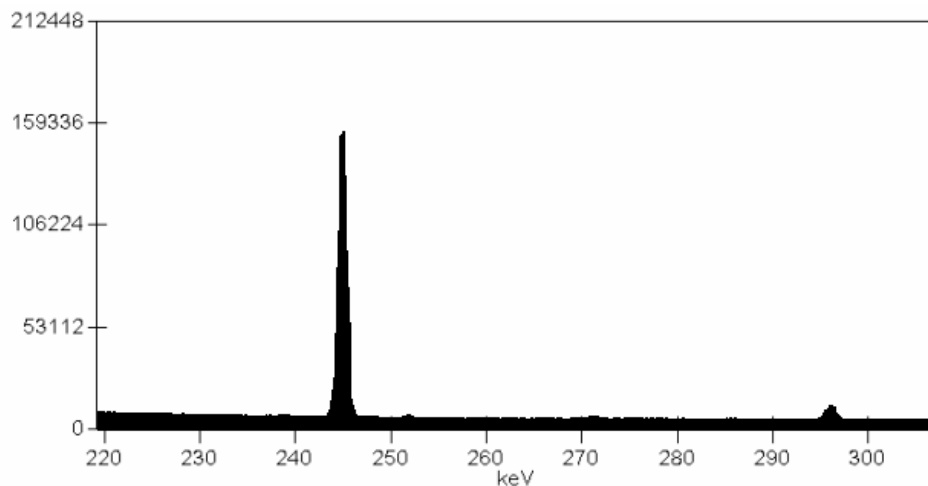


# ЗАВИСНОСТ КОЕФИЦИЈЕНТА СЛАБЉЕЊА ГАМА ЗРАЧЕЊА ОД ЕНЕРГИЈЕ $\mu(E)$

## I Основни појмови гама спектрометрије

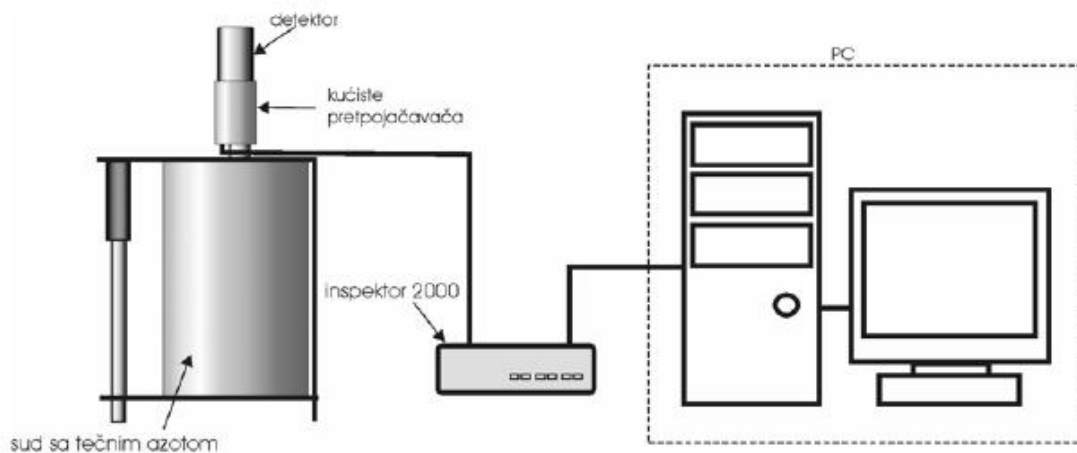
Гама зраци настају при деексцитацији побуђених стања у језгрима атома. Та побуђена стања могу бити попуњена путем нуклеарних реакција и радиоактивним распадом. Језгро је окарактерисано дискретним енергијским нивоима. Електромагнетни таласи који се емитују при прелазу између ових нивоа су реда величине неколико стотина keV-а до неколико MeV-а, те сведоче о великој енергији везе нуклеона. Ови високо енергијски фотони се историјски називају гама зраци.

У гама спектрометрији се најважнији параметри зрачења, емитоване енергије и релативни интензитети појединих енергетских прелаза, одређују на тај начин што се одреди спектар зрачења, па се затим врши његова анализа (сл. 1.). Резултати мерења се добијају обрадом спектра, коју даје мерни инструмент па је због тога неопходно дефинисати основне карактеристике мерног инструмента и најважније појмове којима се мере величине у инструменталној слици региструју.



