

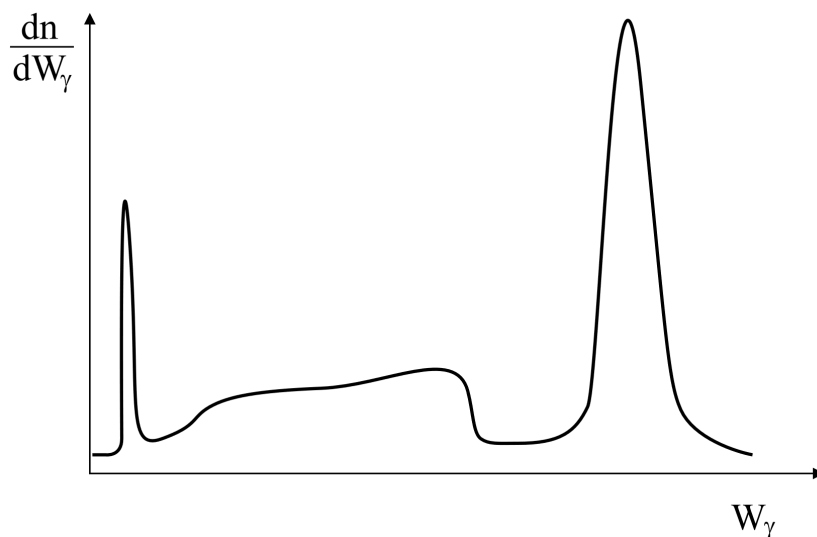
Absorpcija žarkov γ in β

Bor Kokovnik

Januar 2024

1 Uvod

Pri radioaktivnem razpadu atomskih jeder prihaja primarno do α (helijeva jedra), β (elektroni + antineutrini, pozitroni + nevtrini) in γ (fotoni) sevanja. Sevanja imajo različne energijske porazdelitve in se pri prehodu skozi snov različno obnašajo. V sklopu pričujoče vaje se bomo zanimali za sevanji β in γ .



Slika 1: Tipična energijska porazdelitev žarkov γ pri radioaktivnem razpadu.

Žarki γ , ki izhajajo iz radioaktivnega izvora, so približno monoenergijski. Tipična energijska porazdelitev dn/dW_γ je prikazana na sliki 1. V snovi se absorbirajo in sipljejo. Tok sevanja Φ_γ se pri prehodu skozi rezino debeline dx zmanjša za $d\Phi_\gamma = -\mu\Phi_\gamma dx$, kjer je μ ekstinkcijski (absorpcijski) koeficient. Celotni prepuščen tok pojema z večanjem debeline eksponentno kot

$$\Phi_\gamma(x) = \Phi_0 \exp\{-\mu x\} = \Phi_0 2^{-\frac{x}{l_{1/2}}} \quad (1)$$

pri čemer $l_{1/2} = \ln 2/\mu$ označuje razpolovno debelino. Razpolovna debelina nam pove, kako debela mora biti snov, da izstopajoči tok sevanja pade na polovico vstopajočega toka Φ_0 .

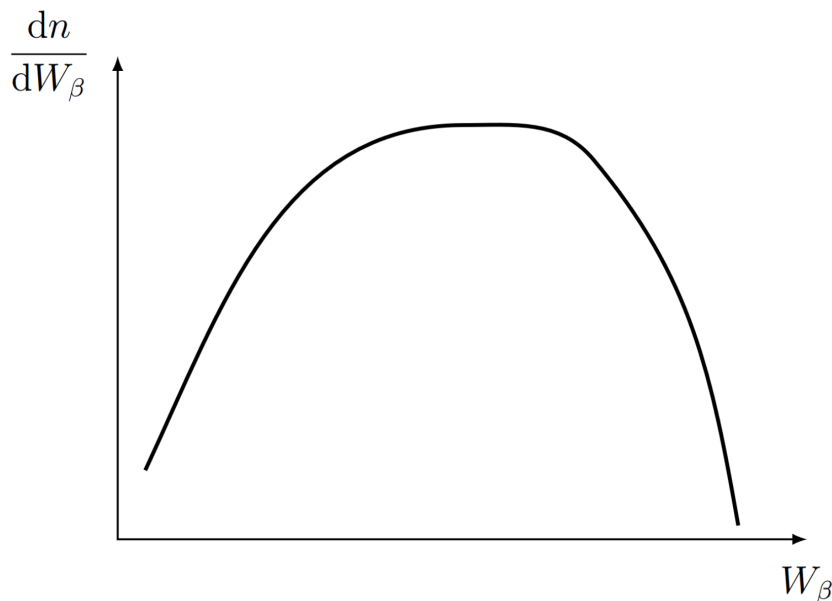
Tudi pri elektronih začnimo razmišljanje najprej z monoenergijskimi elektroni z vstopno energijo $W\beta$. Elektroni se pri prehodu skozi snov sipljejo ter postopoma izgubljajo

