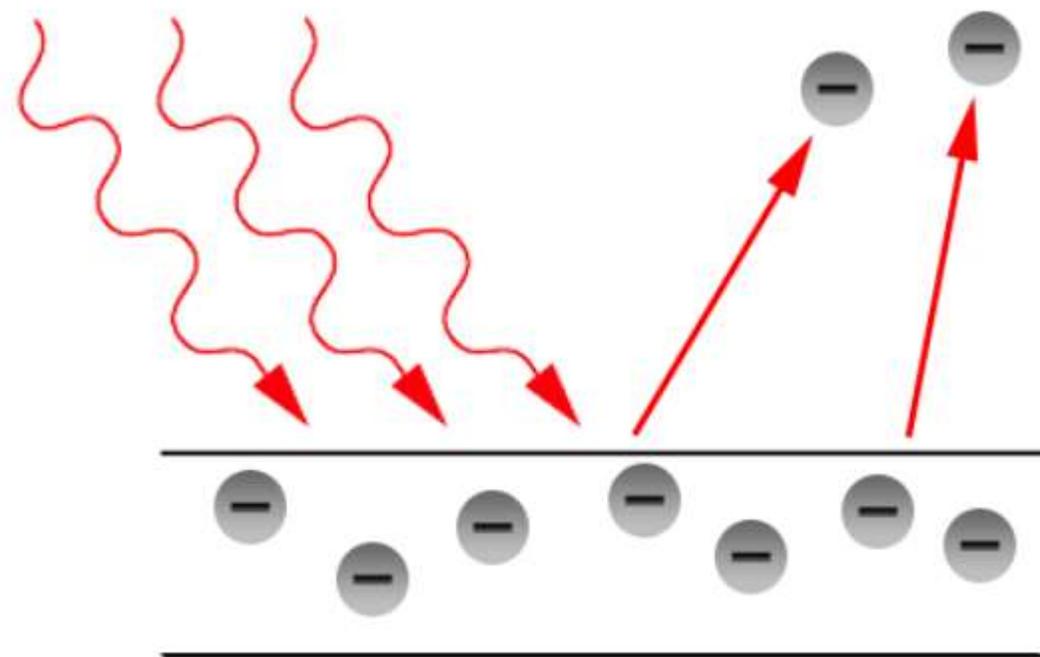


# *Квантовая природа излучения*

## *Часть 2.*



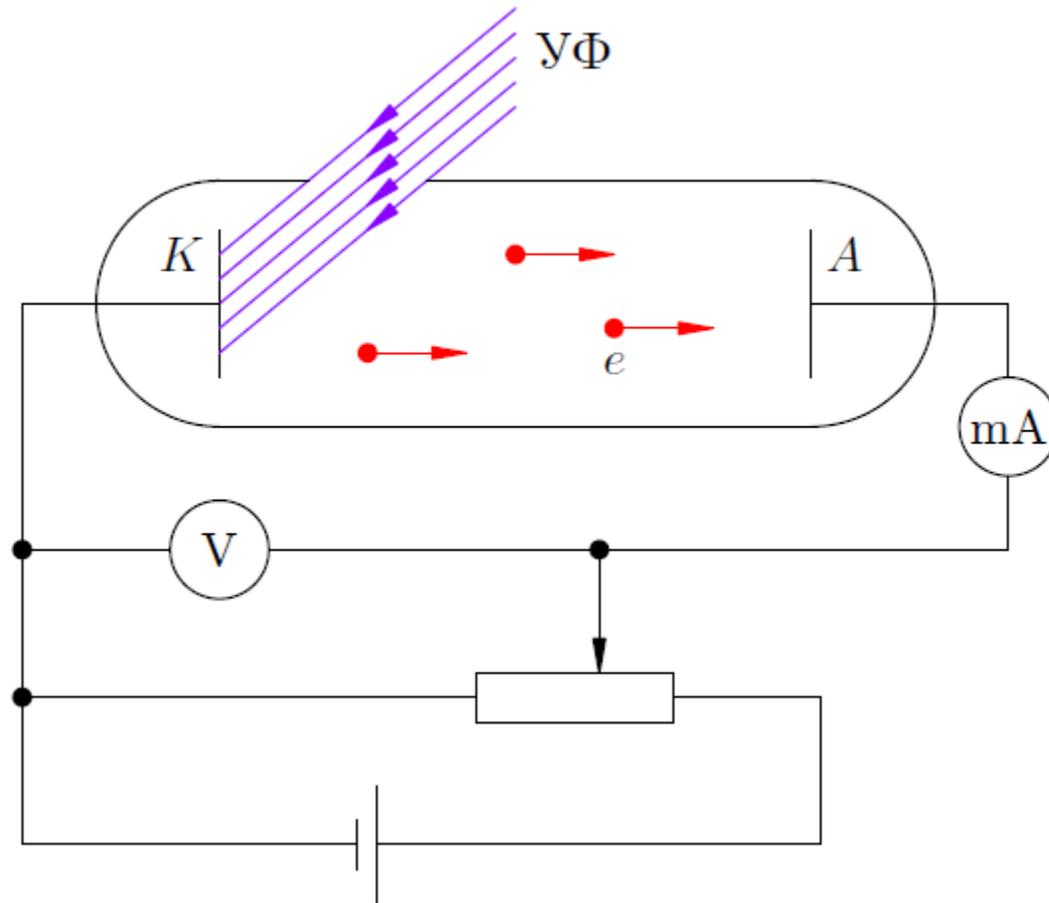
*Лекция 2*

# План:

- Фотоэффект.
- Виды фотоэффекта.
- Законы внешнего фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
- Применение фотоэффекта.
- Энергия и импульс фотона. Давление света.
- Гипотеза де Бройля

Фотоэффект — это выбивание электронов из вещества падающим светом. Явление фотоэффекта было открыто Генрихом Герцем в 1887 году в ходе его знаменитых экспериментов по излучению электромагнитных волн.

## ОПЫТЫ А.С.СТОЛЕТОВА.



# Зависимость фототока от напряжения

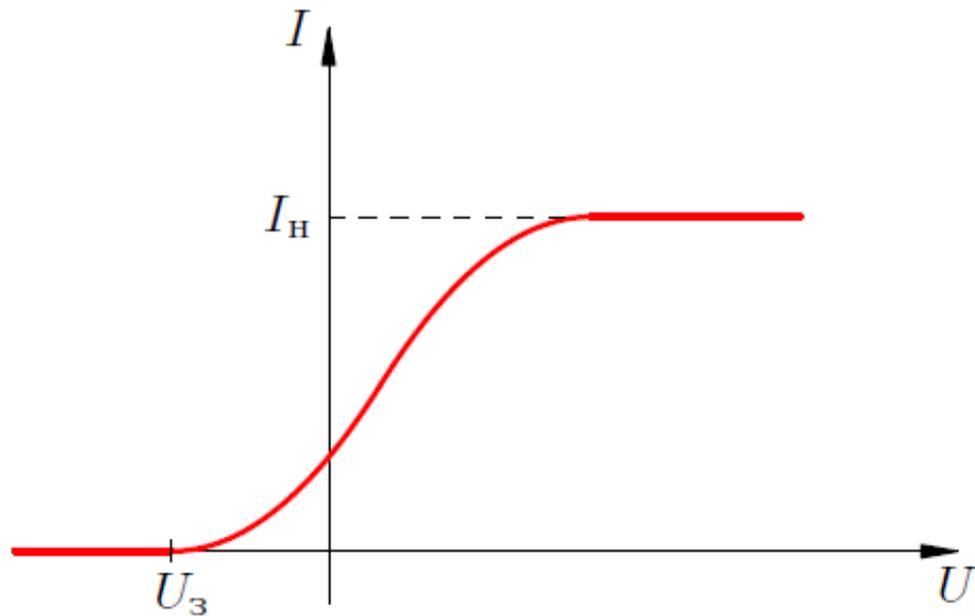


Рис. Характеристика фотоэлемента

$$\frac{mv^2}{2} < eU.$$

Здесь  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг — масса электрона,

$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл — его заряд.

$$\frac{mv^2}{2} = eU_з.$$

Таким образом, величина задерживающего напряжения позволяет определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов.

# Законы фотоэффекта.

**Первый закон фотоэффекта.** Число электронов, выбиваемых из катода за секунду, пропорционально интенсивности падающего на катод излучения (при его неизменной частоте).