Слика 1. Један део спектра  $^{152}\text{Eu}$  добијен помоћу германијумског детектора.

На слици 1. је представљен типични визуелни приказ гама спектра снимљен германијумским детектором. Визуелни приказ снимљеног спектра је данас саставни део софтвера за обраду спектра. Један од задатака гама спектрометрије је идентификација присутних језгара у непознатим узорцима. Спектар емитованих фотона при распаду језгра даје индиректну информацију о самом језгру које се распало. Одређивање концентрације активности испитиваног узорка могуће је комплетном обрадом спектра, што се чини уз помоћ софтвера за гама спектрометрију. Уз претходно извршену енергетску калибрацију спектрометра, софтвер може аутоматски идентификовати присутна језгра. Одређивање активности захтева познавање ефикасности врха укупне енергије за постављену геометрију.



Слика 2. Основне компоненте гама спектрометра

## ***I 1. Основне карактеристике детектора***

### **I 1.1. Осетљивост**

Важна особина детектора је осетљивост, тј. способност детектора да произведе користан сигнал за дато зрачење и енергију. Ниједан детектор не може бити осетљив за сво зрачење и енергије. Детектори се праве наменски за дати тип зрачења и за дату област енергија.

Осетљивост детектора за дати тип зрачења одређене енергије зависи од неколико фактора:

1. пресек за јонизујуће реакције у детектору
2. детекторска маса
3. инхерентни детекторски шум
4. заштитни материјал који опкољава осетљиву запремину детектора

Пресек и детекторска маса одређују вероватноћу да се енергија или део енергије упадног зрачења претвори у јонизацију унутар детектора. Јонизујући сигнал мора бити јачи од средњег шума детектора како би био од користи. Материјал који опкољава детектор одређује доњу границу енергије која може бити детектована.

### **I 1.2. Одзив детектора**

Поред детекције присутног зрачења, већина детектора је у стању да обезбеди неке информације о енергији тог зрачења. Количина јонизације је пропорционална губитку енергије зрачења унутар осетљиве запремине детектора. Ако се енергија упадног зрачења у потпуности предала на јонизацију унутар детектора, онда је мера количине јонизације у ствари информација о енергији упадног зрачења.

Уопште излазни сигнал електричних детектора има форму струјног сигнала. Количина јонизације се тада огледа у створеној количини наелектрисања. Веза између енергије зрачења и висине излазног сигнала представља у ствари одзив детектора. Идеално би било да је ова веза линеарна. За многе детекторе одзив детектора јесте линеаран или бар апроксимативно у одређеном интервалу енергија.

### И 1.3. Енергетска резолуција.

За детекторе који су тако направљени да мере енергију упадног зрачења, најважнији фактор је енергетска резолуција. Енергетска резолуција детектора говори о томе колико детектор може разликовати две линије блиских енергија. Упоште, енергетска резолуција се може одредити слањем моноенергетског зрачења ка детектору, а затим се посматра добијени спектар. Идеалан случај би био да се добије оштра делта функција. У реалности ово никад није случај, добија се сложени врх са неком коначном ширином, обично Гаусовог облика. Ширина овог врха расте са флукуацијама у јонизацијама и екситацијама.

Резолуција је обично дата у смислу тоталне ширине на половини висине врха (FWHM-*full width at half maximum*). Енергије које се налазе ближе него што износи вредност FWHM се обично не разматрају. Ако ширину линије изразимо као  $\Delta E$ , онда је релативна резолуција на енергији  $E$  дата са:

$$\text{Резолуција} = \Delta E/E$$

Резолуција изражена формулом 2.1. је обично дата у процентима. Германијумски детектори имају резолуцију реда величине 0.1%. Уопште резолуција је функција енергије депоноване унутар осетљиве запремине детектора, која се побољшава са растом енергије. У ствари је пронађено да је средња енергија јонизације константан број,  $w$ , и зависи само од материјала. За депоновану енергију  $E$ , средњи број јонизација је  $J=E/w$ . Како енергија расте, расте и број јонизација, а релативне флукуације се смањују.

### И 1.4. Функција одзива

За снимање енергетског спектра, важан фактор који се треба размотрити је функција одзива детектора за тип детектованог зрачења. Функција одзива детектора се може дефинисати када детектор излажемо датим типом моноенергетског зрачења. Идеално би било да се у спектру добије гаусова крива.

