

МЕТОД ФИЛЬТРОВ

Введение

Как уже отмечалось выше изучение эффекта Комптона будет в основном состоять в проверке соотношения (1)

$$\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0 = \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\varphi) = \Lambda(1 - \cos\varphi),$$

(1)

для чего необходимо измерить длину волны γ -излучения до рассеяния (λ_0) и после рассеяния (λ) на некоторый угол φ . В предлагаемом варианте задачи для этой цели используется метод фильтров в сочетании со сцинтилляционным счетчиком и схемой совпадений. При прохождении через вещество γ -кванты частично поглощаются и рассеиваются. Интенсивность пучка прошедшего через вещество определяется соотношением

$$I = I_0 e^{-\mu x},$$

(2)

согласно которому интенсивность (I) γ -квантов, прошедших слой вещества толщиной x , ослабляется по экспоненциальному закону по сравнению с интенсивностью падающего излучения (I_0). Тот факт, что линейный коэффициент поглощения μ зависит от энергии γ -квантов, т.е. от их длин волн, используется для определения последних. В данном случае длины волн λ находят из эмпирически полученного графика, связывающего μ и λ . Определение же коэффициентов поглощения μ и составляет экспериментальную часть работы. Для нахождения λ_0 необходимо поместить фильтры между источником излучения и детектором. Затем измерить интенсивность излучения без фильтра и с фильтрами. Для определения λ также следует измерить интенсивности γ -излучения с фильтром и без фильтра при этом фильтры должны помещаться между

рассеивателем и детектором. В обоих случаях для определения величины μ пользуются соотношением (2), а для определения λ - эмпирически полученным графиком.

1. Схема опыта и методика эксперимента.

Использование стильбена как в качестве рассеивателя (благодаря тому, что он состоит из легких элементов), так и в качестве сцинтиллятора (с малым временем высвечивания) позволяет объединить в сцинтилляционном детекторе две функции: рассеяние γ -квантов и их регистрацию. Основными узлами установки будут источник γ -квантов, 1-ый неподвижный детектор-рассеиватель, 2-ой подвижный детектор, регистрирующий рассеянные фотоны. Для измерения λ_0 и λ фильтры помещают между источником и 1-ым детектором и между 1-ым и 2-ым детекторами соответственно. Хотя в основе нашей экспериментальной установки лежит подобная схема, однако вряд ли удалось бы наблюдать эффект Комптона без предъявления определенных требований к источнику, детекторам и геометрии эксперимента и без существенных дополнений к вышепредложенной схеме эксперимента. Ранее указывалось, что при прохождении γ -квантов через вещество могут иметь место различные процессы их взаимодействия с веществом.

На рис.1 изображены возможные при $E_\gamma < 3$ МэВ процессы

Рис.1. Возможные процессы взаимодействия γ -квантов с веществом при $E_\gamma < 3$ МэВ

взаимодействия γ -квантов с веществом: 1 - Комpton - эффект; 2 - фотоэффект; 3 - релеевское рассеяние (когерентное рассеяние γ -квантов на связанных электронах, ответственное за появление первоначальной длины волны в рассеянном излучении; 4 - эффект рождения электрон-позитронных пар. Из этого в общем неполного перечня явлений видно, что 2-ой детектор будет фиксировать суммарный эффект, в котором интересующий нас эффект Комптона никак не выделен. Но, допустим, нам удалось каким-то образом свести к нулю эффекты 2,3,4. Гарантирует ли предложенная схема наблюдение эффекта Комптона? По-

видимому, нет, поскольку с увеличением угла рассеяния φ интенсивность (число частиц в единицу времени) рассеянных γ -квантов будет значительно уменьшаться и при определенных значениях φ интенсивность станет сравнимой с космическим фоном. Т. е. возникает проблема выделения полезного сигнала. Но решение этой проблемы еще не исключает всех «неприятностей». Дело в том, что предложенный метод фильтров весьма чувствителен к геометрии эксперимента. Это означает, например, что необходимо правильно подобрать толщину фильтров, учесть конечность размеров телесного угла рассеяния γ -квантов и т.д. Предлагаемые ниже условия и схема эксперимента позволяют избежать или существенно уменьшить перечисленные явления (см.рис.2).

Рис.2. Блок-схема установки для наблюдения Комптона-эффекта.

Источник γ -квантов подбирается так, чтобы энергия их лежала в пределах 0,4 МэВ - 1 МэВ. Как уже указывалось выше, в качестве рассеивателя используется органический кристалл (стильбен) т.е. γ -кванты взаимодействуют в основном с легкими атомами углерода и водорода. Кристалл второго детектора изготовлен из вещества (NaI), поглощающего с большой эффективностью γ -кванты. Сигналы с детекторов подаются на схему совпадений и затем на пересчетное устройство. Схема совпадений выделяет лишь те сигналы, которые «одновременно» (в пределах времени разрешения установки) приходят на ее вход.

