

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ЭФФЕКТ КОМПТОНА
Ю.В.Тихомиров

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике (Савельев, т.3, §12, §28). Выберите «Квантовая физика», «Комптоновское рассеяние». Нажмите вверху внутреннего окна кнопку с изображением страницы. Прочитайте краткие теоретические сведения. Необходимое запишите в свой конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

- Знакомство с моделями электромагнитного излучения и их использованием при анализе процесса рассеяния рентгеновского излучения на веществе.
- Экспериментальное подтверждение закономерностей эффекта Комптона.
- Экспериментальное определение комптоновской длины волны электро-на.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ:

МОДЕЛИ электромагнитного излучения (ЭМИ):

луч – линия распространения ЭМИ (геометрическая оптика)

волна – гармоническая волна, имеющая амплитуду и определенную длину волны или частоту (волновая оптика),

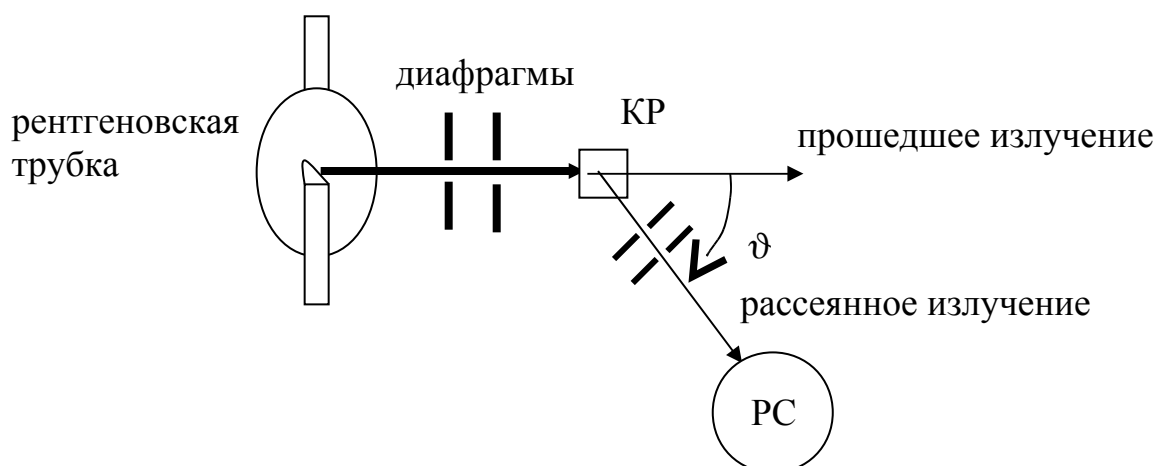
поток частиц (фотонов) используется в квантовой оптике и для объяснения многих эффектов, на которых основана квантовая теория строения вещества. Характеристики всех моделей связаны друг с другом.

ЭФФЕКТОМ КОМПТОНА называется появление рассеянного излучения с большей длиной волны при облучении вещества монохроматическим рентгеновским излучением.

РЕНТГЕНОВСКИМ называется электромагнитное излучение, которое можно моделировать с помощью электромагнитной волны с длиной от 10^{-8} до 10^{-12} м, или с помощью потока фотонов с энергией от 100 эВ до 10^6 эВ.

Первая модель применяется для описания рентгеновского излучения, распространяющегося от источника до вещества. Оно представляется, как монохроматическая волна с длиной λ .

Волновая модель применяется и для описания рассеянного под углом ϑ рентгеновского излучения, идущего от вещества (КР) до регистрирующего устройства (рентгеновского спектрометра РС).



Рассмотрим процесс столкновения падающего рентгеновского фотона (энергия $\hbar \omega$, импульс $\hbar \vec{k}$) с покоящимся электроном вещества. Энергия электрона до столкновения равна его энергии покоя mc^2 , где m – масса покоя электрона. Импульс электрона равен 0.

После столкновения электрон будет обладать импульсом \vec{P} и энергией, равной $c\sqrt{p^2 + m^2 c^2}$. Энергия фотона станет равной $\hbar \omega'$, а импульс $\hbar \vec{k}'$.

