

Упражнение № 9. ПРЕМИНАВАНЕ НА ТЕЖКИ ЗАРЕДЕНИ ЧАСТИЦИ ПРЕЗ ВЕЩЕСТВОТО. ЙОНИЗАЦИОННИ ЗАГУБИ НА АЛФА-ЧАСТИЦИ ВЪВ ВЪЗДУХ. ПОСТРОЯВАНЕ КРИВАТА НА БРЯГ С ПОВЪРХНОСТНО-БАРИЕРЕН СИЛИЦИЕВ ДЕТЕКТОР.

1. Поставяне на експерименталните задачи

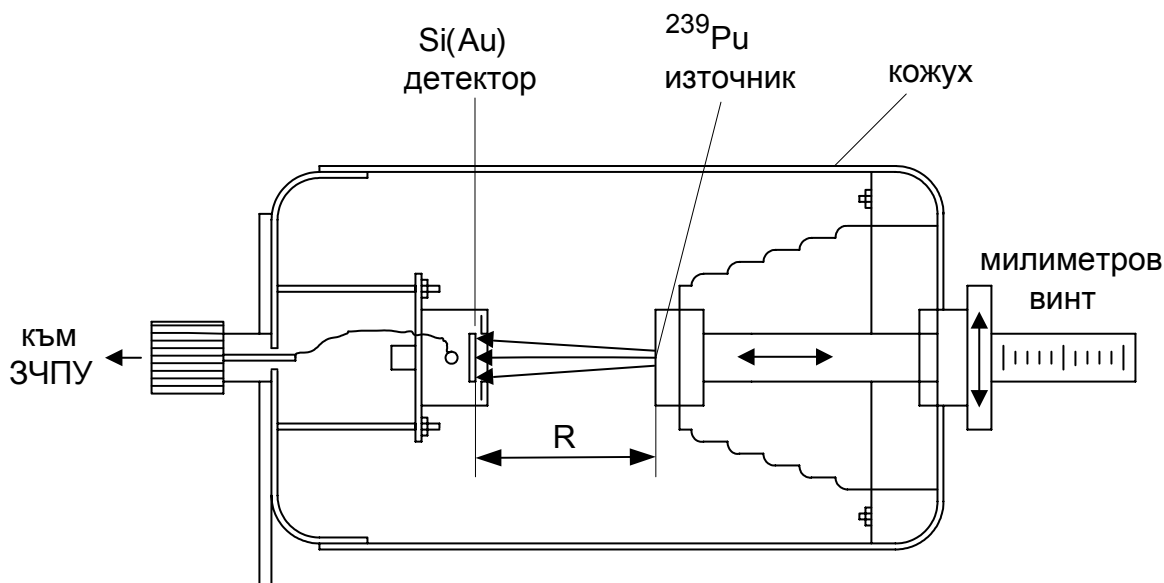
- Да се изследва експериментално изменението на енергията на α -частици от източник ^{239}Pu след преминаването им през слой въздух с определена дебелина R .
- Да се построи кривата на Бряг за специфичните йонизационни загуби $\Delta E/\Delta x$ в зависимост от дебелината на слоя въздух R .

2. Апаратура

- Крейт стандарт-NIM
- Повърхностно-бариерен полупроводников детектор – Si(Au)
- Зарядочувствителен предусилвател тип – NV-805 (Hungary)
- Източник на високо напрежение за детектора тип – N-DS-250 (Venzel Elektronik)
- Спектрометричен усилвател с формиране тип – 4225 (CANBERRA)
- Многоканален амплитуден анализатор (състоящ се от: ADC-БАП-5, интерфейсна платка, РС – 286 или по-висок, с инсталирана програма ANL).

3. Бележки по опитната постановка

Схемата на опитната постановка е показана на фигура 9-1.



Фигура 9-1 Схема на опитната постановка

В светонепроницаем кожух, по оста, е закрепен неподвижно повърхностно-барьерен полупроводников **Si(Au)** детектор, посредством който се измерва **остатъчната енергия на α -частиците**, след преминаването им през определен слой въздух с дебелина **R**.

В същия кожух е монтиран α -източник ^{239}Pu ($E_{\alpha} = 5156 \text{ keV}$), който посредством милиметров винт може да се приближава или отдалечава от детектора. Разстоянието между източника и детектора се отчита по милиметровия винт с точност до 0,5 mm. По понятни причини, разстоянието между източника и детектора не може да бъде 0. Обръщаме внимание, че **на нулевото деление на милиметровия винт съответства $R = 5 \text{ mm}$**

ВНИМАНИЕ! Забранява се въртенето на милиметровия винт в посока "приближаване" след нулевото деление, тъй като α -източникът ще се допре до детектора.