Нетрудно догадаться, что одно из основных назначений схемы совпадений состоит в отделении полезного сигнала от сигнала фона. Испытавший комптоновское рассеяние γ -квант пройдет расстояние между детекторами практически мгновенно, и схема совпадений его пропустит, «отсекая» фон. В действительности, при использовании схемы совпадений фон все же следует учитывать. Он возникает из-за «одновременного» попадания двух разных частиц в оба детектора. Например, при «одновременном» попадании γ -кванта источника в 1-ый детектор и космической частицы во 2-ой возникает импульс случайного совпадения. Схема совпадений сработает и при «одновременном» поглощении γ -

кванта вследствие фотоэффекта в 1-ом детекторе и попадании возникающих при этом в 1-ом детекторе квантов рентгеновского характеристического излучения во 2-ой детектор. Отметим, что схема совпадений исключает регистрацию когерентного рассеяния на угол φ γ -квантов.

Применение метода фильтров предполагает измерение интенсивности излучения до и после прохождения фильтра известной толщины, изготовленного из определенного материала, например, меди. Определение длины волны λ по экспериментальным значениям коэффициента поглощения μ производится по прилагаемому графику. Следует помнить, что обычно на графиках и в таблицах приводятся так называемые -«массовые коэффициенты» $\tau = \mu/\rho$ где ρ - плотность вещества фильтра.

Отметим, что при измерении длины волны λ_0 нерассеянного пучка, очевидно, схема совпадений не нужна. При определении (рассеянных γ -квантов) используется схема совпадений, при этом, как отмечалось, необходимо учитывать фон (случайные совпадения). Очевидно истинная интенсивность будет

$$I = I_n - I_\phi$$

(3)

где I_n - полная интенсивность, I_ϕ - интенсивность фона - число случайных совпадений в единицу времени, для определения которого необходимо поставить поглотитель (экран из свинца) на пути γ -квантов ко 2-му детектору. При этом в 1-ый детектор будут попадать γ -кванты источника, а во 2-ой - только космические частицы. Следует, однако учесть, что всегда какая-то часть излучения от источника проникает через любую защиту, даже свинцовую, поэтому измеряемая схемой совпадений величина фона равна

$$I_\phi = I_1' + I_2'$$

где I_1' - интенсивность случайных совпадений, а I_2' - интенсивность совпадений от γ -квантов, прошедших защиту.

Ясно, что I_2' , а потому и I_ϕ будут зависеть от угла рассеяния, поэтому определять I_ϕ следует при условиях наименьшего I_2'

Метод измерения энергии γ -квантов с помощью фильтров относится к категории точных. Однако, это справедливо только в том случае, когда соблюдаются специальные условия (геометрия установки, защита детектора, толщина фильтров и др), позволяющие уменьшить ошибки, связанные с конечными размерами пучка γ -излучения. В принципе, в случае измерения энергии γ -квантов в установке, аналогичной используемой в данной лабораторной работе, ошибка складывается из: а) статистической ошибки, определяемой количеством зарегистрированных событий (I) и пропорциональной ($1/\sqrt{I}$);

б) ошибки, связанной с геометрией опыта (установки);
в) ошибки, за счет чувствительности детектирующего устройства.

Расчет показывает, что суммарная ошибка в определении энергии γ -квантов в условиях нашей установки составляет 15-20%.

2. Аппаратура и порядок ее включения

Установка по измерению комптоновского смещения (1) состоит из источника γ -квантов, детектора (сцинтиллятора + ФЭУ), блока питания, схемы совпадения и пересчетного устройства (рис.3).

Рис.3. Общий вид установки

Источником γ -квантов служит, как отмечалось выше, радиоактивный препарат Cd^{105} . Ампула с радиоактивным веществом находится в свинцовой защите и ее можно перемещать при помощи специального штока, выведенного наружу.

В рабочем положении ампула находится у коллимационного отверстия, обеспечивая максимум интенсивности пучка

Детектор - сцинтилляционный счетчик - состоит из сцинтиллятора (фосфора), в котором γ -кванты вызывают вспышку люминесценции, и фотоэлектронного умножителя

(ФЭУ), преобразующего вспышку в импульс электрического тока. Как отмечалось выше, число сцинтилляционных вспышек в сцинтилляторе, а следовательно, число импульсов тока в ФЭУ, пропорционально числу падающих на него γ -квантов (интенсивность потока γ -квантов). Таким образом, подсчитывая число импульсов детектора (сцинтилляционного счетчика), можно определить интенсивность пучка γ -лучей. Именно в таком качестве используется сцинтилляционный счетчик в данной задаче. Непосредственно с детекторами скомпонованы усилители выносного каскада пересчетного устройства. Питание ФЭУ осуществляется высоковольтным стабилизированным выпрямителем Б5-24А. ($V \approx 2,5 \text{ кВ}$ - высокое напряжение!).

