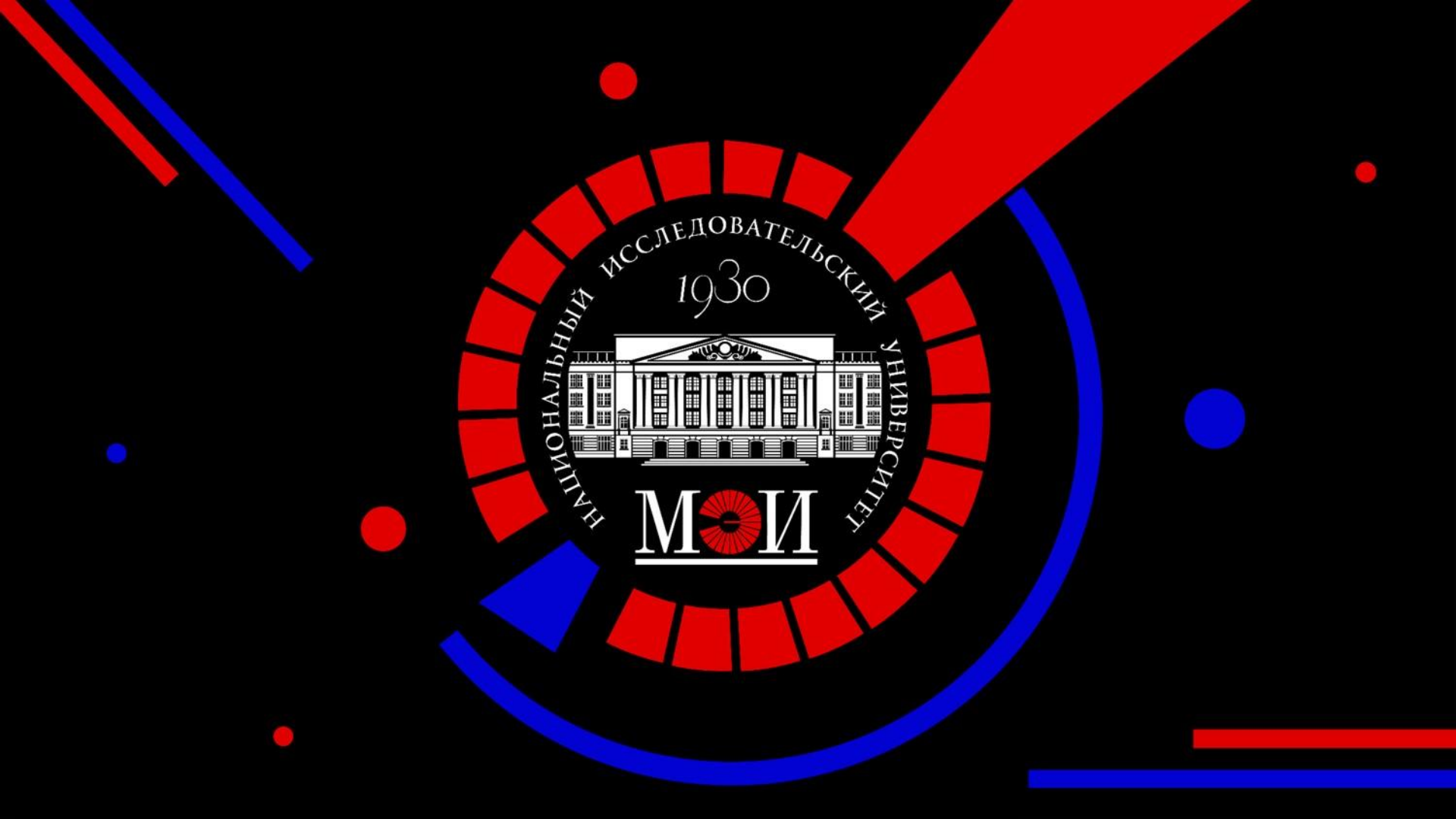


НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

1930



**МОИ**



# Лекция 7.

## Квантовая оптика.

Формула Планка. Гипотеза о квантах. Фотоэффект и его виды. Законы внешнего фотоэффекта. Фотонная теория света. Масса, энергия и импульс фотона. Эффект Комптона.

