

Лабораторная работа №2

Принципы создания защиты от заряженных частиц. Характеристики защитных материалов

Цель работы: изучение свойств различных материалов в отношении ослабления потоков заряженных частиц; учет возможного наличия тормозного излучения при создании защиты.

Пробеги альфа-частиц в веществе

Альфа-частицы имеют наименьшую из всех ионизирующих частиц длину пробега в веществе, поэтому защита от внешних потоков этого вида излучения не представляет больших трудностей. Для решения этих задач обычно достаточно знать пробег частицы в веществе защитного слоя, в качестве которого может использоваться и обычный воздух.

Более сложной проблемой является защита внешней среды от загрязнений радиоактивными веществами при работе с открытыми источниками, цель которой — предотвращение попадания радиоактивных веществ внутрь организма и последующего внутреннего облучения. Значительную роль в решении этой задачи играют средства индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания, пищеварения и кожных покровов человека.

СИЗ обычно применяют, когда безопасность работы не может быть обеспечена конструкцией оборудования, организацией производственных процессов, средствами коллективной защиты. Для многокомпонентных сред расчет пробегов R проводится по формуле:

$$R = \frac{1}{\sum_{i=1}^m \frac{f_i}{R_i}} \quad (1)$$

где R_i – пробег α -частицы в веществе i -ой компоненты г/см^2 , с массовым содержанием f_i . Сумма всех f_i равна 1.

Расчеты R для биологической ткани проводятся для плотности $\rho = 1 \text{ г/см}^3$. Для других тканей, плотности которых отличны от $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, расчет R можно выполнить по формуле (1) или с пересчетом по плотности для сходного состава ткани по формуле 2.

$$R_B = 0,318 \cdot E_0^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

где E_0 энергия альфа-частиц, МэВ.

Для других сред, отличных от воздуха, пробег альфа-частиц R_x , см, для сред с атомной массой A_x и плотностью ρ_x можно рассчитать по формулам

$$R_x = \frac{1,78 \cdot 10^{-4}}{\rho_x} \cdot \sqrt[3]{A_x} \cdot \sqrt{E_0^3} \quad (3)$$

где E_0 выражена в МэВ, а ρ_x в г/см³.

Из формулы 3 видно, что проникающая способность этих частиц невелика. Тем не менее при энергии $E_0 > 7,5$ МэВ пробег альфа-частиц в биологической ткани может превосходить толщину слоя эпидермиса кожи (70 мкм) и облучать чувствительные клетки базального слоя.

Для защиты организма от внешних потоков альфа-излучения достаточно тонких защитных экранов. Слой воздуха толщиной около 5-6 см полностью поглощает альфа-частицы с энергией до 7 МэВ. Для защиты рук от внешнего альфа-излучения с запасом достаточно хирургических перчаток.

Пробеги бета-частиц в веществе

Проникающая способность электронов или бета-частиц определяется пробегом. Различают три вида пробегов электронов в веществе: средний \bar{R} , максимальный $R_{\text{макс}}$ и экстраполированный (или практический) $R_{\text{экс}}$. Максимальный пробег моноэнергетических электронов — минимальная толщина слоя вещества, при которой ни один из электронов, падающих нормально на слой, из него не вылетает. Средний пробег (или просто пробег) электронов в веществе определяется обычно в модели непрерывного замедления по формуле 4:

$$\bar{R}(E_0) = \int_0^{E_0} \frac{dE}{(dE/dx)} \quad (4)$$

где dE/dx – полные потери энергии бета-частицы.

Для бета-частиц, кривая поглощения имеет форму, близкую к экспоненциальной, и асимптотически приближается к оси абсцисс, пересекая ее при некоторой толщине $R_{\beta\text{макс}}$, называемой максимальным пробегом бета-частиц с граничной энергией E_{β} .

Для среды толщиной меньше максимального пробега ослабление плотности потока бета-частиц приближенно следует экспоненциальному закону (формула 5)

$$\varphi = \varphi_0 \cdot e^{-\mu_m \cdot d} \quad (5)$$

где d – толщина поглотителя, г/см², μ_m – массовый коэффициент поглощения электронов, см²/г. Зависимость μ_m в см²/г от максимальной энергии бета-частиц E_β в МэВ можно приближенно аппроксимировать формулой 6:

$$\mu \approx 15,5 \cdot E_\beta^{-1,41} \quad (6)$$

Приведем полезные рекомендации и формулы для расчетов пробегов.

