV rasprišuju se na slobodnim elektronima. Koliki je udarni presjek rasprišenja na kutevima 0° , 90° , 180° ?
- 54/ Gama kvant energije 3 MeV stvara u polju jezgre olova par elektron - pozitron. Obje čestice para imaju jednaku energiju. Odredite raius zakrivljenosti staze pozitrona u polju magnetske indukcije od 0,1 T, smjera okomitog na brzinu pozitrona.
- 55/ Pozitron s kinetičkom energijom od 2 MeV anihilira se s K elektronom atoma platine i stvara dva gama kvanta koji leti simetrično s obzirom na gibanje upadnog pozitrona. Nadite energiju gama zraka, ako je energija ionizacije K ljeske u platini 78,5 KeV. Zanemarite energiju odbora jezgre.

APSORPCIJA ELEKTROMAGNETSKOG ZRACENJA U MATERIJI

Zakon apsorpcije dan je ovom relacijom : $N = N_0 e^{-\mu x}$
gdje je : dN - broj apsorbiranih gama zraka duž puta dx
 N - broj upadnih zraka na nekoj debljini mete x
 μ - linearni koeficijent apsorpcije

Osim linearne koeficijenta apsorpcije često se upotrebljava maseni koeficijent μ/ρ , kojemu je dimenzija cm^2/g . Tada zakon apsorpcije glasi : $N = N_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}(x\rho)}$

- 56/ Izotop Eu^{156} emitira gama zrake energije 0,5 i 2,5 MeV, intenziteta 60% odnosno 40%. Ako je oko izvora bakreni filter debljine 8 cm dobiva se 20 otkačaja u minuti u brojaču. Kolika će biti brzina brojanja u slučaju ako je debljina bakrenog filtra 1 cm?
- 57/ Kristal dijamanta debljine $1,4 \text{ g/cm}^2$ služi kao detektor gama zraka. Usporedite postotak apsorbiranih gama zraka za energije 0,4 i 1,5 MeV.

- 58/ Izvor radija jačine 1 Curie / 1g radija, $3,7 \cdot 10^{10}$ raspada u sec / treba oklopiti olovom da bi se zaštitala okolina. Koliki sloj olova treba staviti ako želimo da intenzitet zračenja pri izlazu iz olova padne za faktor 10^6 ? Maksimalna snaga olovne plasti je $2,4 \text{ g/cm}^2$.

Na udaljenosti 3 m od izvora nalazi se radno mjesto fizičara. Koliko puta će pasti intenzitet zračenja na tom mjestu ako zanemarimo gustoću zraka? / $\mu/\rho = 0,042 \text{ cm}^2/\text{g}$ /

59/ Izvor gama zraka energije 1,5 MeV služi za ispitivanje kvaliteta odljeva. Pri ispitivanju olovne ploče primjećena je na fotografskoj ploči mrlja koja je imala četiri puta jače zacrnjenje nego ostali dio ploče. Kolika je debljina x pukotine u olovu? Zanemarite atenuaciju u zraku. / $\mu/\rho = 0,05 \text{ cm}^2/\text{g}$ /

PROLAZ ELEKTRONA KROZ MATERIJU

Gubitak energije elektrona zbog zračenja :

$$-\left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad} = \frac{4\pi r_0^2}{137} ENZ^2 \ln \frac{183}{Z^{1/3}}$$

gdje su : r_0 - klasični radius elektrona

E - energija elektrona

N - broj atoma u jedinici volumena

Z - redni broj atoma sredstva kroz koji prolazi elektron

Ovisnost između gubitka energije elektrona zbog zračenja i zbog ionizacije :

$$\frac{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{rad}}{\left(\frac{dE}{dx}\right)_{ion}} = \frac{ZE (\text{MeV})}{800}$$

Ako je gubitak energije zračenjem dominantan tada vrijedi :

$$E = E_0 e^{-x/l_{rad}}$$

gdje je E "prosječna" energija elektrona, a l_{rad} radijaciona dužina.

