

Упражнение №5. ИЗСЛЕДВАНЕ НА КАСКАДНИ ГАМА-ПРЕХОДИ ПОСРЕДСТВОМ 3D - АНАЛИЗАТОР В ДВУПАРАМЕТРИЧЕН РЕЖИМ НА СЪВПАДЕНИЯ "АМПЛИТУДА-АМПЛИТУДА"

1. Поставяне на експерименталните задачи

- Да се набере и наблюдава **3D-спектъра на съвпадения** на амплитудите на **каскадните γ -кванти** с енергия $E_{\gamma 1} = 1173,2 \text{ keV}$ и $E_{\gamma 2} = 1332,5 \text{ keV}$ в ядрото на ^{60}Ni .
- Да се направят **2D-разрези на 3D-повърхнината на съвпаденията** за фотопиковете $1173,2 \text{ keV}$ и $1332,5 \text{ keV}$.

2. Апаратура

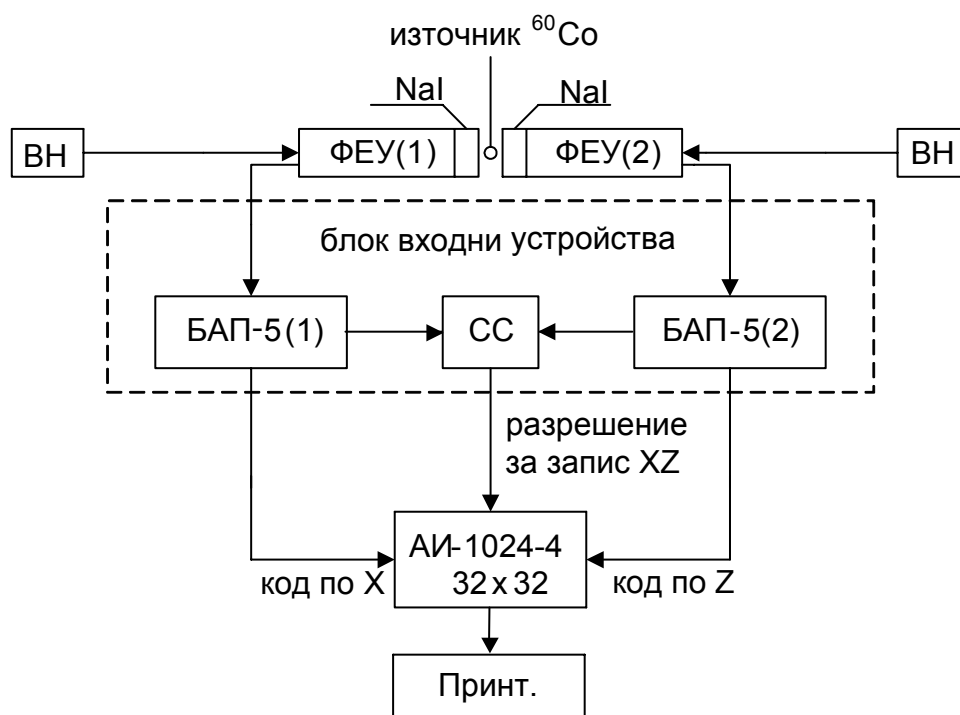
- **Сцинтилационни детектори (2бр.)** тип – **ND-305** (Hungary) с кристали **Nal(Tl)** (размери $\varnothing 40 \times 40 \text{ mm}$) с предусилватели. Изходящите сигнали са с отрицателна полярност.
- **Блокове за Високо напрежение (2бр.)** тип – **NB-215.2** (Hungary)
- **Блокове за амплитудно преобразуване (ADC) (2бр.)** тип **БАП-5** – (Русия).
- **Многомерен анализатор** тип **АИ-1024-4** – (Русия) със **Схема на съвпадения (СС)** (с разделително време $2\tau = 1 \mu\text{s}$) . Многомерният анализатор дава възможност за работа в режим на 2-параметричен анализ – съвпадения "амплитуда-амплитуда".