Сигналът от детектора се подава на спектрометричен тракт, който се състои от Зарядочувствителен предусилвател (ЗЧПУ), Спектрометричен усилвател и Многоканален амплитуден анализатор (РС с инсталирана управляваща и

обработваща **програма ANL**). В случая амплитудните спектри се набират в групи от по **128 канала**. На разположение са **16 групи** по 128 канала.

Изискванията към разделителната способност по енергия на системата не са особено високи, тъй като използваният източник ^{239}Pu е „дебел” – неспектрометричен (което личи от „опашката” на α -линията към ниските енергии, дължаща се на самопоглъщане в източника). Линията се разширява допълнително и след преминаването на α -частиците през определения слой въздух.

За това упражнение е зададено: **0 дел. \Rightarrow R = 5 mm, $E_{\alpha} = 4733 \text{ keV}$** , тъй като на началните 5 mm пробег α -частиците са загубили 422 keV С тази α -линия се извършва калибровката по енергия на системата.

4. Теоретични бележки

За подробности се отнесете към лекциите „**Полупроводникови детектори**” и „**Взаимодействие на заредени частици с веществото**” в Записките към **Курса по ЕЯФ**)

1) Известно е, че основният тип **загуби на енергия** при взаимодействието на **тежки заредени частици** (α -частиците са такива) с веществото са **йонизационните загуби**. При тях α -частиците **взаимодействат с електроните** от обвивките на атомите на поглъщащата среда, предизвикват **йонизация**, като губят енергията си на **малки порции и не променят посоката си на движение**. Останалите типове взаимодействия (Ръдърфордско разсейване, Радиационни загуби, Ефект на Черенков) в случая са **без значение**.

За характеризиране на това взаимодействие се въвежда величината **специфични йонизационни загуби** - dE/dx (загуби на енергия на единица път през средата).

Специфичните йонизационни загуби се дават с формулата на Бете (с въвеждане на кинетичната енергия на частицата и в нерелативистко приближение) като:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi e^4 N_A}{m_e c^2} \frac{z^2 M c^2}{2T} \frac{\bar{Z}}{\bar{A}} \rho \ln\left(\frac{2m_e c^2}{\bar{I} \cdot 10^{-6}} \frac{2T}{M c^2}\right)$$

където:

z - заряд на частицата в единици електричен товар

$2T$ - кинетична енергия на частицата

$M c^2$ - маса на покой на частицата

\bar{I} - среден йонизационен потенциал на атомите на поглъщащата среда

\bar{Z} - среден атомен номер на поглъщащата среда

\bar{A} - средно масово число на поглъщащата среда

N_A - число на Авогадро

Като имаме предвид, че $e^2 = \alpha \hbar c = 1,445 \cdot 10^{-13}$ [MeV.cm]; $e^4 = 2,089 \cdot 10^{-26}$ [MeV².cm²], по-долу е приведена формулата, удобна за **практически пресмятания**:

$$-\frac{dE}{dx} = 0,308 \frac{z^2 M c^2}{2T} \frac{\bar{Z}}{\bar{A}} \rho \ln\left(\frac{1,022 \cdot 10^6}{\bar{I}} \frac{2T}{M c^2}\right) \text{ в [MeV/cm]}$$

където: T и $M c^2$ са в [MeV]; \bar{I} е в [eV]; ρ е в [g/cm³]; z , \bar{Z} , \bar{A} са безразмерни.

За въздуха: $\bar{I} = 94$ eV; $Z/A = 0,5$; $\rho = 1,22 \cdot 10^{-3}$ g/cm³; $M c^2 = 4 \times 938$ MeV.

Задача: Пресметнете dE/dx в [keV/mm] за α -частиците на ²³⁹Pu - $E_\alpha = 5156$ keV

Интересно е, че в тази формула не влиза масата M на падащата частица (отношението $M c^2/2T$ не зависи от масата). В такъв случай йонизационните загуби за частици с еднакъв заряд и скорост са еднакви. Средния йонизационен потенциал обикновено се измерва опитно и е известен.

От формулата на Бете се вижда, че когато скоростта на частицата V намалява, специфичните йонизационни загуби dE/dx нарастват като $\sim 1/V^2$. Този факт се изразява в силното нарастване на dE/dx в края на пробега. Обяснението е, че при

намаляване на скоростта на частицата времето за пребиваване в близост до атома се увеличава, което води до увеличаване на вероятността за йонизация.

