

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 51

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АЛЬФА-ЧАСТИЦ ПО ДЛИНЕ ИХ ПРОБЕГА В ВОЗДУХЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является изучение энергетических характеристик альфа(α)-частиц и механизмов их взаимодействия с веществом, включающее в себя экспериментальное исследование зависимости длины свободного пробега альфа-частицы в воздухе от ее энергии и сравнение полученных результатов с предсказаниями теории, а также ознакомление со стандартными приборами дозиметрического контроля альфа-радиоактивности, используемых для детектирования альфа-частиц.

2. ВВЕДЕНИЕ

Альфа-частицами называются ядра гелия ${}^4_2\text{He}$, состоящие из двух протонов и двух нейтронов. Альфа-частицы, возникающие при естественном радиоактивном распаде атомных ядер (например, при распаде радия и радона) имеют обычно энергию в диапазоне 4–11 МэВ. Альфа-частицы с такими энергиями используются при изучении строения вещества. Именно при изучении рассеяния альфа-частиц на тонких металлических пленках Эрнест Резерфорд в 1911 г. сделал вывод о том, что масса атома практически целиком сосредоточена в положительно заряженном атомном ядре, имеющем размеры $\sim 10^{-15}$ м. Первая в истории человечества искусственная ядерная реакция ($\alpha + {}^{14}_7\text{N} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + p$) была осуществлена Э. Резерфордом в 1919 году также с использованием альфа-частиц. Если увеличить энергию альфа-частиц до нескольких сотен МэВ (такие высокоэнергетичные альфа-частицы можно получить на современных ускорителях), то их уже можно использовать для изучения свойств атомных ядер. Таким образом, энергия альфа-

частицы является важнейшей физической характеристикой, которая определяет особенности ее взаимодействия с веществом и, соответственно, может быть измерена при исследовании этого взаимодействия.

Для измерения энергии альфа-частиц используют различные экспериментальные методы. Первая методика основана на том, что столкновение альфа-частицы с молекулами некоторых веществ (например, ZnS) сопровождается вспышкой света, причем из закона сохранения энергии следует, что яркость этой вспышки будет тем больше, чем больше энергия частицы. Эта вспышка слишком слаба, чтобы ее можно было наблюдать невооруженным глазом, однако ее можно зарегистрировать с помощью стандартного фотоэлектронного умножителя, амплитуда электрического тока на выходе которого будет пропорциональна интенсивности световой вспышки в кристалле и, соответственно, пропорциональна энергии альфа-частицы. С помощью основанных на этой методике приборов, называемых сцинтилляционными альфа-спектрометрами, можно определить энергию альфа-частиц с высокой точностью. Вторая методика измерения энергии альфа-частиц – менее точная, но зато и более простая – основана на том факте, что прохождение альфа-частиц через вещество сопровождается их торможением.

Основными процессами взаимодействия альфа-частиц с веществом являются процессы упругого рассеяния и ионизационного торможения. Упругое рассеяние – это такой тип рассеяния, при котором кинетическая энергия альфа-частицы практически не меняется, а меняется лишь направление ее движения. Основной вклад в упругое рассеяние альфа-частиц вносит их взаимодействие с атомными ядрами вещества, тогда как на электронах альфа-частицы почти не рассеиваются упруго из-за своей большой массы (масса альфа-частицы примерно в 7350 раз больше массы электрона). Однако взаимодействие альфа-частиц с электронами играет доминирующую роль в таком неупругом процессе, как ионизационное торможение, когда энергия альфа-частицы передается электронам в веществе, расходуясь на ионизацию и возбуждение атомов среды, через которую она проходит. Из закона сохранения энергии следует, что такая передача энергии от альфа-частицы к электронам приведет к уменьшению кинетической энергии альфа-частицы и, как следствие, к ее торможению. Характеристикой этого неупругого процесса является так называемая длина пробега альфа-частицы, определяемая как расстояние, проходимое альфа-частицей в веществе до момента полной потери энергии или, иными словами, до момента ее

полного торможения. Очевидно, что длина пробега альфа-частицы будет тем больше, чем больше энергия альфа-частицы. Поэтому экспериментальное исследование пробега альфа-частицы в веществе позволяет определить ее энергию. Именно эта методика используется в данной лабораторной работе.

