

Упражнение №1. ГРАДУИРОВКА И ИЗМЕРВАНЕ С ЕДНОКАНАЛЕН АМПЛИТУДЕН АНАЛИЗАТОР СЪС СЦИНТИЛАЦИОНЕН ДЕТЕКТОР

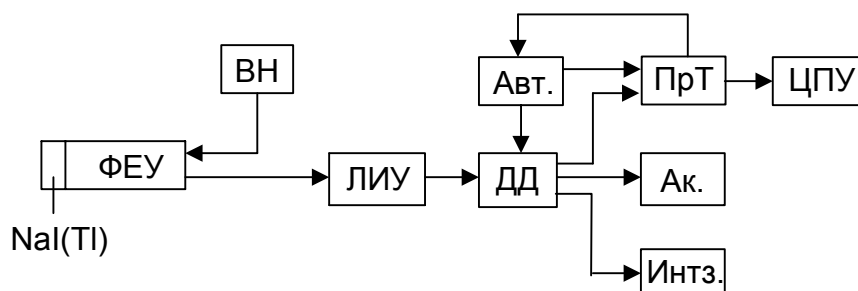
1. Поставяне на експерименталните задачи

- Да се извърши **калибровка по енергии** на едноканален амплитуден анализатор със сцинтилационен детектор посредством комплект калибровъчни източници.
- Да се определи **разделителната способност** по енергии за линията 661,5 keV на ^{137}Cs .
- Да се построи **амплитуден спектър на ^{226}Ra** . Да се определят енергиите на някои добре отделени линии в спектъра. Да се **идентифицира** линията 609 keV.
- От експерименталните данни за линията 609 keV, да се пресметне **активността** на дъщерния ^{214}Bi .

2. Апаратура. Бележки по опитната постановка

Сцинтилационен детектор (тип **ND-420** – Hungary) с кристал **Nal(Tl)** с размер $\varnothing 76/50$ mm с емитерен повторител. Кристалът е достатъчно голям, което осигурява висока ефективност за регистрация на високоенергийни γ -кванти. Детекторът е разположен в **Pb-защита** (тип **NZ-420** – Hungary) с дебелина 25 mm.

Едноканален амплитуден анализатор тип **20160** (GDR). Анализаторът се състои от следните по-важни блокове (виж фигура 1-1):



Фигура 1-1 Блок-схема на едноканален амплитуден анализатор със сцинтилационен детектор.

Източник на стабилизирано високо напрежение (ВН) тип **20105** с изменяема полярност и напрежение до 4 kV, разделено в три обхвата. В случая се работи с **отрицателна полярност** в обхвата 0-2 kV. Изходящото напрежение се регулира плавно от 0 до 2 kV посредством хеликоидален потенциометър (1), като на 100 деления на хелипота съответстват 200 V. Грубото отчитане на високото напрежение може да стане по стрелковия прибор, монтиран на предния панел на блока.

Линеен импулсен усилвател (ЛИУ) тип **20111**. Линеиния импулсен усилвател усилва и формира получените от сцинтилационния детектор отрицателни импулси и има максимален коефициент на усилване 1000, който се мени стъпално - **VERSTARKUNG** - ключове (2) и (3). Усилването е дадено в **db**. Импулсите се формират с различни времеконстанти от 0,1 до 10 μ s - ключ (4). Формирането се състои в единично пасивно диференциране и активно интегриране. Изборът на времеконстантите се определят от вида на детектора (от формата на входящия импулс) и за сцинтилационен детектор с кристал **Nal(Tl)** е 1 μ s. Изходящият импулс е биполярен с положително нарастване, с амплитуда до 10 V.

Диференциален дискриминатор (ДД) тип **20120**. От ЛИУ импулсите постъпват в ДД, където се извършва анализа им по амплитуди. Прага - **PEGEL** - (5) и прозореца - **KANALBREITE** - (6) се изменят плавно посредством хелипоти. При снемане на амплитудни спектри стъпката на изменение на прага (5) трябва да съответства на ширината на прозореца (6). С ключ (7) - **TOTZEIT** - се регулира мъртвото време на анализатора, което в този случай е 1 μ s. С ключ (8) се подбира режима на работа на ДД. В положение **INT-INT** снемането на спектрите се извършва при ръчно управление на прага и прозореца. В положение **INT-EXT**, както е в случая, установяването на прозореца става ръчно - задава се **ширина на прозореца 0,1 V**, а командването на прага е външно (автоматично) от блока (**Авт.**). Изходящия импулс от ДД е стандартен, правоъгълен, с амплитуда 10 V и отрицателна полярност. Той се изпраща към следващите блокове – преброител с таймер (**ПрТ**), акустика (**Ак.**) и линеен интензиметър (**Интз.**). Последните два блока не се използват.