1. Максимальный пробег моноэнергетических электронов или бета-частиц можно принять равным увеличенному на 30% экстраполированному пробегу моноэнергетических электронов или электронов с максимальной энергией в спектре бета-частиц соответственно. Такое значение даст верхнюю оценку максимального пробега.

2. Экстраполированные пробеги $R_{\text{экс}}$, г/см², электронов с энергией E , МэВ, в алюминии можно определить по следующим формулам:

$$R_{\text{экс}}(Al) = 0,4 \cdot E^{1,4} \text{ для } E_\beta \leq 1,2 \text{ МэВ} \quad (7)$$

$$R_{\text{экс}}(Al) = 0,54 \cdot E - 0,133 \text{ для } E_\beta > 1,2 \text{ МэВ} \quad (8)$$

Экстраполированный пробег электронов в веществе с зарядом Z и массовым числом A связан с пробегом в алюминии следующим образом:

$$R_{\text{экс}}(A, Z) = R_{\text{экс}}(Al) \cdot \frac{(Z/A)_{Al}}{(Z/A)} \quad (9)$$

Тормозное излучение

При изготовлении защиты от бета-излучения, обычно также учитывают тот факт, что при взаимодействии электронов с веществом, могут происходить радиационные потери энергии электронов, дающие вклад в дозу внешнего облучения в виде рентгеновских гамма-квантов и тормозного излучения. Защита при работе с источниками бета-излучения должна предусматривать: защиту непосредственно от бета-частиц и защиту от тормозного излучения, возникающего при торможении бета-частиц в источнике и в защитном экране.

Для точечных изотропных радионуклидов, испускающих бета-частицы и (или) моноэнергетические электроны конверсии, рекомендуется следующая последовательность расчетов:

а) определяют выход тормозного излучения на 1 распад ядра;

б) определяют в точке детектирования на заданном расстоянии от источника мощность эквивалентной дозы тормозного излучения бета-частиц H^*_β и (или) электронов конверсии H^*_c

в) определяют требуемую кратность ослабления излучения защитой:

$$k = \frac{H^*_\beta + H^*_c}{\text{ДМД}} \quad (10)$$

где ДМД — предельно допустимая мощность эквивалентной дозы в точке детектирования;

г) если $k > 1$, рассчитывают по универсальным таблицам методом конкурирующих линий требуемую толщину защиты.

Для оценок с достаточной для практических задач точностью расчеты мощности эквивалентной дозы и определение толщины защиты по универсальным таблицам можно проводить для эффективной энергии фотонов тормозного излучения $E_{\text{эф}}$. Под эффективной энергией понимается энергия фотонов такого моноэнергетического фотонного излучения, относительное ослабление которого в поглотителе определенного состава и определенной толщины такое же, как у рассматриваемого немонаэнергетического фотонного излучения, в данном случае — тормозного излучения. Для рассматриваемой здесь задачи $E_{\text{эф}}$ можно принимать равной половине максимальной энергии бета-частиц. Расчет мощности дозы в единицах Р/ч тормозного излучения может быть произведен с использованием следующей формулы:

$$P = \frac{K_\gamma \cdot A}{R^2} \quad (11)$$

где K_γ — ионизационная постоянная, $\text{Р}^*\text{см}^2 / (\text{мКи}^*\text{ч})$; R — расстояние от точечного источника до объекта, A — активность источника в единицах мКи. При переходе к единицам мощности дозы Зв/ч нужно учесть, что $1 \text{ Р} = 0,0088 \text{ Зв}$. Значение ионизационной постоянной можно посмотреть в справочной литературе, например в [3]

Энергия тормозного излучения для нуклидов обычно ниже порога реакции (γ, n), поэтому задача защиты от фотонейтронов не возникает.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Порядок проведения эксперимента

Внимание! Запрещается приступать к работе, не ознакомившись с правилами безопасности при работе на установке «Спектрометр бета-излучения БЕТА-1С» и установке «Спектрометр гамма-излучения на основе ОЧГ». Эксперимент проводится только под непосредственным контролем лаборанта или преподавателя.

1. Произвести расчет необходимой толщины защиты от бета-частиц без учета тормозного излучения из однородного материала для источников излучения, указанных в Таблице 1. В качестве толщины принять значение максимального пробега бета-частиц в данном веществе. Полученные значения толщин защиты также занести в таблицу.