energijo z ioniziranjem in vzbujanjem atomov. Verjetnost za te procese je odvisna od hitrosti elektrona. Z zmanjševanjem hitrosti se verjetnost za sipanje v splošnem povečuje. Upočasnjevanje elektronov je zato na začetku, ko je hitrost še velika, relativno šibko, nato pa postaja vedno močnejše, dokler se elektroni na koncu povsem ne ustavijo. Debelina $R_o(W_\beta)$, pri kateri snov popolnoma zadrži elektrone z določeno vstopno energijo W_β , se imenuje doseg. Odvisnost toka elektronov od debeline snovi $\Phi_\beta(W_\beta, x)$ je dokaj zapletena. Debelina x je pri tem podana v enotah tako imenovane površinske gostote $s = \rho x$, pri čemer ρ označuje gostoto materiala. V taki predstavitvi je odvisnost $\Phi_\beta(W_\beta, x)$ praktično enaka za vse vrste materialov. Doseg $R_o(W_\beta)$ je torej obratno sorazmeren z gostoto materiala ρ .

Elektroni v sevanju β , ki nastane pri radioaktivnem razpadu, nimajo vsi enakih vstopnih energij W_β , saj si energijsko razliko med končnim in začetnim jedrom $W_{\beta, max}$ razdelijo z nevtrini (tipična energijska porazdelitev žarkov β je prikazana na sliki (2)). Prepušчени tok sevanja v odvisnosti od debeline snovi $\Phi_\beta(x)$ je zato podan kot integral energijske porazdelitve vstopnih elektronov dn/dW_β in odvisnosti $\Phi_\beta(W_\beta, x)$ za monoenergijske elektrone, se pravi

$$\Phi_\beta^{tot} = \int_0^{W_{\beta, max}} \frac{dn}{dW_\beta} \Phi(W_\beta, x) dW_\beta \quad (2)$$

Pri debelinah, ki so majhne v primerjavi z maksimalnim dosegom $R_o(W_{\beta, max})$, je odvisnost $\Phi_\beta^{tot}(x)$ približno eksponentna in jo lahko obravnavamo z enačbo (1).



Slika 2: Tipična energijska porazdelitev žarkov β pri radioaktivnem razpadu.

2 Potrebščine

- radioaktiven izvor $^{137}_{55}\text{Cs}$ v svinčnem ohišju
- Geiger-Müllerjeva (GM) cev na stojalu in števec ST360 (Spectrum Technology)

- škatla s ploščicami različnih površinskih gostot od $4,5 \text{ mg cm}^{-2}$ do 7435 mg cm^{-2}
- dodatne aluminijaste in svinčene ploščice različnih debelin

Material	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
s [mg/cm^2]	4,5	6,5	14,1	28,1	59,1	102	129	161	206	258	328	419	516	590	645	849	1230	1890	3632	7435
d [mil]	0,7	1	5	10	30	40	20	25	32	40	50	63	80	90	100	125	32	64	125	250
d [mm]	0,02	0,03	0,13	0,25	0,76	1,0	0,51	0,64	0,8	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,5	3,2	0,8	1,6	3,2	6,4

3 Naloga

1. Preveri, da izmerjena aktivnost sevanja pada s kvadratom razdalje od izvora.
2. Izmeri sevanje ozadja.
3. Izmeri odvisnost $\Phi_{\beta}^{tot}(x)$ za sevanje β iz $^{137}_{55}\text{Cs}$ in določi doseg β za aluminij.
4. Izmeri razpolovno debelino aluminija in svinca za žarke γ iz $^{137}_{55}\text{Cs}$.