Преброител с таймер (ПрТ) тип **51021**. Той може да работи при два режима – задаване на определен брой импулси, като времето за набирането им се отчита

по цифровия панел и – задаване на определено време, като броя импулси се отчита по цифровия панел. В случая се работи в режим набиране на импулси за **предварително зададено време** - ключ (14) - **VORWAHL** - е на положение **ZEIT-INT**. Времето за измерване на броя импулси за една стъпка на прага се задава с - **VORWAHL** - ключове (12) и (13). Включването за набиране на импулсите става посредством бутона **START** (9). След изтичане на зададеното време преброителя спира - светва бутона **STOP** (10). Нулирането на цифровия панел става посредством бутона **BO** (11). Ключ (16) - **BETRIEBSART** - при ръчно измерване трябва да бъде в положение **MES**, а при автоматично – **AUT**. В случая се работи в **автоматичен режим** с предварително зададено време на измерване.

Блок автоматика (Авт.) тип **20132**. Този блок по същество представлява цифрово-аналогов преобразувател. Числата, показани на цифровия панел, съответстват на аналоговото напрежение, изработено на изхода. Това напрежение се използва за командване на прага на ДД в автоматичен режим на снемане на амплитудни спектри. Ключ (17) - **PEGELSTUFEN** - определя стъпката на изходящото напрежение (стъпката на изменение на прага на ДД), като тя **трябва да е равна на ширината на прозореца** (6). В случая, стъпката трябва да бъде също **0,1 V**, така че получените спектри ще бъдат **100-канални**. Изменението на прага **започва от максималната му стойност 10 V** към 0 V (т.е. от високите към ниските канали на спектъра – да се има предвид при обработката на спектрите!). Ключ (18) трябва да бъде в положение **DISCONT** (прекъснат), като тогава се изработва аналоговия сигнал, който поддържа прагът на ДД постоянен по време на набирането. Набраните от преброителя импулси по команда от автоматиката се отпечатват на **цифропечатащата машина (ЦПУ)** тип **23144**.

След отпечатването, прагът се променя с една стъпка и цикълът се повтаря.

3. Теоретични бележки

За подробности се отнесете към лекциите „Сцинтилационни детектори” и „Гама-спектрометрия” в Записките към **Курса по ЕЯФ**

Калибровката по енергии на спектрометъра се състои в намирането, в числов и/или графичен вид, на зависимостта на енергията от номера на канала, която е **линейна** и се дава с:

$$E(Ch) = a \cdot Ch + b$$

Където:

E(Ch) – енергия на гама-линията в [keV]

Ch – номер на канала на максимума на съответния фотопик

a – ъглов коефициент на правата в [keV/Chann.]

b – свободен член в [keV]

Очевидно, за намиране на зависимостта **E(Ch)** са необходими **поне две калибровъчни точки**. В случая се използват 5 точки, което позволява по-точното ѝ намиране (например чрез фитиране с права).

След провеждането на калибровката по енергии, може да бъде определена енергията на неизвестна линия в спектър (набран при същите условия) по позицията (**Ch**) на максимума на нейния фотопик.

Активността на даден нуклид може да се определи от „чистата” площ (**S_p**) на фотопика на неговата аналитична гама-линия. Тази площ, за геометрия на измерване „точков източник”, се дава като:

$$S_p = A I_i t \varepsilon(E_i) \Omega \quad [\text{imp}]$$

Където:

A - активност на нуклида в [Bq] [разп/s] ($3,7 \cdot 10^{10}$ Bq = 1 Ci);

