

## Лабораторная работа 2.

### Обратное рассеяние $\beta$ - излучения

**Цель работы:** выявить закономерности отражения  $\beta$ -частиц, испускаемых радионуклидами.

#### Теоретическая часть

##### *Основные закономерности процесса обратного рассеяния $\beta$ -частиц*

При прохождении через вещество  $\beta$ -частицы претерпевают упругое и неупругое рассеяние, вследствие чего изменяют направление своего движения и теряют свою энергию на ионизацию и возбуждение атомов, а при больших энергиях и на тормозное излучение.

Сечение упругого рассеяния при больших углах рассеивания описывается формулой Резерфорда, в которой показывается, что сечение рассеяния  $\sigma \sim Z_{\text{эфф}}^2 / v$ , где  $Z_{\text{эфф}}$  – эффективный заряд рассеивателя;  $v$  – скорость падающего электрона.

Упругое рассеяние может быть разделено на следующие виды:

- однократное рассеяние ( $x \ll 1/(\sigma N)$ )
- кратное рассеяние ( $x \sim 1/(\sigma N)$ );
- многократное рассеяние ( $x \geq 1/(\sigma N)$ );
- рассеяние в толстых слоях - диффузию ( $x \gg 1/(\sigma N)$ ),

где  $\sigma$  – сечение рассеяния частиц;  $N$  – концентрация атомов  $1/\text{см}^3$ ;  $x$  – толщина образца.

Рассеяние заряженных частиц малой энергии происходит на кулоновском потенциале ядер вещества рассеивателя. Из-за рассеяния меняются параметры пучка, происходит изменение направления движения  $\beta$ -частиц, расширение поперечных размеров пучка, имитация магнитного искривления следов частиц, разброс в длине пути, потеря части частиц в пучке, выход  $\beta$ -частиц из слоя со стороны падающего пучка. В последнем случае частицы являются рассеянными в обратном направлении при однократном, кратном или многократном

рассеянии (обратное рассеяние или обратная диффузия). Число обратно рассеянных электронов достигает насыщения при определенной толщине образца, толщине обратного рассеяния  $d_H$  (или «толщине обратной диффузии»).

Таким образом, при взаимодействии пучка  $\beta$ -частиц с поверхностью толстого образца (мишени) часть  $\beta$ -частиц, испытывая многократное упругое и неупругое рассеяния, останавливается и остается в образце, а часть рассеивается в обратном направлении.

Обратное рассеяние характеризуется дифференциальным и интегральным коэффициентами обратного рассеяния.

Дифференциальный коэффициент обратного рассеяния  $r(x, \theta, E, Z_{эфф})$  определяется как отношение интенсивности отраженного потока частиц в элементе телесного угла  $d\theta$  к интенсивности потока, падающего на мишень.

Интегральный коэффициент обратного рассеяния  $q(x, E, Z_{эфф})$  равен отношению полной интенсивности отраженного потока к интенсивности падающего [4]:

$$q(x, E, Z_{эфф}) = \int_{2\pi} r(x, \theta, E, Z_{эфф}) d\Omega$$

Величина  $q(x, E, Z_{эфф})$  для падающего параллельного пучка существенно отличается от  $q(x, E, Z_{эфф})$  для диффузного излучения, имеющего место при использовании радионуклидных источников. Величина  $q(x, E, Z_{эфф})$  с увеличением толщины поглотителя  $x$  возрастает и достигает насыщения.

