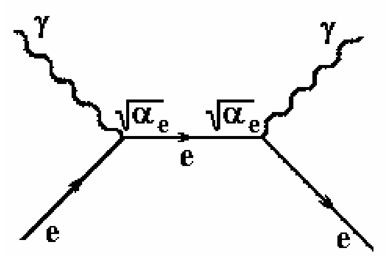
Комптоновское рассеяние фотона на электроне

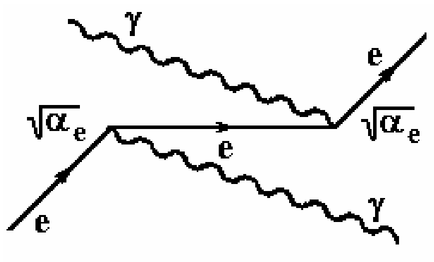
· Как меняется энергия рассеянного фотона в зависимости от энергии, на котором он рассеивается?
· Где используется этот метод?

Взаимодействие фотона и электрона

Взаимодействие фотона и электрона можно представить двумя диаграммами Фейнмана:



Фотон сначала поглощается электроном в момент времени 1, а затем испускается в момент времени 2.



В момент времени 1 электрон испускает фотон, с которым в дальнейшем ничего не происходит. Первичный электрон в момент времени 2 поглощается электроном и исчезает.

В зависимости от первоначальных энергий фотона и электрона выделяют Комптон-эффект и обратный Комптон-эффект.

Комптон – эффект

если энергия электрона до рассеяния много меньше энергии рентгеновского фотона, фотон передает часть своей энергии электрону

Обратный Комптон-эффект

если энергия электронов больше энергии фотонов, электрон отдает часть своей энергии фотону

Рассмотрим следующую задачу:

Условие:

Фотон с энергией E_γ рассеивается на электроне с энергией E_e на угол θ_γ.

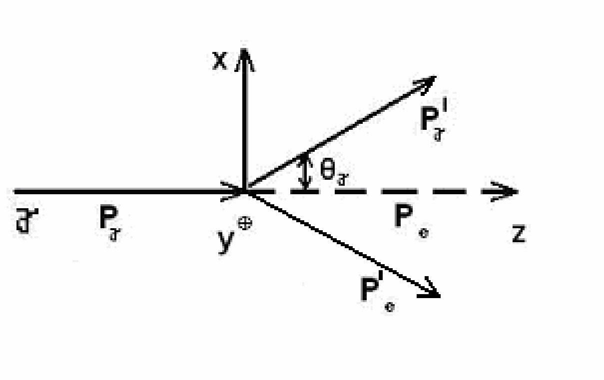
Заданы энергии фотона и электрона до столкновения.

Найти

Энергию рассеянного фотона

Решение:

Реакция $\gamma + e \to \gamma + e$



В лабораторной системе пишем законы сохранения 4-х импульса $P_\gamma\,(E_\gamma, \overrightarrow{P_\gamma})$, $P_e\,(E_e, \overrightarrow{P_e})$ - до столкновения, т.е. в начальном состоянии и $P_\gamma^|\,(E_\gamma^|, \overrightarrow{P_\gamma^|})$, $P_e^|(E_e^|, \overrightarrow{P_e^|})$ - после столкновения. Для обобщения на случай столкновения любых частиц, запишем эти законы в виде:

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4 \qquad (1)$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + \vec{P}_4 \qquad (2)$$

Введем обозначения

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4 = E$$

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + \vec{P}_4 = \vec{P}$$

Далее рассмотрим систему:

$$E = E_3 + E_4$$

$$\vec{P} = \vec{P}_3 + \vec{P}_4$$

$$E - E_3 = E_4 \qquad (3)$$

$$\vec{P} - \vec{P}_3 = \vec{P}_4 \qquad (4)$$

Возводя в квадрат оба уравнения и вычитая (4) из (3), получим

$$E^2 - \vec{P}^2 + m_3^2 - 2EE_3 + 2\vec{P}\overrightarrow{P_3} = m_4{}^2$$

$$E^2 - \vec{P}^2 = S$$

$$S + m_3{}^2 - m_4{}^2 = 2(EE_3 - \vec{P}\overrightarrow{P_3}) \qquad (5)$$

Возвращаясь к случаю Комптон-эффекта, имеем

$$\overrightarrow{P_3} = \overrightarrow{P_\gamma}^|; \qquad \vec{P}\vec{P}_3 = \vec{P}\vec{P}_\gamma^{/} = P_3 P Cos\theta = E_\gamma^| P Cos\theta$$