Domet elektrona pri prolazu kroz materiju dan je u dobroj približnosti ovim empiričkim relacijama :

$$R_0/\text{cm}^2/ = 0,52/\text{Mev}/ - 0,09 \quad 0,5\text{MeV} < E < 3\text{MeV}$$

$$R_0/\text{cm}^2/ = 0,53/\text{MeV}/ - 0,106 \quad 1\text{MeV} < E < 20\text{MeV}$$

Ako neki materijal obasjamo elektronima, energija unazad raspršenih elektrona ovisi o sastavu folije. Vrijedi ova empirička relacija :

$$E_{max}/\text{MeV}/ = 0,54 \cdot Z^{1/5}$$

gdje je E_{max} maksimalna energija unazad raspršenih elektrona.

60/ Energija gama zraka određena je pomoću energije elektrona

dobivenih fotoefektom u tankom sloju ugljika . Na put elektrona stavljena su dva beta brojača tako da folija ugljika i brojači leže na istom pravcu. Brojači su u koincidenciji, a debljina stijenki im je 10 mg/cm^2 . Između njih se stavlja sloj aluminija . Kada debljina aluminija premaši vrijednost od 150 mg/cm^2 broj koincidencija pada na nulu. Nadite energiju gama zraka.

2037

- 61/ Na foliji nekog materijala debljine $0,4 \text{ g/cm}^2$ raspršuju se elektroni . Maksimalna energija unazad raspšenih elektrona iznosi $0,772 \text{ MeV}$. Nakon toga se materijal obasja X zrakama. Postotak raspšenih zraka je 2% . Odredite o kojem se izotopu radi.
- 62/ Elektrone raspšene unazad na foliji nekog materijala upravo zaustavlja sloj aluminija debljine $0,436 \text{ g/cm}^2$. Koji je najteži element zastupljen u tom materijalu?
- 63/ Nadite vrijednost l_{rad} kao funkciju od Z. Konkretno izračunajte l_{rad} za dušik /kod normalnih uvjeta/, aluminij i olovo.
- 64/ Odredite prvobitnu energiju elektrona , ako je poznato da je nakon prolaska elektrona kroz ploču olova debljine 5mm , prosječna energija elektrona 42 MeV .

D DETEKTORI

Plinsko pojačanje m proporcionalnog brojača određeno je relacijom:

$$\ln m = 2 \cdot \sqrt{\frac{Na V_0 \beta}{\ln \frac{b}{a}}} \left(\sqrt{\frac{V_0}{V_t}} - 1 \right)$$

gdje su : β - konstanta karakteristična za dani plin
 N - broj molekula plina u jedinici volumena
 a - polujer centralne elektrode
 b - polujer cilindra
 V_0 - radni napon
 V_t - napon kod kojeg započinje multiplikacija

Električno polje u okolini anode je :

$$E = \frac{V_0}{r \ln \frac{b}{a}}$$

Naponski impuls jednak je :

$$V = \frac{n_0 m e}{C}$$

gdje su : n_0 - broj primarno stvorenih ionskih parova
 m - faktor multiplikacije / plinsko pojačanje /
 C - kapacitet proporcionalnog brojača

Omjer tlaka zasićenih para nad zakriviljenom površinom p^* i tlaka zasićenih para nad ravnom površinom p dan je relacijom :

$$\ln \frac{p^*}{p} = \frac{M}{S R T} \left(\frac{2 \sigma'}{r} - \frac{Q^2}{32 \pi^2 \epsilon_0 \cdot r^4} \frac{\epsilon - 1}{\epsilon} \right)$$

gdje su : M - molekularna masa tekućine
 S - gustoća tekućine
 T - temperatura tekućine
 σ' - napetost površine
 r - radius zakriviljenosti
 Q - naboј kapljice