4 Meritve

Datum izvedbe eksperimenta: 15. 1. 2024

Za vse negotovosti aktivnosti je bilo upoštevanje, da je standardni odklon enak korenu razpadov

Aktivnost ozadja izmerimo brez radioaktivnega vira skozi 15 minut:

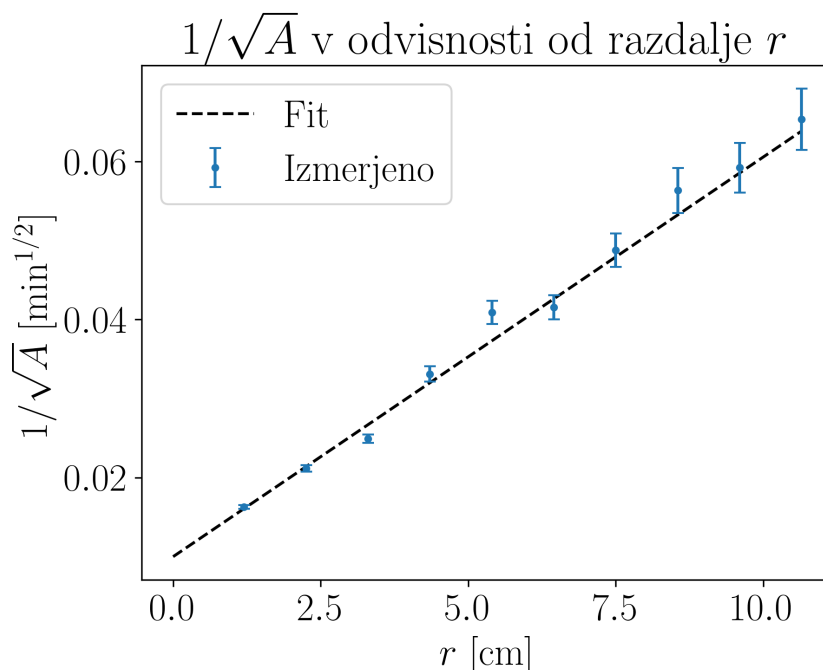
$$A_b = (21 \pm 1) \text{ min}^{-1}$$

To vrednost upoštevamo pri nadaljnjih meritvah.

4.1 Odvisnost aktivnosti od razdalje

Pri merjenju odvisnosti aktivnosti od razdalje merimo število razpadov v času 20 s na različnih razdaljah med izvorom in merilnikom. Da dobimo linearno odvisnost, uporabimo $1/\sqrt{A(r)}$, in nato iz enačbe $A = K/(r + r_{GM})^2$ ocenimo efektivno razdaljo r_{GM} med izvorom v najvišjem predalčku in detektorjem, kjer je $K = 1/k^2$, kjer je k naklon linearne fita na sliki 3. V prejšnjo enačbo za A vstavimo vrednosti za zgornji predalček in dobimo:

$$r_{GM} = (3,22 \pm 0,05) \text{ cm}$$



Slika 3: $1/\sqrt{A}$ v odvisnosti od razdalje r , skupaj z linearnim fitom.

4.2 Merjenje dosega sevanja β

Pri merjenju dosega sevanja β polagamo med izvor in merilnik aluminijaste ploščice znanih debelin in merimo aktivnost. Sunke sem meril v času 50 s. Ko blokiramo celotno sevanje β nam ostane še sevanje γ , zato se aktivnost na sliki 4 ne ustavi na vrednosti 0. Na podlagi višine izravnanih meritev (v tem primeru zadnjih sedem meritev) lahko ocenimo, do katere debeline R_0 aluminija je nekaj sevanja β še prepuščenega:

$$R_0 = (180 \pm 20) \frac{\text{mg}}{\text{cm}^2}$$

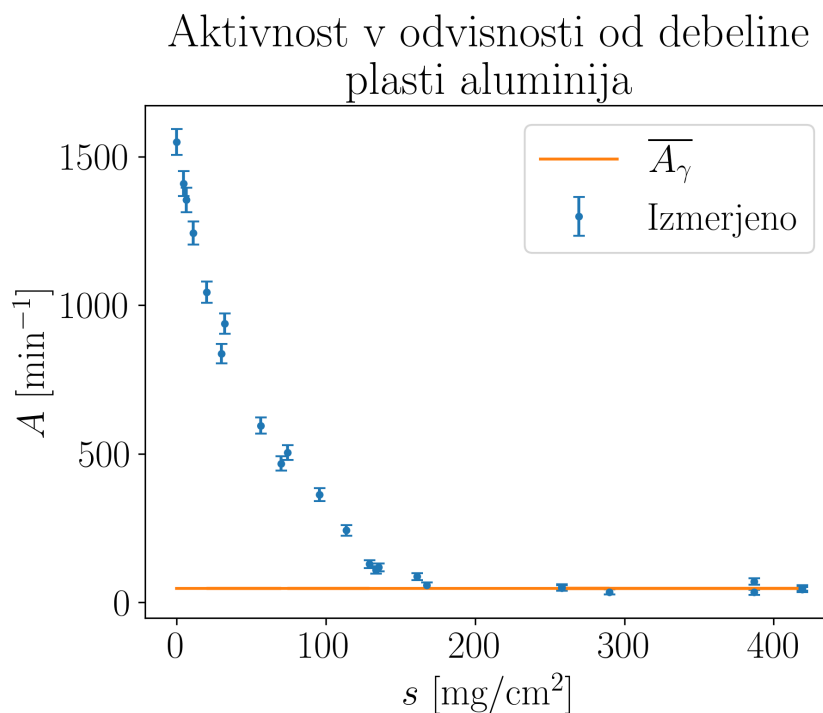
Vrednost sevanja γ po tem, ko smo ustavili celotno sevanje β :

