

Упражнение №4. **ГАМА-СПЕКТРОМЕТЪР С ВИСОКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ С HpGe-ДЕТЕКТОР. СЧЕМАНЕ НА ГАМА-СПЕКТРИ. ОБРАБОТКА НА СЛОЖЕН ГАМА-СПЕКТЪР.**

1. Поставяне на експерименталните задачи

- Да се набере спектъра на ^{226}Ra (в равновесие с дъщерните нуклиди) и да се извърши **калибровка по енергии на γ -спектрометъра**.
- Да се набере спектъра на ^{152}Eu и да се определят **енергиите и относителните интензивности на γ -линиите** в спектъра.
- Да се **идентифицират γ -преходите** и да се отнесат към схемата на възбудените състояния на конкретното дъщерно ядро ^{152}Gd или ^{152}Sm .
- Да се определи **коэффициента на вътрешна конверсия** на прехода 121,8 keV по **баланса на интензивностите** за нивото 121,8 keV.

2. Апаратура

Спектрометричен тракт:

- **Крейт стандарт-NIM**
- **HpGe детектор** тип – **GEM ser.** (ORTEC), паспортни данни: относителна ефективност 33,1% (за 1332 keV на ^{60}Co), FWHM – 1,71 keV (за 1332 keV на ^{60}Co), отношение пик/Комптон – 69,6. Работно напрежение +1100 V.
- **Нискофонова защита:** Pb – 120 mm, Cd – 1 mm, Cu – 1 mm
- **Зарядо-чувствителен предусилвател – интегриран в детектора**
- **Блок високо напрежение** тип – **459** (ORTEC). Работи се в обхват 0-5000 V.
- **Спектрометричен усилвател** тип – **672** (ORTEC)
- **Многоканален анализатор** тип – **CANBERRA-40**.

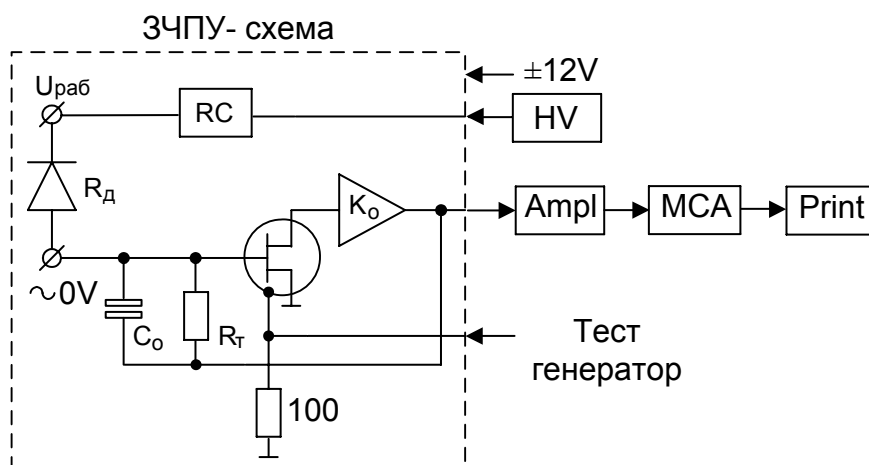
3. Бележки по опитната постановка

Принципната схема на спектрометричния тракт е показана на фигура 4-1.

Спектрометричният тракт се състои от:

Детектор за гама-кванти от коаксиален тип, изработен от свръхчист германий с два изолирани края. Частиците, които генерират носители на заряд в чувствителния обем на детектора са **бързи електрони, получени при взаимодействието на γ -квантите посредством фотоефект**. Поради големия брой носители, генерирани при всеки акт на взаимодействие, относителната статистическа дисперсия на този брой е малка, което обуславя **високата разделителна способност по енергия** на този тип детектори (в сравнение например със сцинтилационните). Детекторът е разположен в нискофонова оловна защита, която го защитава от **γ -лъчението на естествените нуклиди** (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th и дъщерните им продукти), които винаги присъстват в околната среда. Най-общо казано, колкото по-добра е защитата, толкова по-ниски активности могат да бъдат измервани с детектора.

HrGe-детекторите (за разлика от GeLi-) могат да се **съхраняват** при стайна температура, но трябва да **работят** при температурата на кипене на течния азот.



Фигура 4-1 Спектрометричен тракт с опростена схема на зарядочувствителния предусилвател (за детектор с два изолирани края).

Зарядочувствителен предусилвател (ЗЧПУ). Той изработва на изхода си сигнал с амплитуда, пропорционална на **заряда на събраните носители**, получени в **HpGe** детектор при поглъщане на енергията на частицата в чувствителния му обем.

Характерна особеност на ЗЧПУ е, че долният край на детектора е свързан галванично със затвора на полевия транзистор (възможно е само при детектори с два изолирани края), тъй като $R_d \gg R_T$ и потенциалът в точката на свързване е ≈ 0 .

Тази особеност (отсъствие на разделителен кондензатор) позволява високото работно напрежение да бъде подавано с произволна скорост (но все пак трябва да се прави внимателно).

Подаването на високо напрежение на „стоплен“ детектор е фатално за ЗЧПУ.

Спектрометричният усилвател (Ampl) служи за усилване и формиране на импулсите от ЗЧПУ, като коефициентът на усилване може да се мени на стъпки и фино – с хелипот. Има възможност за инвертиране на входящите и изходящи импулси и възможност за формиране на еднополярен и биполярен импулс на изхода. Импулсите се формират с различни времеконстанти τ от 0,5 до 6 μ s. (стойността обикновено се препоръчва от производителя – за конкретния детектор и ЗЧПУ) Максималната амплитуда на изходящия импулс при гарантирана линейност е 10 V.

Спектрометричният усилвател е снабден с автоматична система за настройка на **полюсите на нулата**. Когато системата **не е включена**, на предния панел има **мигащ червен LED**. Системата се включва с бутон на предния панел, но само **след поставянето на източник в позиция на измерване** (необходими са определен брой импулси за нейното задействане). Еднополярният положителен сигнал от изхода на усилвателя се подава на многоканалния анализатор (MCA).

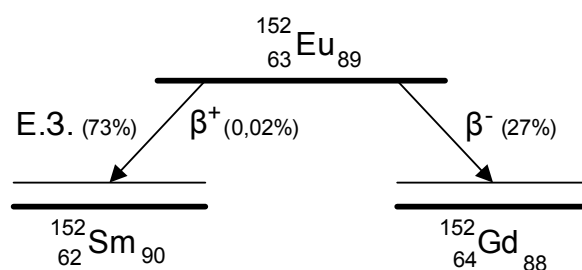
Многоканален амплитуден анализатор (MCA). В случая **CANBERRA-40**, снабден с принтер (**Print**) за извод на резултатите. Подробна инструкция за работа с анализатора е дадена допълнително.