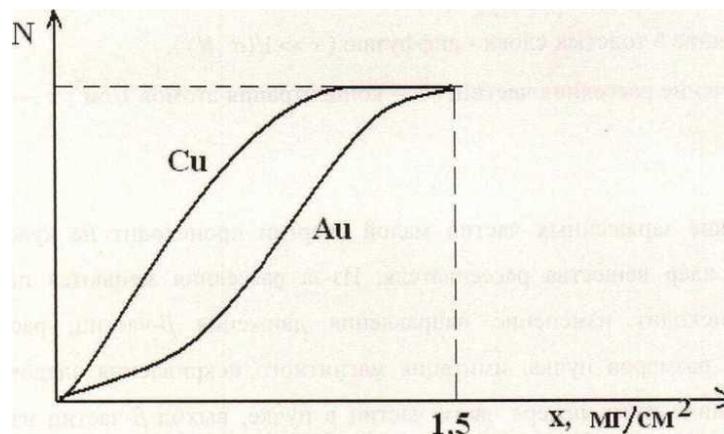


Рис. 2.1 Зависимость вероятности обратного рассеяния электронов  $N$  от толщины  $x$  вещества

На рис.2.1 видно, что с увеличением  $Z_{эфф}$  толщина обратной диффузии достигается при меньших глубинах проникновения  $\beta$ -частиц. (Это связано с квадратичной зависимостью сечения упругого кулоновского рассеяния от  $Z_{эфф}$  и зависимостью угла рассеяния  $\theta$  от  $Z_{эфф}(\theta \sim Z_{эфф})$ ).

Зависимость  $q$  от  $x$  для источника со сплошным спектром имеет свои отличия. При облучении образца мишени частицами, испускаемыми радионуклидным источником, в их потоке содержатся частицы всех энергий, и они падают на мишень изотропно, под разными углами (а не по нормали).

При косом падении вероятность выхода частиц в обратном направлении выше, чем при «нормальном» для той же самой энергии, отсюда вытекают 2 следствия:

а) для сплошного спектра с  $E_{max}$  насыщение обратного рассеяния наступает при меньших толщинах, чем для параллельного пучка с энергией  $E=E_{max}$ ;

б) с увеличением толщины поглотителя относительный коэффициент обратного рассеяния  $q_x/q_\infty$  увеличивается также по экспоненциальному закону, но одинаково для материалов с разными  $Z_{эфф}$ , т.е. зависимость от  $Z_{эфф}$  исчезает.

Коэффициент обратного рассеяния  $\beta$ -частиц с непрерывным спектром при изменении  $E_{max}$  изменяется слабее, чем в случае параллельного пучка моноэнергетических электронов.

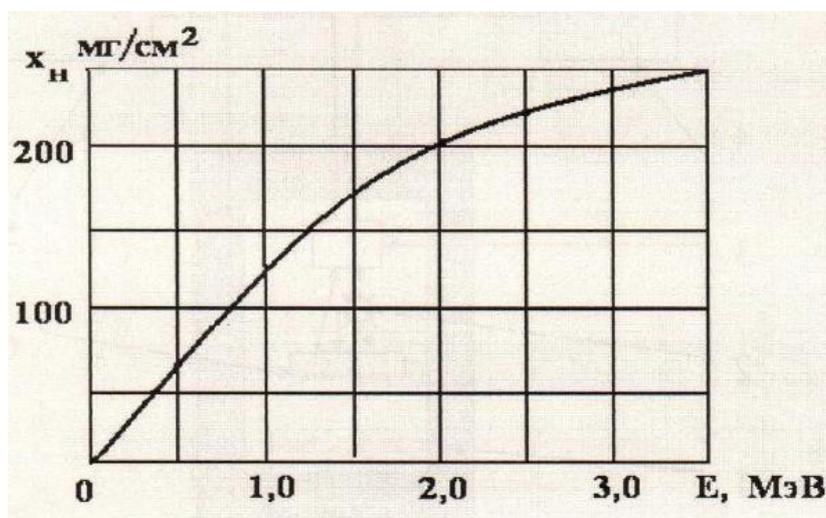


Рис. 2.2. Зависимость толщины насыщения  $x$  при обратном рассеянии  $\beta$ -частиц от их энергии  $E$ .

Зависимость  $q$  от эффективного атомного номера описывается формулой [4]:

$$q = A \cdot Z^{0,67}$$

Толщина слоя насыщения обратного рассеяния в зависимости от энергии изменяется сложным образом. Указанная зависимость представлена на рис.2.2.