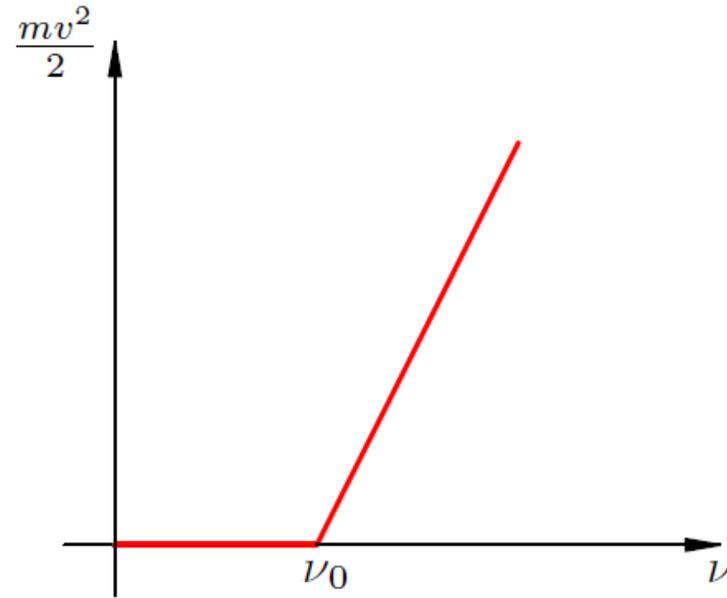


Рис. Зависимость энергии фотоэлектронов от частоты света

Как видим, существует некоторая частота  $\nu_0$ , называемая *красной границей фотоэффекта*, разделяющая две принципиально разные области графика. Если  $\nu < \nu_0$ , то фотоэффекта нет. Если же  $\nu > \nu_0$ , то максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно растёт с частотой

# Законы фотоэффекта.

**Второй закон фотоэффекта.** *Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.*

**Третий закон фотоэффекта.** *Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта — наименьшая частота света  $\nu_0$ , при которой фотоэффект ещё возможен. При  $\nu < \nu_0$  фотоэффект не наблюдается ни при какой интенсивности света.*

# Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

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

1. Число выбиваемых электронов пропорционально числу поглощённых фотонов. С увеличением интенсивности света количество фотонов, падающих на катод за секунду, возрастает. Стало быть, пропорционально возрастает число поглощённых фотонов и, соответственно, число выбитых за секунду электронов.
2. Выразим кинетическую энергию:

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

Действительно, кинетическая энергия выбитых электронов линейно растёт с частотой и не зависит от интенсивности света.

# Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

3. Для того, чтобы начался фотоэффект, энергии фотона должно хватить как минимум на совершение работы выхода:  $h\nu \geq A$ . Наименьшая частота  $\nu_0$ , определяемая равенством

$$h\nu_0 = A,$$

как раз и будет красной границей фотоэффекта. Как видим, красная граница фотоэффекта  $\nu_0 = A/h$  определяется только работой выхода, т.е. зависит лишь от вещества облучаемой поверхности катода.

# Применение фотоэффекта



# Энергия и импульс фотона

$$E = h\nu.$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

$$E = \hbar\omega.$$

$$E = pc.$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}.$$

$$p = \frac{h}{\lambda}.$$

# Давление света

Предположим, что на некоторое тело падает свет частоты  $\nu$ . Лучи направлены перпендикулярно поверхности тела; площадь освещаемой поверхности равна  $S$

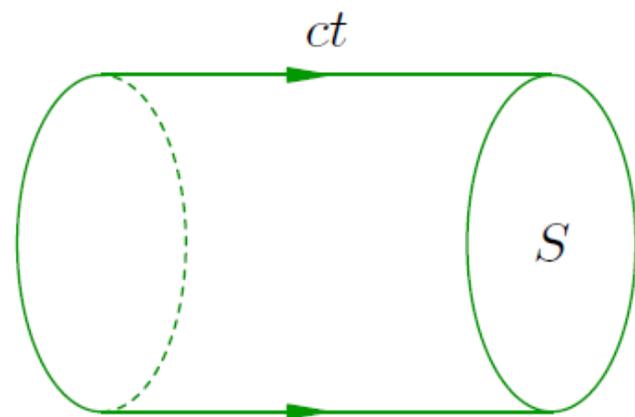


Рис. Давление света

Пусть  $n$  — концентрация фотонов падающего света, то есть число фотонов в единице объёма. За время  $t$  на нашу поверхность попадают фотоны, находящиеся внутри цилиндра высотой  $ct$ . Их число равно:

$$N = nV = nSct.$$

# Давление света

При падении света на поверхность тела часть световой энергии отражается, а часть — поглощается. Пусть  $r$  — коэффициент отражения света; величина  $r < 1$  показывает, какая часть световой энергии отражается от поверхности. Соответственно, величина  $1 - r$  — это доля падающей энергии, поглощаемая телом.

