

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

3_3. ЭФФЕКТ КОМПТОНА

Ознакомьтесь с теорией в конспекте и учебнике [1,2]. Запустите программу компьютерного моделирования. Выберите модель «5.2. Комптоновское рассеяние». Прочитайте краткие теоретические сведения. Оформите конспект.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

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

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 для объяснения многих эффектов, на которых основана квантовая теория строения вещества.

Характеристики всех моделей связаны друг с другом.

ЭФФЕКТОМ КОМПТОНА называется увеличение длины волны рассеянного излучения 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 (границы условны).

Для описания рентгеновского излучения, распространяющегося от источника до вещества (см. рис.1), применяется волновая модель. Излучение представляется, как монохроматическая волна с длиной λ .

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

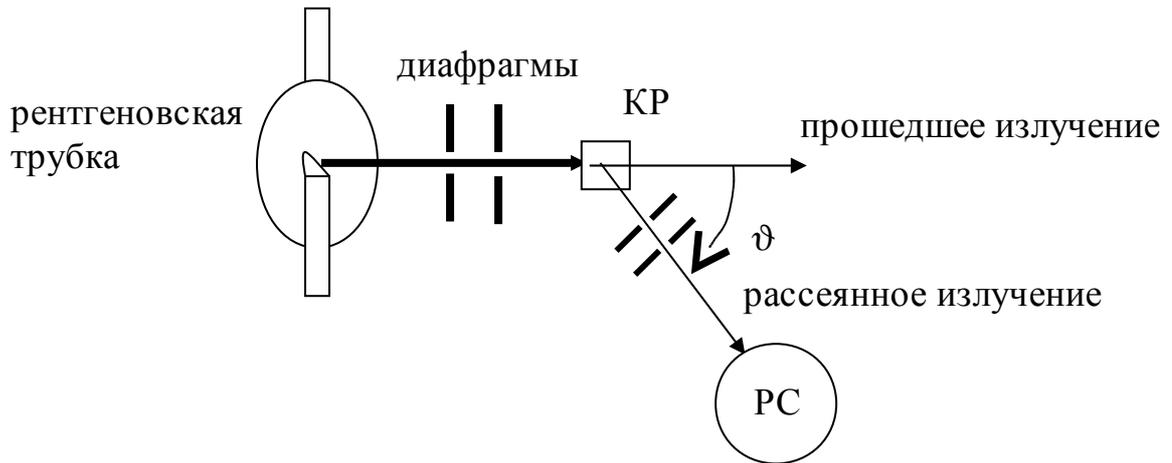


Рис.1. Схема установки для исследования процесса комптоновского рассеяния фотонов.

Рассмотрим процесс столкновения падающего рентгеновского фотона (энергия $\hbar \omega$, импульс $\vec{p} = \hbar \vec{k}$) с покоящимся электроном вещества (рис.1). 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

$$E_e = c \sqrt{p^2 + (mc)^2}.$$

Энергия фотона станет равной $\hbar \omega'$, а импульс $\hbar \vec{k}'$.

Из закона сохранения импульса и энергии вытекают два равенства:

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

Из второго следует $(\hbar k)^2 = p^2 + (\hbar k')^2 + 2 \hbar p k' \cos \vartheta$.

Разделив первое равенство на последнее и проведя некоторые преобразования (см. учебник), получим формулу Комптона:

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos \vartheta),$$

где комптоновская длина волны

$$\lambda_c = \frac{h}{mc}.$$

Для электрона $m = 9 \cdot 10^{-31}$ кг, $\lambda_c = 2,43 \cdot 10^{-12}$ м.

МЕТОДИКА И ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

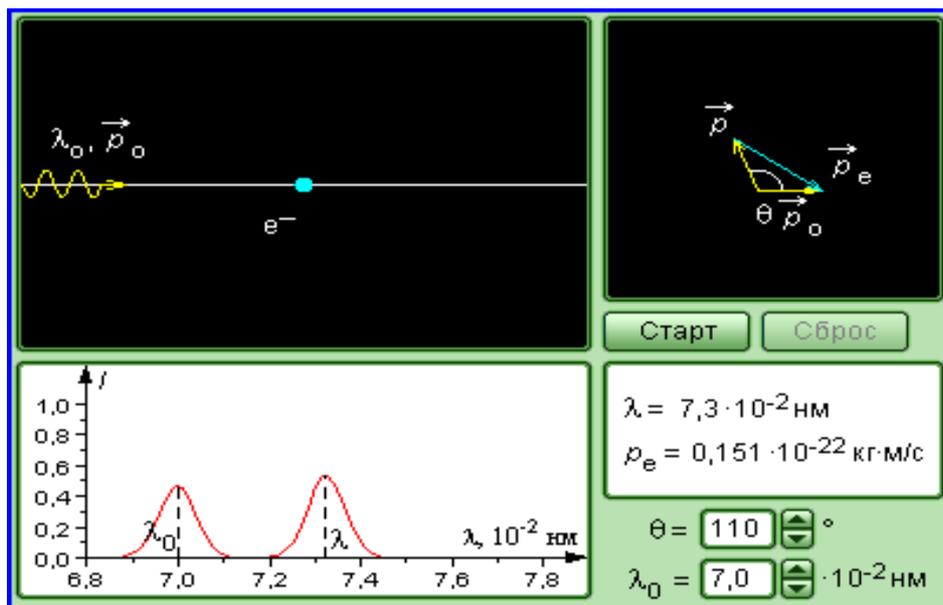


Рис.2. Модель комптоновского рассеяния (начальное состояние)

