

Читатель должен понимать, что теоретические идеи этой главы возникли из анализа экспериментальных фактов. Зная результат одного опыта, мы не могли бы с помощью одной лишь логики предсказать результат другого. Возможно, в некоторых случаях нам помогла бы *догадка*, но это другой вопрос. Вряд ли можно указать причины, по которым дело происходит именно так, как описано в этой главе. Вполне могло бы случиться, что расщепленный фотон существовал бы или что дифракционная картина меняла бы свой вид при уменьшении интенсивности света.

50. В заключение главы мы обращаем внимание читателя на замечательное теоретическое значение и познавательную ценность «оптического набора», состоящего из фотоэлементов, электронных счетных схем, дифракционных решеток, монохроматических источников света и некоторых других стандартных оптических устройств. Такой набор дает возможность изучить много фундаментальных вещей.

Задачи

1. Ядро или атом с массой M_i испускает фотон. Конечное ядро (образовавшееся после испускания фотона) имеет массу M_f . Испущенный фотон наблюдается в системе координат, где начальное ядро покоилось; пусть частота фотона равна ω . Введем частоту $\omega_0 = (M_i - M_f)c^2/\hbar$.

а) Покажите, что

$$\omega = \frac{M_i + M_f}{2M_i} \omega_0 = \omega_0 \left[1 - \frac{\omega_0 \hbar}{2M_i c^2} \right].$$

б) Вычислите $(\omega_0 - \omega)/\omega$ для желтой линии натрия и для γ -линии 113 кэВ, испускаемой изотопом гафния ^{177}Hf .

Приведенная формула описывает эффект отдачи при испускании фотона. Фотон всегда имеет меньшую частоту, чем та, которую он должен был бы иметь при бесконечно тяжелом ядре M_f . Для оптических фотонов, испускаемых атомом, эффект крайне мал.

2. Рассмотрим процесс, обратный обсуждавшемуся в задаче 1. Атом или ядро с массой M_f , находившееся в покое в лабораторной системе координат, поглощает фотон с частотой ω . Конечная масса атома (или ядра) равна M_i . Опять положим $\omega_0 = (M_i - M_f)c^2/\hbar$. Получите соотношение между ω , ω_0 , M_i и M_f . Заметьте, что при малых относительных изменениях массы частота ω очень близка к ω_0 .

3. Определите по графику на рис. 23А этой главы отношение h/e с точностью, допускаемой точностью графика. Скорость света считайте известной.

4. Рассмотрите кривые Комптона на рис. 20А. Абсцисса графика приблизительно пропорциональна длине волны. Воспользовавшись третьим графиком, постарайтесь предсказать смещение максимумов для второго и четвертого графиков. Сравните предсказанное смещение с кривыми.

5. Рассмотрите графики на рис. 16А. Можно заметить, что абсцисса выражена в двух шкалах — скорости и частоты. Энергия γ -квантов, испускаемых возбужденным ядром ^{57}Fe , равна 14,4 кэВ. Можете ли вы, зная это, составить соотношение скорости и частоты для обеих шкал?

6. Обратите внимание на замечательную особенность рис. 16А. Эффект отдачи, о котором говорилось в задаче 2, отсутствует. Это явление известно как эффект Мёссбауэра (по имени открывшего его ученого *). Можете ли вы дать какое-ни-

*) Mössbauer R. L. Kernresonanzfluoreszenz von Gammastrahlung in ^{191}Ir . — Zs. f. Phys., 1958, v. 151, p. 124 (перевод этой статьи см. в книге: Фраунфельдер Г. Эффект Мёссбауэра. — М.: Атомиздат, 1964).

Мёссбауэр Р. Л. Резонансное ядерное поглощение γ -квантов в твердых телах. — УФН, 1960, v. 72, p. 658.

будь объяснение этому явлению? Поразмыслив об этом, поройтесь в литературе; это интересное явление.

7. γ -излучение с длиной волны $0,710 \text{ \AA}$ рассеивается тонкой алюминиевой фольгой. Рассеянное излучение наблюдается под углом 60° к направлению пучка. Какую длину волны вы ожидаете?

8. Предположим, что при аннигиляции электронно-позитронной пары образовались три фотона. Если мы наблюдаем их в системе покоя электронно-позитронной пары (мы предполагаем, что аннигиляция происходит тогда, когда электрон и позитрон находятся почти в покое), то чему равны возможные значения энергии фотона?

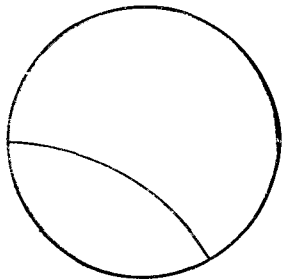
9. Фотон падает перпендикулярно к поверхности раздела из вакуума в однородную диэлектрическую среду с показателем преломления n .

а) Какова частота и энергия фотона в диэлектрике?

б) Можно ли приписать фотону импульс в диэлектрике? Если да, то напишите выражение для импульса. Как он связан с длиной волны и чему равна длина волны в диэлектрике?