Таблица 1. Расчетные характеристики защитных материалов (бета-излучение)

Источник	Макс. энергия бета-частиц, кэВ	Активность, Бк	Выход электронов из источника в 4л, 1/с	Материал защиты	Толщина, мм
$^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$				Алюминий	
				Медь	
^{137}Cs				Алюминий	
				Медь	

2. Произвести экспериментальную проверку эффективности рассчитанной защиты от бета-частиц для указанных в Таблице 1 материалов и источников излучения.

Проверку произвести с помощью измерения степени ослабления потока бета-излучения в виде отношения числа бета-частиц, прошедших через защитный материал, к общему числу бета-частиц летящих из источника в направлении детектора.

В процессе эксперимента необходимо учитывать наличие сопутствующего гамма-излучения, сопровождающего бета-распад используемых источников. Для этой цели необходимо для каждого источника

получить спектр сопутствующего гамма-излучения с использованием спектрометра Бета-1С.

3. Включить компьютер, дождаться загрузки рабочего стола, вставить электронный ключ №1 в USB порт компьютера. Открыть программу SpectraLineBG с помощью ярлыка в папке «Бета спектрометр», находящейся на рабочем столе. В открывшемся окне программы, во вкладке «Анализатор» выбрать команду «Открыть». Должно открыться окно анализатора импульсов (см. рис. 1).

4. Очистить память анализатора с помощью команды F2 или нажатием на кнопку очистки (см. рисунок 1).

5. Установить источник излучения в измерительную кювету спектрометра бета-излучения

6. Поместить между источником и детектором поглотитель, толщина которого больше, чем длина пробега электронов β источника в веществе поглотителя (см. таблицу 1). В этом случае детектор будет регистрировать только γ -кванты.

7. Запустить набор спектра нажатием клавиши F3 или нажатием на кнопку в виде зеленой стрелки на панели инструментов программы набора и обработки спектров. Не внося изменений в появившееся окно свойств набираемого спектра, нажать кнопку «Ок», в следующем появившемся окне установить режим набора «По живому времени», и выставить время набора спектра 600 секунд. Набрать и записать спектр γ -квантов.

Напоминание: при работе с источниками ионизирующего излучения запрещается подвергать их разрушающим воздействиям, брать незащищенными руками, подносить к глазам, забирать с собой или как-либо еще использовать не по назначению.

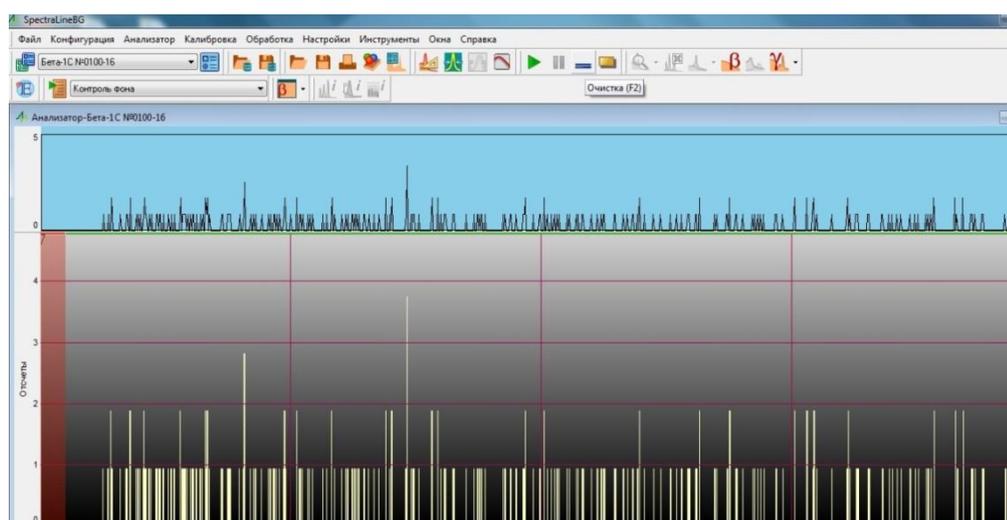


Рис.1. Окно анализатора импульсов и кнопка очистки памяти анализатора.

