
Matjaž Koželj

ATENUACIJA ŽARKOV GAMA

Ljubljana, oktober 2013

revizija 0

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za matematiko in fiziko
Jedrska tehnika
Jedrska, reaktorska in radiološka fizika

Prejšnje izdaje:

1. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, september 2006, avtor: *Matjaž Koželj*
2. izdaja: Eksperimentalne vaje, jedrska fizika, oktober 2012, avtor: *Matjaž Koželj*

Revizija: 0

1. izdaja, oktober 2013

Avtor: *Matjaž Koželj*

Shranjeno v datoteki: *2_atenuacija_zarkov_gama.docx*
zadnjič shranjen 21.10.2013 15:40:00

Tiskano: 21.10.2013 15:40:00

KAZALO

1. Namen vaje	4
2. Teoretične osnove	4
3. Interakcija s snovjo	6
4. Naloga	6
5. Oprema	6
6. Izvedba vaje	7
7. Postopek meritve	8
8. Obdelava rezultatov.....	8
9. Rezultati meritev.....	9

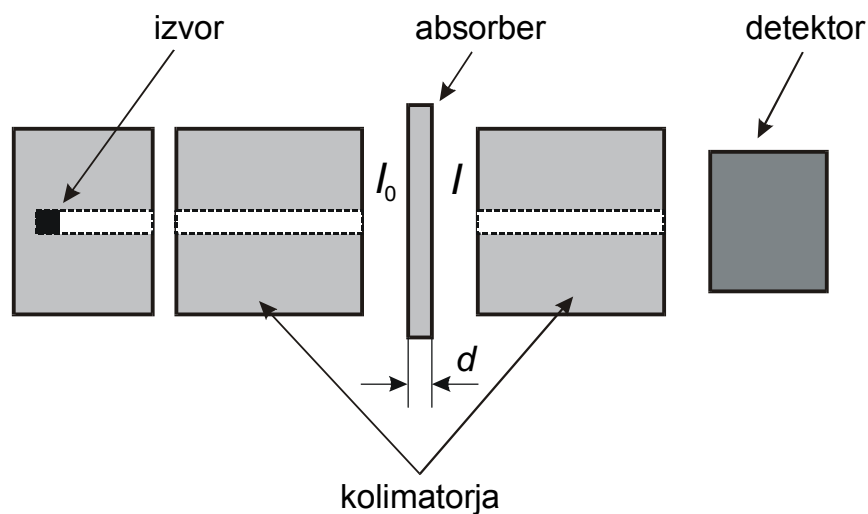
1. Namen vaje

Za načrtovanje radiološke zaščite je potrebno vedeti kako gama žarki interagirajo s snovjo in kako je odvisna atenuacija gama žarkov (oslabitev) od debeline uporabljenih ščitov. Namen vaje je s poskusom dokazati, da pri prehodu skozi plast snovi intenziteta žarkov gama oslabi eksponentno z debelino plasti in izmeriti atenuacijska koeficienta oziroma razpolovni debelini za aluminij in svinec.

2. Teoretične osnove

Pri prehodu skozi snov se del žarkov zaradi interakcije s snovjo absorbira ali sipa. Intenziteta žarkov gama je po prehodu skozi snov zato oslajljena.

Oslabitev intenzitete lahko izmerimo s preprostim eksperimentom. Monoenergetske žarke gama (žarke točno določene energije), ki jih daje ustrezen izvor, usmerimo (kolimiramo) v ozek curek intenzitete I_0 . Po prehodu skozi plast snovi debeline d s primernim detektorjem izmerimo oslajljeno intenziteto I usmerjenega curka. Zaradi sipanja fotonov v snovi, ki razširi curek, je potrebno žarke gama po izstopu iz snovi ponovno kolimirati. Merjenje atenuacije usmerjenega curka žarkov gama je prikazano na sliki 1.