4. Теоретични бележки

За подробности се отнесете към лекциите „Полупроводникови детектори”, „Гама-спектрометрия” „Гама-преходи” и „Вътрешна конверсия” в Записките към Курса по ЕЯФ.

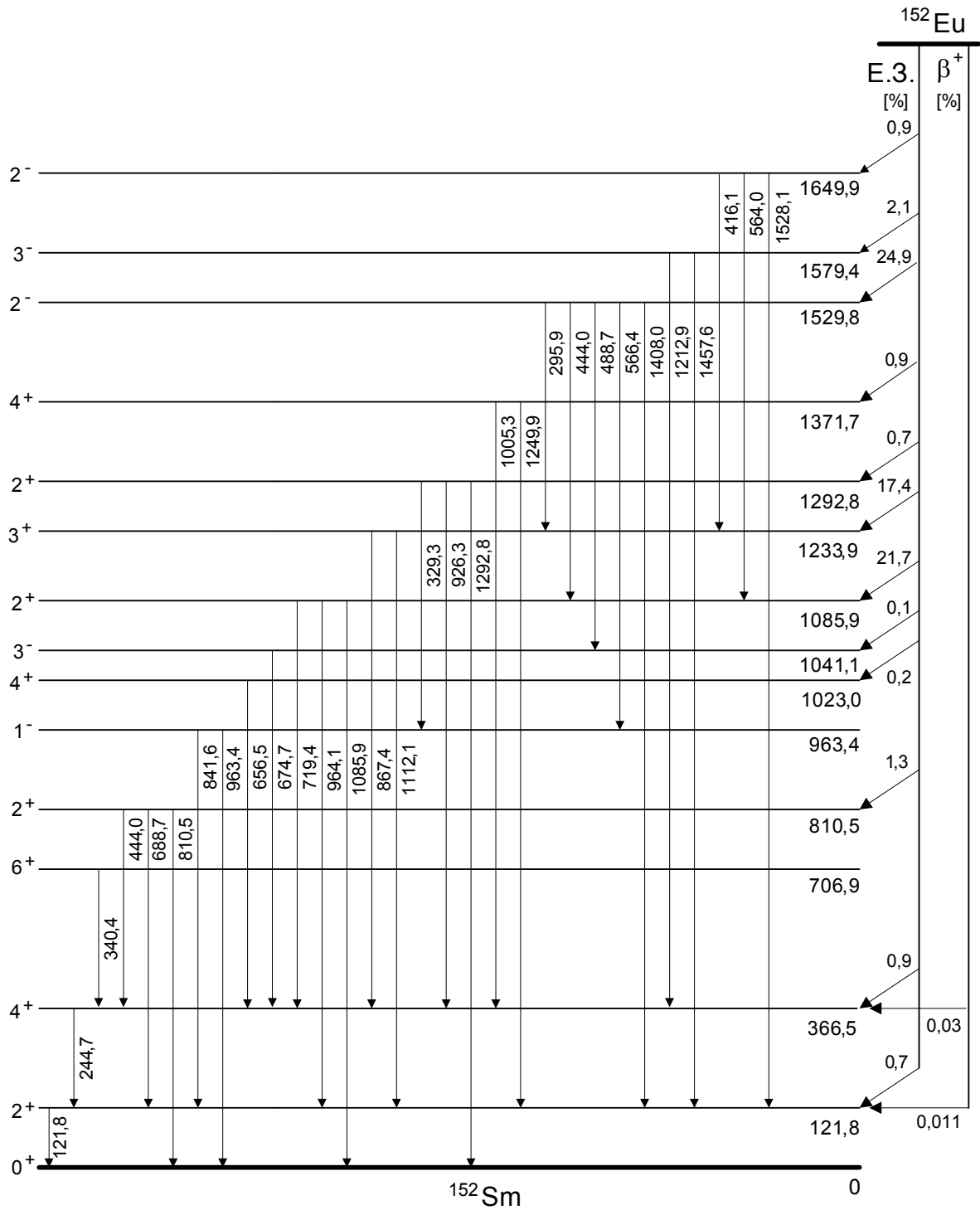
Основна задача в гама-спектрометрията е определянето на енергиите и относителните интензивности (и/или квантовия добив) на гама-преходите в схемата на разпадане на даден нуклид.

Ядрото на ^{152}Eu е нечетно-нечетно и търпи едновременно и трите типа бета-разпадане: електронно залавяне, β^+ и β^- (три паралелни канала на разпадане с различни вероятности) (фигура 4-2).

