Универзитет у Крагујевцу
Природно – математички факултет
Мр Владимир Марковић
Предмет: Нуклеарна физика
Експериментална вежба:

Апсорпција γ зрачења

Када сноп γ зрачења пролази кроз материју, његов интензитет опада услед апсорпције. При апсорпцији γ зрачења дешавају се различити ефекти, али је сам процес увек резултат међусобног дејства између γ кванта и атома. Један γ квант може да прође непромењен кроз материју али увек постоји вероватноћа да ступи у интеракцију са неким атомом и да притом буде апсорбован. При апсорпцији γ зрачења се смањује број γ – кванта док њихова енергија остаје непромењена. Вероватноћа апсорпције γ зрачења је сразмерна дебљини слоја x, а коефицијент пропорционалности се зове линеарни коефицијент слабљења зрачења и обележава се са μ. Ако са I обележимо интензитет зрачења, онда ће при проласку кроз слој материјалне дебљине dx, I опасти за dI:

$$dI = -I \cdot \mu \cdot dx \qquad (1)$$

Интеграцијом (1) добија се закон апсорпције. Уколико са I_0 означимо почетни интензитет зрачења, закон добија облик:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu x}. \qquad (2)$$

Вредност коефицијента апсорпције се мења са таласном дужином зрачења. Ако се сноп састоји из више таласних дужина, за сваку компоненту зрачења једне таласне дужине важи закон дат изразом (2). Може се писати да је линеарни коефицијент сума три коефицијента који представљају фотоефекат, Комптоново расејање и процес производње парова:

$$\mu = (\tau + \sigma_c + k) \cdot N, \qquad (3)$$

где је N број атома мете по јединици запремине. Јединица коефицијента слабљења је m^{-1}. Сам коефицијент слабљења је збир коефицијента апсорпције μ_a (апсорпциони процеси су фотоефекат и производња парова) и коефицијента расејања μ_S (Комптонов ефекат је расејавајући процес):

$$\mu = \mu_a + \mu_S \qquad (4)$$

Поред линеарног коефицијента слабљења у употреби је и масени коефицијент слабљења који је дат као:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}, \tag{5}$$

где је ρ густина материјала. Масени коефицијенти се користе знатно више од линеарних, јер је на датој енергији зрачења он независан од физичког стања материје (за воду μ_m је исти без обзира на агрегатно стање материје, што није случај са линеарном коефицијентом). Јединица за масени коефицијент слабљења је $\frac{m^2}{kg}$.

Масени коефицијент смеше или једињења се може добити преко Браговог сумационог правила:

$$\frac{\mu}{\rho} = \sum_i \omega_i \left(\frac{\mu}{\rho}\right)_i , \tag{6}$$

где је са *i* означена *i*-та материја, а ω_i је њен масени удео у смеши.

Коефицијент апсорпције зависи од материјала кроз који се зрачење простире. У овој вежби потребно је одредити коефицијент апсорпције за олово. Интензитет γ зрачења може бити измерен Гајгер-Милеровим бројачем који је у могућности да региструје интеракцију једног γ кванта са атомима у бројачу.

Сваки бројач показује известан број импулса и када није изложен зрачењу. То је последица присуства космичког зрачења и радиоактивног зрачења из атмосфере као и Земљине коре – фона. Вредност фона је карактеристичан параметар који зависи од мерног уређаја и средине. Првенствено је потребно одредити фон зрачења – број импулса у јединици времена који бројач детектује без присуства извора зрачења.

За одређивање коефицијента апсорпције користи се апаратура која се састоји од Гајгер-Милеровог бројача, извора зрачења, оловних плочица различитих дебљина и статива на који се апаратура монтира.

По монтирању апаратуре потребно је прво измерити интензитет зрачења када нема апсорбента, ($x=0$). Затим изнад цеви бројача редом додавати оловне плоче и мерити интензитет зрачења за одређени временски период. Дебљину плочица измерити микрометром и то усредњавањем три независна мерења дебљине.