3. Бележки по опитната постановка. Принцип на действие

За подробности се отнесете към лекциите „Сцинтилационни детектори”, „Гама-спектromетрия” и „Измерване на времена” в Записките към Курса по ЕЯФ.

Опитната постановка се състои от **два спектрометрични тракта**, всеки от които включва **сцинтилационен детектор** с кристал **NaI(Tl)** (с блок за **Високо напрежение**) и **амплитудно-цифров преобразувател (ADC)**. Сигналите от **ADC** се натрупват в паметта на **многомерен анализатор** (в случая 2-параметричен), като матрицата на паметта е **32x32 канала**.

Този режим се осъществява посредством блок-схемата, показана на фигура 5-1.

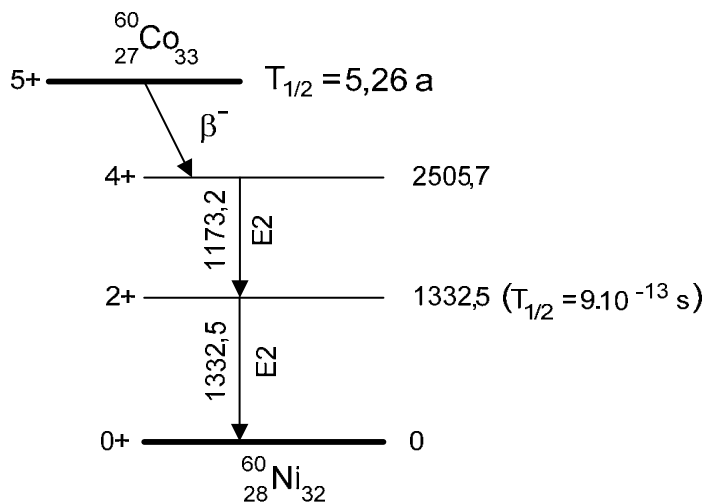


Фигура 5-1 Блок-схема на опитната постановка

Двата сцинтилационни детектора са разположени един срещу друг, като по възможност те трябва да бъдат еднакви. Кабелите, по които се водят спектрометричните сигнали от детекторите, трябва да бъдат с еднаква дължина и еднакво вълново съпротивление, за да не се получи отместване на сигналите по време.

Източникът ^{60}Co с активност $\sim 5 \mu\text{Ci}$ ($1,8 \cdot 10^5 \text{ Bq}$) се поставя между двата детектора, по оста на кристалите **NaI(Tl)** и на еднакво разстояние.

Схемата на разпадане на ^{60}Co съдържа два γ -прехода с енергии $E_{\gamma 1} = 1173,2 \text{ keV}$ и $E_{\gamma 2} = 1332,5 \text{ keV}$, които **образуват каскад** в дъщерното ядро на ^{60}Ni (виж фигура 5-2).



Фигура 5-2 Схема на разпадане на ^{60}Co

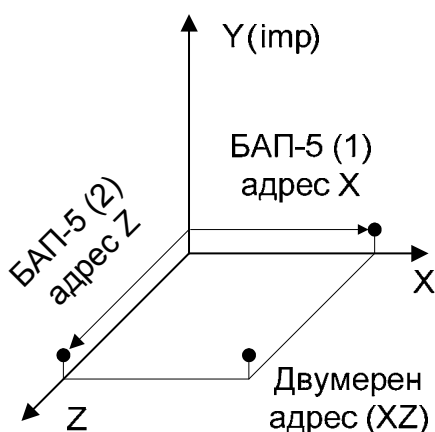
Периодът на полуразпадане на междинното възбудено състояние е 9.10^{-13} s (много по-малък от 2τ на **СС**), така че при регистрирането в двата детектора на двата γ -кванта **излъчени от едно и също ядро** ще се получат „мигновени“ **истински съвпадения**. За разлика от истинските съвпадения, **случайните съвпадения** се дължат на регистрирането (в границите на 2τ) на два γ -кванта, които **не са генетично свързани**, т.е. те са **излъчени от различни ядра**. Случайните съвпадения винаги присъстват като фон при регистрацията на истинските съвпадения.