Slika 1: Eksperimentalno merjenje atenuacije v snovi za ozek in usmerjeni curek γ žarkov

Eksperimenti so pokazali, da intenziteta prepuščenega curka **pojema eksponentno z debelino plasti**:

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\mu d} \quad (1)$$

kjer je **μ totalni linearni atenuacijski koeficient snovi**. Dejansko pomeni verjetnost na enoto debeline plasti za dogodek, ki odstrani žarek gama iz curka. Izraz I/I_0 pomeni delež žarkov gama, ki po prehodu skozi snov še ostanejo v curku (torej prepustnost) in predstavlja verjetnost, da žarek gama prepotuje razdaljo d skozi snov.

Če imamo opravka s curkom, v katerem so fotoni dveh ali več različnih energij, jih je treba obravnavati ločeno, ker za vsako energijo veljajo različni atenuacijski koeficienti.

Če logaritmujemo enačbo (1), dobimo premico z naklonskim kotom $-\mu$:

$$\ln \frac{I}{I_0} = -\mu d \quad (2)$$

V radiološki zaščiti se včasih uporablja pojem razpolovne debeline. To je tista debelina plasti, ki oslabi intenziteto usmerjenega curka žarkov gama določene energije na polovico. Če v enačbo (2) vstavimo $I/I_0=1/2$ dobimo:

$$-\ln 2 = -\mu x_{1/2} \quad (3)$$

in je torej zveza med **linearnim atenuacijskim koeficientom snovi** in razpolovno debelino $x_{1/2}$:

$$\mu = \frac{\ln 2}{x_{1/2}} = \frac{0,693}{x_{1/2}} \quad (4)$$

Eksponent μd v enačbi (1) je velikokrat podan tudi v drugačni obliki. Eksponent μd delimo in pomnožimo s specifično gostoto ρ in dobimo:

$$\mu d = \frac{\mu}{\rho} \rho d = \mu_m d_m \quad (5)$$

kjer je:

$\mu_m = \mu/\rho$ **totalni masni atenuacijski koeficient** podan v enotah m^2kg^{-1}
 $d_m = \rho d$ **masna debelina**, podana v enotah kgm^{-2} **masne površinske gostote**.

3. Interakcija s snovjo

Linearni atenuacijski koeficienti so funkcije tako energije žarkov gama, kot tudi vrstnega števila elementa in gostote snovi.

Mehanizem interakcije poteka preko interakcij gama žarkov in elektronskih oblakov, nukleonov v jedru in električnega polja atoma. Pri tem se fotoni bodisi absorbirajo, bodisi neelastično ali elastično sipajo. Fotoni se absorbirajo zaradi fotoefekta in tvorbe parov elektron-pozitron. Pri sipanju pride v poštev predvsem neelastično Comptonovo sipanje na elektroni. Atenuacijske koeficiente lahko zapišemo kot vsoto delnih atenuacijskih koeficientov za fotoefekt, Comptonovo sipanje in tvorbo parov:

$$\mu_m = \mu_{\text{fotoefekt}} + \mu_{\text{Comptonovo}} + \mu_{\text{tvorba}_p}$$

Pri nizkih energijah fotonov gama (do približno 0,5 MeV) prevladuje absorpcija s fotoefektom, od 0,5 MeV do približno 5 MeV je najbolj pomembno Comptonovo sipanje, nad 10 MeV pa prevladuje tvorba parov.