Схема совпадений имеет на выходе два канала для подключения 1-го и 2-го детекторов соответственно и может быть использована как в режиме отдельных каналов, так и в режиме совпадений. Выходные сигналы с 1-го и 2-го каналов и со схемы совпадений в соответствии с положением переключателя подаются на пересчетный прибор

Пересчетный прибор ПСО2-4 регистрирует число импульсов в заданном интервале времени (режим «N») и время набора заданного числа импульсов (режим «Т»). В режиме «N» - прибор обеспечивает возможность ряда экспозиций: 0,1; 0,3; ... 1000 с. В режиме «Т» прибор обеспечивает возможность измерения времени набора различного числа входных импульсов 10; 30; ... 10^5 . Отсчет показаний производится по шестидекадному счетчику с цифровой индикацией.

3. Порядок работы на установке

1. Включить блок питания УИП - 2, переведя тумблер «сеть» в положение «вкл».

2. Переключатель каналов на схеме совпадений установить в положение «канал 1».

3. Включить высоковольтный стабилизированный выпрямитель (ВСВ-12Т), для чего

а) включить тумблер «сеть», при этом должны загореться сигнальные лампочки «включения сети» и полярности входного напряжения;

б) дать прибору в течение 15 минут прогреться, а затем

включить тумблер «высокое напряжение». При этом должна загореться сигнальная лампочка, указывающая на то, что высокое напряжение подано на анод лампы (его величина устанавливается лаборантом);

в)поставить переключатель «напряжение выхода» в положение «вкл».

4.Включить пересчетный прибор ПСО2-4, для чего

а)нажать кнопку «сеть»;

б)нажать кнопку «сброс» и установить все схемы прибора в исходное положение;

в)для измерения числа импульсов при заданной экспозиции нажать кнопку «N»;

г)установить нужную экспозицию (см.паспорт лабораторной работы).

5.В соответствии с заданием установить требуемое положение источника, детектора, фильтров, переключателя каналов.

16.На панели управления пересчетного прибора нажать кнопку «пуск», при этом загорится сигнальная лампочка «счет», и начнется счет импульсов. По истечении установленного времени счет автоматически прекратится, и сигнальная лампочка погаснет.

По окончании счета записать показания счетчика.

ЗАДАНИЕ

1.Измерить фон космического излучения, для чего опустить штوك с ампулой и перекрыть коллимационное отверстие свинцовым фильтром. Переключатель каналов поставить в положение «канал 1» и произвести измерение в течение времени $t=100$ с.

2. Определить длину волны и энергию первичных еще не рассеянных γ -квантов, используя три медных фильтра (плотность меди $\rho=8,7$ г/см) с указанной на них толщиной. Фильтр располагается у коллимационного отверстия, переключатель остается в положении «канал 1». Измерить интенсивность излучения со всеми фильтрами и без фильтров по три раза. Время экспозиции $t=10$ с. Определить среднее значение и ее абсолютную и относительную погрешности.

3.Измерить длину волны и энергию γ -квантов под углами рассеяния 45° и 90° . С этой целью поставив

переключатель каналов в положение «совп» поместить детектор 2 в соответствующее положение. Фильтры устанавливаются перед отверстием в свинцовом колпаке 2-го детектора на пути рассеянных квантов. Измерения производятся с двумя фильтрами и без фильтров. Время экспозиции $t=1000$ с. Учтя фон, вызванный случайными совпадениями (см. ниже), определить λ_{45° и λ_{90° .

4. Провести отсчет «случайных совпадений» под углами 45° и 90° с экспозициями $t=1000$ с., повернув свинцовый колпак так, чтобы изолировать 2-ой детектор от рассеянных на первом кристалле γ -квантов.

5. Рассчитать с помощью (10) поглощение пучка в свинцовом колпаке (толщина стенок ~ 3 см; μ дано на графике в паспорте задачи), зная интенсивность рассеянного пучка и его длину волны. Сравнить рассчитанные значения для I и I_ϕ для углов 45° и 90° . Объяснить причины расхождения рассчитанных значений I с измеренными I_ϕ .

6. Определить величину комптоновского сдвига для углов рассеяния 45° и 90° .

ЛИТЕРАТУРА

1. Практикум по ядерной физике.-М.: Изд-во Моск. ун-та.
2. Литература, указанная во «Введении к лабораторным работам № 10 и 11».