

Модельная компьютерная лабораторная работа по физике «Определение линейного коэффициента поглощения γ -лучей в веществе»

Товстуха В.С., Дацун Н.Н., Краснокутская М.В.
Донецкий национальный технический университет
Донецк, Украина
E-mail: tovstukha@ukrpost.net

Abstract

This offered material represents the finished modeling computer work on nuclear physics for the Higher School students. The classical experiments are repeated by program to determinate the linear coefficient of X-rays' absorption in substance. The Geiger counter calculates the impulses and takes into account the error, which is determinated by program according to the Gauss distribution.

В данной работе предпринята попытка создания программного продукта, лежащего в основе модельной компьютерной лабораторной работы "Определение линейного коэффициента поглощения гамма-лучей в веществе", которая идеологически повторяет классические опыты приборного определения рассматриваемого коэффициента в физическом практикуме технического вуза. Выполнение лабораторной работы в модельном варианте в компьютерном классе или в режиме дистанционного образования позволяет избежать многих сложностей практического плана и в первую очередь экологических, которые неизбежно возникают при попытке приборной реализации упомянутых опытов с радиоактивными веществами.

Пользователь работает с программой в диалоговом режиме и работа с ней по своей сложности доступна студентам первого курса, даже не знакомым с вычислительной техникой. Программа позволяет в течение лабораторного занятия провести модельный эксперимент и, обработав результаты измерений, получить значение линейного коэффициента поглощения гамма-лучей для заданного материала при выбранном значении энергии гамма-квантов.

Очень важным является то, что в работу программы введены элементы метода Монте-Карло и подчиняющаяся распределению Гаусса погрешность, делающие процесс измерений и его результаты правдоподобными.

При радиоактивном распаде ядер и при ядерных реакциях возможно образование ядер, находящихся в возбужденном состоянии, которые в дальнейшем, переходя в основное состояние, излучают гамма-кванты. Гамма-излучение представляет собой жесткое электромагнитное излучение с длиной менее 1 пм. Гамма-излучение обладает большой проникающей способностью и взаимодействует с веществом значительно слабее альфа- или бета-излучения и проходит в воздухе сотни метров, а в твердых телах сантиметры или даже дециметры.

Интенсивность гамма-излучения является величиной, численно равной количеству гамма-квантов, проходящих в единицу времени через поверхность единичной площади, расположенную перпендикулярно потоку.

При прохождении гамма-лучей через вещество основными процессами взаимодействия гамма-квантов с веществом являются фотоэффект, эффект Комптона и образование электрон-позитронных пар, приводящие к уменьшению интенсивности пучка. Вклад того или иного явления в суммарный эффект ослабления интенсивности гамма-лучей зависит как от вида вещества, так и от энергии гамма-квантов. Как правило, при малых энергиях преобладающим является фотоэффект, при больших - образование электрон-позитронных пар. Уменьшение интенсивности гамма-лучей при прохождении через слой вещества пропорционально интенсивности пучка I и толщине слоя dx :

$$dI = -\mu I dx. \quad (1)$$

Коэффициент пропорциональности μ , характеризующий поглощательную способность данного вещества, получил название линейного коэффициента поглощения гамма-лучей. Его величина зависит как от природы поглотителя, так и от энергии излучения. Анализ уравнения раскрывает физический смысл коэффициента: линейный коэффициент поглощения гамма-лучей в веществе показывает, какая часть потока гамма-квантов поглощается на единице длины пути в данном веществе. Разделив переменные и проинтегрировав, получим:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (2)$$

Видно, что интенсивность гамма-лучей убывает с увеличением пути лучей в веществе по экспоненциальному закону, а натуральный логарифм интенсивности гамма-лучей после прохождения слоя вещества является линейной функцией толщины этого слоя. Линейный коэффициент поглощения гамма-лучей в веществе обратен толщине слоя вещества, при прохождении которого интенсивность гамма-лучей уменьшается в e раз.

Для регистрации гамма-лучей применяется счетчик Гейгера, на выходе которого возникают импульсы тока, каждый из которых с определенной степенью вероятности соответствует прохождению гамма-кванта через рабочий объем счетчика. Количество импульсов, зарегистрированных счетчиком за время t пропорционально интенсивности потока гамма-излучения:

$$N = kIt, \quad (3)$$

а коэффициент пропорциональности k определяется параметрами счетчика (его типом, размерами, чувствительностью и т.п.) и энергией гамма-квантов. Это позволяет записать уравнение (2) в следующем виде:

$$\ln N = \ln N_0 - \mu x, \quad (4)$$

и перейти от интенсивности к практически более удобной величине числа импульсов N , зарегистрированных за произвольное время t .