### Описание экспериментальной установки

Схема экспериментальной установки показана на рис.2.3. Установка содержит свинцовый домик 1, внутри которого размещаются радионуклидный источник  $\beta$ - частиц 2, счетчик  $\beta$ -частиц 3, на который подается высокое напряжение от источника высоковольтного напряжения 4, выход детектора соединен к пересчетному устройству 5, под источником 2 находится рассеиватель 6. Импульсы со счетчика 3 подаются на пересчетный прибор 5. Используемые в эксперименте рассеиватели представляют собой алюминиевые фольги разных толщин, а также пластины из разных материалов (*Al, Fe, Cu, Zr, Cd, Sn, Pb*, полиметилметакрилат, полистирол). Рассеиватели устанавливаются под источником в непосредственной близости на одном и том же расстоянии от него. (Для получения более надежных результатов необходимо следить, чтобы расстояние от источника до рассеивателя и до детектора в процессе проведения эксперимента оставались одними и тем же.)

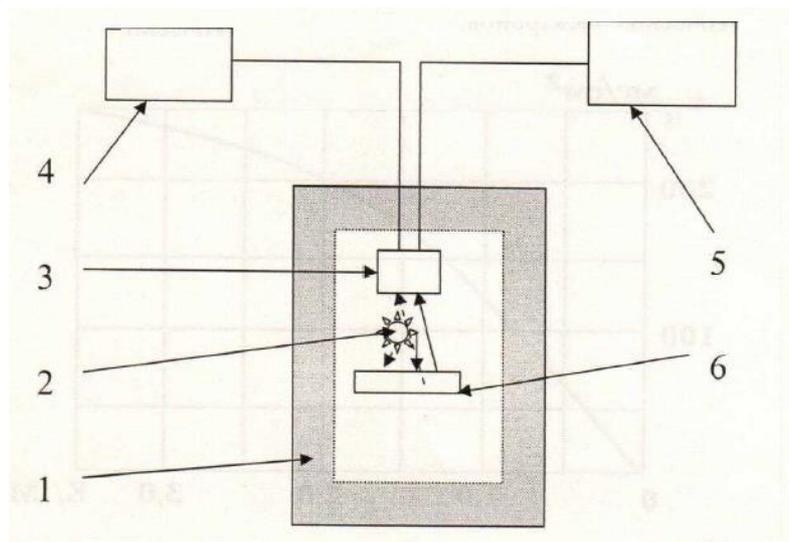


Рис.2.3. Схема экспериментальной установки для изучения обратного рассеивания  $\beta$ -излучения

### Подготовка установки к работе

1. Включить установку, после 15-минутного прогрева определить плато на счетной кривой и установить значение высоковольтного напряжения в середине счетной кривой.

2. Измерить фон в течение 5-10 минут.

3. Установить источник  $\beta$ -частиц в свинцовый домик

4. Установить под источником излучения подставку для рассеивателей.

Расстояние между источником и рассеивателем должно быть минимальным.

5. Измерить число рассеянных бета частиц для нескольких положений источника. Подобрать положение источника таким образом, чтобы за время измерений не более 3-х минут статистическая ошибка измерений не превышала 1%.

6. Измерить число зарегистрированных частиц в отсутствие рассеивателя за выбранное время.

### Задания

#### *1. Исследование зависимости коэффициента обратного рассеяния от энергии $\beta$ -частиц*

1. Измерить число рассеянных бета частиц рассеянного излучения от, когда в свинцовом домике находится только держатель образца (фон  $N_\phi$ )

2. Измерить число рассеянных бета частиц без рассеивателей, когда источник направлен на счетчик ( $N_n$ ) и когда источник направлен в противоположную сторону ( $N_3$ ) и счетчик регистрирует только рассеянное излучение от держателя и корпуса свинцового домика.

3. Измерить число рассеянных бета частиц от алюминиевых фольг различных толщин (от 2 до 300 мг/см<sup>2</sup>). Результаты измерений занести в таблицу 2.1.

4. Построить графики зависимости коэффициента обратного рассеяния  $q$  от толщины алюминиевых подложек. Определить толщину слоя насыщения и выразить ее в долях максимального пробега.