8. Окончание набора спектра происходит автоматически по завершении установленного времени. Сохранить набранный спектр в папку на

Блок данных по энергетической калибровке приведен в конце файла спектра. Значениям номеров каналов в левом столбце (10, 512, 1014) приводятся в соответствие значения энергий в кэВ в правом столбце (106,3273..., 1404,6545..., 2702,9821...). Энергетическая калибровка шкалы спектрометра представляет собой линейную зависимость номера канала n и энергии E_γ в единицах кэВ. Соответственно, используя данные, приведенные в файле спектра, необходимо построить зависимость, описываемую уравнением вида

$$n = a \cdot E_\gamma + b \quad (9)$$

Впоследствии, данная зависимость позволит для любого номера канала получить информацию о энергии бета-частиц, импульс от регистрации которых попал в данный канал спектрометра.

Обработка результатов

Задание 1. Построить спектры излучения источников в какой-либо программе обработки данных (Mathcad, Microsoft Excell, Origin и т.д.). Для каждого из источников должно быть построено по 5 спектров: Спектр гамма излучения, спектр смешанного (гамма + бета) излучения, спектр чистого бета-излучения источника, спектр бета-излучения, прошедшего через алюминиевую защиту, спектр бета-излучения, прошедшего через медную защиту.

Данные для построения необходимо извлечь из сохраненных файлов спектров с расширением «.spe» открыв их в текстовом редакторе (блокнот). Информация в файле представляет собой характеристику набранного спектра (два блока информации в начале и конце файла) и число набранных импульсов в каждом канале анализатора. Каждому следующему каналу соответствует следующая строка в файле спектра. Количество строк с данными об отсчетах спектрометра соответствует числу каналов спектрометра (1024) (см. рис. 3).

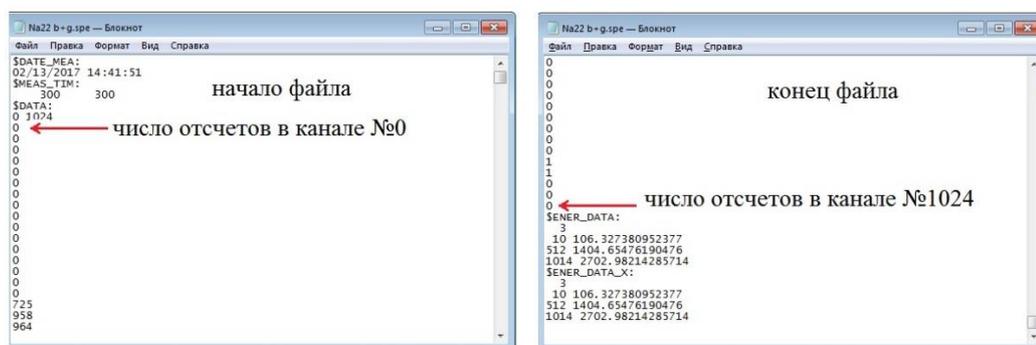


Рис.3. Чтение данных из сохраненного файла спектра.

Определить номер канала как ранжированную переменную i , изменяющуюся, как правило, от 0 до $i_{\text{макс}}$. Чистый β -спектр источника необходимо построить проведя поканальное вычитание набранного γ -спектра из смешанного (бета + гамма) спектра:

$$B_i = S_i - G_i \text{ или } E = S - G$$

где E – вектор, содержащий число отсчетов от регистрации электронов в каналах спектрометра; S – вектор экспериментальных данных смешанного спектра; G – то же для γ -спектра (названия векторов данных даны для примера).

Задание 2. Построить спектры бета-излучения, прошедшего через защитный материал расчетной толщины. Для этого повторить действия задания 1, при этом вместо смешанного спектра S использовать спектр излучения, прошедшего через защитный материал.

Задание 3. Сравнить защитные характеристики исследуемых материалов по степени ослабления потоков электронного излучения. Степень ослабления бета-излучения рассчитать, как отношение числа прошедших бета-частиц через защиту, к числу бета-частиц, зарегистрированных детектором в отсутствие защиты.

Задание 4. Подготовить отчет о проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сколько видов β -распадов наблюдается в природе?
2. Каковы особенности взаимодействия позитронов с веществом?
3. Объясните смысл явления внутренней конверсии.
4. Назовите основные этапы расчета защиты от бета-излучения.
5. В чем отличие аппроксимированного пробега электронов от максимального?

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.И. Курс дозиметрии, Учебник для вузов. — 3-е изд. перераб. и доп. — М: Атомиздат, 1978. -392 с.;
2. Б.П. Голубев Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1986. -462 с.;
3. Машкович В.П., Кудрявцева А.В. Защита от ионизирующих излучений. Справочник. М., Энергоатомиздат, 1995, 496 с.