

Лекция 22.

Квантовые свойства света.
Фотоэффект. Лазеры.

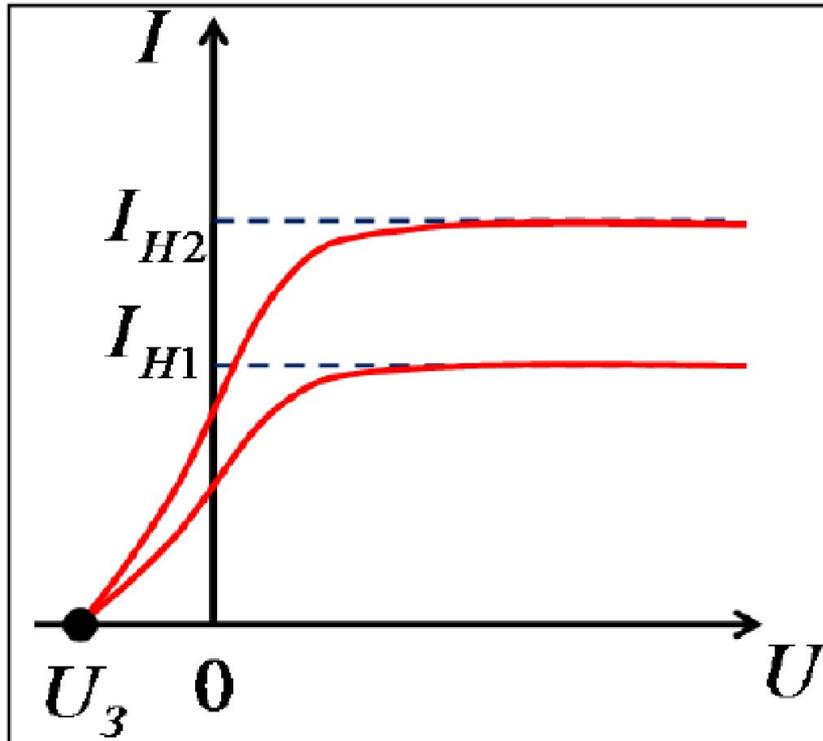
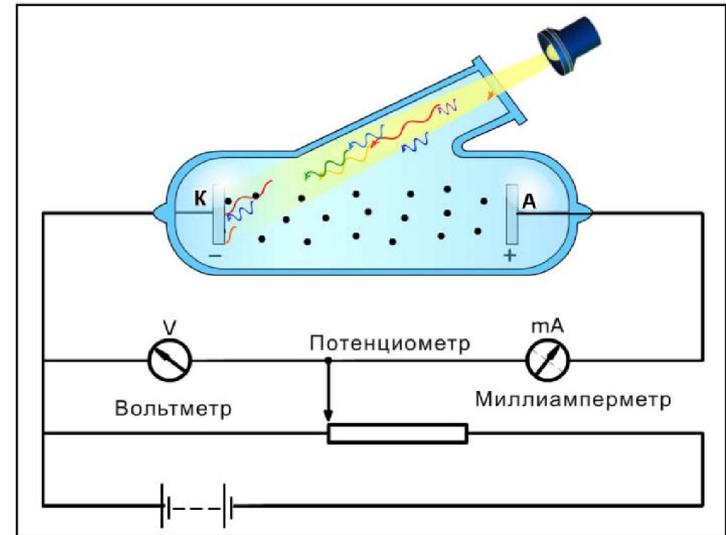
Фотоэффект

Фотоэлектрический эффект (фотоэффект) — высвобождение электронов из вещества под действием электромагнитного излучения (ЭМИ).

Внутренний фотоэффект — вызванные ЭМИ переходы электронов внутри вещества из связанных состояний в свободные (без высвобождения наружу). Приводит к возникновению фотопроводимости — повышению электропроводности полупроводника или диэлектрика при его освещении.

Вентильный фотоэффект — возникновение ЭДС при освещении области контакта двух полупроводников (или полупроводника и металла). Используется в солнечных батареях для преобразования солнечной энергии в электрическую.

Схема установки для исследования внешнего фотоэффекта



Вольт-амперная характеристика фотоэффекта — зависимость величины фототока I от напряжения между катодом и анодом U .

I_H — ток насыщения,
 U_3 — запирающий потенциал.

Законы фотоэффекта

1-й закон: при фиксированной частоте падающего света число испускаемых фотоэлектронов в единицу времени пропорционально интенсивности света.