$$S - m_e{}^2 = 2(EE_\gamma^| - E_\gamma^| P Cos\theta)$$

$$E_\gamma^| = \frac{S - m_e^2}{2(E - PCos\theta)}$$

Рассмотрим отдельно выражение, стоящее в числителе:

$$S = (E_\gamma + E_e)^2 - (\vec{P}_\gamma + \vec{P}_e)^2$$

$$S = m_e^2 + 2(E_\gamma E_e - \vec{P}_\gamma \vec{P}_e)$$

Т.к. P_γ и P_e направлены противоположно и $E_\gamma = P_\gamma$, получим

$$S - m_e^2 = 2E_\gamma (E_e + P_e)$$

Таким образом, имеем окончательный ответ:

$$E_\gamma^/ = \frac{E_\gamma (E_e + P_e)}{E - PCos\theta}$$

Решая численно данное уравнение, учтем:
* Энергия одного фотона (лазера) ~ 2 eV
* $P_e = \sqrt{E_e^2 - m_e^2}$
* $E = E_e + E_\gamma$
* $P = P_e - P_\gamma = \sqrt{E_e^2 - m_e^2} - E_\gamma$

Имеем следующие зависимости

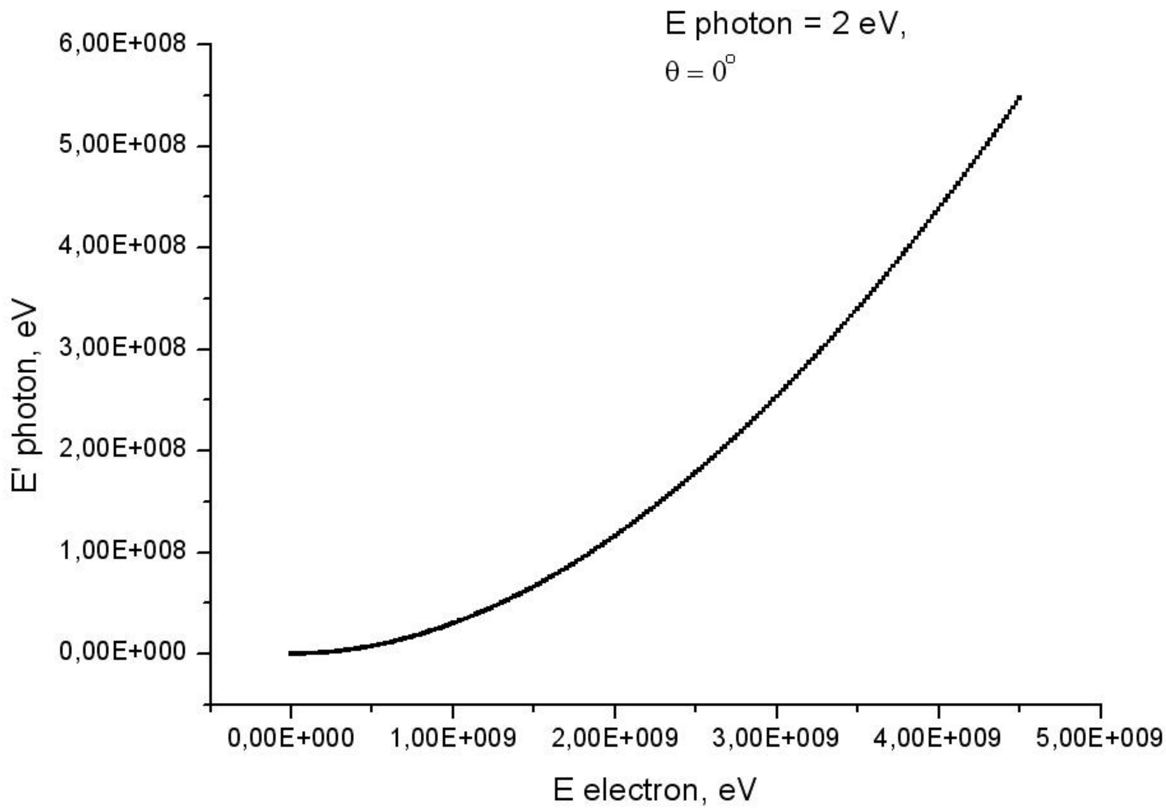


Рис. 1. Зависимость энергии фотона после взаимодействия от начальной энергии электрона