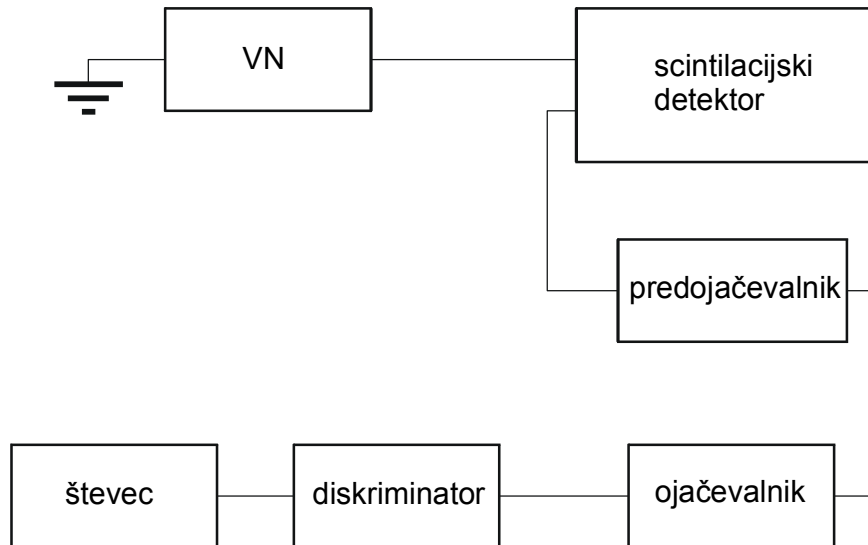
V splošnem velja, da materiali z visokim vrstnim številom (svinec, uran) mnogo bolje atenuirajo žarke gama kot materiali z nizkim številom (aluminij, ogljik).

4. Naloga

1. Izmeri atenuacijski krivulji za absorberje iz svinca in aluminija za žarke gama, ki jih daje izvor ^{137}Cs . Nariši krivulji v pollogaritmičnem diagramu in preveri, če intenziteta prepuščenih žarkov gama pada eksponentno.
2. Iz izmerjenih atenuacijskih krivulj določi linearna atenuacijska koeficienta za svinec in aluminij in sicer za fotone energije 662 keV.

5. Oprema

- Plastično podnožje za detektor s prostorom za vir in absorberje,
- scintilacijski detektor z zaščito iz svinca,
- OXFORD Model 5000 Radiation Analyzer (združuje VN stabiliziran usmernik, predojačevalnik/ojačevalnik, enokanalni analizator, ki deluje kot diskriminator pulzov in elektronski števec)
- absorberji iz svinca in aluminija,
- šolski vir ^{137}Cs ,
- pollogaritemski papir.



Slika 2: Števni sistem za meritve atenuacije gama

6. Izvedba vaje

Preveri, če imaš vso opremo, ki je potrebna za izvedbo vaje. Šolski vir ^{137}Cs boš dobil od demonstratorja potem, ko boš preveril opremo in se pripravil za meritev.

Nosilec vira vstavi v najnižjo pozicijo na podnožju detektorja tako, da bo med virom in detektorjem dovolj prostora za absorberje.

Sam vir je dejansko plastični »gumb«, ki ima v sredini skrit košček folije z ^{137}Cs . Vir ni močan (njegova aktivnost znaša 37 kBq), vendar je nad ravni izvedbe ter se uradno šteje med radioaktivne vire in zahteva pazljivo ravnanje – upoštevanje metod varstva pred sevanji za zaščito pred zunanjim sevanjem. Če z metodami zaščite (čas – razdalja – ščit) še nisi seznanjen, zaprosi demonstratorja za kratko pojasnilo in navodila. **Vsekakor pa vir čim manj prijemaj z rokami (samo zunanji rob in samo ko je to nujno potrebno) in se ne zadržuj v bližini vira po nepotrebem.**

Pokliči demonstratorja, ki bo vključil vse elektronske naprave (če že niso) in preveril nastavitve. Približno pet minut po vklopu lahko začneš s meritvijo. Ob pravilni nastavitvi bo števec štel le gama pulze iz scintilacijskega detektorja (utripa LED dioda na čelni plošči, tik pod napisom ANALYZER).

Čas štetja je določen na števcu: preklopnik PRESET, TIME-SECONDS. Preklopnik GROSS COUNTS mora biti položaju OFF.

Štetje sprožiš s pritiskom na gumb COUNT. Med meritvijo gori LED nad gumbom, po poteku meritve (LED ugasne) prepíšeš rezultat. Števec je ponovno pripravljen za meritev potem, ko ga resetiraš z gumbom RESET.