Пошто је поред импулса који су последица зрачења радиоактивног изотопа бројач детектовао и фон, стварни број импулса који потиче од зрачења гама извора представља разлику измереног интензитета и фона.

Зависност броја импулса у секунди од дебљине апсорбента је експоненцијалног карактера. Да би се одредио коефицијент слабљења потребно је извршити линеаризацију једначине (2) и притом се добија израз:

$$\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) = \mu x \qquad (7)$$

Цртањем графика зависности $\ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$ од x и одређивањем нагиба праве добија се коефицијент апсорпције γ зрачења.

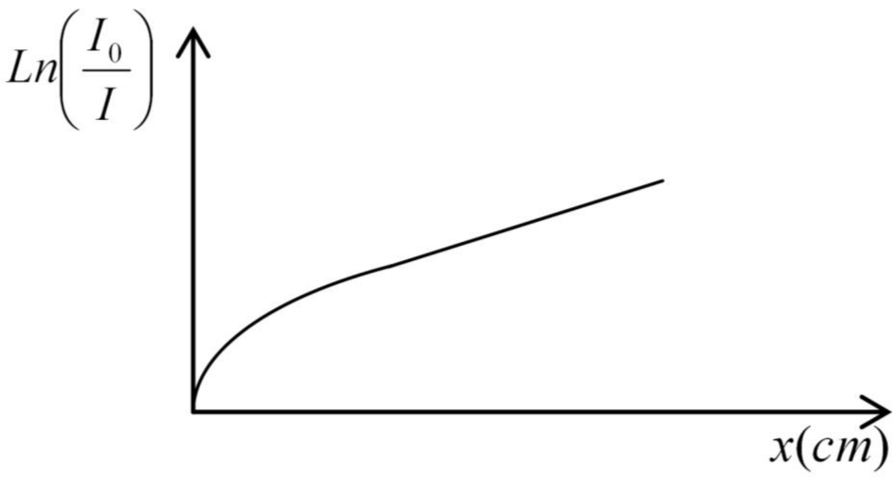
Задаци:

1. Измерити фон зрачења у временском интервалу од t_f=300 s, $I_f = \frac{N_f}{t_f}$.
2. Поставити апаратуру и одредити број импулса, N_0, када између извора и детектора нема апсорпционог медијума за временски период од t=180 s. Интензитет зрачења је $I_0^{'} = \frac{N_0}{t}$.
3. Између детектора и извора додавати оловне плоче и одредити број импулса, N_i, зрачења за t=180 s. Интензитет је $I_i^{'} = \frac{N_i}{t}$. Претходно одредити појединачне дебљине плочица, d_i, тако да је дебљина апсорбера, x, сума дебљина плочица наслаганих на детектор.
4. Податке бележити у Табели.

Број мерења, i	$x_i = \sum_{j=1}^{i} d_j$	$I_i = \frac{N_i}{t}$	$I_i = I_i^{'} - I_f$	$Ln\left(\frac{I_0}{I_i}\right)$
0.				
1.				

5. Нацртати график зависности интензитета зрачења (величина означена са I у табели) од дебљине олова (величина означена са у x табели). Интензитет зрачења опада експоненцијално са повећањем дебљине.

6. Нацртати зависност $Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$ од дебљине олова *x*. Очекује се линеарна зависност где је коефицијент правца праве управо коефицијент апсорпције гама зрачења. У пракси доћи ће до одступања од линеарности поготово за мале дебљине олова, јер извори зрачења обично садрже више линија гама зрачења које су различите енергије. μ зависи од енергије зрачења, као и од средине, тако да ће гама зрачење различитих енергија различито слабити и доћи ће до одступања од линеарности. За веће дебљине олова у примарном снопу зрачења остаће претежно гама зраци већих енергија и крива ће постепено прећи у праву, Слика 1.



