

Основы квантовой оптики.

Квантовая оптика представляет собой раздел оптики, главной задачей которого является изучение явлений, в которых могут проявляться квантовые свойства света. Информация взята с сайта биржи

В отличие от классической оптики, квантовая оптика представляет более общую теорию. Главная проблема, которую она затрагивает, - описать взаимодействие света с веществом, учитывая при этом квантовую природу объектов. Также квантовая оптика занимается описанием процесса распространения света в особых (специфических условиях). Более точное решение таких задач требует описания как вещества (включая и среду распространения), так и света исключительно с позиции существования квантов. В то же время, зачастую ученые при описании упрощают задачу, когда один из компонентов системы (например, вещество) описывают в формате классического объекта.

Часто при расчетах, например, квантуется только состояние активной среды, а резонатор при этом считается классическим. Однако, в случае, если его длина окажется на порядок выше длины волны, считаться классическим он уже не может. Поведение возбужденного атома, который поместили в такой резонатор, будет более сложным. Задачи квантовой оптики направлены на исследование корпускулярных свойств света (то есть его фотонов и частиц-корпускул). Согласно предложенной в 1901 г. гипотезе М. Планка о свойствах света, поглощается и излучается он только отдельными порциями (фотонами, квантами). Квант представляет материальную частицу с некоторой массой m_ϕ , энергией E и импульсом p_ϕ .

Тогда записывается формула:

$E = h\nu$ Где h представляет постоянную Планка.

$v = c\lambda$

Где λ - это частота света с c будет скоростью света в вакууме.

К главным оптическим явлениям, объясняемым за счет квантовой теории, относятся давление света и фотоэффект.

Фотоэффект это такое явление взаимодействий фотонов света и вещества, при котором энергия излучения будет передана электронам вещества. Существуют такие разновидности фотоэффекта, как внутренний, внешний и вентильный.

Внешний фотоэффект характеризуется выходом электронов из металла в момент его облучения светом (при определенной частоте). Квантовая теория фотоэффекта утверждает, что каждый акт поглощения электроном фотона осуществляется независимо от других. Повышение интенсивности излучения сопровождается увеличением количества падающих и поглощенных фотонов. Когда энергия поглощается веществом частоты ν , каждый из электронов оказывается способным к поглощению только одного фотона, забирая при этом у него энергию.

Эйнштейн, применив закон сохранения энергии, предложил свое уравнение для внешнего фотоэффекта (выражение закона сохранения энергии):

$$h\nu = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}$$

$A_{\text{вых}}$ - это работа выхода электрона из металла.

Кинетическая энергия вылетевшего электрона получается по формуле:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Из уравнения Эйнштейна получается, что если $E_k = 0$, то возможно получить ту самую минимальную частоту (красную границу фотоэффекта), при которой он будет возможен:

$$v_0 = \frac{A}{h}$$

Давление света объясняется тем фактом, что, как частицы, фотоны обладают определенным импульсом, который передают телу в процессе поглощения и отражения:

$$P_\phi = mc$$

Такое явление, как давление света, объясняет также и волновая теория, по которой (если сослаться на гипотезу де Бройля), любой частице присущи еще и волновыми свойствами. Связь импульса P и длины волны λ показывает уравнение:

$$P = h\lambda$$

Эффект Комптона

Эффект Комптона характеризуется некогерентным рассеянием фотонов на свободных электронах. Само понятие некогерентность означает не интерферированность фотонов до рассеяния и после него. При эффекте изменяется частота фотонов, при этом после рассеяния электроны получают часть энергии.

Эффект Комптона представляет экспериментальное доказательство проявления корпускулярных свойств света в качестве потока частиц (фотонов). Явления эффекта Комптона и фотоэффекта выступают важным доказательством квантовых представлений о свете. В то же время, такие явления, как дифракция, интерференция, поляризация света служат подтверждением волновой природы света. Эффект Комптона представляет одно из доказательств корпускулярно-волнового дуализма микрочастиц. Закон сохранения энергии записывается следующим образом:

$$m_e e^2 + \frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda'} + m_e e^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Обратный эффект Комптона представляет увеличение частоты света при рассеянии на релятивистских электронах с более высокой, чем фотонная, энергией. При таком взаимодействии энергия передается фотону от электрона. Энергию рассеянных фотонов определяет выражением:

$$e_1 = \frac{4}{3} e_0 \frac{K}{m_e c^2} \quad \text{Где } e_1 \text{ и } e_0 - \text{ энергия рассеянного фотона и падающего соответственно,}$$

а k — кинетическая энергия электрона.

Фотоэлементы и их применение

Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называют фотоэлементами. В качестве светочувствительного слоя в них обычно используют напыленные покрытия из щелочных металлов, имеющих малую работу выхода, т. е. чувствительных к видимому свету. (Изготавливают и фотоэлементы, чувствительные только к ультрафиолетовым лучам.)

Фотоэлементы, использующие внешний фотоэффект, преобразуют в электрическую энергию лишь незначительную часть энергии излучения. Поэтому в качестве источников электроэнергии их не используют, зато широко применяют в различных схемах автоматики для управления электрическими цепями с помощью световых пучков.

При ином способе включения фотоэлемента в цепь фотореле можно заставить его срабатывать не при прерывании светового потока, а, наоборот, при освещении фотоэлемента светом.

Внутренний фотоэффект используют в фоторезисторах, применяемых для различных целей, а внешний фотоэффект, возникающий в полупроводниковых фотоэлементах с p-n-переходом, используют для прямого преобразования энергии излучения в электрическую энергию (солнечные батареи).

Задание. Ответить на вопросы и решить задачи.

Что называют внешним фотоэффектом? Внутренним фотоэффектом?

Сформулируйте законы внешнего фотоэффекта.

В чем сущность квантовых представлений о свете?

Задача 1. Найдите работу выхода электронов из металла, для которого красная граница фотоэффекта $\nu = 6 \cdot 10^{14}$ Гц.

Задача 2. Определите наибольшую длину световой волны, при которой возможен фотоэффект для платины $A = 8,5 \cdot 10^{19}$ Дж.