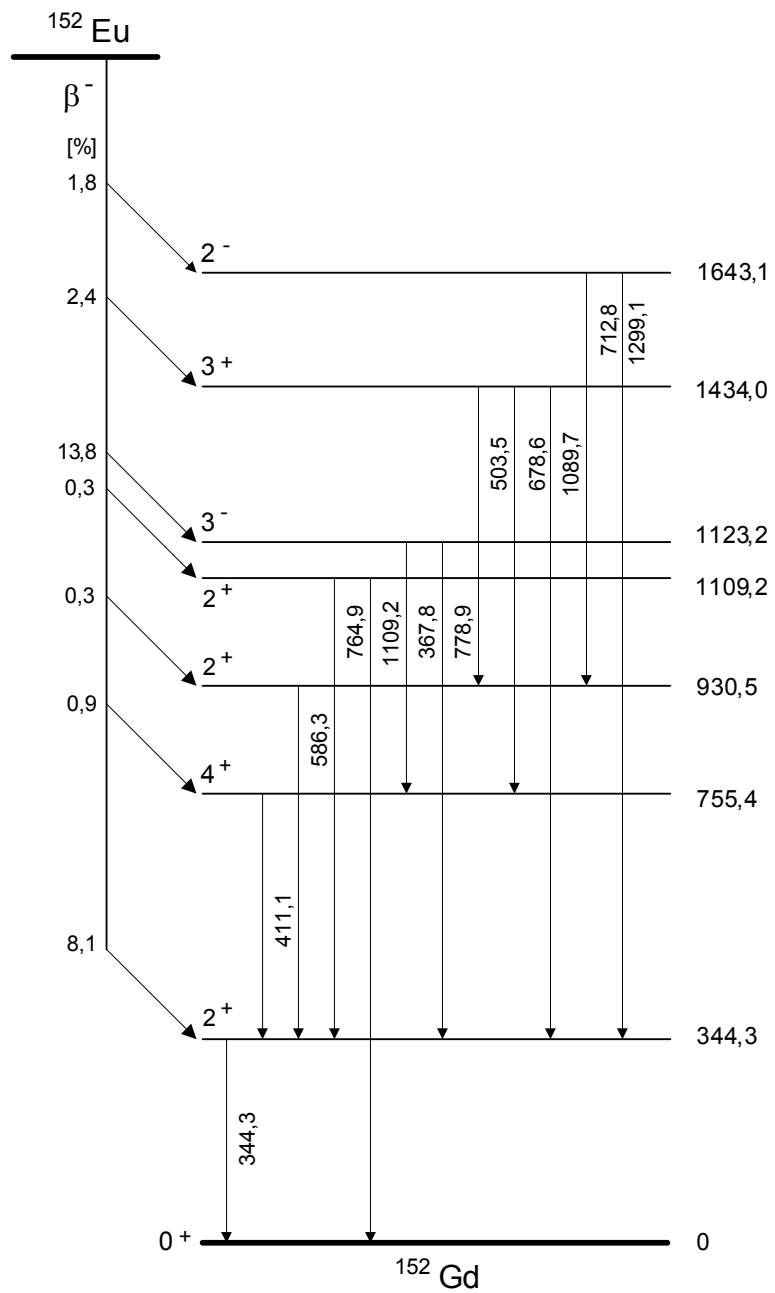


Фигура 4-2 Типове β -разпадане на ^{152}Eu

Наблюдаваните линии в спектъра на ^{152}Eu са преходи между възбудените състояния в ядрата ^{152}Sm и ^{152}Gd . Необходимо е да се определи кой от преходите в кое ядро се осъществява. Идентификацията се извършва по определената от експерименталния спектър **енергия на γ -линията**, като се използват схемите на възбудените състояния на ^{152}Sm и ^{152}Gd , приведени на фигури 4-3 и 4-4.



Фигура 4-3 Опростена схема на възбудените състояния на ^{152}Sm



Фигура 4-4 Опростена схема на възбудените състояния на ^{152}Gd

Определянето на енергиите на неизвестни линии се извършва автоматично, по вградена в анализатора програма, след извършване на калибровка по енергии.

Калибровката по енергии на спектрометъра се състои в намирането, в числов вид, на зависимостта на енергията от номера на канала, която е **линейна** (пренебрегват се нелинейности на спектрометричния тракт) и се дава с:

$$E_{\gamma}(Ch) = a \cdot Ch + b$$

Където:

$E_{\gamma}(Ch)$ – енергия на гама-линията в [keV]

Ch – номер на канала на максимума на съответния фотопик (позиция на линията)

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

b – свободен член в [keV]

Очевидно, за намиране на зависимостта **$E_{\gamma}(Ch)$** са необходими **поне две калибровъчни точки** - линии с известна енергия и позиция от спектъра на ²²⁶Ra.

За определянето на **относителната интензивност на γ -преходите** в схемата на разпад се използва „чистата” **апаратурна площ** на съответната γ -линия в спектъра, която зависи от много параметри (виж Упражнение №1).

При определяне на относителните интензивности, не са необходими точно познаване на активността, както и въвеждане на корекции за време на набиране и геометричен фактор, тъй като те са еднакви за всички линии в спектъра на ¹⁵²Eu.

За да се получи **действителната интензивност** обаче, апаратурната площ трябва да бъде коригирана с **ефективността на детектора**, която силно зависи от енергията.

Тъй като в случая се определят относителните интензивности на γ -преходите, то може да се използва **калибровка по относителна ефективност** (извършена чрез добре познат спектър), а не по **абсолютна ефективност** (Заб.: Последната се изисква задължително тогава, когато трябва да се определя **активност на нуклид** в източник и трябва да включва всички фактори, влияещи върху апаратурната площ).

Относителните интензитети на γ -линиите в схемата на разпадане, снети на γ -спектрометър с полупроводников детектор, показват само една част от пълната картина на преходите между възбудените състояния, а именно **радиационните преходи**. Не бива да се забравя, че преходите освен радиационно, могат да се извършват и чрез **излъчване на конверсионни електрони** (процеса вътрешна конверсия), които в случая не могат да бъдат наблюдавани.

Припомняме, че процесът **вътрешна конверсия** е пряко предаване на енергията на ядрения преход на един от атомните електрони (свързани). Обикновено най-вероятна е конверсията върху електрон от К-слоя. Енергията на конверсионните електрони е **дискретна** (енергията на прехода минус енергията на връзка) и в електронния спектър те дават **конверсионна линия**.

Вероятността за вътрешна конверсия зависи от **типа** и **мултиполността** на прехода, неговата **енергия** и от заряда **Z** на ядрото. Най-общо казано, вероятността за вътрешна конверсия намалява с нарастване на енергията на прехода и намаляване на мултиполността.

Пълният коефициент на вътрешна конверсия (КВК) за даден ядрен преход се дефинира като:

$$\alpha = \frac{I_{ce}}{I_{\gamma}}$$

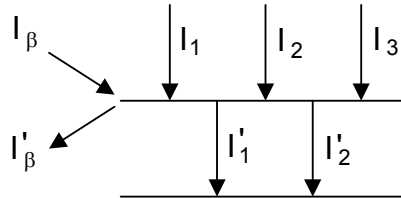
където I_{ce} е сумата от интензитетите на всички конверсионни линии на прехода (**K, L₁, L₂, L₃, M, N, ...**); I_{γ} - интензитета на γ -квантите (радиационни преходи).

Пълният интензитет на ядрения преход I е сума от интензитетите на радиационния преход I_{γ} и на конверсионния (електронния) преход I_{ce} . Очевидно

$$I = I_{\gamma} + I_{ce} = I_{\gamma} (1 + \alpha)$$

За определянето на КВК на прехода 121,8 keV в ядрото на ^{152}Sm се използва **метода на баланса на пълните интензитети** на нивото 121,8 keV.

Баланс на интензитетите за дадено ниво се прави по схемата, показана на фигура 4-5.



Фигура 4-5 Към метода на баланс на пълните интензитети

Очевидно за дадено ниво:

$$I_{\beta} + I_1 + I_2 + \dots = I'_{\beta} + I'_1 + I'_2 + \dots$$

т.е., сумите от интензитетите на преходите, захранващи и разреждащи нивото, трябва да бъдат равни. С $I_1, I_2 \dots$ са означени **пълните интензитети** на преходите, захранващи нивото, а с $I'_1, I'_2 \dots$ – тези, които го разреждат.