Слика 1. Ефекат нелинаерности за немонохроматски сноп γ зрачења

7. По одређивању коефицијента апсорпције наћи дебљину полуапсорпције, $d_{1/2}$. Дебљина полуапсорпције је дебљина олова која ће интензитет зрачења смањити на половину.
8. Одредити грешке тражених величина.

Додатак: Одређивање грешака мерених резултата

Физичке величине које су мерене у овој вежби су време, дебљина оловних плочица и број импулса од извора и фона.

Минимални временски интервал мерења у овој вежби износи 180 s. Уколико за грешку мерења поставимо вредност најмањег подеока, тј 1 s, релативна грешка за интервал од 180 s би износила

$$\delta t = \frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{180} = 0.00555\ldots \qquad (9)$$

што у процентима износи 0.5%. За дуже временске интервале грешка мерења ће бити још мања. Овако малу вредност грешке која се прави при мерењу времена можемо занемарити и време сматрати константном величином при одређивању грешке.

Апсорбер у овој вежби представља олово у виду оловних плоча одређене дебљине, d_i, које се слажу и тиме повећава укупна дебљина апсорбера. Оловне плочице нису идеалног облика и дебљина им се разликује на различитим деловима, али та разлика није исувише драстична. Због постојања разлике у дебљини плочице, дебљина се мери на три различита положаја, $d_{i,j}, j = 1,2,3$, и усредњавањем се добија референтна вредност дебљине оловне плочице.

$$d_i = \frac{1}{3}(d_{i1} + d_{i2} + d_{i3}) \qquad (10)$$

Уколико се за мерење дебљине плочице мокрометром за грешку мерења узме најмањи подеок, имаћемо да је $\Delta d = \Delta d_{ij} = 10\,\mu m$. Тада је:

$$\frac{\Delta d_i}{d_i} = \frac{3 \cdot \Delta d}{d_{i1} + d_{i2} + d_{i3}}, \text{ тј. } \Delta d_i = \Delta d \qquad (11)$$

Како је дебљина плочица одређена на основу већег броја мерења апсолутну грешку тражимо као највеће одступање, по апсолутној вредности, појединачних мерења од средње вредности, $\Delta d_i = \left| d_{ij} - \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} d_{ij} \right|_{\max}$. Уколико је овако одређена грешка мања од Δd, за грешку се узима вредност $\Delta d = 10\ \mu\text{m}$. Дебљина апсорбера се добија слагањем оловних плочица тако да је:

$$x_n = \sum_{i=1}^{n} d_i\ , \qquad (12)$$

где је одговарајућа грешка:

$$\frac{\Delta x_n}{x_n} = \frac{n\Delta d}{\sum_{i=1}^{n} d_i}, \text{ тј. } \Delta x_n = n\Delta d \tag{13}$$

За мерење броја импулса извора и фона користи се Гајгер Милеров бројач. Број импулса је довољно велики и измерене вредности ће бити према Гаусовој расподели. Уколико је измерени број импулса N, стандардна девијација Гаусове расподеле ће бити:

$$\sigma_N = \sqrt{N} \tag{14}$$

Резултате приказати са стандардном несигурношћу

$$N \pm \sigma_N, \tag{15}$$

што практично значи да је вероватноћа да при поновном мерењу зрачења под истим условима вероватноћа да измерени резултат буде у интервалу $(N-\sigma, N+\sigma)$ износи 0.683, тј. iмамо 68.3% могућности да при поновном мерењу добијемо резултат чија је вредност у датом интервалу. Ово је последица стохасничке (непредвидиве) природе зрачења, због чега не можемо са апсолутном сигурношћу поново добити исте резултате мерења под истим условима. С обзиром да се за конкретне услове врши само једно мерење (за једну дебљину апсорбера број импулса је мерен само једном) не можемо одредити средњу вредност, али знамо да се резултати оваквих процеса подвргавају Гаусовој расподели. На основу тога можемо тврдити да вероватноћа да се средња вредност нађе у интервалу $(N-\sigma_N, N+\sigma_N)$ износи 0.638. За интервал $(N-3\sigma_N, N+3\sigma_N)$ та вероватноћа износи 0.997 и представља сигурну несигурност.