10. Заряженная частица, движущаяся в вакууме с постоянной скоростью, не испускает электромагнитного излучения (фотонов). Такое излучение запрещено законами сохранения энергии и импульса. Будет ли заряженная частица, движущаяся в диэлектрике с постоянной скоростью, большей скорости света в диэлектрике, излучать фотоны? Оказывается, что это возможно, и такое излучение называется излучением Черенкова. (Здесь нас интересует только баланс энергии и импульса, а не детальный «механизм» явления.) Фотоны испускаются под определенным углом к направлению движения частицы. Определите этот угол, если показатель преломления среды равен 1,5, частица является пионом с энергией 5 ГэВ и фотон находится в оптической области. Детекторы заряженных частиц, основанные на регистрации черенковского излучения, широко используются в физике высоких энергий.

11. а) Если заряженная частица движется в плоскости, перпендикулярной к направлению однородного магнитного поля, то ее траектория представляет собой окружность. Предположив, что частица имеет элементарный заряд, покажите,



К задаче 11. Схема снимка, полученного в камере Вильсона. Заряженная частица движется в магнитном поле, направленном из плоскости рисунка. Принадлежит ли этот след позитрону? В каком направлении он движется? Может ли этот след принадлежать электрону, движущемуся в противоположном направлении? Почему Андерсон был уверен в том, что след на его снимке (рис. 26А) создан позитроном, а не электроном?

что импульс частицы пропорционален произведению Br (где B — индукция поля, а r — радиус траектории). Найдите постоянный множитель, который позволяет выразить импульс в МэВ/с, а величину Br в Гс·см (c — скорость света).

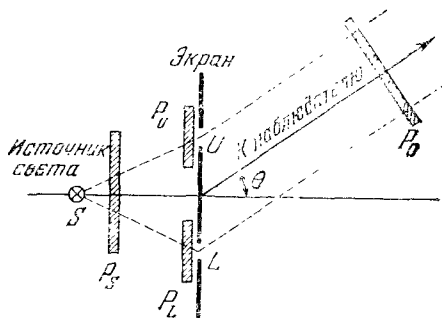
б) Анализируя свой снимок, полученный в камере Вильсона (см. рис. 26А этой главы), Андерсон определил энергию позитрона, зная магнитное поле и кривизну траектории. Импульсы, измеренные им для двух частей траектории, оказались равными $Br=2,1 \cdot 10^5$ Гс·см и $Br=7,5 \cdot 10^4$ Гс·см. Покажите, что соответствующие энергии равны 63 и 23 МэВ.

в) Можно ли по фотографии следа частицы в камере Вильсона, показанной на рисунке к этой задаче, определить знак заряда и направление движения частицы? Как Андерсон понял, что частица на его снимке (рис. 26А) представляет собой позитрон, а не электрон, движущийся в обратном направлении?

г) На рис. 26А магнитное поле направлено перпендикулярно к плоскости рисунка. Как оно направлено: на нас или от нас?

Обратитесь к работе Андерсона (Phys. Rev., 1933, v. 43, p. 491), чтобы понять, почему он отверг возможность, что след на полученной им фотографии принадлежит протону.

12. Рассмотрим более чистый вариант опыта с дифракцией на двух щелях, обсуждавшегося в п. 39—42 (см. рисунок к этой задаче). Рассмотрим поляризационные фильтры перед щелями, перед источником света и перед наблюдателем.



К задаче 12. Уточнение рис. 39А. Поляризующие фильтры расположены следующим образом: P_S — перед источником, P_U и P_L — перед верхней и нижней щелями, P_O — перед наблюдателем. Какого рода полосы будут наблюдаться при различном наборе фильтров?

Задача заключается в том, чтобы найти выражение для интенсивности, аналогичное уравнению (40с), при разных комбинациях фильтров. Предположим, что источник испускает неполяризованный свет и что щели нечувствительны к состоянию поляризации проходящего света. Рассмотрим следующие случаи:

Поляризация			
P_S	P_U	P_L	P_O
отсутствует	отсутствует	горизонтальная	отсутствует
отсутствует	горизонтальная	вертикальная	отсутствует
круговая	горизонтальная	вертикальная	круговая
круговая	горизонтальная	горизонтальная	круговая
круговая	горизонтальная	вертикальная	отсутствует

В этой таблице «горизонтальная» и «вертикальная» поляризации обозначают, что фильтр пропускает свет, поляризованный соответственно в горизонтальном или вертикальном направлениях; «круговая» — фильтр пропускает левополяризованный свет

Дополнительная литература

Эйнштейн А. К квантовой теории излучения. — УФН, 1965, т. 86, с. 371.

Де Бройль Л. Волны и кванты. — УФН, 1967, т. 178.

Фейнман Р. Характер физических законов. — М.: Мир, 1968.

Сегре Э., Виганд К. Антипротон. — Над чем думают физики, 1963, вып. 2,