Случаят с прехода 121,8 keV е особено прост, тъй като той е единствен, който разрежда нивото и това позволява определянето на КВК само по данни от γ -спектрометрията.

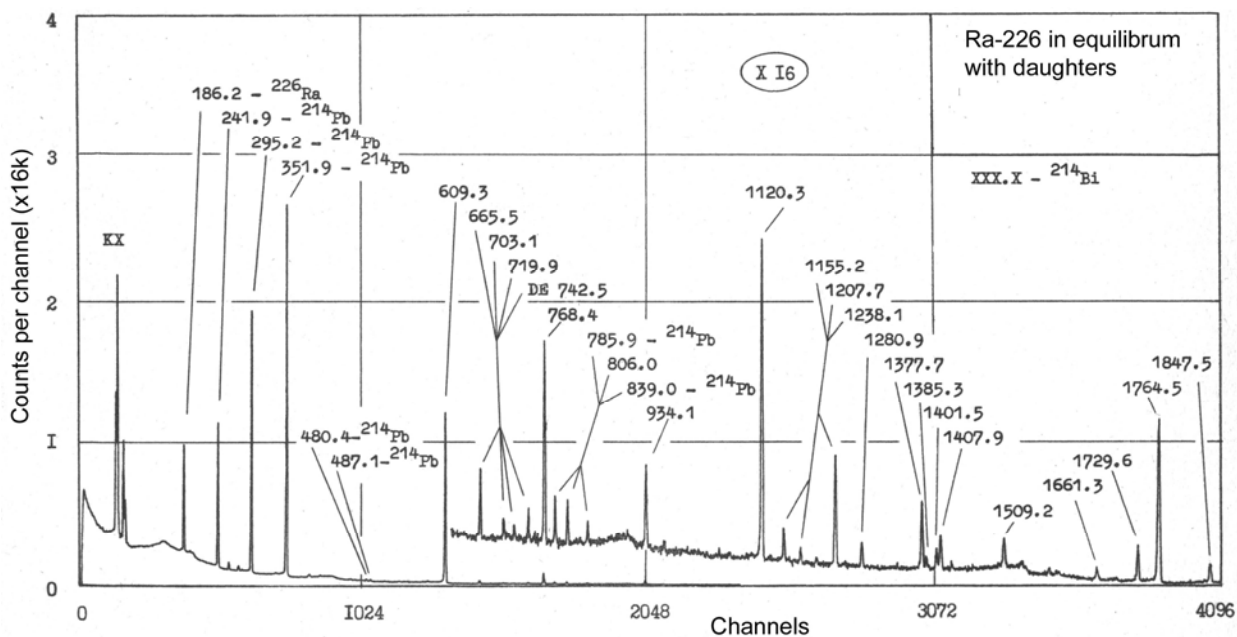
5. Изпълнение на експерименталните задачи

1) Апаратурата се подготвя за работа, включва се и внимателно се подава високо напрежение на детектора при поставен в измервателна позиция източник ^{226}Ra . (Препоръчва се вдигането на напрежението да се извършва при включено набиране на спектъра. **При „запушване” на ЗЧПУ за повече от 2 - 3 секунди, прекратете вдигането на напрежението**).

Около 500 секунди след подаването на напрежението, включете системата за **полюсите на нулата** чрез бутона на усилвателя (мигацият червен LED трябва да угасне). Оставете апаратурата да се прогрее за около 1 час (през това време може да се наблюдава леко „пълзене” на линиите в края на спектъра).

2) Наберете γ -спектъра на калибровъчния източник ^{226}Ra в 4096 канала. Време на набиране не по-малко от 2000 секунди.

За ориентиране в спектъра, на фигура 4-6 е показан примерният вид на γ -спектър на ^{226}Ra в равновесие с дъщерните си нуклиди, получен с Ge-детектор.



фигура 4-6 Примерен вид на γ -спектъра на ^{226}Ra в равновесие с дъщерните си нуклиди

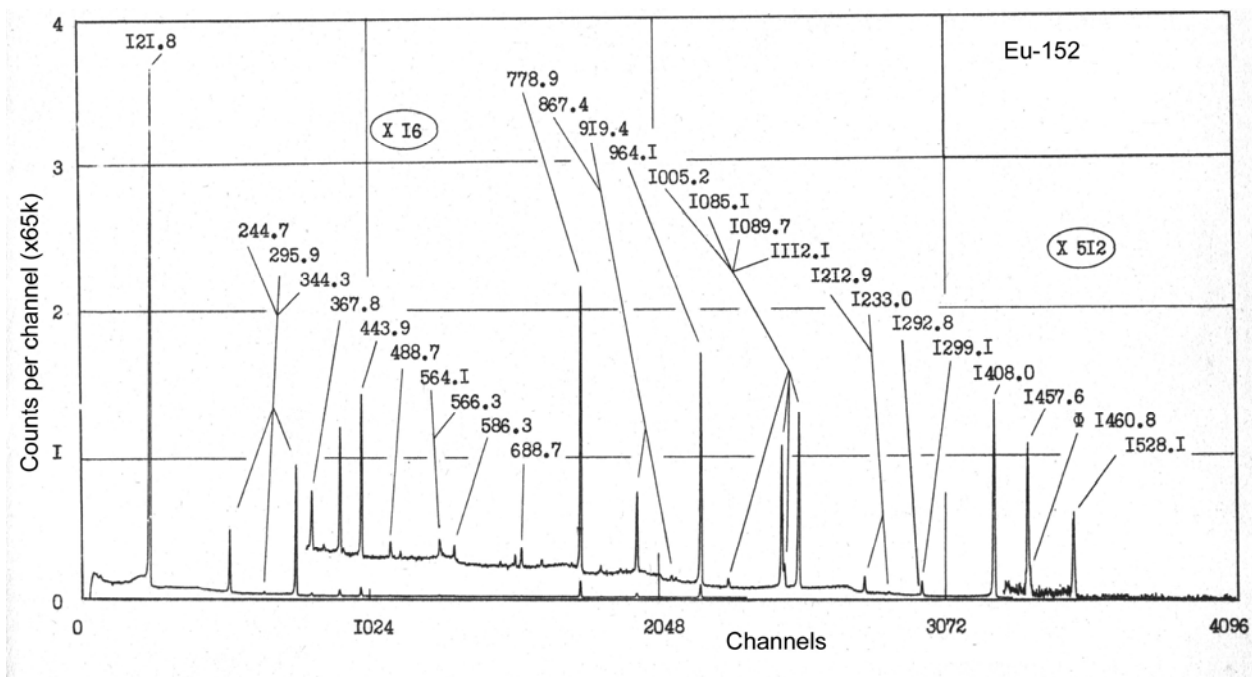
3) Извършете калибриране по енергии на γ -спектрометъра

Енергетичната калибровка на спектрометъра се извършва с **вградена програма** в анализатора. Подробното описание на тази процедура е дадено в **Инструкцията за работа с многоканален анализатор CANBERRA-40** (Приложение №5).