2-й закон: Максимальная начальная скорость фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а определяется только его частотой.

3-й закон: Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта — минимальная частота света (зависящая от хим. природы вещества и состояния его поверхности), ниже которой фотоэффект невозможен.

Квантовая теория фотоэффекта

Гипотеза Планка о существовании квантов ЭМИ — фотонов. Энергия фотона

$$E = h\nu = \hbar\omega$$

$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ — постоянная Планка

При внешнем фотоэффекте энергия падающего фотона расходуется на совершение электроном работы выхода A из металла и на сообщение фотоэлектрону кинетической энергии.

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}$$

формула Эйнштейна

Корпускулярно-волновой дуализм

Характеристики светового кванта (фотона)

Энергия фотона $E = h\nu = \hbar\omega$

Скорость в вакууме $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Масса покоя фотона $m_0 = 0$

Масса движущегося фотона $E = h\nu = mc^2 \Rightarrow m = \frac{h\nu}{c^2}$

Импульс фотона $p = mc = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$

Применение фотоэффекта

Вакуумный фотоэлемент. Представляет собой откачанный стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого покрыта фоточувствительным слоем. Используются в качестве фотометрических приборов.

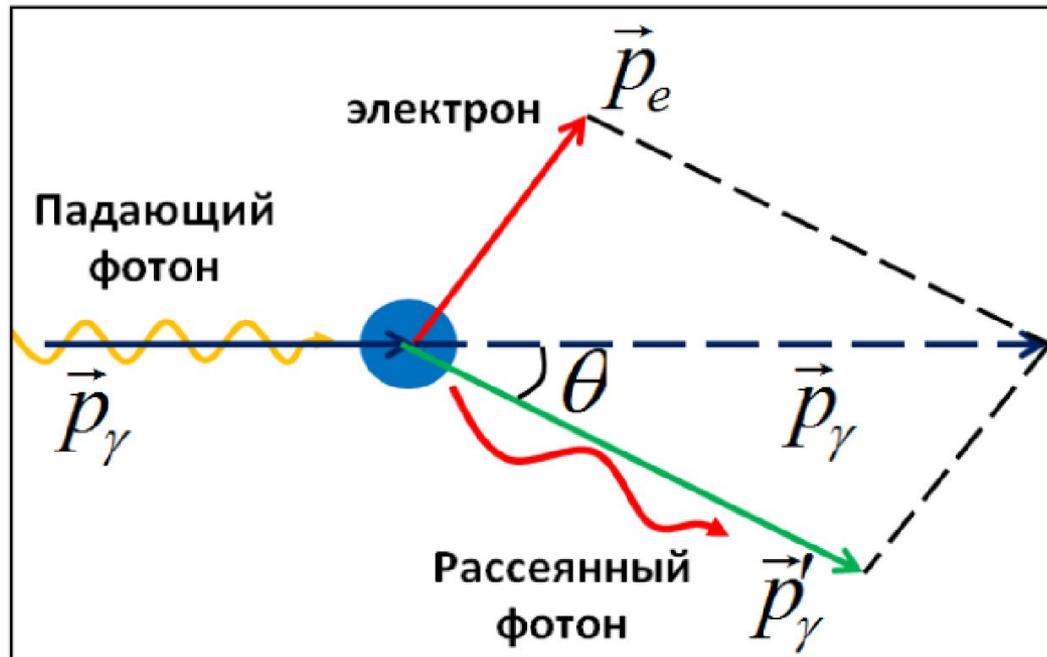
Газонаполненный фотоэлемент. Фототок усиливается вследствие ударной ионизации молекул газа фотоэлектронами. Интегральная чувствительность газонаполненных фотоэлементов гораздо выше, чем для вакуумных, но они обладают большей инерционностью.

Фотоэлементы с внутренним ФЭ (**фоторезисторы**). Также обладают высокой интегральной чувствительностью. Малогабаритны и имеют низкое напряжение питания. Недостаток — заметная инерционность фоторезисторов.

Фотоэлементы с вентильным ФЭ (**вентильные фотоэлементы, фотоэлементы с запирающим слоем**). Имеют пропорциональную зависимость фототока от интенсивности излучения, большую чувствительность, не нуждаются во внешнем источнике ЭДС. Применяются для создания солнечных батарей (КПД 10% - 20%).

Эффект Комптона

Эффект Комптона — упругое рассеяние коротковолнового ЭМИ (рентгеновского или γ -излучения) на свободных электронах, сопровождающееся увеличением длины волны.