Всеки един от сцинтилационните детектори дава амплитуден спектър на кобалтовия източник.

Режимът на измерване: 2-параметричен анализ – съвпадения "амплитуда-амплитуда" се реализира, като паметта на анализатора се разделя на 32 групи по 32 канала. Те образуват матрица **XZ (32x32)**, в която се регистрират събитията. Всяко събитие се регистрира чрез **2-мерен цифров код (адрес) (X,Z)**. Разрешение за изработване на двумерен код (адрес) се дава **само тогава, когато**

е сработила Схемата на съвпадения (СС) , т.е., когато импулсите от детектор (1) и детектор (2) съвпадат в границите на разделителното време 2τ .

Единият БАП-5 (1) изработва код (адрес) по оста X , който е пропорционален на амплитудата (респективно енергията) на импулса, постъпил от детектор (1), а другия (2) изработва код по оста Z , пропорционален на амплитудата (респективно енергията) на импулса, постъпил от детектор (2). За пояснение вижте следващата фигура 5-3.



Фигура 5-3 Към регистрацията на събитие с двумерен адрес (XZ)

Регистрацията завършва с известната операция – извикване от паметта на съдържимото в адрес (XZ), добавяне на единица и връщане в паметта. Очевидно, когато имаме много съвпадащи импулси (енергии) с координати Z и X , то на мястото (X,Z) ще се появи връх (хълм).

3D-спектъра в двупараметричен режим съвпадения "амплитуда-амплитуда" е 3-мерна повърхнина на съвпаденията в пространството XYZ , която ще е функция на амплитудите (енергиите) на съвпадащите входящи импулси $Y = F(X,Z)$. (X амплитуда 1, Z амплитуда 2, Y бройка в канал).

За по-ясно наблюдение и настройка, могат да бъдат набирани едномерни амплитудни спектри в равнините YX и YZ , когато съответните блокове БАП-5 бъдат поставени в режим на антисъвпадения (ключ В6 на съответния БАП-5 се поставя от положение СС в положение АС (антисъвпадения)).

Желателно е детекторите да имат добра разделителна способност по енергии - да разделят добре двата фотопика на ^{60}Co .

Тук трябва да се има предвид, че **непрекъснатото комптоново разпределение** на γ -прехода с по-висока енергия (1332,5 keV) се явява като „подложка” под **фотопика** с по-ниска енергия (1173,2 keV).

4. Изпълнение на експерименталната задача

- 1) Апаратурата се подготвя за работа, включва се и се прогрява за около 1 час.
- 2) Източникът ^{60}Co ($\sim 5 \mu\text{Ci}$ ($1,8 \cdot 10^5 \text{ Bq}$) от комплекта AMERSHAM) се поставя между детекторите (1) и (2).
- 3) Наблюдават се едномерни спектри в равнините **YX** и **YZ**. Едномерен спектър в коя да е равнина (**YX** или **YZ**) се набира, като ключ В6 на съответния БАП-5 се поставя на положение **АС** (антисъвпадения). (Забележка: Като **предварителна настройка**, посредством изменение на високото напрежение, усилването и дискриминатора на долното ниво, се „изрязва” известна част (нискоенергийна) от амплитудния спектър на ^{60}Co така, че фотопиковете да се получат в разтегнат мащаб по X и Y (разполагаме с 32 канала).

Ключовете В6 на БАП-5 се поставят в положение **СС**. Ключовете на анализатора АИ-1024-4 се поставят в положения: **АМПЛ., А-А, 32x32**.