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Лабораторная установка, изображенная на рис. 1, состоит из источника альфа-излучения, блока детектирования, в качестве которого используется сцинтилляционный альфа-спектрометр БДЗА2-01, и пересчетного прибора ПСО-5. Поток альфа-частиц, вылетающих из источника, пройдя слой воздуха и светозащитную алюминиевую фольгу, попадает на экран блока детектирования, изготовленного на основе

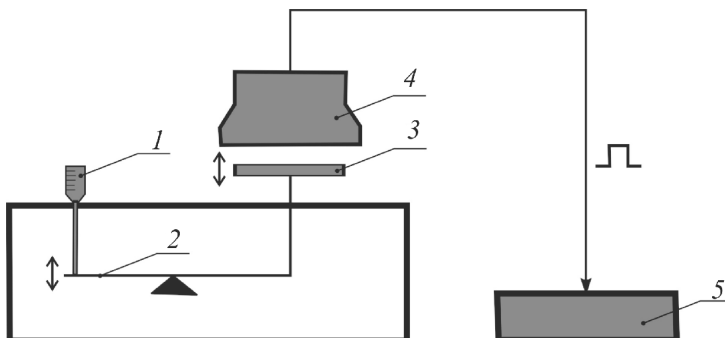


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

- 1 – микрометрический винт; 2 – перемещающаяся платформа (стрелками указаны возможные направления перемещения); 3 – источник альфа-излучения; 4 – блок детектирования БДЗА2-01; 5 – пересчетный прибор ПСО-5

люминофора ZnS. Альфа-частицы, попадая на слой люминофора, вызывают появление вспышек, которые, в свою очередь, регистрируются фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). На выходе ФЭУ формируются импульсы напряжения, поступающие на вход пересчетного устройства, которое суммирует число импульсов Φ , поступивших от блока детектирования в течение заданного нами промежутка времени.

4. РАБОЧИЕ ФОРМУЛЫ

В качестве источника альфа-частиц в работе используется стандартный образец плутония ^{239}Pu , применяемого для калибровки дозиметрических приборов. Существенно, что интенсивность альфа-излучения этого источника очень мала и не представляет опасности для здоровья человека. Поток альфа-частиц, создаваемый этим источником, является непараллельным и немоноэнергетическим. Это связано с тем, что альфа-частицы, вылетающие не с поверхности образца, а из залегающих в его глубине слоев, теряют часть энергии и меняют направление своего движения в процессе столкновения с атомами материала образца. Поэтому для описания разброса длины пробега альфа-частицы водится понятие экстраполированного пробега R_3 , а величину $S = |R_3 - R_0|$ называют параметром разброса, где R_0 – средняя длина пробега альфа-частицы. Чем больше длина свободного пробега альфа-частицы, тем большее число частиц Φ попадает в единицу времени в детектор альфа-излучения при заданном расстоянии r между источником излучения и детектором. Таким образом, величина Φ является интегральной характеристикой длины пробега альфа-частицы. Для нахождения энергии альфа-частицы необходимо построить кривую зависимости $\Phi(r)$ и определить значение экстраполированного пробега R_3 , задаваемое пересечением касательной к этой кривой в точке $r = R_0$ с осью абсцисс (см. рис. 2).