Пропагација грешке

На основу броја импулса N измерених у временском интервалу t одређује се брзина бројања I':

$$I' = \frac{N}{t} \tag{16}$$

Стандардну несигурност величине I' дефинише стандардна девијација ове величине. Како је она добијена дељењем броја импулса N чија је несигурност σ_N временским интервалом t чију грешку смо занемарили и можемо је сматрати константном величином $\sigma_{I'}$ можемо изразити као:

$$\sigma_{I'} = \frac{\sigma_N}{t} \tag{17}$$

На овај начин брзине бројања фона и извора+фона можемо записати као:

$$I' \pm \sigma_{I_u} \text{ и } I_f \pm \sigma_f \tag{18}$$

Вршењем корекције на фон, брзину бројања извор+фон морамо умањити за брзину бројања фона на основу чега добијамо само брзину бројања од извора. Када у експерименту меримо импулсе они представљају суму импулса од извора и фона па је:

Импусли од извора = Измерени импулси – фон, тј.:

$$I = I' - I_f \tag{19}$$

Сада је потребно одредити стандардну несигурност величине *I* која представља разлику две величине које се подвргавају Гаусовој расподели:

$$\sigma_I = \sqrt{\sigma_{I'}^2 + \sigma_f^2}, \tag{20}$$

тј. пишемо

$$I \pm \sigma_I \tag{21}$$

Уопштено посматрајући уколико су $x, y, z, \ldots$директно мерени импулси или променљиве за које знамо $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \ldots$ онда стандардна девијација било које величине $u = u(x, y, z, \ldots)$ изведене од ових импулса се може одредити као:

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y}\right)^2 \sigma_y^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial z}\right)^2 \sigma_z^2 + \ldots \tag{22}$$

Користећи формулу (22) могу се извести релације (17) и (20). Употребом (22) може се одредити стандардна девијација члана $Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$. Ставићемо да је $u = u(I_0, I) = Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$ и на основу (22) добија се :

$$\sigma_u = \sigma\left[Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)\right] = \sqrt{\frac{\sigma_{N_0}^2}{N_0^2} + \frac{\sigma_{N_i}^2}{N_i^2}} \tag{23}$$

Како је $\sigma_{N_0} = \sqrt{N_0}$ и $\sigma_{N_i} = \sqrt{N_i}$ добијамо:

$$\sigma_u = \sigma\left[Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)\right] = \sqrt{\frac{1}{N_0} + \frac{1}{N_i}} \tag{24}$$

што је стандардна несигурност тј. грешка за $Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)$.

Из израза $Ln\left(\frac{I_0}{I}\right)=\mu x$, μ се одређује скидањем правца криве са гравика из задатка 6 на основу једначне праве кроз две тачке:

$$\mu=\frac{Ln\left(\frac{I_0}{I_B}\right)-Ln\left(\frac{I_0}{I_A}\right)}{x_B-x_A}\ . \tag{25}$$

Грешка за μ је

$$\frac{\Delta\mu}{\mu}=\frac{\Delta\left[Ln\left(\frac{I_0}{I_B}\right)\right]+\Delta\left[Ln\left(\frac{I_0}{I_A}\right)\right]}{Ln\left(\frac{I_0}{I_B}\right)-Ln\left(\frac{I_0}{I_A}\right)}+\frac{\Delta x_B-\Delta x_A}{x_A-x_A} \tag{26}$$

Узима се да је

$$\Delta\left[Ln\left(\frac{I_0}{I_B}\right)\right]=\sigma\left[Ln\left(\frac{I_0}{I_B}\right)\right], \tag{27}$$

што је одређено изразом (24).

Грешку за $d_{1/2}$ из задатка 7 самостално одредити.