Квантовая теория эффекта Комптона

$$\varepsilon_\gamma = h\nu \quad p_\gamma = \frac{h\nu}{c} \quad \text{энергия и импульс фотона до рассеяния}$$

$$W_0 = m_e c^2 \quad W = \sqrt{p_e^2 c^2 + m_e^2 c^4}$$

релятивистская энергия и импульс электрона до и после столкновения

$$W_0 + \varepsilon_\gamma = W + \varepsilon'_\gamma \quad \text{закон сохранения энергии}$$

$$\vec{p}_\gamma = \vec{p}_e + \vec{p}'_\gamma \quad \text{закон сохранения импульса}$$

Отсюда получаем

$$m_e c^2 (\nu - \nu') = h\nu\nu' \cos\theta \quad \Rightarrow \quad \Delta\lambda = 2\lambda_C \sin^2 \frac{\theta}{2}$$

$$\lambda_C^e = \frac{h}{m_e c} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$$

Лазеры (LASER – Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

Лазеры или **оптические квантовые генераторы** – когерентные источники излучения, обладающие рядом уникальных свойств.

Виды лазеров: газовые, твердотельные, полупроводниковые.

Режимы работы: импульсный, непрерывный.

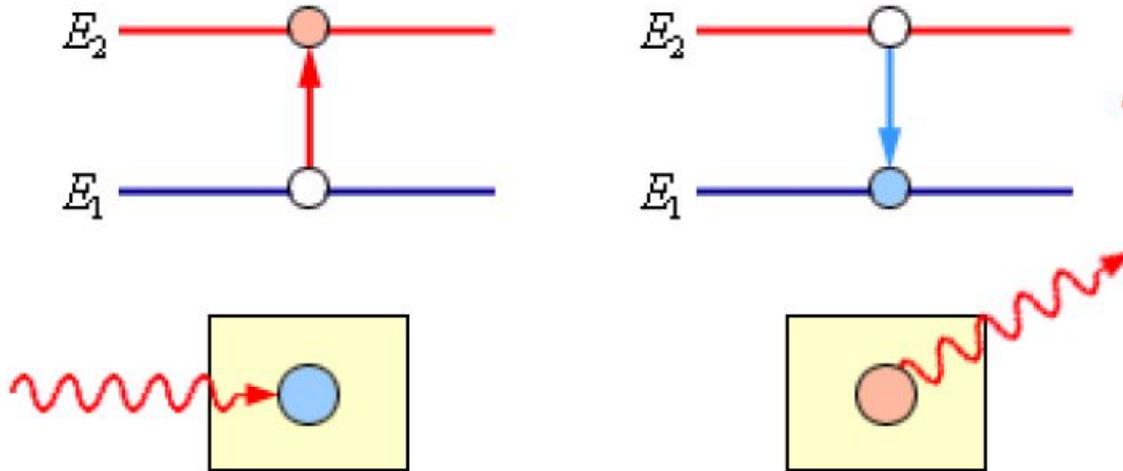
Мощность излучения: 10^{12} – 10^{13} Вт.

Область применения: технология обработки материалов, медицина, военная техника, оптические системы навигации, связи и локации, химия и т. д.

Основное свойство лазерного излучения: высокая степень монохроматичности вследствие согласованного испускания световых квантов атомами рабочего вещества.

Принципы функционирования лазеров

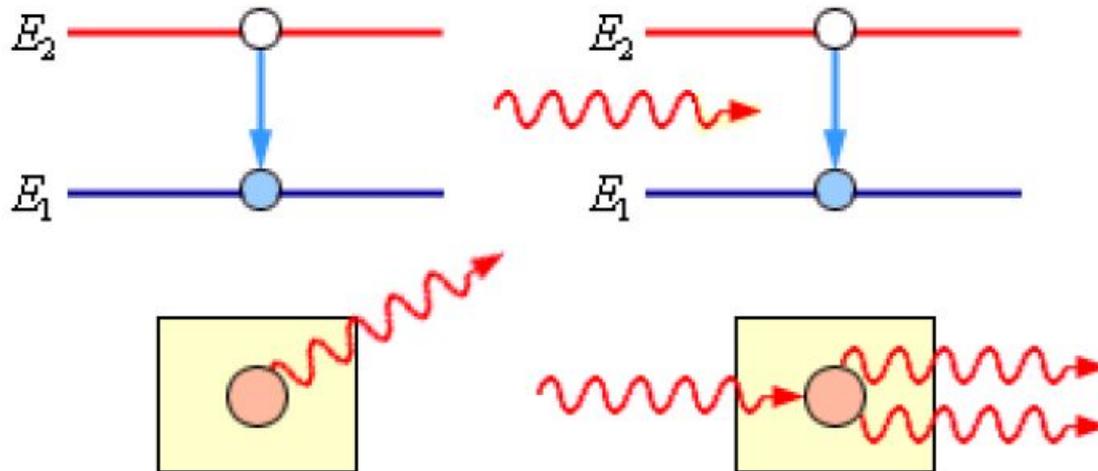
1) Атомная модель Бора, метастабильные состояния и электронные переходы (излучательные и безызлучательные)