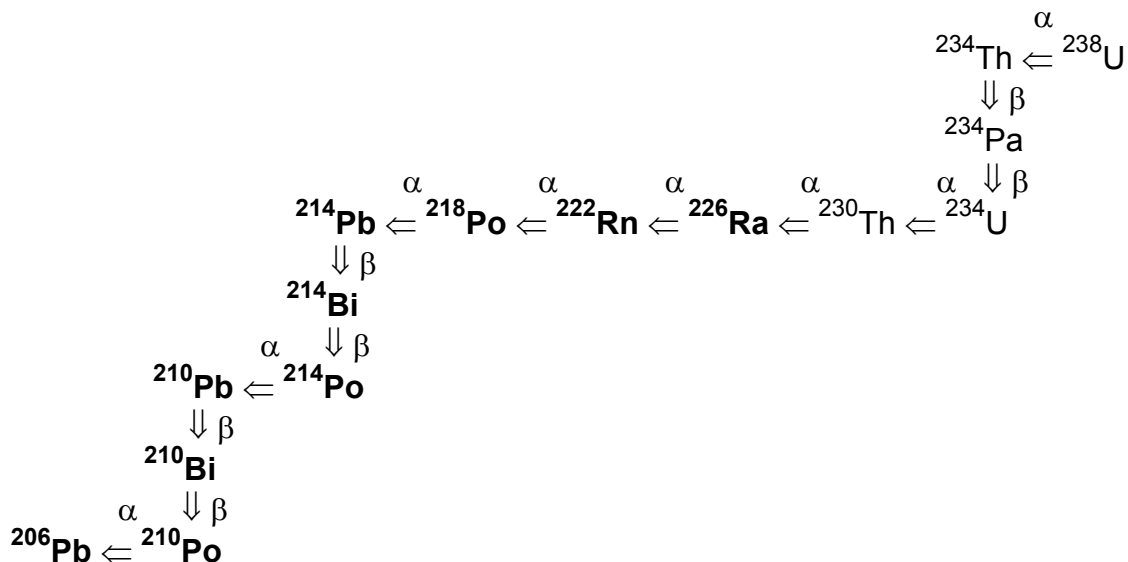
I_i - квантов добив на гама-прехода с енергия **E_i** в [γ -кванти/разпадане] - характерен за всеки преход в схемата на разпадане на нуклида (по литературни данни);

t - време за набиране [s];

Ω - относителен пространствен ъгъл спрямо 4π (източникът излъчва изотропно), под който се вижда сечението на кристала **NaI** от мястото на източника (за геометрия „точков източник”);

$\varepsilon(E_i)$ – абсолютна ефективност - вероятността гама-квант с енергия E_i , излъчен в пространствен ъгъл Ω , да се погълне в обема на детектора чрез фотоефект (пълно поглъщане) (за „точкова“ геометрия на измерване).

В упражнението се предлага да се определи активността на ^{214}Bi , който е един от дъщерните нуклиди във веригата на разпадане на ^{226}Ra (фигура 1-2). Тъй като периодите на полуразпадане на дъщерните продукти (дадени с **болд**) са много по-къси от този на ^{226}Ra , то „**вековото равновесие**“ настъпва сравнително бързо (при условие, че благородният газ ^{222}Rn **не напуска** източника). Това означава, че дъщерните нуклиди имат същата активност както майчиния ^{226}Ra .



Фигура 1-2 Ураново семейство.

Активността на ^{214}Bi се определя по площта на фотопика (S_p) на линията с енергия $E_\gamma = 609 \text{ keV}$ ^{214}Bi . Квантовия добив (I_i) на линията с енергия 609 keV в схемата на разпадане на ^{214}Bi е **0,47** (т.е. 47 γ -кванта на 100 разпадания).

4. Изпълнение на експерименталната задача.

Анализаторът се подготвя за работа, включва се и се прогрива за около 1 час.

1) На определеното място над детектора, последователно се поставят „точкови“ калибровъчни източници ^{241}Am ($E_\gamma = 59,54 \text{ keV}$); ^{133}Ba ($E_\gamma = 356,0 \text{ keV}$); ^{137}Cs ($E_\gamma =$

661,5 keV) и ^{60}Co ($E_{\gamma 1} = 1173,2 \text{ keV}$; $E_{\gamma 2} = 1332,5 \text{ keV}$) (от комплекта **AMERSHAM**).