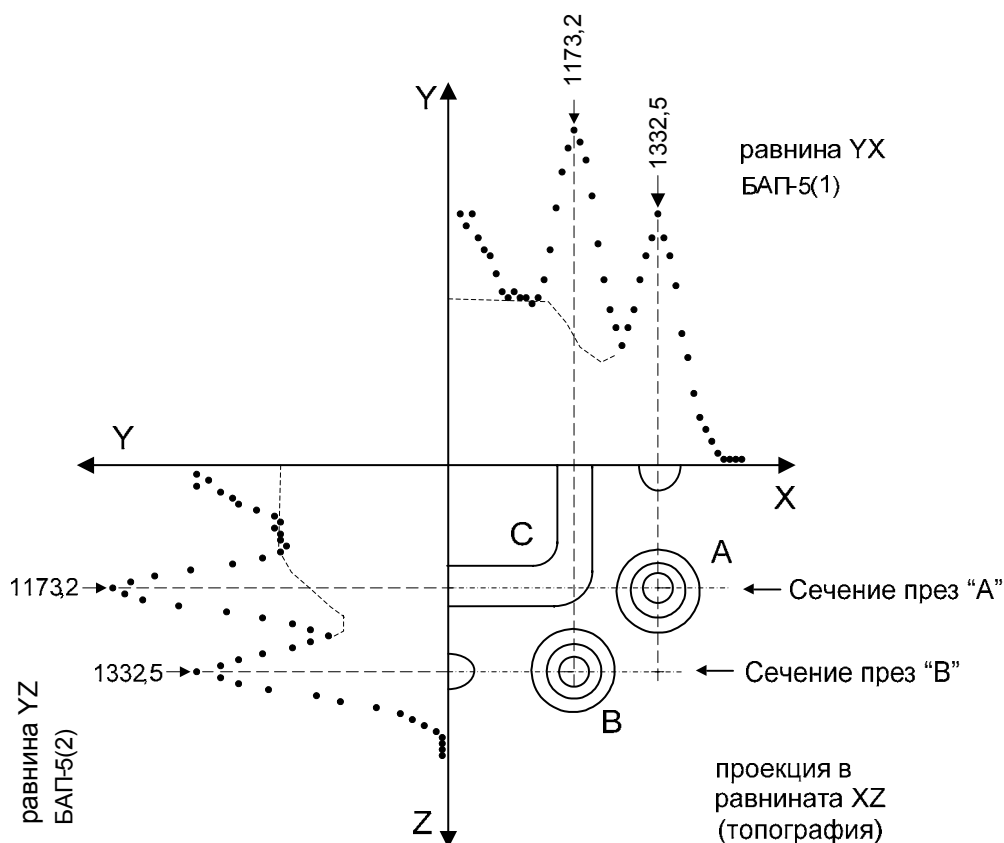
- 4) **Набирането се стартира** с бутона **ПУСК** и се набира **3-мерен спектър на съвпаденията А-А**. Времето за набиране трябва да бъде не по-малко от 30 минути (или до получаване на добра статистика в спектъра).
- 5) Спектърът се **отпечатва** като: № на канал – съдържимо, последователно за всеки канал. Брой на каналите 0-1023. (Заб. Нулевият канал е служебен).

5. Коментар и обработка на експерименталните резултати

На екрана на анализатора АИ-1024 се наблюдава тримерна картина на набрания спектър. Възможно е наблюдението да се извършва и като проекция в равнината **XZ**, чрез изменение на подсветката на каналите с потенциометъра В37. В този

случай максимумите в тримерния спектър излизат като светли петна в равнината **XZ**.

На екрана на анализатора се наблюдава картината, показана в идеализиран вид на фигура 5-4.



Фигура 5-4 Идеализирана картина на 3D-спектъра на съвпадения

Амплитудните спектри в равнините **YX** и **YZ** са „разгърнати“ в плоскостта на чертежа.

Върхът А (петното А) се дължи на **истински съвпадения** на γ -квант с енергия 1332,5 keV (от **YX**), регистриран чрез фотоэффект от **детектор 1** с γ -квант с енергия 1173,2 keV (от **YZ**), регистриран чрез фотоэффект от **детектор 2**.

Върхът В се дължи на **истински съвпадения** на γ -квант с енергия 1173,2 keV (от **YX**), регистриран чрез фотоэффект от **детектор 1** с γ -квант с енергия 1332,5 keV (от **YZ**), регистриран чрез фотоэффект от **детектор 2**.