В самия край на пробега, когато енергията, която α -частицата може да предаде на атомен електрон, стане равна на средния йонизационен потенциал, то $dE/dx \rightarrow 0$

(виж логаритмичния множител във формулата на Бете). Пробеget на α -частиците на ^{239}Pu - $E_\alpha = 5156 \text{ keV}$ във въздух при нормални условия е $R = 37 \text{ mm}$, след това разстояние величината dE/dx губи физически смисъл.

2) Зависимостта на специфичните йонизационни загуби dE/dx от изминатия път R на частицата във веществото е позната като **крива на Бряг**. Тя показва всички характерни особености на поведението на dE/dx , които бяха коментирани по-горе. В нашия случай се строи **зависимостта на $\Delta E/\Delta x$ [keV/mm]** (Δ - поради това, че се работи с **крайни разлики**) от **дебелината R [mm]** на преминатия от α -частицата слой въздух.

4. Изпълнение на експерименталната задача

1) Апаратурата се подготвя за работа, включва се и се прогрява за около 1 час.

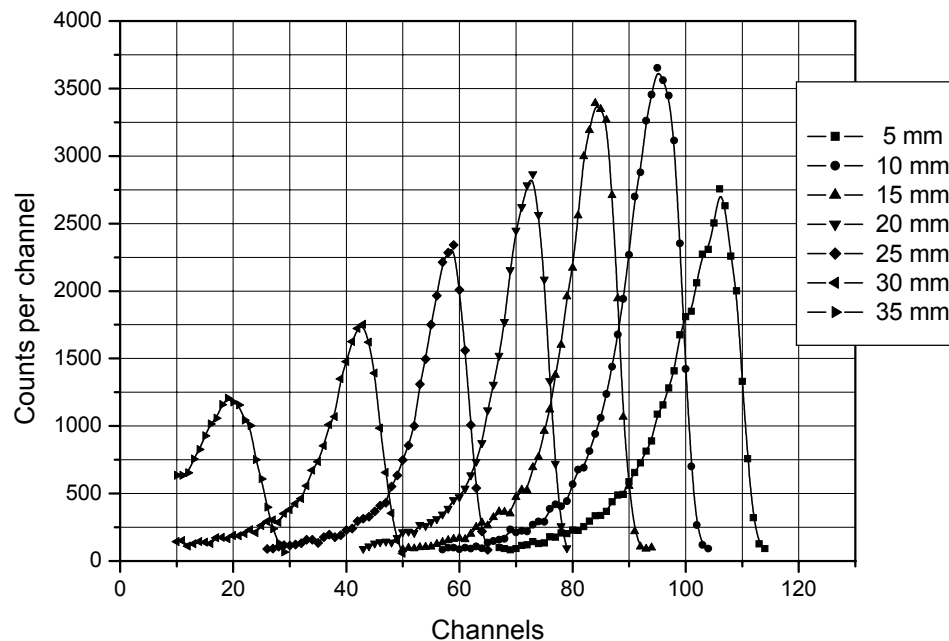
2) Последователно се набират амплитудните спектри при положения на милиметровия винт **0, 5, 10, 15, 20, 25 и 30 деления**, които съответстват на разстояния между източника и детектора **$R = 5, 10, 15, 20, 25, 30$ и 35 mm** .

Всеки следващ спектър се набира в **следващата група от 128 канала** (за превключването на групите напред и назад вижте упътването на програмата **ANL**).

Както е известно, интензитетът на **α -линията** зависи от разстоянието между източника и детектора, като $\sim 1/R^2$, поради това всеки следващ спектър се набира **с една минута повече** от предния. Първият спектър (**$R = 5 \text{ mm}$**) се набира **1 минута**. Последователното увеличаване на времето на набиране на амплитудните спектри се прави с цел да се компенсира отчасти тази зависимост и да се получи добра статистика (добре очертани максимуми) при големите разстояния.

5. Обработка на експерименталните данни

След набиране на експерименталните данни се разполага с амплитудните спектри на α -линията за 7 различни разстояния R . Приблизителният им вид е показан на фигура 9-2.



Фигура 9-2 Поведение на α -линията за различни разстояния R_i между източника и детектора

На горната фигура, за нагледност, амплитудните спектри са **показани заедно**. Фактически те са набрани в **7 различни групи** от по 128 канала.

1) Извършете **калибровка по енергии** по описаната в упътването на програмата **ANL** процедура, като използвате α -линията: **0 дел. \Rightarrow $R = 5$ mm, $E_\alpha = 4733$ keV.**

Калибровката е от най-прост вид – по една линия, като **се подразбира**, че характеристиката на преобразуване на анализатора е линейна и **минава през нулата**.

