

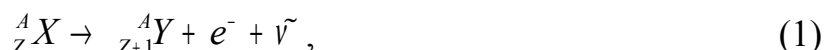
Работа 5.16

Определение максимальной энергии β -излучения по поглощению

Оборудование: источник β -излучения, торцовый счетчик, декатронный счетчик импульсов, набор поглотителей, секундомер.

Введение

Различают три типа ядерных превращений, объединенных понятием β -распад: *электронный β^- -распад, позитронный β^+ -распад и электронный захват.* При электронном β^- -распаде ядро самопроизвольно излучает электрон e^- и электрически нейтральную частицу антинейтрино $\bar{\nu}$. При этом ядро изотопа X с зарядовым числом Z и массовым числом A переходит в изотоп Y с тем же массовым числом A и зарядовым числом $Z + 1$ по схеме:



т. е. один из нейтронов ядра превращается в протон. При позитронном распаде один с протонов ядра превращается в нейтрон



и при этом возникают позитрон e^+ и нейтрино ν .

Возможно также превращение одного из протонов ядра в нейтрон путем захвата ядром одного из электронов атомной оболочки (чаще всего K -оболочки). Этот процесс сопровождается излучением нейтрино:



Характерной особенностью β -распада является то, что электроны или позитроны, которые излучаются атомными ядрами радиоактивного вещества, имеют любые значения кинетической энергии от нуля до некоторой определенной величины E_{\max} , которая называется *предельной* или *максимальной энергией β -спектра.* Типовой β -спектр показан на рис. 5.40.

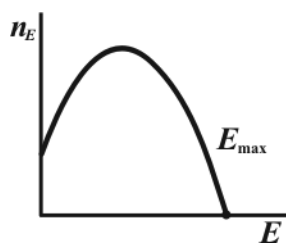


Рис. 5.40

Максимальная энергия β -частиц определяет энергию распада и является важной физической величиной. Величина максимальной энергии β -частиц характеризует каждый изотоп и используется для определения радиохимической чистоты препарата, что является очень важным при использовании радиоактивных изотопов в качестве

меченых атомов. Без определения энергии β -частиц часто оказывается невозможным определить, какие радиоактивные изотопы содержатся в препарате. Значения E_{\max} для β -частиц разных радиоактивных изотопов сильно отличаются между собой и лежат в пределах от 10 кэВ до 5 МэВ. Наиболее точно максимальная энергия спектра может быть определена при помощи магнитных β -спектрометров, принцип действия которых основан на отклонении заряженных частиц, движущихся в магнитном поле. Однако в большинстве случаев пользуются менее точными, но более простыми методами, не требующими дорогого оборудования. Одним из таких является метод поглощения β -частиц разными поглотителями. В качестве поглотителей обычно используют алюминиевые фольги, так как для алюминия точно изучена связь между длиной пробега β -частиц и их энергией.

Для простого β -спектра поглощение может быть с некоторым приближением описано формулой

$$I = I_0 e^{-\mu x}, \quad (4)$$

где I_0 — начальная интенсивность потока β -частиц, I — их интенсивность после прохождения поглотителя толщиной x , μ — общий коэффициент поглощения.

Такой быстрый спад интенсивности объясняется тем, что в пучке β -частиц есть электроны разных энергий, в том числе и очень малых, медленные же электроны поглощаются очень быстро.

Формула (4) применима при изменении интенсивности в широких пределах, вплоть до значений, составляющих 1 % от начальной. Если зависимость (4) изобразить графически в полулогарифмических координатах $\ln I = f(x)$ (рис. 5.41), то в случае химически чистого радиоактивного изотопа экстраполяцией линейного участка графика до пересечения с осью x можно получить толщину слоя полного поглощения R

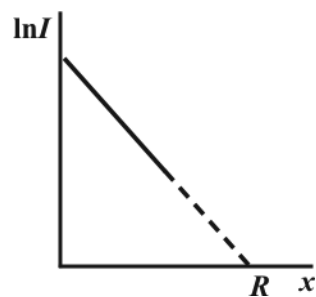


Рис. 5.41

Для определения максимальной энергии β -частиц необходимо знать связь между их энергиями и пробегом. Установить такую связь теоретически нельзя, поэтому для определения E_{\max} используют эмпирические формулы, полученные экспериментально табличные данные и графики. В случае β -частиц с энергией от 0,8 до 3 МэВ зависимость величины пробега в веществе от их энергии является практически линейной и может быть описана эмпирической формулой:

$$R = 0,542 E_{\max} - 0,133, \quad (5)$$

где R — толщина слоя полного поглощения в алюминии, выраженная в г/см^2 , E_{max} — максимальная энергия в МэВ.