- 65/ Nadite plinsko pojačanje proporcionalnog brojača punjenog helijem pod tlakom od 50 cm Hg , ako je polumjer centralne žice 0,05 mm, polumjer cilindra 1,5 cm . Brojač radi na naponu od 2000 volta , a plinsko pojačanje se javlja kod 1000 V.
- 66/ Koliko je plinsko pojačanje proporcionalnog brojača punjenog vodikom pod tlakom od 40 cm Hg , ako je polumjer centralne žice 0,06 mm, polumjer cilindra 1,8 cm, radni napon 1500 V, dok se plinsko pojačanje javlja kod 1000 V.
- 67/ Proporcionalnim brojačem punjenim helijem detektiramo protone. Protoni ulijeću paralelno s anodom u brojač . Energija protona je 10 Mev. Koliki će biti naponski impuls ako su poznati ovi podaci : polumjer centralne žice je 0,05 mm, polumjer cilindra katode 1,5 cm , tlak plina 50 cmHg, dužina brojača 15 cm , kapacitet brojača 20 pF, radni napon 2000 V, kritični napon 1000 V.
- 68/ Proton energije 8 MeV gubi pri prolazu kroz ionizacionu komoru punjenu vodikom 500 keV. Kolika će biti promjena napona na elektrodama pri prolazu He^3 energije 24 MeV kroz istu komoru , ako je kapacitet komore 25 pF , a energija utrošena po ionskom paru 36 eV.

- 69/ Kolika je struja u ionizacionoj komori , punjenoj argonom pri atmosferskom tlaku , ako kroz nju prolazi struja protona energije 300 MeV , intenziteta 10^9 s^{-1} . Širina komore je 10 cm . / $\bar{\nu}_y$ za argon je 220 eV , prosječna energija utrošena po ionskom paru je 26,9 eV.
- 70/Protoni pri prolazu kroz ionizacionu komoru punjenu vodikom gube 200 keV. Broj protona koji prolaze kroz brojač je 10^6 u sekundi.Energija utrošena po ionskom paru je 35 eV. Odredite struju ionizacije.
- 71/Proton pri prolazu kroz ionizacionu komoru punjenu argonom pod normalnim uvjetima,izgubi 56 keV energije.Energija ionizacije po ionskom paru je 26,9 eV.Kapacitet komore je 50 pF, udaljenost među pločama 1 cm,a napon među pločama je 760 V. Odredite promjenu napona na pločama ionizacione komore,1 μs nakon prolaza protona.
- 72/ Kolika mora biti RC konstanta za proporcionalni brojač punjen dušikom , za koji je poznato $t_o = 0,02 \mu\text{s}$, da diferencirani impuls dosegne vrijednost 25% od maksimalne vrijednosti. Radiusi b i a su 1 cm i 0,08 mm.
- 73/ Kalibrirani proporcionalni brojač daje 30- voltne impulse za alfa česticu energije 3 MeV. Jedan nepoznati alfa izvor je mjerен istim brojačem . Dobiveni su 38 i 40- voltni impulsi. Koje su mjerene energije alfa zraka? / Prepostavite potpunu apsorpciju alfa zraka u brojaču u sva tri slučaja/
- 74/ Beta zraka se zaustavi u scintilatoru , stvarajući oko 10^4 fotona . Pola od tih fotona dospije na fotosenzitivnu površinu katode fotomultiplikatora., čija je efikasnost 5%. Pojačanje fotomultiplikatora je 10^6 . Koliki će biti naponski impuls , ako je izlazni kapacitet 10 pF ?
- 75/ Koliku rezoluciju detektora bi imali u slučaju kao u prethodnom zadatku , ako zanemarimo sve ostale efekte koji utječu na rezoluciju.
- 76/ Ako se kolimirani snop gama zraka energije 0,5 MeV detektira kristalnim detektorsom , kolika mora biti debljina kristala ako želimo da se barem 10% upadnih zraka detektira ? Na raspolaganju imamo kristal dijamanta.