При проведении измерений следует учитывать величину фонового гамма-излучения N_ϕ , обусловленного другими посторонними источниками и космическим излучением.

С учетом фона уравнение примет вид:

$$\ln \frac{N_0 - N_{\phi}}{N - N_{\phi}} = \mu x \quad (5)$$

Измерительная установка состоит из радиометра и источника гамма-излучения. Радиометр состоит из блока питания, счетчика Гейгера и устройства счета импульсов, возникающих при регистрации счетчиком гамма-квантов. Радиометр позволяет регистрировать гамма-излучение и выдает результат в виде количества зарегистрированных за произвольное время импульсов, пропорционального интенсивности потока гамма-лучей. Между счетчиком Гейгера и размещенном в стальном цилиндре источником гамма-излучения устанавливаются пластины исследуемого материала, для которого определяется линейный коэффициент поглощения гамма-излучения.

Все выше описанное было программно реализовано и представлено в диалоговом режиме для дисплейного использования.

После запуска программы появляется запрос о языке, на котором пользователю удобнее вести диалог с компьютером. Затем появляется главная заставка с элементом анимации, информирующая пользователя о названии продукта и его авторах. Нажатие любой клавиши приводит пользователя на следующую страницу с главным меню программы, предлагающим следующие варианты развития сценария:

1. Порядок выполнения работы. Здесь студент получает при необходимости инструкции, рекомендации и т.п.

2. Образец таблицы. Здесь размещена рекомендуемая таблица для ведения протокола измерений.

3. Экспериментальная часть. При выборе этого пункта появляется дополнительное меню со следующими предложениями:

3.1. Контроль подготовленности к занятию. Обойти этот пункт нельзя. При попытке обхода программа сообщает об обязательности тестирования. Тест содержит банк вопросов. Каждый вопрос содержит произвольное число вариантов ответов. Количество правильных ответов на вопрос произвольно. При тестировании студенту последовательно задается определенное количество вопросов, берущихся из банка в произвольном порядке. Варианты ответов также располагаются в произвольном порядке. Тестирование завершается выдачей оценки типа зачет-незачет с соответствующим продолжением.

3.2. Выбор параметров эксперимента. Предлагается определиться с энергией гамма-квантов, выбрав ее по имеющейся таблице в интервале от 0,1 до 5 МэВ. Предлагается выбрать исследуемый материал по имеющейся таблице со следующим перечнем: свинец, сталь, алюминий, бетон, кирпич. После сделанного выбора программа сообщает толщину пластинки из данного материала, с которой предстоит работать. Всего их будет 10 шт.

3.3. Модельный эксперимент. Появляется заставка с изображением экспериментальной установки. Показаны источник гамма-излучения в закрытой стальной капсуле, набор из 10 пластин исследуемого материала, счетчик Гейгера со счетным устройством. Показаны циферблаты секундомера и счетчика импульсов. В нижней части экрана располагается дополнительное меню, определяющее порядок проведения эксперимента.

3.3.1. *Сброс.* Эта опция возвращает систему в исходное состояние с обнулением счетчиков и переводом пластин в исходное состояние.

3.3.2. *Фон.* В этом режиме начинается счет импульсов счетчика Гейгера с закрытым источником излучения. Время измерения определяется пользователем.

3.3.3. *Эксперимент.* Работа начинается с просьбы указать число пластин, которые будут использованы в данном эксперименте. После ввода ответа, требуемое число пластин опускается в зазор между источником излучения и счетчиком Гейгера, открывается отверстие в источнике излучения и, поток гамма-квантов направляется через исследуемый материал на счетчик. Автоматически начинается счет импульсов и времени. Время измерения и количество опытов определяется пользователем.

3.3.4. *Выход в главное меню.*

4. **Обработка результатов измерений.** Программа последовательно запрашивает тип исследуемого материала, толщину одной пластинки, количество используемых в данном измерении пластин и соответствующее количество зарегистрированных импульсов. Обработав полученные данные по методу наименьших квадратов, программу выдает значение линейного коэффициента поглощения гамма-лучей в виде доверительного интервала с указанием относительной погрешности и надежности.