$$N_{\text{отр}} = rN, \quad N_{\text{погл}} = (1 - r)N.$$

Суммарный импульс, полученный телом от  $N$  падающих фотонов, равен:

$$P = 2p \cdot N_{\text{отр}} + p \cdot N_{\text{погл}} = 2prN + p(1 - r)N = (1 + r)pN.$$

На нашу поверхность  $S$  действует сила  $F$ , равная импульсу, полученному телом в единицу времени:

$$F = \frac{P}{t} = (1 + r)p \frac{N}{t} = (1 + r) \frac{h\nu}{c} \frac{nSct}{t} = (1 + r)h\nu nS.$$

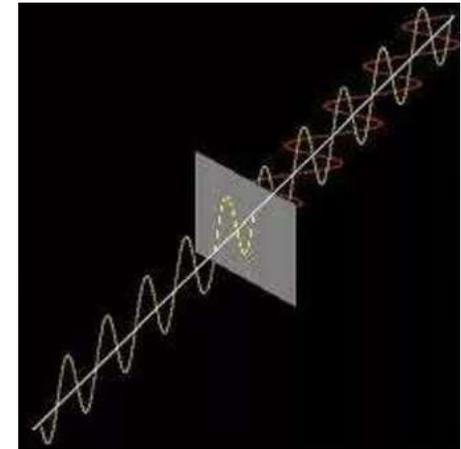
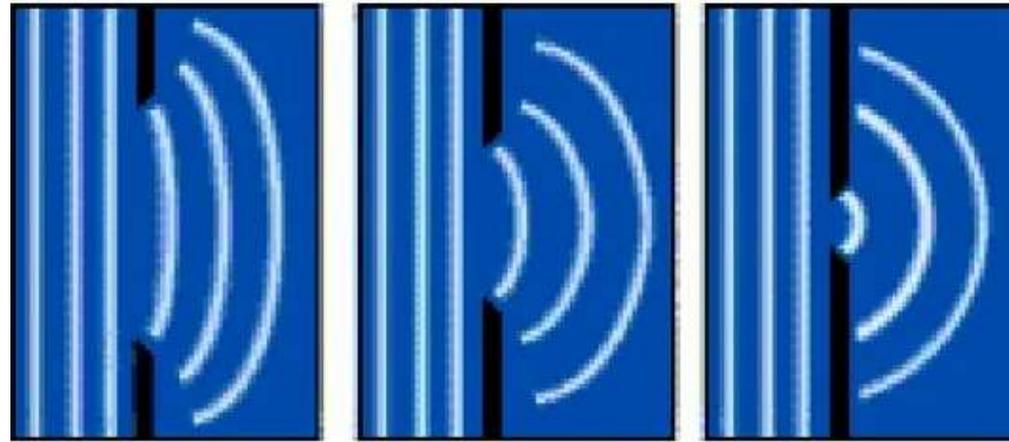
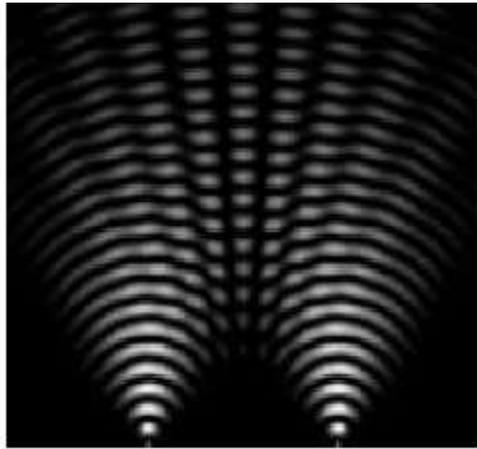
# Давление света