2) Спонтанные и вынужденные оптические переходы

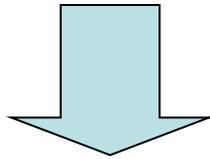
Излучение, возникающее при самопроизвольном переходе атома из одного состояния в другое, называют **СПОНТАННЫМ**.

Переход электрона с верхнего энергетического уровня на нижний под влиянием внешнего ЭМИ, частота которого равна собственной частоте перехода (резонансное поглощение), сопровождается возникновением **вынужденного** (или **индуцированного**) излучения.

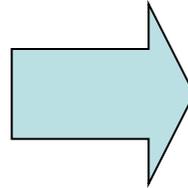


Отличия между вынужденным и спонтанным излучением:

1. Вынужденное излучение распространяется строго в том же направлении, что и излучение, его вызвавшее.
2. Фаза волны вынужденного излучения, испускаемого атомом, в точности совпадает с фазой падающей волны.
3. Вынужденное излучение линейно поляризовано в той же плоскости, что и падающее излучение.



Кванты вынужденного излучения неотличимы от первичных стимулирующих квантов.



Малая расходимость пучка, когерентность и линейная поляризация волны

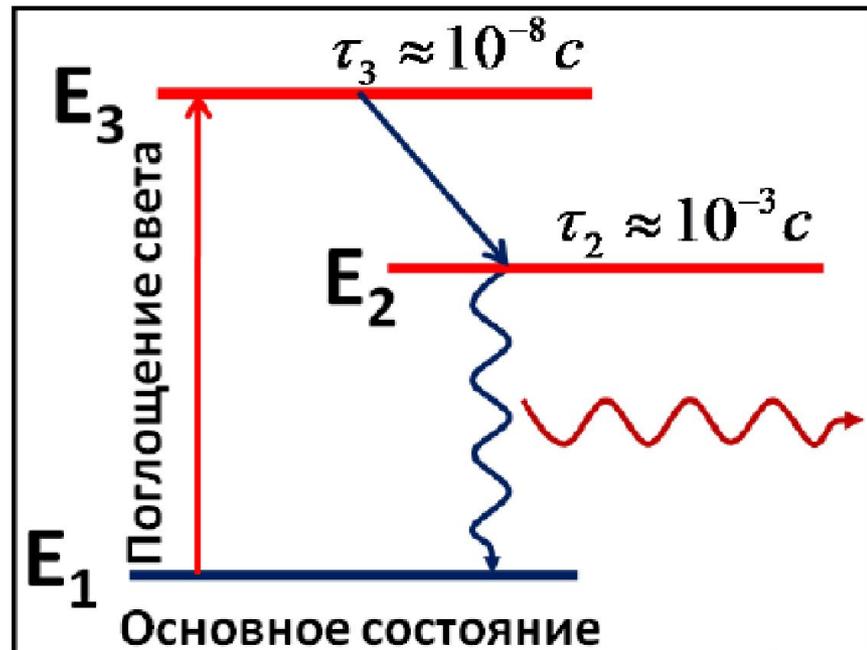
Индукцированное излучение - физическая основа работы лазеров.

3) инверсия населенностей

Эффект усиления (amplification) электромагнитной волны при прохождении через вещество наблюдаться только в случае, если скорость вынужденных электронных переходов высока. Это может быть достигнуто только при высокой населенности верхнего энергетического уровня в атоме (молекуле).

Такая населенность называется **инверсной**, а среда, в которой создана инверсия населенностей называется **активной**.

Для поддержания инверсной населенности применяются различные методы **накачки**.



4) резонатор

Для усиления электромагнитной волны необходимо создать высокую плотность первичных стимулирующих фотонов. Для этой цели используют **резонатор** (систему полупрозрачных зеркал, см. рис.).