Взаимосвязь между экстраполированной длиной пробега альфа-частицы R_3 [см] в любом веществе и энергией альфа-частицы E [МэВ] приближенно описывается соотношением

$$R_3 \approx \left(\frac{AE^3}{\rho} \right)^{1/2} \cdot 10^4, \quad (1)$$

где A [а.е.м.] – атомный вес вещества-поглотителя, а ρ [г/см³] – плотность вещества-поглотителя. Если веществом-поглотителем является воздух, то выражение (1) принимает простой вид

$$R_3 \approx 0,32 \cdot E^{3/2}. \quad (2)$$

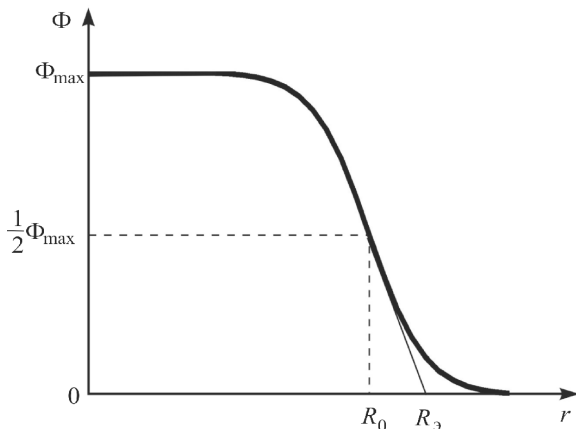


Рис. 2. Зависимость числа попавших в детектор альфа-частиц от расстояния между источником альфа-частиц и детектором

С учетом того, что в конкретных условиях данной лабораторной работы поглощение альфа-частиц имеет место как в воздухе, так и в светозащитной алюминиевой фольге блока детектирования, соотношение (2) позволяет записать энергию альфа-частицы в виде

$$E[\text{МэВ}] \approx 1 + \left(\frac{R_3}{0,32} \right)^{2/3}. \quad (3)$$

5. ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Ознакомиться с инструкцией по работе с пересчетным устройством ПСО-5, находящейся в конце данных методических указаний.

2. Поместить источник альфа-излучения на подвижную платформу, находящуюся под входным окном блока детектирования, и микрометрическим винтом подвести источник вплотную к выполненному из алюминиевой фольги светозащитному экрану блока детектирования.

3. Включить приборы детектирования и пересчета и прогреть их перед началом эксплуатации в течение 5–7 минут.

4. Установить на шкале пересчетного прибора время экспозиции, равное 10 секундам. Выждав одну минуту, произвести по табло пересчетного прибора замер числа поступивших в детектор альфа-частиц.

5. Микрометрическим винтом удалить радиоактивный образец от экрана на 2 мм и, не меняя ранее установленное время экспозиции, вновь провести замер числа альфа- частиц, попавших в блок детектирования.

6. Удаляя источник альфа-частиц от защитного экрана и проводя измерения числа зарегистрированных альфа-частиц с интервалом 2 мм, построить зависимость $\Phi(r)$ и найти величину R_α , так, как показано на рис. 2.

7. Рассчитать энергию альфа-частиц по формуле (3).

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что представляют собой альфа-частицы?
2. Как альфа-частицы взаимодействуют с веществом ?
3. Что такое длина пробега альфа-частицы?
4. Что такое экстраполированная длина пробега альфа-частицы?
5. Как связаны между собой длина пробега альфа-частицы и ее энергия?
6. Почему экстраполированная длина пробега альфа-частицы уменьшается с увеличением плотности вещества?
7. На чем основаны методы детектирования альфа-излучения?
8. Какие другие приборы для регистрации элементарных частиц Вы знаете?
9. Какое из двух радиоактивных излучений – альфа-излучение или бета-излучение – обладает большей проникающей способностью? Почему?
10. Какое из двух радиоактивных излучений – альфа-излучение или бета-излучение – обладает большей ионизирующей способностью? Почему?

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимов. – М.; Академия, 2006. – § 255–257.
2. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. – М.; Наука, 2007. – Т. 3. – § 70, 71, 75.
3. Широков Ю.М. Ядерная физика / Ю.М. Широков, Н.П. Юдин. – М.; Наука, 1972.