



Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Техническая физика»

Лаборатория ядерной и радиационной безопасности

Лабораторный практикум по дисциплине
«Защита от ионизирующего излучения»

Лабораторная работа № 3

**Взаимодействие бета-частиц с
веществом: зависимость проникающей
способности бета-частиц от их
максимальной энергии**

Минск 2016

Описание теории взаимодействия бета-частиц с веществом представлено в Главе 5 (стр. 75) учебного пособия «Практикум по ядерной физике», под ред. В.О. Сергеева. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2006. (см. в электронном виде в разделе «Вспомогательные материалы»)

Цель работы: изучить основные механизмы взаимодействия бета-излучения с веществом; изучить зависимость проникающей способности бета-частиц от их максимальной энергии

Приборы и материалы: универсальный лабораторный спектрометр с органическим сцинтилляционным (стильбен) бета-детектором; источники бета-излучения из комплекта образцовых радиометрических бета-источников (ОРИБИ): Tl-204, Sr-90(Y-90), Ru-106(Rh-106); поглотитель – алюминиевая фольга.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Подготовка спектрометра к работе

- 1.1. Включите спектрометр нажатием сетевой кнопки с тыльной стороны прибора.
- 1.2. Запустите программу «Spectrometer».
- 1.3. Установите питание детектора на 60% от полной мощности, задайте значение коэффициента усиления 8.
- 1.4. Установите нижний порог шкалы детектирования 50, отсекая тем самым из диапазона регистрации низкоэнергетические импульсы, связанные, в основном, с шумами самого детектора.
- 1.5. Установите время экспозиции 100 секунд.
- 1.6. После установки всех параметров следует нажать кнопку «Применить». Запуска на регистрацию производится кнопкой «Пуск». После истечения времени экспозиции остановка регистрации происходит автоматически. Принудительная остановка регистрации может быть выполнена с помощью кнопки «Стоп».
- 1.7. В центральном поле окна программы во время набора будет отображаться спектр регистрируемого излучения как

зависимость числа зарегистрированных импульсов от номера канала, в котором произошла регистрация. Суммарное количество зарегистрированных импульсов отображается на панели «Integrate!».

- 1.8. Для повторного запуска с теми же параметрами нажмите кнопки «Сброс» и «Пуск».

2. Измерение фона

- 2.1. Установите на детектор защитную крышку. Трижды измерьте фоновые значения излучения. Запишите значение числа фоновых импульсов N_{ϕ} в тетрадь. Рассчитайте среднее значение $\langle N_{\phi} \rangle$.

3. Изучение проникающей способности бета-частиц.

- 3.1. Получите у преподавателя один из трех бета-источников и установите его над детектором.
- 3.2. Введите между источником и детектором одну алюминиевую фольгу, толщиной $h = 0.15$ мм, и зарегистрируйте число импульсов за время экспозиции $N_{u\phi}$. Из полученного значения вычтите полученное ранее среднее значение фоновых импульсов и получите число регистрируемых бета-частиц от источника $N_u = N_{u\phi} - \langle N_{\phi} \rangle$.
- 3.3. Проведите измерения в том же порядке для фольг количеством $n=2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20\dots$ Максимальное число использованных фольг n определяется результатом измерений - в случае достижения фоновых значений, прекратите дальнейшее наращивание толщины поглотителя. Данные внесите в таблицу для соответствующего источника.
- 3.4. Поменяйте источник. Повторите действия, указанные в пп.3.1.-3.4. Повторите то же с третьим источником.
- 3.5. При проведении измерений с источником Ru-106 (Rh-106) учтите, что Rh-106, в отличие от всех остальных

используемых в работе изотопов, не является чистым бета-излучателем, а излучает также сопутствующие гамма-кванты.

Используемый в работе органический сцинтилляционный детектор регистрирует также и гамма-кванты, хотя и с небольшой эффективностью. Таким образом, в отсчеты бета-частиц вносится систематическая ошибка. Чтобы её исключить, рассчитайте максимальный пробег бета-частиц от Rh-106 ($E_{max} = 3541$ кэВ) в алюминии и используйте стопку фольг соответствующей толщины для измерения счета только от гамма-квантов. Полученное количество отсчетов за время экспозиции следует вычесть из всех измерений для источника Ru-106 (Rh-106).

Таблица 1. Число детектируемых бета-частиц от Tl-204

Число слоев поглотителя n	Массовая толщина Al поглотителя d , г/см ²	Число бета-частиц от источника N_u , имп	Абсолютная погрешность счета ΔN_u , имп
1			
2			
3			
4			
6			
8			
...			