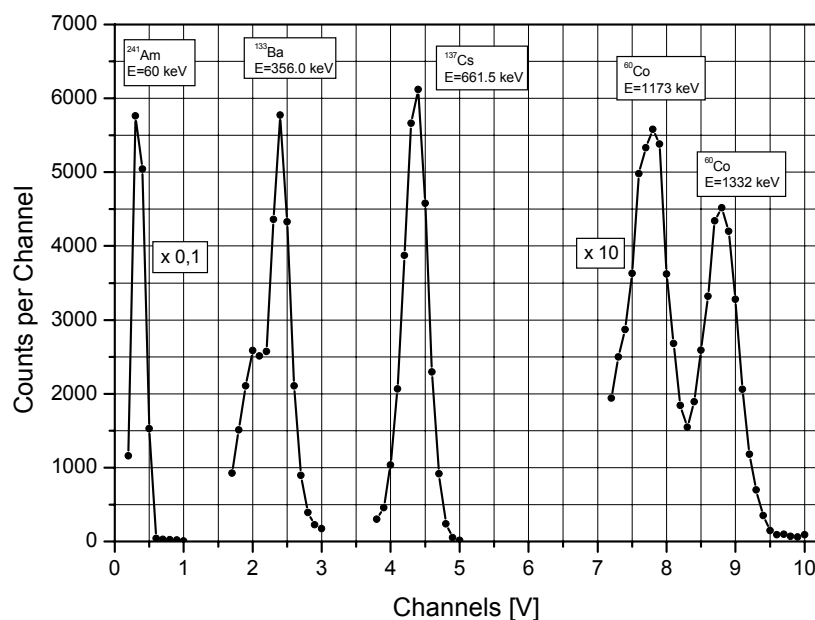
В автоматичен режим се снима амплитудният спектър на всеки един от източниците. Може да бъде набрана само част от съответния спектър, която обаче задължително трябва да включва калибровъчните фотопикове.

2) Без да се изменят настройките на анализатора, на определеното място се поставя радиоактивния източник - ^{226}Ra - в равновесие с разпадните си продукти. Снема се пълният амплитуден спектър на ^{226}Ra .

5. Обработка на експерименталните резултати

При обработките, описани по-долу, се препоръчва използването на графични програми (напр. **ORIGIN**, която е налична на PC в лабораторията по ЕЯФ).

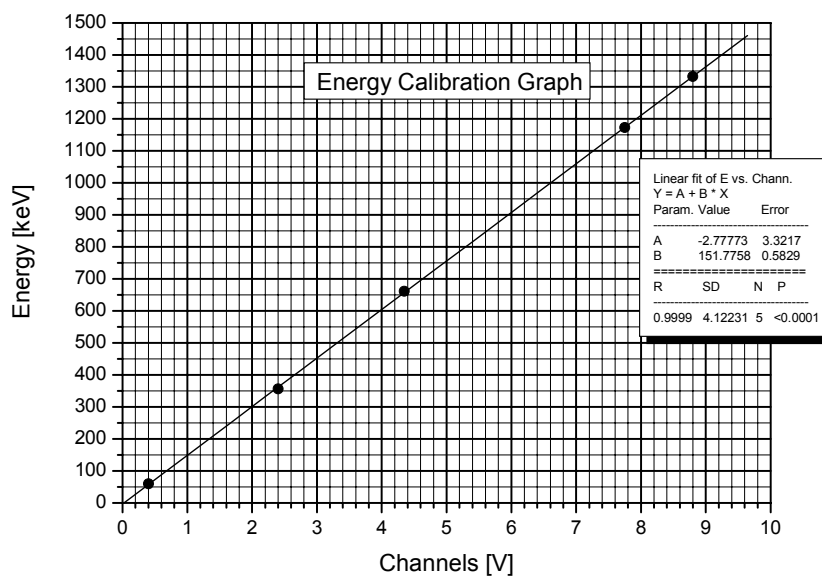
1) На една графика се начертават амплитудните спектри на ^{241}Am , ^{133}Ba , ^{137}Cs и ^{60}Co (може да се начертаят само фотопиковете, а не целите спектри). От нея се определят **позициите на максимумите** във [V]. Графиката трябва да има **приблизително** вида показан на фигура 1-3.



Фигура 1-3 Калибровъчни спектри

Построява се графично **калибровъчната права E(Ch)**, като енергията се нанася по ординатата, а напрежението - по абсцисата. През експерименталните точки се прекарва „най-добрата” права линия (препоръчва се фитиране на експерименталните данни с права).