Както беше отбелязано, фотопика на γ -кванта с енергия 1173,2 keV се регистрира върху силна подложка от **комптоновото разпределение** от γ -квантите с по-високата енергия (Това разпределение е показано с пунктир на фигура 5-4). Комптоновото разсейване, както и фотоефектът, протичат за време, по-малко от разделителното време на схемата на съвпадения и за това се наблюдават **истински съвпадения** между импулса, получен вследствие на Комптоновия ефект от високоенергетичния γ -квант в единия детектор с импулса, получен от пълното поглъщане на нискоенергетичния γ -квант в другия детектор. На тези съвпадения се дължи появата на **областта С**.

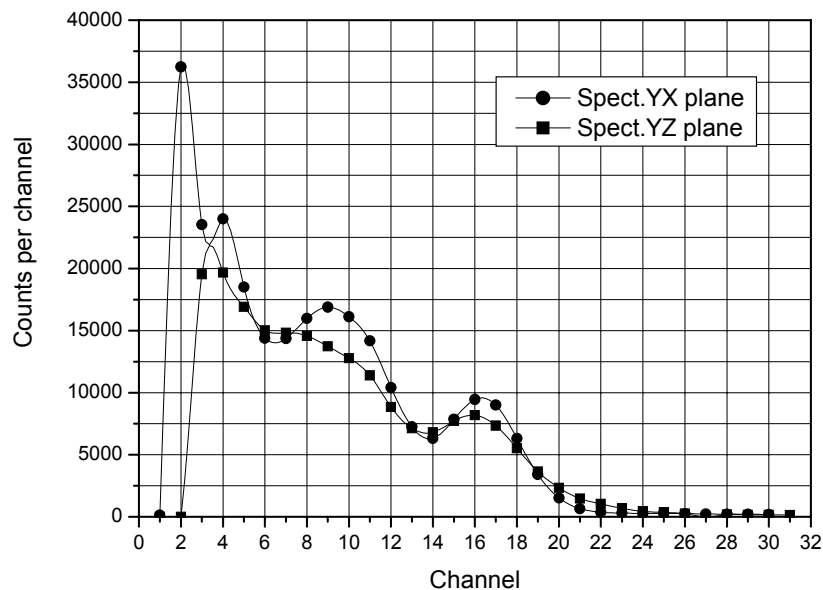
При добра предварителна настройка, 3D-спектърът трябва да е симетричен относно диагонала в равнината **XZ**.

Като правило, бройките в спектрите в равнините **YX** и **YZ** са много по-големи от тези в повърхнината на съвпаденията. Това се дължи на съвпадения с импулси от „отрязаната“ част на противоположния спектър.

Обработката на експерименталните резултати се състои в построяване на **единичните спектри в равнините YX и YZ** и построяване на спектрите на две **сечения на повърхнината на съвпадения** с равнина **Z = const**. Сеченията минават през **връх А (Z = 1173,2 keV)** и през **връх В (Z = 1332,5 keV)**. Сеченията представляват 32-канални амплитудни спектри.

1) За да се построи **спектърът YX**, от разпечатката трябва да се изберат данните за каналите от 1 до 31. За построяването на **спектъра YZ**, от разпечатката трябва **да се изберат** данните за **каналите кратни на 32** (т.е. 32, 64, 96, 128,).

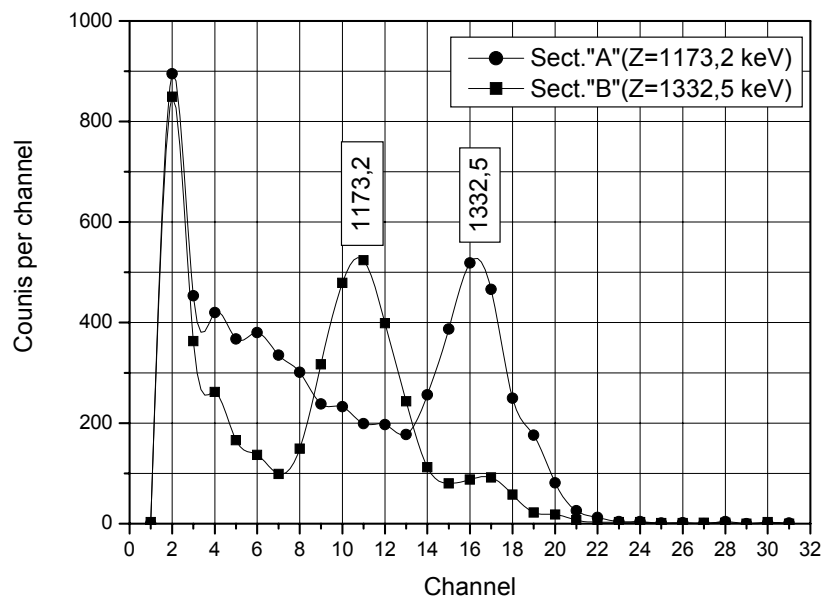
Графиките на спектрите **YX** и **YZ** трябва да имат **приблизително вида**, показан на фигура 5-5.