# Внешний фотоэлектрический эффект

- Внешний фотоэлектрический эффект (внешний фотоэффект) – явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света.
- Существует аналогичное явление в газах (ионизация атомов и молекул газа под действием света), которое называется фотоионизацией.
- Фотоэффект у металлов впервые был подробно исследован русским физиком А.Г. Столетовым в 1888-1890 гг.

# Опыт Столетова

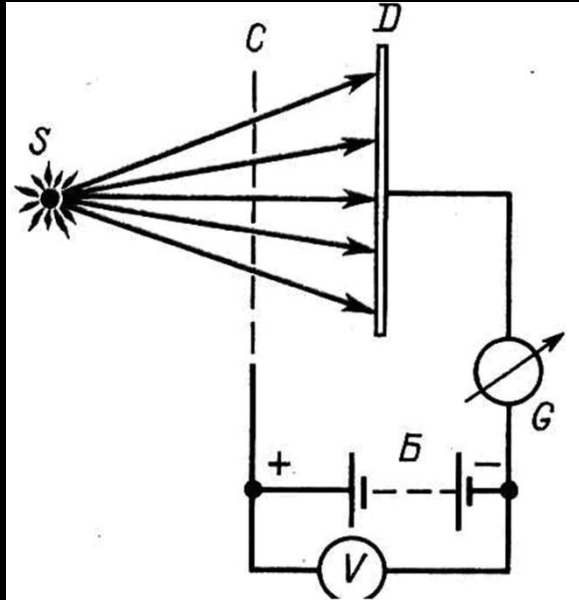


Рис. 7.1.

- S – источник света;
- C – медная сетка;
- D – цинковая пластинка;
- Б – аккумуляторная батарея;
- G – гальванометр;
- V – вольтметр.

# Усовершенствованная

## установка

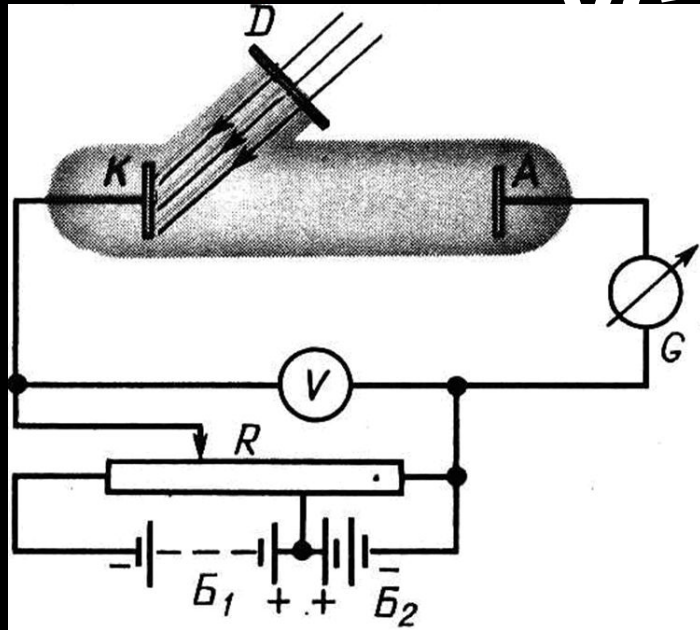


Рис. 7.2.

используется вакуумная трубка, монохроматическое излучение; напряжение регулируется потенциометром.