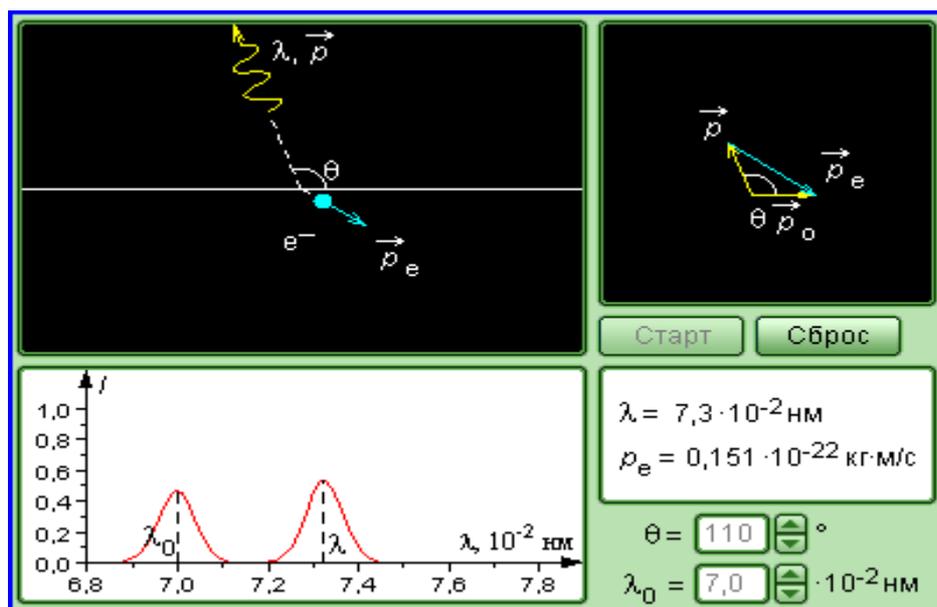


Рис.3. Модель комптоновского рассеяния (конечное состояние)

Внимательно рассмотрите рисунки.

Зарисуйте необходимое в свой конспект лабораторной работы.

Получите у преподавателя допуск для выполнения измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ

1. Подведите маркер мыши к кнопке регулятора длины волны падающего

- ЭМИ и установите первое значение длины волны из табл. 1, соответствующее номеру вашей бригады.
2. Подведите маркер мыши к кнопке регулятора угла приема рассеянного ЭМИ и установите первое значение 60° .
 3. Определите длину волны λ' рассеянного ЭМИ и запишите в первую строку таблицы 2.
 4. Изменяйте угол наблюдения с шагом 10° и записывайте измеренные значения λ' в соответствующие строки табл. 2.
 5. Заполнив все строки табл. 2, измените значение длины волны падающего ЭМИ в соответствии со следующим значением для вашей бригады из табл. 1. Повторите измерения длины волны рассеянного ЭМИ, заполняя сначала табл. 3, а затем и табл. 4 (аналогичные табл. 2).

ТАБЛИЦА 1 (не перерисовывать) для выбора начальных значений.

Номер бригады	Длина волны падающего ЭМИ, пм		
	1, 5	30	50
2, 6	35	55	80
3, 7	40	60	90
4, 8	45	65	100

ТАБЛИЦЫ 2, 3, 4. Результаты измерений. Длина волны $\lambda = \underline{\hspace{2cm}}$ пм.

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

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

1. Вычислите и запишите в табл. 2, 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. Вычислите массу электрона, используя формулу для комптоновской длины волны.
5. 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. Какова модель ЭМИ до падения на вещество?
8. Какова модель ЭМИ после выхода из вещества?
9. Как моделируется ЭМИ при взаимодействия падающего рентгеновского фотона и свободного электрона вещества?
10. Как моделируется процесс взаимодействия падающего ЭМИ и вещества?
11. Какие законы сохранения выполняются при взаимодействии фотона со свободным электроном в эффекте Комптона?
12. Сравните поведение фотонов после взаимодействия с электронами в эффекте Комптона и фотоэффекте.
13. Что такое комптоновская длина волны частицы?
14. Почему эффект Комптона не наблюдается при рассеянии фотонов на электронах, сильно связанных с ядром атома?
15. Как меняется энергия фотона при его комптоновском рассеянии?
16. Что происходит с электроном после рассеяния на нем фотона?
17. Чем отличается масса от массы покоя? Когда они совпадают?
18. Какова масса покоя фотона?
19. С какой скоростью движется фотон?
20. Напишите уравнение для импульса фотона.
21. Напишите формулу для эффекта Комптона.
22. Напишите формулу для комптоновской длины волны электрона.
23. Чему равно максимальное изменение длины волны рассеянного фотона и когда оно наблюдается?

ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004. Гл.26, § 206.
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высшая школа, 2000. Гл. 36, § 36.5.