При значениях энергии в пределах от 0,15 МэВ до 0,8 МэВ:

$$R = 0,407 E_{\text{max}}^{1.38}, \quad (6)$$

а для интервала от 0,05 до 0,15 МэВ используют формулу:

$$R = 6,67 \cdot 10^{-3} E_{\text{max}}^{5/3}. \quad (7)$$

Для определения E_{max} можно использовать *метод половинного поглощения*. Для этого необходимо определить толщину $x = d_{1/2}$ слоя поглотителя, при которой начальная интенсивность β -частиц уменьшится в два раза. Значения толщины слоя половинного поглощения β -частиц $d_{1/2}$ в мг/см^2 для алюминия и соответствующие величины их максимальной энергии E_{max} в МэВ приведены в приложении (таблица 23). На основании формулы (4) и с учетом того, что $N(d_{1/2}) = N_0/2$, можно записать

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\mu d_{1/2}},$$

откуда $e^{\mu d_{1/2}} = 2$, что дает $d_{1/2} = (\ln 2)/\mu = 0,693/\mu$.

Коэффициент поглощения можно определить, если измерить N_1 и N_2 при толщине поглотителя x_1 и x_2 соответственно. При этом будем иметь:

$$N_1 = N_0 e^{-\mu x_1}, \quad N_2 = N_0 e^{-\mu x_2} \quad \text{или} \quad \frac{N_1}{N_2} = e^{-\mu (x_1 - x_2)}.$$

Откуда $\ln(N_1/N_2) = -\mu (x_1 - x_2)$, следовательно: $\mu = \frac{\ln N_1 - \ln N_2}{x_2 - x_1}$.

Если подставить это выражение в формулу для $d_{1/2}$, то получим:

$$d_{1/2} = 0,693 \frac{x_2 - x_1}{\ln N_1 - \ln N_2}. \quad (8)$$

Описание установки. Для регистрации β -частиц используется экспериментальная установка, блок-схема которой показана на рис. 5.42.

В выносном блоке 1 расположен торцовый счетчик 2, который питается от выпрямителя 3. Импульсы, возникающие в счетчике 2, усиливаются усилителем 4 и регистрируются декартонным счетчиком 5. Источник β -частиц 6 находится в пушке 7 под слюдяным окошком торцового счетчика 2. Между источником β -частиц и счетчиком расположен поглотитель 8, сделанный из алюминиевой фольги.

Порядок выполнения работы

1. Включите установку и дайте ей прогреться.
2. Разместите между источником β -частиц и счетчиком фильтр, полностью поглощающий β -излучение, и определите фон N_{ϕ} со статистической точностью 5 %.

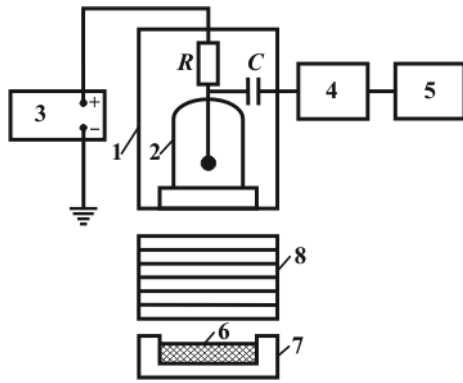


Рис. 5.42

3. Исследуйте зависимость между толщиной поглотителя и интенсивностью N_x пучка β -частиц. В качестве поглотителя используйте листы алюминиевой фольги.

4. Вычислите массовую толщину поглотителя ($x = \rho d$, где d — толщина пластинки, $\rho = 2700$ кг/м³ — плотность алюминия).

5. Постройте кривую поглощения в полулогарифмическом масштабе $\ln N = f(x)$, где $N = N_x - N_{\phi}$.

6. По полученному графику определите максимальный пробег β -частиц R и толщину слоя половинного поглощения $d_{1/2}$. При определении пробега учитывайте толщину окошка торцового счетчика (5 мг/см²) и толщину слоя воздуха между источником β -частиц и счетчиком.

7. Определите толщину слоя половинного поглощения по формуле (8).

8. Используя данные, приведенные в таблице приложения, найдите максимальную энергию E_{\max} .

9. В зависимости от этого значения E_{\max} используйте одну из формул (5 — 7), подставьте в нее значение максимальной длины пробега R , которое получили из графика $\ln N = f(x)$, и снова определите E_{\max} . Сравните полученные значения E_{\max} .

10. Результаты измерений запишите в таблицу:

№ п/п	N_{ϕ}	x , мг/см ²	N_x	N	R , мг/см ²	$d_{1/2}$, мг/см ²	E_{\max} , МэВ



КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Назовите типы β -распада. Запишите их схемы.

2. Объясните процессы превращения частиц друг в друга, происходящие при определенном β -распаде?
3. Как объяснить присутствие в β -спектре частиц с разными энергиями?
4. Почему при определении фона источник β -частиц не удаляется, а закрывается фильтром, который полностью поглощает β -частицы?
5. Какую энергию называют предельной?
6. Что называется слоем половинного поглощения?
7. В чем заключается метод поглощения?
8. Запишите соотношение между толщиной поглотителя в см и мг/см².
9. Назовите границы значений энергии β -частиц.
10. Запишите соотношение, выражающее закон поглощения β -излучения, и сформулируйте его.