# Вольтамперные характеристики фотоэффекта

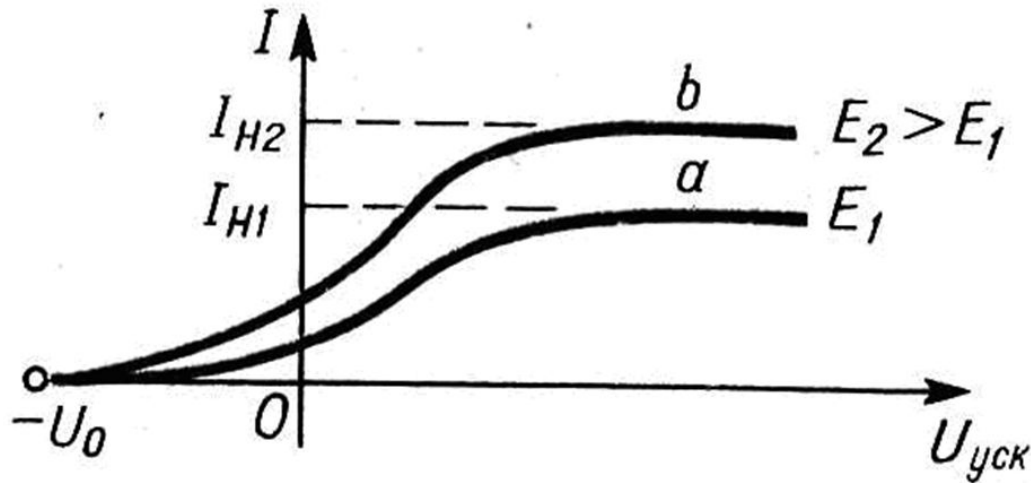


Рис. 7.3.

- $E$  – освещенность фотокатода;
- $I_{\text{Н}}$  – ток насыщения;
- $U_0$  – задерживающее напряжение.

# Законы фотоэффекта

- 1. Максимальная начальная скорость фотоэлектронов определяется частотой света и не зависит от его интенсивности.
- 2. Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т.е. минимальная частота  $\nu_0$  света, при которой еще возможен внешний фотоэффект ( $\nu_0$  зависит от химической природы вещества фотокатода и состояния его поверхности).
- 3. Фототок насыщения пропорционален освещенности фотокатода.
- 4. Фотоэффект практически безынерционен.

# Формула Эйнштейна для фотоэффекта

- Законы 1,2,4 не имеют классического объяснения.
- Объяснение законам фотоэффекта дал Эйнштейн в 1905 г, используя квантовую гипотезу Планка.
- $h=6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – постоянная Планка;
- $A$  – работа выхода;
- $m$  – масса электрона.

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.1)$$



# Экспериментальное определение постоянной Планка

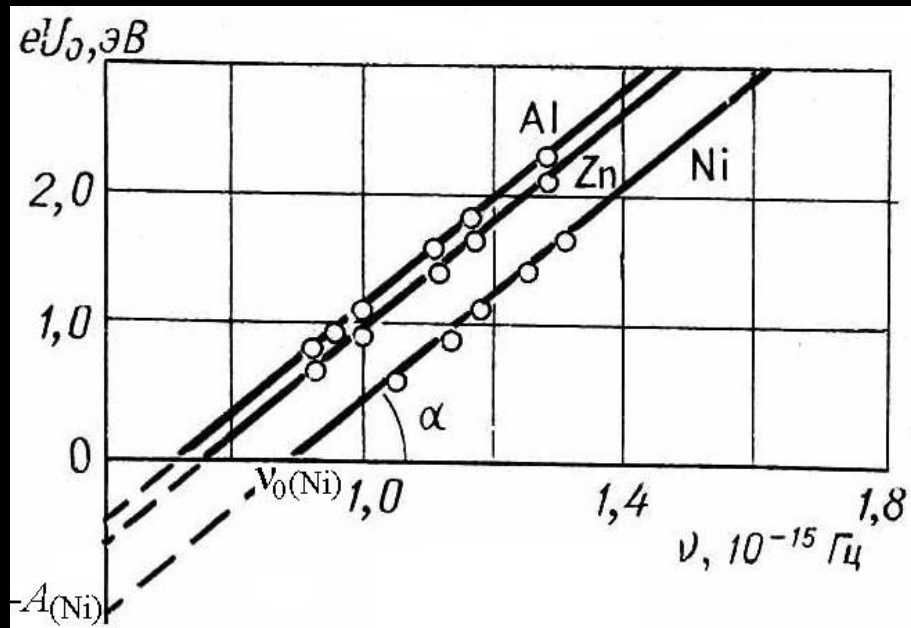


Рис. 7.4.

