

Работа 5.14

Определение активности изотопа $^{60}_{27}\text{Co}$ методом двойных совпадений

Оборудование: установка с двумя счетчиками и схемой двойных совпадений, радиоактивный препарат $^{60}_{27}\text{Co}$, секундомер.

Введение

Основной количественной характеристикой радиоактивного препарата является его *активность*. Активностью радиоактивного препарата называется число распадов, которые происходят в препарате за единицу времени. В международной системе единиц (СИ) единицей активности является 1 Бк = 1 распад/с (Беккерель). Допускается использование несистемных единиц распад/мин и Кюри (Ки). *Кюри* — это активность такого препарата, в котором происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распад/с. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ распад/с} = 2,22 \cdot 10^{12} \text{ распад/мин}$. Активность 1 Кюри имеет радиоактивный препарат радия $^{226}_{88}\text{Ra}$ массой 1 г.

Для определения активности препарата необходимо измерить полное число распадов, происходящих за 1 с.

Эта задача является непростой: с одной стороны, не все частицы, возникающие при распаде ядер препарата, попадают в счетчик, а с другой — не все частицы, которые попадают в счетчик, будут им зарегистрированы, это означает, что эффективность счетчика может значительно отличаться от единицы. При этом часть частиц поглощается в препарате, может иметь место отражение от подложки и т. д. Все это требует введения относительных поправок, точный учет которых не всегда возможен.

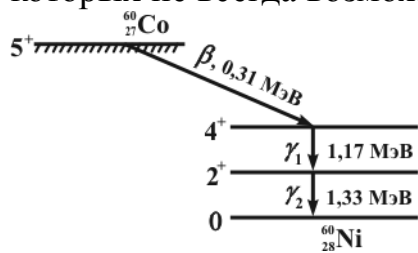
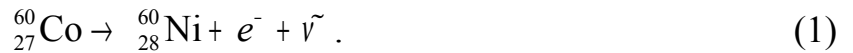


Рис. 5.36

Однако при определении активности препарата, который удерживает только один радиоактивный изотоп с известной схемой распада, при котором последовательно излучается несколько частиц, эти поправки можно не учитывать, если пользоваться *методом двойных совпадений*.

Для этого препарат помещается между двумя счетчиками, включенными в схему двойных совпадений. В данной работе определяется активность радиоактивного изотопа $^{60}_{27}\text{Co}$, схема распада которого приведена на рис. 5.36.

Ядро изотопа кобальта ${}^{60}_{27}\text{Co}$ находится в возбужденном состоянии со спином, равным пяти, и при электронном β -распаде излучает электрон e^- и антинейтрино $\bar{\nu}$, вследствие чего превращается в ядро изотопа никеля (${}^{60}_{28}\text{Ni}$).



Ядро никеля ${}^{60}_{28}\text{Ni}$ находится в возбужденном состоянии со спином, равным четырем, и при переходе в основное состояние излучает γ -кванты.

Переход ядра никеля в основное состояние с изменением спина на 4 единицы маловероятен, а более вероятным является каскадный переход с последовательным изменением спина ядра на две единицы, когда излучаются два γ -кванта с энергиями 1,17 и 1,33 МэВ. Время жизни в возбужденном состоянии 10^{-11} с.

Обозначим активность препарата через A . Если вероятность регистрации γ -квантов первым счетчиком β_1 , а вторым — β_2 , то скорости счета в первом и втором канале с учетом того, что при каскадном распаде излучаются два γ -кванта, будут соответственно равны:

$$N_1 = 2\beta_1 A, \quad (2)$$

$$N_2 = 2\beta_2 A. \quad (3)$$

При включении двух счетчиков в схему совпадений с разрешающим временем $\tau \gg 10^{-11}$ с оба каскадные γ -кванты будут регистрироваться практически одновременно. Однако разрешающее время схемы совпадений τ должно быть достаточно малым, чтобы число случайных совпадений $N_{\text{совп}}$, которое определяется выражением:

$$N_{\text{совп}} = 2N_1 N_2, \quad (4)$$

было значительно меньшим числа *гамма — гамма совпадений*. В данной работе используется схема совпадений с разрешающим временем 10^{-5} с.