Фигура 5-5 Експериментални спектри в равнини YX и YZ

(Заб. Вижда се, че разделителната способност на детектор 2 (YZ) е доста по-лоша от тази на детектор 1 (YX))

2) От разпечатката изберете данните за сеченията през върхове **A** и **B**. **Z** се избира така, че да съответства на максимума на линията в спектър **YZ**: за **A** - 1173,2 keV, за **B** - 1332,5 keV. Спектрите на сеченията са 32-канални (последователни канали) и започват от канал, кратен на 32 (не включвайте в данните за сечението този канал – той принадлежи на спектъра **YZ!**). Приблизителният вид на сеченията е показан на следващата фигура 5-6.



Фигура 5-6 Експериментални спектри на сеченията А и В

Забележете, че в сечението по 1173,2 keV излиза линията 1332,5 keV, а в сечението по 1332,5 keV – линията 1173,2 keV. Позициите на линиите в сеченията трябва да съвпадат с позициите на линиите в спектъра **YX**. Съвпадението се счита за много добро, ако разликите са в границите на ± 1 канал.

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

Известно е, че **случайните съвпадения** са фон във всеки спектърна съвпадения, като интензитета във всяка точка **XZ** на 3D-спектъра е сума от интензитетите на истинските и случайните съвпадения: $I^{XZ} = I_{сл}^{XZ} + I_{ист}^{XZ}$

По принцип оценка на скоростта на броене на случайните съвпадения (в imp/s) за която и да е точка **XZ** на 3D-спектъра може да се направи по известната формула: $I_{сл}^{XZ} = 2\tau \cdot I^X \cdot I^Z$, където I^X е интензитета (в imp/s) в канал **X** от спектъра (**YX**), а I^Z - съответно в канал **Z** от спектъра (**YX**). В това упражнение **такава поправка не се прави**, но известна представа за броя на случайните съвпадения дава

„особеността”, наблюдавана в „опашката” на спектъра на **сечението В**, там **истински съвпадения не може да има !**

За удобство, данните избрани от разпечатката могат да бъдат нанесени в следната таблица.

Равнина YX		Равнина YZ		Сечение през A 1173,2 keV		Сечение през B 1332,5 keV	
№ кан.	брой имп.	№ кан.	брой имп.	№ кан.	брой имп.	№ кан.	брой имп.
1		32		$n_1 \times 32 + 1$		$n_2 \times 32 + 1$	
2		64		$n_1 \times 32 + 2$		$n_2 \times 32 + 2$	
3		96		$n_1 \times 32 + 3$		$n_2 \times 32 + 3$	
4		128		$n_1 \times 32 + 4$			
5		160					
6							

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.

Това упражнение илюстрира един мощен **метод** за изследване на структурата на ядрата, с който се откриват **каскади от γ -преходи** в схемите на възбудените състояния.

Този метод се прилага в съвременните многодетекторни системи за изследване на високоспинови възбудени състояния, получавани в ядрени реакции (ротационните ивици дават каскади от бързи E2-преходи).

Разликата е в това, че се използват **HpGe-детектори** с антикомптонова защита и матрицата на двойните съвпадения (A-A) има размерност **4096x4096 канала**, принципът обаче е един и същ.