- 77/ Proton energije 8 MeV izgubi u kristalu silicija svu svoju energiju. Usaporenite struju koja je nastala na ovaj način sa strujom koja se javlja uslijed termičkog gibanja elektrona koji prelaze iz valentne u vodljivu vrpcu. Poznati su ovi podaci.: temperatura kristala 400° K , volumen kristala 3cm^3 broj elektrona u valentnoj vrpcu po cm^3 $\eta = 9,45 \cdot 10^{22} \text{cm}^{-3}$. Uputa : nadite omjer broja elektrona koji dolaze u vodljivu vrpcu, prema broju elektrona stvorenih ionizacijom.
- 78/ U kristal silicija unešen je donorski materijal, tako da na svakih 10^7 atoma silicija dolazi jedan atom fosfora. Kristal silicija je na temperaturi od 300° K. Gustoća silicija je $2,4 \text{ g/cm}^3$. Odredite udaljenost fermijevog nivoa od vodljive vrpce.
- 79/ Koliki je omjer tlaka zasićenih para nad zakrivljenom površinom nabijene kapljice radiusa 7 A i tlaka para nad ravnom površinom , ako je kapljica jednostruko ionizirana ?
- 80/ Kod kojeg je radiusa omjer tlaka zasićenih para nad zakrivljenom površinom i tlaka nad ravnom površinom za nabijenu kapljicu maksimalam , ako je kapljica jednostruko ionizirana? / napetost površine za vodu iznosi $75,6 \text{ din/cm}^2$ /
- 81/ Izračunajte graničnu energiju ispod koje se neće opaziti Cerenkovljeva radijacija pri prolazu relativističkog elektrona kroz zrak kojemu je index loma $1,000293$ kod normalnih uvjeta.

PRAG REAKCIJE I ENERGETSKA PRIMJENA

- 82/ Ako je Q vrijednost reakcije $^{206}\text{Pb} / \text{d} , \text{p} / ^{207}\text{Pb}$ jednaka $4,5 \text{ MeV}$, koja se energija gama kvanta dobiva u reakciji $^{206}\text{Pb} / \text{n}, \gamma / ^{207}\text{Pb}$. Energija vezanja deuterona je $2,23 \text{ MeV}$.
- 83/ Odredite prag reakcije $^7_3\text{Li} / \text{p}, \text{n} / ^7_4\text{Be}$ ako je Q vrijednost reakcije $-1,647 \text{ MeV}$.
- 84/ Pri proučavanju reakcije $^{10}_5\text{B} / \text{n}, \alpha / ^7_3\text{Li} + 2,3 \text{ MeV}$ meta bora debljine 2 mg/cm^2 , površine 1 cm^2 oklopljena je sa svih strana detektorima. Energija neutrona je 20 MeV . Intenzitet neutronskog snopa na meti je $10^5 \text{ neutrons/cm}^2\text{s}$, a udarni presjek 20 barna. Kolika se snaga osloboodi u detektorima

ako se pretpostavi da se čitava energija oslobođena u reakciji apsorbirala u detektorima.

- 85/ Udarni presjek za apsorpciju termičkih neutroma brzine 2200m/s na zlatu iznosi 98,8 barna . Koliki će biti udarni presjek na istoj meti za temičke neutrone energije 1 keV ?
- 86/ Nadite energiju koja se oslobodi pri punom " sagorijevanju" 1 kg U²³⁵ u reaktoru. Kolika količina kamenog ugljena / 7000 kcal/kg / daje istu energiju pri svom sagorijevanju?
- 87/ Koliko je puta " sposobnost proizvodnje energije" čistog urana U²³⁵, u kojem se iskoristi 2% svih jezgara, veća od kalorične vrijednosti nafte / 10000 kcal/kg / ?
- 88/ Nadite masu izotopa U²³⁵ koja je bila razbijena pri prvoj atomskoj eksploziji , čiji je ekvivalent bio 30000 tona trolita / toplinski ekvivalent trolita je 1000 kcal/kg /