За построяване на калибровъчното уравнение са необходими параметрите на две единични интензивни линии от γ -спектъра, разположени в началото и края на интересувания ни енергетичен диапазон. За калибровъчния източник ^{226}Ra се избират линиите с енергии **186,0 keV** или **241,9 keV** и **1764,5 keV**. Направената енергетична калибровка се проверява по интензивните линии в спектъра на ^{226}Ra (Приложение №1).

4) Поставете източникът ^{152}Eu в измервателна позиция и наберете γ -спектъра в 4096 канала. Време на набирание не по-малко от 2000 секунди.

За ориентиране в спектъра, на фигура 4-7 е показан примерният вид на γ -спектър на ^{152}Eu , получен с Ge-детектор.



фигура 4-7 Примерен вид на γ -спектъра на ^{152}Eu

6. Обработка на експерименталните данни

1) Определят се **енергиите и апаратурните интензитети** на всички статистически значими γ -линии в спектъра на ^{152}Eu .

За целта γ -линиите трябва да бъдат **маркирани като ROI** - област на интерес. Процедурата на маркиране е описана в **Инструкцията за работа с многоканален анализатор CANBERRA-40** (Приложение №5).

Определянето на параметрите на γ -линиите се извършва автоматично с **вградена в анализатора** програма.

Отпечатват се (виж Приложение №5) параметрите на маркираните линии. Те са:

- **ROI** - енергетичен диапазон на маркираната област на интерес - **FROM** keV **TO** keV;
- **INTEGRAL** - интегралната бройка в района на интерес **ROI**, който е сумата на съдържимото във всички канали в **ROI**, в импулси;
- **AREA** – апаратурна „чиста” площ на линията в импулси, при линейна апроксимация на подложката под линията;
- **CENTROID** - позиция на линията, т.е. мястото на максимума на линията в keV;
- **FWHM** - полуширина на линията (пълна ширина на половината височина в максимума) в keV.

За да се получи истинският относителен интензитет – $I_{отн}$, трябва да се направи съответната поправка на **AREA**, като се използва известната за детектора зависимост на ефективността от енергията - $\epsilon_{отн}(E)$. Последната е приведена в табличен вид в Приложение №3 за „точков” източник.

В схемата на разпадане на ^{152}Eu , за интензитет **100%** е приет интензитетът на линията с енергия **344,5 keV**. В такъв случай интензитетът $I_{отн}(E_i)$ на всяка друга линия с енергия E_i се определя като:

$$I_{отн}(E_i) = \frac{\epsilon_{отн}(344)}{AREA(344)} \times \frac{AREA(E_i)}{\epsilon_{отн}(E_i)} \times 100 \quad [\%]$$

където:

AREA(E_i) е „чистата” площ на линията с енергия E_i с неизвестен интензитет;

AREA(344) – „чистата” площ на линията с енергия 344,5 keV;

$\epsilon_{отн}(E_i)$ - ефективност на детектора за линията с енергия E_i ;

$\epsilon_{отн}(344)$ - ефективност за линията с енергия 344,5 keV.

Данните за $\epsilon_{отн}(E_i)$ (получени при **предварителна калибровка на детектора по ефективност**) са приведени в таблица (Приложение №3).

Сравнете експериментално определените относителни интензитети $I_{отн}$ с известните от литературата, приведени в таблицата (Приложение №2).

4. Идентификация на гама-преходите

Наблюдаваните линии в спектъра на ^{152}Eu са преходи между възбудените състояния на ядрата ^{152}Sm и ^{152}Gd . Необходимо е да се определи кой от преходите в кое ядро се осъществява. Идентификацията се извършва, като се използва схемата на разпадане на ^{152}Eu (фигури 4-3 и 4-4).

За удобство се оформя следната таблица:

E_γ [keV]	AREA(E_γ)	$\varepsilon_{\text{отн}}(E_\gamma)$	$I_{\text{отн}}(E_\gamma)$	ядро

Ако останат неидентифицирани линии, то те се дължат на някакъв примес в източника ^{152}Eu (напр. ^{154}Eu) или на естествени радионуклиди - фон на спектрометъра.

5. Определяне на коефициента на вътрешна конверсия (КВК) за прехода с енергия 121,8 keV в ядрото на ^{152}Sm

Трябва да се направи баланс на интензитетите за нивото 121,8 keV (2^+) в ядрото на ^{152}Sm от γ -спектрометричните данни за относителните интензитети на γ -преходите и при условие, че са известни пълните коефициенти на вътрешна конверсия на преходите, хранващи нивото. От дефицита в този баланс трябва да се пресметне пълния коефициент на вътрешна конверсия за прехода 121,8 keV, разреждащ нивото.

Характеристиките на преходите, зареждащи нивото 121,8 keV, са следните:

E_γ [keV]	тип преход	α (пълен КВК)
244,7	E2	0,1069
688,7	E2	0,045
964,1	E2	0,00268
1112,1	E2	0,00198
1408,0	E1	0,000557

Определят се пълните интензитети на тези преходи $I = I_{\text{отн}} (1 + \alpha)$ (относителните интензитети $I_{\text{отн}}$ се вземат от обработката на гама-спектъра на ^{152}Eu). Пълният коефициент на вътрешна конверсия за нивото 121,8 keV се пресмята от:

$$\alpha = \frac{\Sigma I - I_{\text{отн}}^{122}}{I_{\text{отн}}^{122}}$$

където ΣI е сумата от пълните интензитети на захванващите преходи, а $I_{\text{отн}}^{122}$ е относителният интензитет на прехода 121,8 keV - от обработката на γ -спектъра на ^{152}Eu .