Таблица 2. Число детектируемых бета-частиц от Sr-90 (Y-90)

Число слоев поглотителя n	Массовая толщина Al поглотителя d , г/см ²	Число бета-частиц от источника N_u , имп	Абсолютная погрешность счета ΔN_u , имп
1			
2			
3			
4			
6			
8			
...			

Таблица 3. Число детектируемых бета-частиц от Ru-106 (Rh-106)

Число слоев поглотителя n	Массовая толщина Al поглотителя d, г/см²	Число бета-частиц от источника N_u, имп	Абсолютная погрешность счета ΔN_u, имп
1			
2			
3			
4			
6			
8			
...			

5. Завершение работы с установкой

5.1. Сразу же после завершения последнего измерения сообщите об этом преподавателю или сотруднику лаборатории, чтобы сдать источник. **Не доставайте источник из держателя самостоятельно и не держите его в руках или на открытой поверхности вне защиты!**

5.2. **Уберите до нуля высокое напряжение на детекторе и нажмите кнопку «Применить».** Закройте программу «Spectrometer» и выключите спектрометр.

6. Обработка результатов

6.1. Рассчитайте значения массовой толщины алюминиевого поглотителя для каждого случая. Массовая толщина поглотителя $d = nh\rho$ (измеряется в единицах г/см²), где плотность алюминия $\rho = 2.7$ г/см³.

6.2. Постройте зависимости числа бета-частиц от массовой толщины d алюминиевого поглотителя для всех трех источников на одном графике. Для удобства дальнейшего анализа нормируйте значения $N_u(d)$ на максимальное значение для каждого источника. С этой же целью используйте натуральный логарифмический масштаб для оси ординат.

6.3. Объясните почти линейный характер зависимостей

$$\ln \frac{N_u(d)}{N_{u,\max}}$$

от массовой толщины d . Обратите внимание на

наличие в некоторых препаратах одновременно материнских и дочерних бета-активных радионуклидов с разными граничными энергиями бета спектра E_{\max} (см. таблицу 4). Сказывается ли это на полученных вами зависимостях? При каких условиях наличие бета-излучений с разными граничными энергиями нарушит линейный характер этих зависимостей?

6.4. Постройте на отдельных графиках зависимости $\ln N_u(d)$ с погрешностями измерения для каждого источника. На основании полученных зависимостей и формулы (5.10), описывающей экспоненциальный закон ослабления для бета-излучения на средних толщинах поглотителя, проведите для каждого радиоактивного источника оценку среднего значения массового коэффициента ослабления излучения μ и его погрешности. Используйте для этих целей метод наименьших квадратов (МНК). Разрешается провести оценку методом МНК с помощью специализированных программ для численного анализа данных (например, Origin, MatLab и т.п.).

Таблица 4

Радионуклид	E_{\max} , кэВ	Массовый коэффициент ослабления μ , см ² /г	Толщина слоя половинного ослабления бета- излучения в Al $d_{1/2}$, мг/см ²	Абсолютная погрешность $\Delta d_{1/2}$, г/см ²
Sr-90 (Y-90)	546 (2284)			
Tl-204	763			
Ru-106 (Rh-106)	39 (3541)			

- 6.5. Определите толщину $d_{1/2}$ слоя половинного ослабления для бета-излучения в алюминии согласно формуле (5.11).
- 6.6. Заполните таблицу 4.
- 6.7. Постройте график зависимости $d_{1/2}$ от максимальной энергии бета-спектра E_{max} .
- 6.8. Используя номограмму, приведенную на рисунке 43, оцените на основании полученных значений $d_{1/2}$ граничную энергию E_{max} для каждого из бета-источников и ее погрешность. Сравните экспериментально полученные значения с реальными значениями E_{max} , приведенными в таблице 4.
- 6.9. В отчёте представить результаты в виде таблиц и графиков, полученные значения толщины слоя половинного ослабления в единицах длины и массовых единицах длины, значения граничной энергии E_{max} , и её погрешность для всех источников, выводы.

Контрольные вопросы

1. Бета-распад. Типы бета-распада. Вид бета-спектра.
2. Методы определения энергии бета-частиц.
3. Взаимодействие бета-частиц с атомными электронами.
4. Взаимодействие бета-частиц с атомными ядрами.
5. Прохождение электронов через толстые фольги.
6. Вид кривой поглощения для моноэнергетических электронов и для электронов, возникающих при бета-распаде.