У случају да се детектор излаже гама зрацима, облик криве можемо предвидети познавајући како електромагнетно зрачење интерагује са материјом од кога је израђен детектор. Да би енергија гама кванта била детектована, она мора произвести наелектрисане честице унутар осетљиве запремине детектора. Механизми који ово омогућују су фотоелектрични ефекат, Комптоново расејање и производња електронпозитрон пара. Фотоелектрони добијени од моноенергетског зрачења имају исте енергије, те доприносе Гаусовом облику криве у спектру. Комптонови електрони имају континуалну расподелу, као такви представљају сметњу у снимљеном спектру. Пар ефекат такође неповољно утиче на добијену слику о моноенергетском зрачењу усмереном ка детектору.

Ако детектор користимо за мерење спектра гама зрачења, дистрибуција броја регистрованих гама кваната у функцији енергије биће дата са:

$$N(E) = \int S(E')R(E, E')dE'$$

где је  $R(E, E')$  одзивна функција детектора на упадној енергији  $E'$ , а  $S(E')$  је енергетски спектар гама зрачења. Да би познавали спектар гама зрачења из дистрибуције пикова неопходно је познавати одзивну функцију детектора  $R(E, E')$ .

## I 1.5. Време одзива

Веома важна карактеристика детектора је време одзива. Ово је време потребно да се генерише сигнал након пристизања зрачења у детектор. То је веома битно за временску карактеристику детектора. Пожељно је да ово време буде што је могуће краће.

Време трајања сигнала је такође важна карактеристика. У току овог периода, други догађај не може бити регистрован јер детектор није осетљив на зрачење, или ће се други догађај сумирати са првим. Ако се други догађај сумира са првим онда сигнал мења облик. Овакве сигнале је могуће одбацити одговарајућим колом. Ефекат се зове насумично сумирање. Ово доприноси такозваном мртвом времену бројача и ограничава да стваран број упадних фотона буде регистрован.

## I 1.6. Ефикасност детектора

Ефикасност се у експерименталној физици, уопште узев, дефинише као однос реакције неког инструмента и вредности физичке величине која се мери. У спектрометрији фотона та физичка величина је брзина емисије фотона дате енергије, а мерена величина је брзина бројања. У гама спектрометрији уобичајни су следећи појмови везани за ефикасност: Релативна ефикасност је номинална перформанса детектора која представља однос ефикасности гама зрака од 1332 keV из  $^{60}\text{Co}$  према ефикасности стандардног сцинтилационог детектора са кристалом NaI(Tl) величине 3"×3".

Апсолутна ефикасност врха укупне енергије је однос површине врха укупне енергије у мереном спектру према броју гама зрака емитованих из извора. Из ње се одређује активност радионуклида у извору, а она, поред осталог, зависи и од геометријске поставке извор-детектор. Апсолутна тотална ефикасност је однос одброја на ма ком месту у спектру према броју гама зрака емитованих из извора. Овде се узима у обзир врх укупне енергије и све некомплетне апсорпције представљене комптонским континуумом.

Сопствена ефикасност је однос одброја у спектру према броју гама зрака који падну на детектор. Може се дефинисати као сопствена ефикасност врха укупне енергије или као сопствена тотална ефикасност. Ова ефикасност је основну параметар детектора и независна је од геометрије извор-детектор.

## I 1.7 Мртво време

То је коначан интервал времена потребан да детектор процесира догађај који је обично једнак времену трајања сигнала. У зависности од типа детектора, детектор може бити али и немора бити осетљив у интервалу мртвог времена.

Германијумски спектрометри нису осетљиви у интервалу мртвог времена, тј. свака информација о фотону који упадне у детектор у току мртвог времена је изгубљена.

## II Задаци

### II 1. Енергетска калибрација

Извршити калибрацију канала не енергију користећи пикове  $^{60}\text{Co}$  на енергијама  $1173.23 \text{ keV}$  и  $1332.51 \text{ keV}$ . Снимати спектар  $^{60}\text{Co}$  до формирања јасних пикова облика гаусијана.

### II 2. Одређивање зависности коефицијента слабљења гама зрачења од енергије, $\mu(E)$

Користећи радиоактивни извор са великим бројем гама линија одредити коефицијент слабљења гама зрачења олова за различите енергије гама зрачења.

Проценити грешке мерених величина