При определянето на $I_{\text{отн}}^{122}$ трябва да се има предвид следното: В източника ^{152}Eu има следи от ^{154}Eu , чиято най-интензивна γ -линия е с енергия 123,1 keV (Приложение №4). Тя не се разделя от 121,8 keV на ^{152}Eu и в „чистата“ площ **AREA**, от където се определя $I_{\text{отн}}^{122}$, принос имат и двете линии. В момента 10% от площта на линията 122 keV се дължи на примеса от ^{154}Eu . За да се получи истинския пълнен коефициент на вътрешна конверсия на прехода 121,8 keV, „чистата“ площ на линията 122 keV трябва да се намали с 10% и след това да се определя относителният интензитет на γ -прехода.

Известния от литературата пълнен коефициент на вътрешна конверсия на прехода 121,8 keV ядрото на ^{152}Sm е $\alpha = 1,15$.

^{226}Ra в равновесие с разпадните си продукти

E_γ [keV]	$I_{\text{абс}}$ (квант. добив) %	ядро	E_γ [keV]	$I_{\text{абс}}$ (квант. добив) %	ядро	E_γ [keV]	$I_{\text{абс}}$ (квант. добив) %	ядро
53,2	1,10	X-Pb	480,4	0,34	^{214}Pb	1155,2	1,69	^{214}Bi
74,8	6,40	X-Pb	487,1	0,44	^{214}Pb	1207,7	0,46	^{214}Bi
77,1	11,10	X-Pb	533,7	0,19	^{214}Pb	1238,1	5,92	^{214}Bi
81,1	0,91	X-Ra	580,2	0,36	^{214}Pb	1281,0	1,47	^{214}Bi
83,8	0,31	X-Ra	609,3	46,10	^{214}Bi	1303,8	0,12	^{214}Bi
87,2	3,70	X-Pb	665,5	1,56	^{214}Bi	1377,7	4,02	^{214}Bi
89,8	1,31	X-Pb	703,1	0,47	^{214}Bi	1385,3	0,78	^{214}Bi
94,6	0,11	X-Ra	719,9	0,40	^{214}Bi	1401,5	1,39	^{214}Bi
186,0	3,28	^{226}Ra	752,8	0,13	^{214}Bi	1408,0	2,48	^{214}Bi
241,9	7,46	^{214}Pb	768,4	4,88	^{214}Bi	1509,2	2,19	^{214}Bi
258,8	0,55	^{214}Pb	785,9	1,09	^{214}Bi	1538,5	0,41	^{214}Bi
273,7	0,18	^{214}Bi	786,1	0,30	^{214}Bi	1543,3	0,35	^{214}Bi
274,5	0,32	^{214}Pb	806,2	1,23	^{214}Bi	1588,2	0,72	^{214}Bi
295,2	19,20	^{214}Pb	821,2	0,15	^{214}Bi	1594,7	0,27	^{214}Bi
351,0	37,10	^{214}Pb	839,0	0,59	^{214}Pb	1599,3	0,33	^{214}Bi
387,0	0,36	^{214}Bi	904,3	0,10	^{214}Bi	1661,3	1,15	^{214}Bi
389,1	0,41	^{214}Bi	934,1	3,16	^{214}Bi	1684,0	0,24	^{214}Bi
405,7	0,17	^{214}Bi	964,1	0,38	^{214}Bi	1729,6	3,05	^{214}Bi
426,5	0,11	^{214}Bi	1052,0	0,32	^{214}Bi	1764,5	15,90	^{214}Bi
454,8	0,32	^{214}Bi	1070,0	0,29	^{214}Bi	1838,4	0,38	^{214}Bi
462,1	0,17	^{214}Bi	1103,7	0,10	^{214}Bi	1847,4	2,12	^{214}Bi
469,7	0,13	^{214}Bi	1120,3	15,00	^{214}Bi	1873,2	0,23	^{214}Bi
474,4	0,12	^{214}Bi	1133,7	0,26	^{214}Bi	1896,3	0,18	^{214}Bi

^{152}Eu (13,54 у)

E_γ [keV]	$I_{\text{абс.}}$ (квантов ДОБИВ) %	$I_{\text{отн.}}$ %	E_γ [keV]	$I_{\text{абс.}}$ (квантов ДОБИВ) %	$I_{\text{отн.}}$ %
39,5	21,00	X	678,6	0,47	1,18
40,1	38,10	X	688,7	0,85	3,20
42,3	0,24	X	719,4	0,33	1,20
43,0	0,44	X	764,9	0,18	0,68
45,5	10,70	X	778,9	13,00	48,90
46,6	4,20	X	810,5	0,32	1,20
48,7	0,12	X	841,6	0,16	0,60
121,8	28,40	106,8	867,4	4,21	15,80
244,7	7,51	28,20	919,4	0,44	1,65
295,9	0,44	1,65	926,3	0,26	0,98
329,4	0,12	0,45	964,1	14,60	54,90
344,5	26,60	100	1005,3	0,65	2,40
367,8	0,86	3,20	1085,9	9,92	37,30
411,1	2,23	8,30	1089,7	1,71	6,40
416,1	0,11	0,41	1109,2	0,18	0,68
444,0	3,12	11,70	1112,1	13,60	51,10
488,7	0,41	1,50	1212,9	1,40	5,30
503,4	0,15	0,56	1249,9	0,18	0,68
564,0	0,49	1,80	1292,8	0,10	0,38
566,4	0,13	0,49	1299,1	1,63	6,10
586,3	0,46	1,70	1408,0	20,80	78,20
656,5	0,14	0,53	1457,8	0,49	1,80
674,7	0,17	0,64	1528,1	0,26	0,98