Давление света есть отношение этой силы к площади освещаемой поверхности:

$$p_{\text{света}} = \frac{F}{S} = (1 + r)h\nu n.$$

# Двойственная природа света

Волновые свойства света проявляют себя при *интерференции, дифракции, поляризации.*

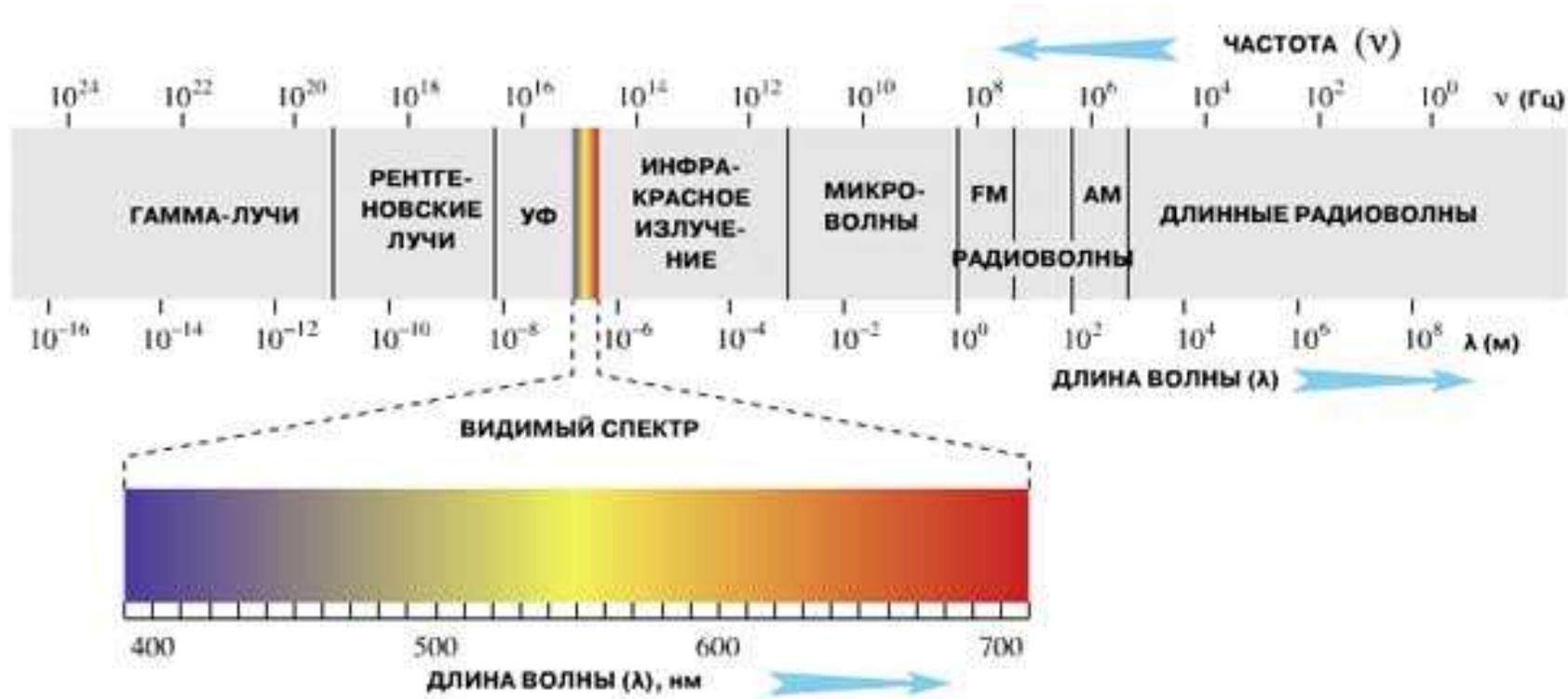


При взаимодействии света с веществом (фотоэффект) проявляются корпускулярные свойства света.

Двойственная природа света: фотон обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами.

# Гипотеза Де Бройля

Гипотеза де Бройля. Движению каждой частицы соответствует распространение некоторой волны. Частота и длина этой волны определяются энергией и импульсом частицы:



$$\nu = \frac{E}{h}, \quad \lambda = \frac{h}{p}.$$

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**