2) Определете **остатъчната енергия** E_i на α -частиците за всяко едно от разстоянията R_i .

След като е извършена калибровка по енергии, за определянето на енергията (програма **ANL**) е достатъчно активният курсор да бъде поставен в максимума на **α -линията** и да бъде записана енергията, която му съответства.

Да се има предвид, че съществуват две „скрити“ точки: **$R = 0 \text{ mm}$, $E_\alpha = 5156 \text{ keV}$** и **$R = 37 \text{ mm}$, $E_\alpha = 0 \text{ keV}$** (по литературни данни).

3) За построяване на **Кривата на Бряг** е необходимо:

A) За всеки един от интервалите по **R** : [0,5], [5,10], [10,15],.....[35,37] да се определят разликите:

$$\Delta E = E_i - E_{i+1} \text{ [keV]} \text{ и}$$

$\Delta x = R_{i+1} - R_i$ [mm], навсякъде **$\Delta x = 5 \text{ mm}$** , с изключение на **последния интервал [35,37]**, където **$\Delta x = 2 \text{ mm}$** .

B) За всеки един от интервалите **пресметнете $\Delta E/\Delta x$** в [keV/mm] – специфичните йонизационни загуби в термини на крайни разлики.

Стойността на **$\Delta E/\Delta x$** се отнася за **средата на съответния интервал**:

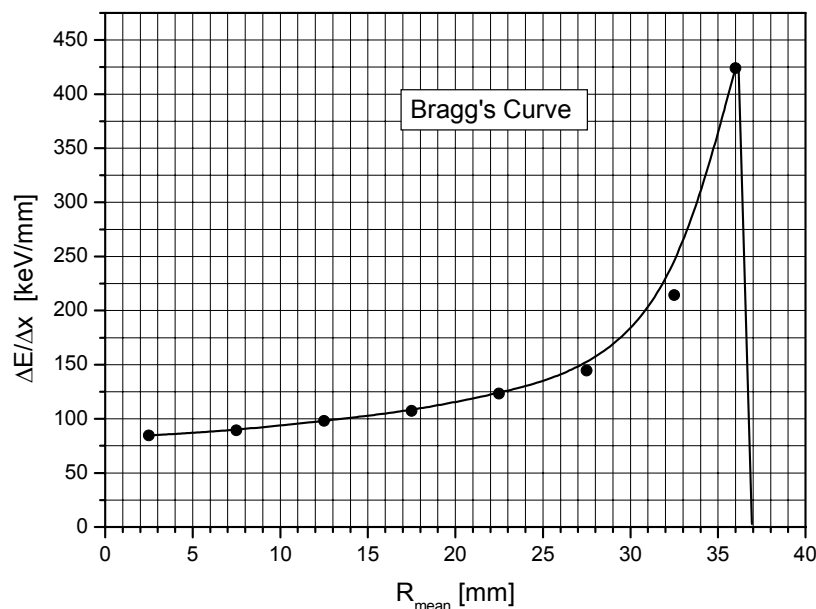
$$R_{\text{cp}} = \frac{R_i + R_{i+1}}{2} \text{ (средно аритметично от краищата на интервала).}$$

За удобство при обработката, резултатите могат да бъдат оформени в следната таблица:

E_i [keV]	R_i [mm] (дел.)	R_{cp} [mm]	ΔE [keV]	Δx [mm]	$\Delta E/\Delta x$ [keV/ mm]
5156	0	2,5	422	5	84,4
4733	5 (0)	7,5	-	5	-
-	10 (5)	12,5	-	5	-
-	15 (10)	17,5	-	5	-
-	20 (15)	22,5	-	5	-
-	25 (20)	27,5	-	5	-
-	30 (25)	32,5	-	5	-
-	35 (30)	36	-	2	-
0	37				

С) Постройте графично зависимостта на $\Delta E/\Delta x$ от R_{cp}

Нейният приблизителен вид е показан на фигура 9-3.



Фигура 9-3 Крива на Бряг

Графиката показана по-горе, е позната като **Крива на Бряг** и дава зависимостта на специфичните йонизационни загуби на енергия на α -частиците от пробегата им във въздух.

За оформянето на графиката, се препоръчва използването на подходящи графични програми (например програмата **ORIGIN**, която е инсталирана на компютрите в лабораторията по ЕЯФ).

Като илюстративен материал към това упражнение са използвани експериментални данни, получени от студентите по време на занятия в лабораторията.

Напомняме, че **експерименталните данни** получени във всеки отделен експеримент **са уникални**, поради **статистическия характер** на измерваните величини и някои изменения в условията на експеримента.