Относителна ефективност на 33% HpGe-детектор

E_γ [keV]	$\epsilon_{отн}(E)$	E_γ [keV]	$\epsilon_{отн}(E)$	E_γ [keV]	$\epsilon_{отн}(E)$	E_γ [keV]	$\epsilon_{отн}(E)$	E_γ [keV]	$\epsilon_{отн}(E)$
100	3,030	400	1,900	700	1,265	1000	9,977	1300	0,812
110	3,045	410	1,870	710	1,250	1010	0,971	1310	0,808
120	3,055	420	1,835	720	1,237	1020	0,964	1320	0,803
130	3,045	430	1,800	730	1,225	1030	0,958	1330	0,799
140	3,025	440	1,770	740	1,215	1040	0,951	1340	0,794
150	3,005	450	1,745	750	1,205	1050	0,944	1350	0,790
160	2,985	460	1,715	760	1,195	1060	0,938	1360	0,785
170	2,960	470	1,685	770	1,180	1070	0,932	1370	0,781
180	2,935	480	1,660	780	1,170	1080	0,925	1380	0,776
190	2,900	490	1,635	790	1,160	1090	0,919	1390	0,772
200	2,870	500	1,615	800	1,150	1100	0,912	1400	0,767
210	2,830	510	1,585	810	1,153	1110	0,907	1410	0,763
220	2,785	520	1,565	820	1,125	1120	0,900	1420	0,758
230	2,740	530	1,540	830	1,115	1130	0,896	1430	0,754
240	2,695	540	1,520	840	1,105	1140	0,890	1440	0,749
250	2,645	550	1,495	850	1,097	1150	0,885	1450	0,745
260	2,580	560	1,475	860	1,087	1160	0,879	1460	0,740
270	2,525	570	1,455	870	1,077	1170	0,874	1470	0,736
280	2,460	580	1,435	880	1,070	1180	0,868	1480	0,731
290	2,395	590	1,420	890	1,060	1190	0,863	1490	0,727
300	2,335	600	1,405	900	1,052	1200	0,857	1500	0,722
310	2,285	610	1,385	910	1,043	1210	0,853	1510	0,718
320	2,235	620	1,370	920	1,035	1220	0,848	1520	0,713
330	2,195	630	1,355	930	1,027	1230	0,844	1530	0,709
340	2,145	640	1,345	940	1,020	1240	0,839	1540	0,704
350	2,105	650	1,330	950	1,012	1250	0,853	1550	0,700
360	2,060	660	1,315	960	1,007	1260	0,830	1560	0,695
370	2,025	670	1,305	970	0,996	1270	0,826	1570	0,691
380	1,975	680	1,285	980	0,990	1280	0,821	1580	0,686
390	1,935	690	1,275	990	0,986	1290	0,817	1590	0,682

^{154}Eu (8,59 у)

E_γ [keV]	$I_{\text{абс}}$ (квантов добив) %	E_γ [keV]	$I_{\text{абс}}$ (квантов добив) %
123,1	40,40	845,4	0,95
188,2	0,23	850,6	0,23
247,0	6,60	873,2	11,50
401,3	0,21	892,7	0,46
444,4	0,50	904,0	0,86
478,3	0,22	996,3	10,30
557,6	0,25	1004,8	17,90
582,0	0,84	1118,5	0,10
591,8	4,84	1128,4	0,27
625,2	0,31	1140,9	0,22
676,6	0,14	1241,6	0,13
692,4	1,68	1246,2	0,90
715,8	0,17	1274,5	35,50
723,3	19,70	1494,4	0,65
756,9	4,33	1596,5	1,83
815,6	0,46		

ИНСТРУКЦИЯ ЗА РАБОТА С МНОГОКАНАЛЕН АНАЛИЗАТОР

CANBERRA - 40

Управлението на многоканалния анализатор се осъществява с клавиатура, разположена на хоризонталния и вертикалния панел. Подаването на команди се извършва чрез леко натискане на съответния клавиш, при което светва лампата, разположена в левия му горен ъгъл. Изключването на действието на подадената команда става при повторно натискане на клавиша. Възможни са следните три основни режима на работа:

- амплитуден анализ на импулсите - клавиш **PHA**
- многоканално преброяване с единично преминаване - клавиш **MCSS**
- многоканално броене с многократно преминаване - клавиш **MCSR**.

Включването на анализатора става от прекъсвача на таблото. При включването си анализатора избира автоматично режим на работа - амплитуден анализ на импулсите **PHA**. След кратко време на екрана се появява права линия, описана от каналите и вертикален белег, разположен в нулевия канал. Под тази линия са изписани: време - **TIME** = 00.00; дата - **DATE** = 30.JUL.1982; серия на производство **SERIES 40 V - 2.4**. Таймерът започва да отброява минутите автоматично, след включване на анализатора. Датата, изписана на екрана, е датата на производство на анализатора. Записването на часът на започване на работа и датата става с помощта на клавиатурата, разположена в дясно на хоризонталния панел. Часът на започване на работа се записва на екрана след знака **X** = след натискане на съответните клавиши (записва се във вида 07.15). След натискане на клавиша **STORE** записаният час се пренася след записа **TIME** =. С натискане на клавиша **NO** мигащият светлинен белег * се премества срещу **DATE** =. С клавиатурата се набира съответната дата във вида 20.03.89, която се записва на екрана след знака **X** =. След натискане на **STORE** се пренася след **DATE** =. След тези операции, за да се премине към по-нататъшна работа, се натиска клавиша **YES**.

На екрана на анализатора в долната част се появяват записите:

- **CL = CH#** - номер на канала, на който се намира вертикалният светлинен белег. В момента на включването на анализатора светлинният вертикален белег е в нулевия (таймерния) канал.
- **COUNTS** - брой на импулсите, набрани в канала, на който се намира вертикалният светлинен белег. Когато светлинният белег е в нулевия канал, тази величина показва броя на секундите в режим на амплитуден анализ (**PHA**).
- **FROM CH# 0 TO CH# 4095** - показва, че от паметта на анализатора се използват **4095** канала. Цялата памет на анализатора съдържа **4096** канала, които могат да се използват в една група (положение на ключа **MEMORY** на вертикалния панел **1/1**), могат да се разделят на две групи по **2048** канала (положение на ключа **MEMORY 1/2** или **2/2**) или на четири групи по **1024** канала (съответно положения **1/4, 2/4, 3/4, 4/4**). Съседният ключ **ADC GAIN** трябва да се намира на съответния брой канали от паметта.
- **PSET(L)** – зададеното „живо“ време (**L**) на измерване в секунди. Автоматично при включване на анализатора се задават 1000 s.
- **ELAP(L)** - времето в s, изтекло след включване на анализатора за набиране на информация в режим на амплитуден анализ.

Ако е необходимо да се зададе друго време на измерване - по-голямо или по-малко - натиска се клавиша **PRESET** на хоризонталния панел. Мигацията светлинен белег * е пред **TIME(L)**. От хоризонталния панел се набира съответното избрано време, което се записва на екрана след знака **X =**. След натискане на клавиша **STORE** се записва в дясно на екрана. Натискането на клавиша **YES** връща записа на екрана - канал, бройка в канала, брой канали и време на измерване, но вече с избраното от нас време.

Включването на анализатора за набиране на информация става от клавиша **COLLECT** на вертикалния панел. Над горната линия на екрана се появява индикация за мъртвото време на системата.

След изтичане на зададеното време анализаторът спира автоматично.

Изменението на вертикалния мащаб на спектъра става с ключа **VERTICAL RANGE** от вертикалния панел. Положението **1K** означава **1024, 2K - 2048** и т.н.