Из закона сохранения импульса и энергии вытекают два равенства

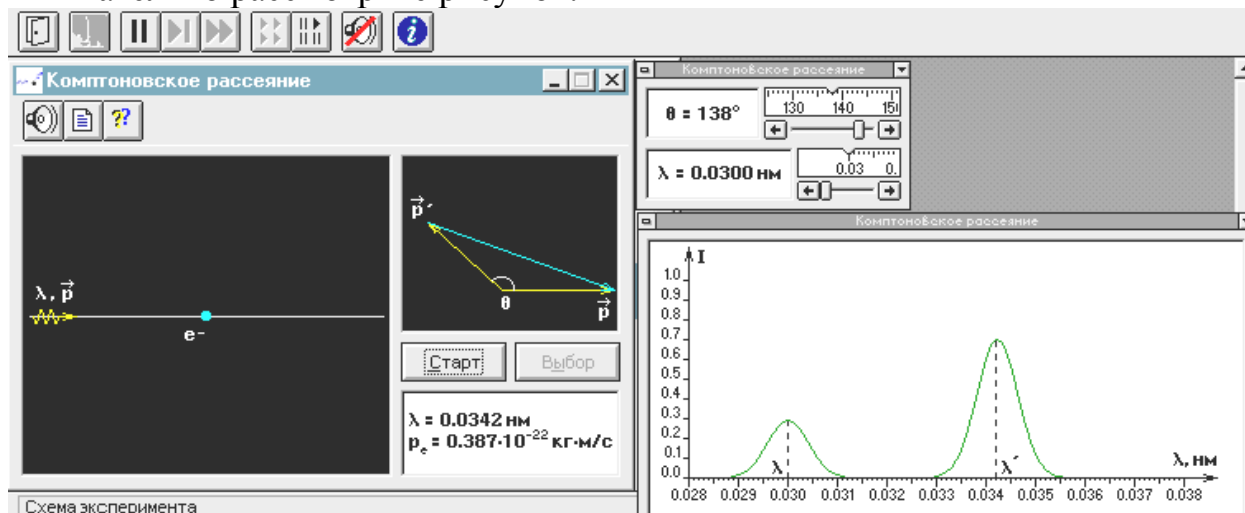
$$\hbar \omega + mc^2 = \hbar \omega' + c\sqrt{p^2 + m^2 c^2} \quad \text{и} \quad \hbar \vec{k} = \vec{P} + \hbar \vec{k}'.$$

Разделив первое равенство на второе, возведя в квадрат и проведя некоторые преобразования (см.учебник (3) стр.45), получим формулу Комптона

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos\vartheta)$, где комptonовская длина волны $\lambda_c = \frac{h}{mc}$. Для электрона $\lambda_c = 2.43 \cdot 10^{-12}$ м.

МЕТОДИКА и ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Внимательно рассмотрите рисунок.



Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Нажмите мышью кнопку «Старт» вверху экрана.
2. Подведите маркер мыши к движку регулятора длины волны падающего ЭМИ и установите первое значение длины волны из таблицы 2, соответствующее номеру вашей бригады.
3. Подведите маркер мыши к движку регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение 60° из таблицы 1.
4. По картине измеренных значений определите длину волны λ' рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку таблицы 1.

5. Изменяйте угол наблюдения с шагом 10^0 , а записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки таблицы 1.
6. Заполнив все строки таблицы 1, измените значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии со следующим значением для вашей бригады из таблицы 2. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала таблицу 3, а затем и таблицу 4 (аналогичные таблице 1).

ТАБЛИЦА 1. Результаты измерений
Длина волны $\lambda =$ пм

Номер измер.	ϑ град	λ' , пм	$1 - \cos\vartheta$
1	60		
2	70		
.....			
11	160		

ТАБЛИЦА 2 для выбора значений
(не перерисовывать)

Номер бригады	Длина волны падающего ЭМИ (пм)		
1,5	3	5	7
2,6	3.5	5.5	8
3,7	4	6	9
4,8	4.5	6.5	10

Таблицы 3 и 4 аналогичны таблице 1

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА:

1. Вычислите и запишите в таблицы 1,3 и 4 величины $1 - \cos\vartheta$.
2. Постройте график зависимости изменения длины волны ($\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$) от разности $(1 - \cos\vartheta)$ для каждой серии измерений.
3. Определите по наклону графика значение комптоновской длины волны электрона

$$\lambda_c = \frac{\Delta(\Delta\lambda)}{\Delta(1 - \cos\vartheta)}.$$

4. Запишите ответ и проанализируйте ответ и графики.

Вопросы и задания для самоконтроля

1. Назовите модели, с помощью которых описывается электромагнитное излучение.
2. Назовите области физики в которых используются соответствующие модели ЭМИ.
3. Что такое луч?
4. Что такое гармоническая волна?
5. Сформулируйте связь между характеристиками ЭМИ в волновой и квантовой моделях.
6. Назовите эффекты, для описания которых надо использовать и волновую и квантовую модели ЭМИ. Проиллюстрируйте один из эффектов.

7. Как моделируется процесс взаимодействия падающего рентгеновского фотона и свободного электрона вещества?
8. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона с электроном в эффекте Комптона.
9. Сравните поведение фотонов после взаимодействия с электронами в эффекте Комптона и фотоэффекте.
10. Что такое комптоновская длина волны частицы?
11. Почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии фотонов на электронах, сильно связанных с ядром атома?
12. Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?
13. Что происходит с электроном после рассеяния на нем фотона?
14. Чем отличается масса от массы покоя? Когда они совпадают?
15. Напишите уравнение для импульса фотона.
16. Напишите формулу для эффекта Комптона.
17. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона.
18. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?