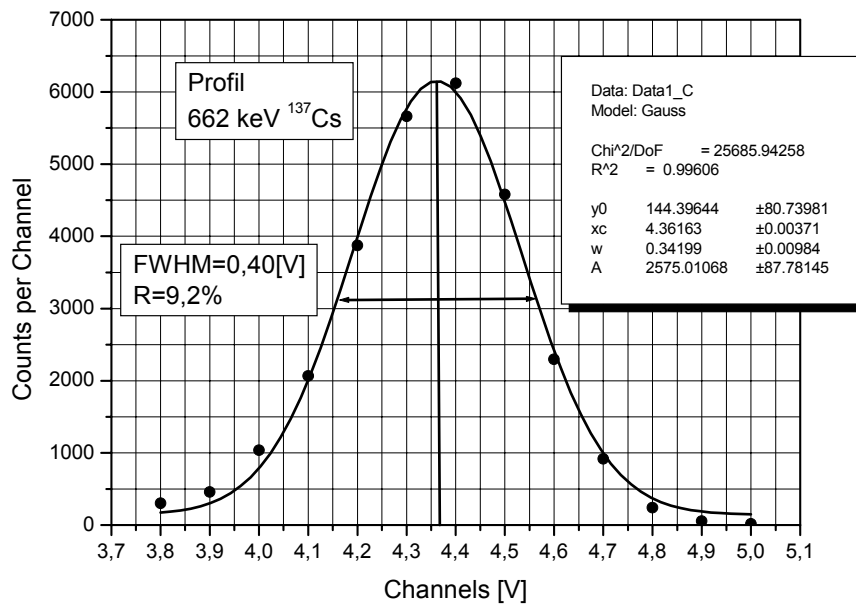
Калибровъчната права трябва да има приблизително вида, показан на фигура 1-4.



Фигура 1-4 Калибровка по енергии

От обработката на резултатите се вижда, че правата практически минава през началото на координатната система (свободният член е равен на -2,8 keV). Наклонът на калибровъчната права е 151,8 keV/V (т.е.- 15,2 keV/Chann., тъй като ширината на канала е 0,1V).

2) Начертайте профила на линията **661,5 keV на ^{137}Cs** (от калибровъчните спектри), за да определите **разделителната способност по енергия** на спектрометъра за тази енергия. Приблизителният ѝ вид е показан на фигура 1-5.



Фигура 1-5 Към определяне на разделителната способност по енергия за 661,5 keV на ^{137}Cs

На горната фигура профилът на линията е фитиран с Гаусова функция. (Заб.: В параметрите на фита – $W = 2\sigma$. Обръщаме внимание, че **полуширината** на Гаусиана е: $FWHM = 2\sigma\sqrt{2\ln 2} = 2,354\sigma$).

От експериментално определената полуширина (**FWHM**) на линията, се изчислява разделителната способност по енергия **R** на спектрометъра за тази линия, като:

$$R = \frac{\Delta E}{E} \times 100 \quad [\%]$$

където:

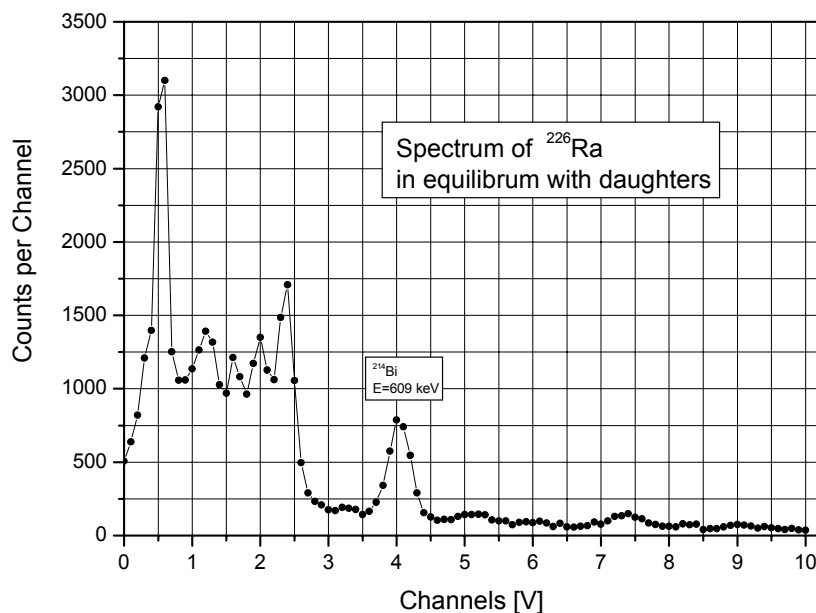
ΔE - полуширина на линията във [V] (аббревиатурата **FWHM**: пълна ширина на половината от максимума);

E – позиция на максимума на линията във [V].

(Заб. ΔE и **E** могат да бъдат изразени във [V], [Chann.] или [keV])

3) Начертава се експерименталния амплитуден **спектър на ^{226}Ra** . За някои от добре очертаните линии се определя позицията на максимумите и от калибровката по енергия се определя тяхната енергия.