В соответствии с теоремой об умножении вероятностей вероятность одновременной регистрации γ -квантов двумя счетчиками равна произведению $\beta_1 \cdot \beta_2$, т. е.

$$\beta = \beta_1 \cdot \beta_2. \quad (5)$$

Тогда скорость счета гамма — гамма совпадений:

$$N_{\text{совп}} = 2\beta_1 \cdot \beta_2 A. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что при определении вероятности регистрации двойных совпадений необходимо было бы учитывать анизотропию направления вылета второго γ -кванта относительно первого, однако для ${}^{60}_{27}\text{Co}$ при разлете γ -квантов под углом 180° соответствующий множитель мало отличается от единицы.

Из соотношений (2), (3) и (6) следует, что активность препарата

$$A = \frac{N_1 N_2}{2N_{\text{совп}}} \quad (7)$$

Таким образом, для определения активности препарата достаточно осуществить измерения скоростей счета γ -квантов N_1 и N_2 первым и вторым счетчиком и скорость счета совпадений $N_{\text{совп}}$.

Описание установки. Блок-схема экспериментальной установки приведена на рис. 5.37. Радиоактивный препарат $^{60}_{27}\text{Co}$ 1 размещен между двумя

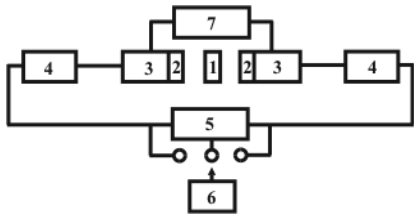


Рис. 5.37

специальными счетчиками γ -квантов, у которых в качестве детекторов излучения используется кристаллы иодида натрия 2. Специальные вспышки, возникающие под действием γ -квантов, регистрируются с помощью фотоэлектронных умножителей ФЭУ-19М 3, электронные импульсы усиливаются усилителями 4 и поступают на схему совпадений 5. Количество импульсов определяется с

помощью декаднного счетчика 6, который может последовательно подключаться к первому и второму каналам, а также к выходу схемы совпадений. Питание фотоумножителей осуществляется с помощью высоковольтного выпрямителя 7.

Порядок выполнения работы

1. Включите установку, дайте ей прогреться, проверьте ее работоспособность.

2. Поочередно подключите счетчик импульсов к выходам первого и второго каналов и определите их фон $N_{1\text{ф}}$ и $N_{2\text{ф}}$.

3. Расположите препарат между счетчиками, поставьте алюминиевые фильтры для поглощения β -лучей, определите скорость счета в первом и втором каналах N' и N'' .

4. Подключите счетчик импульсов к выходу схемы совпадений, сделайте измерения скорости счета совпадений $N_{\text{совп}}$.

5. После учета фона счетчика и поправки на число случайных совпадений подставьте значения N_1 , N_2 и $N_{\text{совп}}$ в формулу (7) и определите активность препарата A .

6. Результаты измерений запишите в таблицу:

| № п/п | $N_{1\text{ф}}$ | $N_{2\text{ф}}$ | N' | N'' | N_1 | N_2 | $N_{\text{совп}}$ | A , Бк |
|-------|-----------------|-----------------|------|-------|-------|-------|-------------------|----------|
| | | | | | | | | |



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принцип работы счетчика.
2. Что называется активностью препарата?
3. В каких единицах измеряется активность изотопа?
4. Что такое эффективность счетчика?
5. Что представляет собой натуральный фон счетчика?
6. В чем заключается сущность теоремы умножения вероятностей?
7. Чем определяется скорость счета γ -квантов счетчиками?
8. Объясните схему превращения ядра кобальта в ядро никеля.
9. В каком случае при определении активности препарата может быть использован метод двойных совпадений?
10. Что называется разрешающим временем схемы совпадений?