$$\overline{A_\gamma} = (48 \pm 4) \text{ min}^{-1}$$

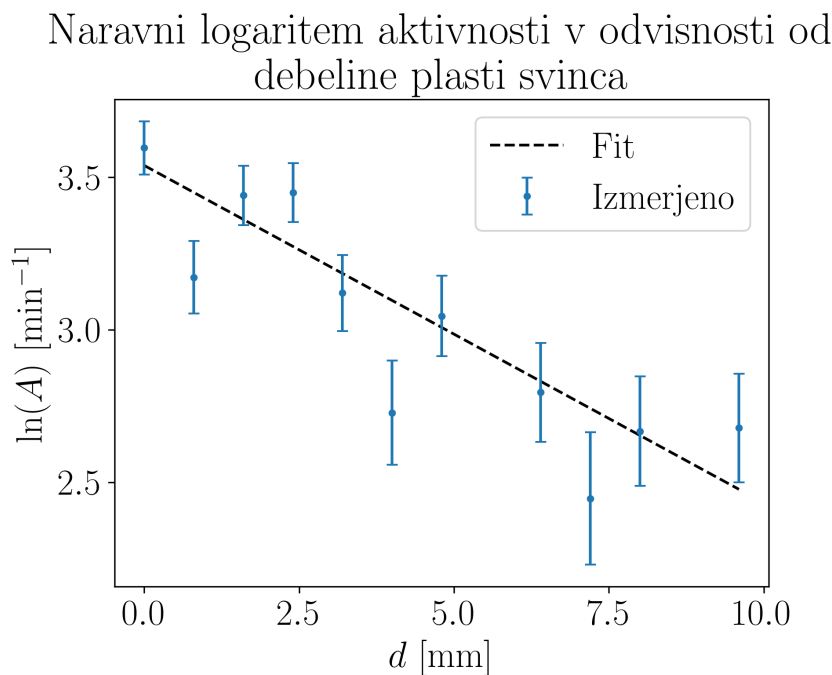
4.3 Razpolovna debelina svınca za žarke γ

Nad vir postavimo aluminijasto ploščico zadostne debeline, da zaustavi vso sevanje β , jaz sem uporabil ploščico J, in nato postopoma dodajamo svinec in pri vsaki debelini izmerimo aktivnost v času 400 s. Da podatke lineariziramo, vzamemo naravni logaritem aktivnosti v odvisnosti od debeline svınca. Iz enačbe (1) lahko izrazimo $l_{1/2}$ kot $l_{1/2} = -\ln(2)/k$, kjer je k naklon fitane premice na sliki 5. Tako pridemo do vrednosti:

$$l_{1/2} = (6,3 \pm 0,8) \text{ mm}$$



Slika 4: Doseg sevanja β . Debelina je predstavljena v enotah mg/cm^2 .



Slika 5: Naravni logaritem aktivnosti v odvisnosti od debeline plasti svinca.

5 Analiza rezultatov

Pri vaji nisem imel večjih problemov in noben rezultat me ni presenetil.

Debelina materiala, ki blokira celotno sevanje β je precej grobo ocenjena, ker je prava zveza precej kompleksna in je nisem fital, pač pa sem ocenil, pri kateri vrednosti se krivulja izravna.

Pri meritvi razpolovne debeline za žarke γ opazimo veliko negotovost posameznih meritev in njihovo razmetanost okoli fitane premice. Razlog za to je nizki delež sevanja γ v primerjavi s sevanjem β , ki ga proizvaja uporabljeni vir, le okoli 5%. Vsako meritev bi morali izvajati veliko dlje, da bi znižali negotovost, ki narašča s korenom števila naštetih sunkov. Zaradi omejitev s časom za izvedbo vaje, sem posamezno meritev moral omejiti na 400s. Kljub temu je izmerjena vrednost blizu pričakovani, ki znaša med 0,6 in 0,65 mm (vir: <https://www.nrc.gov/docs/ML1122/ML11229A721.pdf>).