Приблизителният вид на експерименталния спектър на ^{226}Ra в равновесие с дъщерните си нуклиди (вкл. ^{214}Bi) е показан на фигура 1-6.

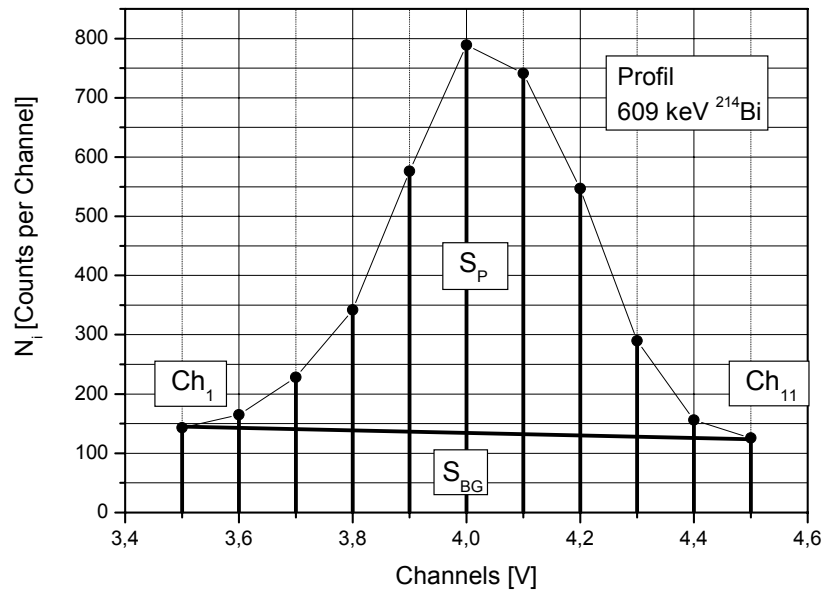


Фигура 1-6 Спектър на ^{226}Ra в равновесие с дъщерните си нуклиди

В спектъра идентифицирайте линията 609 keV на ^{214}Bi , която ще бъде използвана за определяне на неговата активност.

4) За определяне на **активността A**, е необходимо да се намери „чистата“ **експериментална площ S_p** на линията 609 keV. Линията лежи върху значителна „подложка“ от непрекъснатата компонента на спектъра (виж фигурата по-горе), която трябва да бъде отстранена.

За целта се избират два канала (например **Ch1** и **Ch11**), които ограждат линията и лежат в подложката. (виж фигура 1-7).



Фигура 1-7 Към определяне на „чистата” площ S_P на линията 609 keV

Интегралната площ S_{INT} се намира като:

$$S_{INT} = \sum_{i=1}^{11} N_i, \text{ където } N_i \text{ е бройката в каналите от 1 до 11}$$

Площта на „трапеца” на подложката S_{BG} се намира като:

$$S_{BG} = \frac{N_1 + N_{11}}{2} \times 11$$

Тогава „чистата” площ е: $S_P = S_{INT} - S_{BG}$ [imp].

За пресмятането на активността е необходимо да се пресметне относителния пространствен ъгъл Ω (за дадения случай при фиксирана „точкова” геометрия на измерване) като:

$$\Omega = \frac{\pi r^2}{4 \pi R^2}$$

където:

$r = 3,8 \text{ cm}$ е радиусът на кристала **NaI** и

$R = 9,1 \text{ cm}$ е разстоянието между източника и кристала.

В крайна сметка **активността A** на ^{214}Bi (^{226}Ra) се пресмята по формулата:

$$A = \frac{S_p}{I_i \Omega \varepsilon(609) t} \quad [\text{Bq}]$$

където:

S_p – чиста площ на линията 609 keV в [бр. импулси] (определена експериментално);

$I_i = 0,47$ – квантов добив за линията 609 keV в [γ -кванти/разпадане] (литературни данни);

Ω - относителен пространствен ъгъл (да се пресметне);

$\varepsilon(609) = 0,28$ – абсолютна ефективност за пълно поглъщане на 609 keV за използвания кристал **NaI** (литературни данни);

t – време за набирание в 1 канал в [s] (**не умножавайте времето** по броя на каналите в линията!)

Превърнете получената активност от A [Bq] в A [Ci], като имате предвид, че $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$. Сравнете я с регистрираната активност на източника ^{226}Ra 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.