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (7.2)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (7.3)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (7.4)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2} \quad (7.5)$$

# Многофотонный

## фотоэффект

При большой интенсивности света (например от лазера) становится существенной вероятность того, что на электрон одновременно упадут два или несколько одинаковых фотона.

- В этом случае фотоэффект приобретает классические черты.
- Нарушается закон красной границы фотоэффекта.
- Максимальная начальная скорость фотоэлектронов возрастает с увеличением интенсивности света.
- Такие многофотонные процессы взаимодействия света высокой интенсивности с веществом изучаются в нелинейной оптике.

# Масса и импульс фотона

- Помимо энергии фотон обладает также массой и импульсом.
- Формула для массы фотона может быть непосредственно выведена из формулы, выражающей взаимосвязь массы и энергии в теории относительности.

$$hv = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.6)$$

$$hv = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.7)$$

$$hv = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.8)$$

$$hv = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.9)$$

- Масса фотона существенно отличается от массы микроскопических тел и масс других «элементарных» частиц. Это отличие состоит в том, что фотон не обладает массой покоя. Покоящихся фотонов не существует.

# Масса и импульс фотона

- Фотон всегда в любом веществе движется со скоростью  $c$ . Этот вывод не противоречит тому, что фазовая и групповая скорости света в веществе отличны от  $c$ . Распространение света в среде сопровождается процессами «переизлучения» — фотоны поглощаются и вновь испускаются частицами среды.
- Из сказанного видно, что современные квантовые представления о свойствах света существенно отличаются от ньютоновской корпускулярной теории света.

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.10)$$

# Масса и импульс фотона

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.11)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.12)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.13)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.14)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.15)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.16)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.17)$$

- Фотон обладает всеми тремя характеристиками любой движущейся частицы: массой, импульсом, энергией, которые связаны с волновой характеристикой  $\nu$ .

# Теория эффекта Комптона

- Теория эффекта Комптона

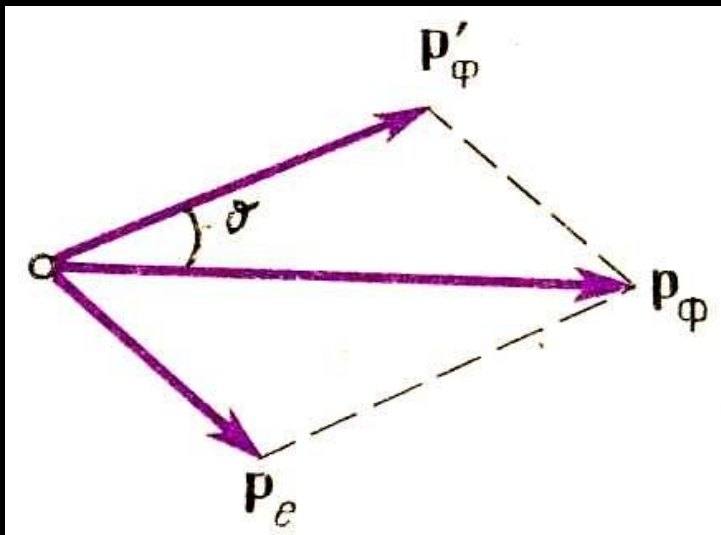


Рис. 7.5.

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

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.18)$$

# Теория эффекта Комптона

- Закон сохранения энергии

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

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

(7.19)

# Закон сохранения энергии

(7.18), (7.19) =>

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.20)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.21)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.22)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.23)$$



# Закон сохранения энергии

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.24)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.25)$$

# Кинетическая энергия электрона отдачи

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.26)$$

(7.20) =>

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.27)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.28)$$

$$h\nu = A + \frac{mv_{max}^2}{2} \quad (7.29)$$

**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**