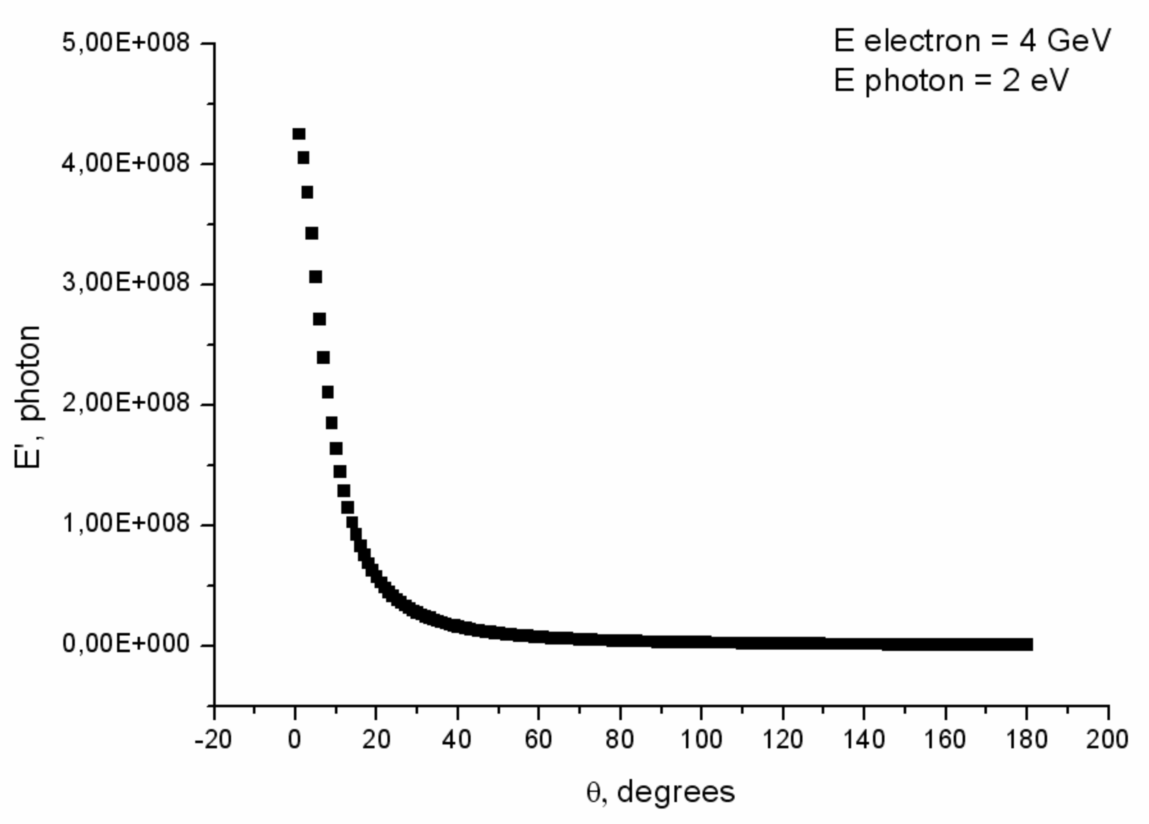


Рис.2. Зависимость энергии фотона после взаимодействия от угла вылета

Установки

- ИЯФ СО РАН.

Электрон-позитронный коллайдер ВЭПП-4М (1992). Периметр орбиты электронного пучка составляет 365 метров, максимальная энергия электронного и позитронного пучков -- 6000 МэВ.

Установка РОКК-1М **(Рассеянные Обратно Комптоновские Кванты)** позволяет получать интенсивный пучок высокоэнергетичных поляризованных гамма-квантов с энергиями до 1000 МэВ путем рассеяния лазерного излучения на встречном электронном пучке коллайдера ВЭПП-4М.

Применение

- Для получения монохроматических γ-пучков высоких энергий (до нескольких ГэВ)

- В исследовании поляризации электронов