Таблица 2.1

Зависимость коэффициента обратного рассеяния  $\beta$ -излучения  $q$  от толщины алюминиевой подложки

Время измерения, с				
Фон ( $N_{\phi}$ ), имп./с				
Прямой поток $N_{\Pi}$ ,				
Толщина слоя рассеивателя, мг/см <sup>2</sup>	Показания пересчетного прибора, $N_s$	$N=N_s-N_{\phi}$	$q = \frac{N}{N_{\Pi} - N_{\phi}}$	Примечания
0				
2				
4				
5				
8				
10				
12				
13				
16				-
18				
Далее до прекращения изменения в счете импульсов				

5. По формуле зависимости толщины насыщения от величины пробега оцепить значения величины максимального пробега [4]:

$$d_H = \left[ 1 - \exp\left(-\frac{5,9}{Z}\right) \right] \cdot R$$

6. По построенному графику зависимости  $d_H$  от энергии  $\beta$ -излучения оценить граничную энергию  $\beta$ -излучения. По формулам лабораторной работы, исходя из вычисленного значения пробега  $R$  определить значение энергии  $\beta$ -частиц и сравнить значения энергий, полученные разными способами.

## *II. Исследование зависимости коэффициента обратного рассеяния $\beta$ -частиц от энергии источника*

1. Повторить задание I для двух дополнительных источников с другими граничными энергиями  $\beta$ -частиц.
2. Сделайте письменное заключение о полученных результатах.

## *III. Исследование зависимости коэффициента обратного рассеяния от атомного номера Z*

1. При соблюдении условий задания I измерить число рассеянных бета частиц от толстых образцов из алюминия, железа, меди, циркония, кадмия, олова, свинца и полиметилметакрилата для двух ранее использованных источников  $\beta$ -частиц. Данные занести в табл. 2.2.

2. Построить зависимости  $q$  от атомного номера материала рассеивателя и по графику определить средний атомный номер полиметилметакрилата (плексиглас).

Таблица 2.2

Зависимость коэффициента обратного рассеяния  $\beta$ -излучения от его энергии и материала подложки

Источник				
Время измерения, с				
Фон ( $N_\phi$ ), имп./с				
Прямой поток $N_\pi$				
Материал подложки	Показания пересчетного прибора, $N_\beta$	$N = N_\beta - N_\phi$	$q = \frac{N}{N_\pi - N_\phi}$	Примечания
Без подложки				
Алюминий				
Железо				
Медь				
Цирконий				
Кадмий				
Олово				
Свинец				
Плексиглас				

3. Повторить задание 2 для другого дополнительного источника бета частиц с другой граничной энергией  $\beta$ -частиц.

4. Полученные результаты отобразить на графиках с отображением погрешностей измерения и погрешностей расчетов.

5 Написать заключение по работе. В заключении указать, что и каким методом определялось, полученные результаты с погрешностями определения значений максимальных пробегов и граничных энергий. Указать причины возникновения погрешностей определения граничных энергий и других величин.

### **Вопросы для самоконтроля**

1. Каковы основные различия зависимостей коэффициента обратного рассеяния  $\beta$  - частиц с линейчатым спектром и со сплошным спектром?

2. По какому закону увеличивается коэффициент обратного рассеяния с увеличением толщины? Имеется ли зависимость от  $Z_{эфф}$ ?

3. Как зависит коэффициент обратного рассеяния от  $Z_{эфф}$  при  $E_{max} = const$ ?

4. Как зависит коэффициент обратного рассеяния от энергии  $E_{max}$ ?

5. Каким образом можно определить максимальную энергию  $\beta$ -излучения?

### **Литература**

4. К. Н. Мухин. Экспериментальная ядерная физика. Том 1. Физика атомного ядра. М., Энергоатомиздат, 1983 г.. 247 с. (с.33, 194-310).

5. А.П. Черняев. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом. М., Издательство « Физматлит», 2004 г.,152 с.