Вертикалният светлинен белег може да се управлява с помощта на клавишите, **заградени със синя стрелка** върху хоризонталния панел. Натискането на левия клавиш придвижва белега на ляво, а на десния - на дясно. С клавиша **HOME** вертикалният белег се връща в нулевия (таймерния) канал.

Някои по-интересни участъци от спектъра могат да се наблюдават в по-разтегнат хоризонтален мащаб след натискане на клавиша **EXPAND** на хоризонталния панел. При това на екрана остава само **128 канален прозорец**, започващ от канала, на който се намира вертикалният светлинен белег.

Ако заедно с клавиша **EXPAND** се натисне и клавиша **ROLL**, то с помощта на кръглите клавиши, заградени в синята стрелка, може да се премества целия спектър през фиксирания 128 канален прозорец. Броят на каналите във фиксирания прозорец може да се умножава по две при последователно натискане на клавиша **x** в дясно на хоризонталния панел. Връщането на първоначалния брой на каналите в прозореца става при последователно натискане на клавиша „÷” също в дясно на хоризонталния панел.

Маркиране на област на интерес (ROI)

Маркирането на един канал или на определена област на интерес (фотопик) от спектъра става при натискането на клавиша **ENT ROI** и преместване на вертикалният светлинен белег - тези канали се осветяват допълнително. След маркиране на исканата област клавиша **ENT ROI** се натиска отново - изключва се. Вертикалният светлинен белег може да се прехвърли в началото на всяка предварително маркирана област на интерес (или маркиран канал) при натискане на клавиша **INDEX**, заграден в синята стрелка.

Изчистването на определена маркирана област става, като в началото ѝ се постави вертикалният белег и натискане на клавиша **CLR ONE**. Изчистването на всички маркирани области на интерес, независимо от това къде се намира вертикалният белег, става с клавиша **CLR ALL**. (**ВНИМАНИЕ:** Преди да натиснете този клавиш, помислете добре, тъй като можете да унищожите целият труд по маркировката на всички **ROI**).

Калибровка по енергия

Натиска се клавиша **ECAL** от хоризонталния панел. Мигащия светлинен белег * е пред **eV**. С клавиша **NO** той се премества пред **keV** - калибровката ще бъде направена в keV/Chann. След натискане на клавиша **YES** на екрана се появява надписа: **LOW : CH# 0.0 keV HIGH : CH# 0.0 keV**. С клавишите в дясно на хоризонталния панел се набира номера на канала, на който се намира първата аналитична линия (например 241) след знака **X =**. С натискане на **STORE** се записва набрания номер след **CH#**, пред който се намира мигащия светлинен белег *. С клавиша **NO** мигащия белег се премества пред **0.0 keV**. С клавишите се набира енергията в keV на същата линия, с един знак след десетичната точка (например 241.9). Със **STORE** се записва на мястото си. Мигащия белег с **NO** се премества пред **CH#**, набира се номера на канала на втората калибровъчна линия, а след това и нейната енергия по вече описания начин.

След като са набрани всички данни за калибровката, се натиска клавиша **YES**. На екрана се изписва **уравнението на енергетичната калибровка** - линейна зависимост. След повторно натискане на **YES** на екрана са записани вече не номера на канала, на който се намира вертикалният белег, а енергията в keV, а също и енергетичният диапазон на измерване.

Определяне параметрите на линиите

Анализатора позволява с вградени програми да се определят автоматично следните параметри на линиите:

- **енергетичен диапазон** на маркираната област на интерес (**ROI**) **FROM keV TO keV**;
- **INTEGRAL** - интегрална бройка в района на интерес (**ROI**) - сумата на съдържимото от всички канали в **ROI** - в импулси;
- **AREA** – „чиста” площ на линията в импулси;
- **CENTROID** - позиция на линията, т.е. място на максимума в keV.
- **FWHM** - полуширина на линията - пълна ширина на линията на половината височина от максимума в keV.

При желание могат да се пресметнат автоматично и допълнителни данни, като **статистическа грешка** на чистата площ и **интензитет на линията** в imp/s. Тези параметри могат да се определят по следния начин. Натиска се клавиша **USE** - в ляво на хоризонталния панел. На екрана се появява надпис **EQU = 1**. С клавишите в дясно на хоризонталния панел се избира: за определяне на **грешката - 8** (номер на програмата), което се записва след знака **X =**, а със **STORE** се записва след **EQU =**. След натискане на клавиша **YES** изчислената грешка **% ERR** се записва на мястото на зададеното време **PSET(L)**. При извода на телетайпа тази информация се записва. За определяне на **интензитета** на линията в imp/s номера на програмата е **7**. Тогава на мястото на **PSET(L)** се записва **CPS** (интензитета). Трябва да се има предвид, че може да се определи и запише само един от тези параметри на линията.

Линията (фотопика) се маркира с **ENT ROI**. Програмата на анализатора определя **подложката** под линията по **8** канала - 4 канала от фона преди и 4 канала от фона след избраната линия. При натискане на клавишите **AREA** и **INTEGR** от хоризонталния панел, на екрана се изписват съответните стойности за маркираната линия, на която се намира вертикалният белег. Когато две линии се намират много близо една до друга и не могат да се осигурят по 4 канала от двете страни, пресмятанията на чистата площ и интеграла се извършват на ръка.

Извеждане на набраната информация

Натиска се клавиша **READ OUT**, разположен на вертикалния панел. На екрана на анализатора се появява надписа:

- **DEV:EIR** - тип интерфейс
- **MEM:ROI** - област на интерес от паметта
- **MODE-ASCII** - цифров вид
- **TAG:0** - номер на поискване.

Този извод не ни интересува и се натиска клавиша **NO**. На екрана се изписва **DEV:TTY EIR** (принтера е тип – телетайп). Мигация светлинен белег ***** се поставя пред **EIR**. Натиска се клавиша **YES**. На екрана се появява: **MEM + MODE =**

- **ROI + ASCII** - параметрите на маркираните линии и **самите маркирани линии** - номер на канала и брой импулси в канал;
- **FULL + ASCII** - **целия спектър** в цифров вид;
- **ROI BRIEF** - само **параметрите** на маркираните линии; (В случая се използва само тази опция).
- **FULL + INARI** - **цялата памет** в двоичен код (използва се при запис на касетофон).

С клавиша **NO** се поставя мигащия светлинен белег * на искания от нас вид запис и с натискане на клавиша **YES** започва извода на информация.

Изчистването на набраната информация от паметта на анализатора става с клавиша **CLEAR DATA**, разположен на вертикалния панел, а изчистването само на таймера - с клавиша **CLEAR TIME**.