7. Postopek meritve

- Določi število sunkov neoslabljenega curka (to je število pri debelini $x=0$). Meritev naj bo dolga 30 sekund. Iz števila in časa štetja določiš intenziteto neoslabljenega curka I_0 .
- V prostor med vir in detektor postopoma dodajaj plošče svinca in vsakič opravi meritev števila sunkov oslabljenega curka. Rezultate vpisuj v tabelo.
- Ko bo število prešteti impulzov padlo na približno četrtno začetnega števila, podaljšaj čas štetja na 100 sekund.
- Meritev ponovi za plošče aluminija.
- Na koncu pokliči demonstratorja, ki bo umaknil izvor ^{137}Cs iz bližine scintilacijskega detektorja in izmeri ozadje. Čas štetja naj bo vsaj 300 s.

8. Obdelava rezultatov

- meritve v tabeli preračunaj na enoto časa - na ta način dobimo intenzitete $I=N/t$;
- meritev ozadja preračunaj na enoto časa - dobimo intenziteto ozadja $I_{oz}=N_{oz}/t$;
- od preračunanih meritev odštej ozadje - dobimo $I-I_{oz}$. To bodo merski rezultati, ki nam bodo služili za izračun atenuacijskega koeficienta.
- izračunaj razmerja $(I-I_{oz})/(I_0-I_{oz})$
- nariši **pollogaritemski diagram odvisnosti intenzitete od debeline absorberja** na priloženem pollogaritemskem papirju. V diagram vnašaj izračunana razmerja.
- pri opisanem postopku grafično logaritmiramo in pridemo do premice iz enačbe (2), katere naklonski kot določa **linearni atenuacijski koeficient**. Skozi merske točke nariši premico in določi atenuacijski koeficient:

$$\mu = - \frac{\ln \left(\frac{I - I_{oz}}{I_0 - I_{oz}} \right)}{x} \quad (6)$$

Razpolovno debelino izračunamo iz enačbe (4). Enak izračun opravi za svinec in aluminij.

9. Rezultati meritev

Datum: _____

Visoka napetost (scintilacijski detektor): _____ V

Ojačenje: _____

Diskriminator: _____

Meritve ozadja:

Čas štetja $t =$ _____ s

Št. pulzov $N =$ _____

$$I_{oz} = N/t = \text{_____ } s^{-1}$$

Meritev atenuacije gama iz ^{137}Cs (662 keV) na **svincu**

	d (cm)	t (s)	N	I (= N/t)	$I - I_{oz}$	$\frac{I - I_{oz}}{I_0 - I_{oz}}$
1.	0					1
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Pollogaritemski diagram $\frac{I - I_{oz}}{I_0 - I_{oz}}$ v odvisnosti od d (debeline) je na priloženem pollogaritemskem papirju.

Linearni atenuacijski koeficient za svinec in gama 662 keV iz diagrama po enačbi (6):

$$\mu_{\text{Pb}} = \text{_____ } m^{-1}$$

Razpolovna debelina za svinec in gama 662 keV iz enačbe (4):

$$x_{1/2\text{Pb}} = \text{_____ } m$$

Meritev atenuacije gama iz ^{137}Cs (662 keV) na **aluminiju**

	d (cm)	t (s)	N	I (= N/t)	$I - I_{oz}$ (s^{-1})	$\frac{I - I_{oz}}{I_0 - I_{oz}}$
1.	0					1
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						

Pollogaritemski diagram $\frac{I - I_{oz}}{I_0 - I_{oz}}$ v odvisnosti od d (debeline) je na priloženem pollogaritemskem papirju.

Linearni atenuacijski koeficient za aluminij in gama 662 keV iz diagrama po enačbi (6):

$$\mu_{Al} = \text{_____} \text{ m}^{-1}$$

Razpolovna debelina za aluminij in gama 662 keV iz enačbe (4):

$$x_{1/2Al} = \text{_____} \text{ m}$$