

## 7. Фотоэффект

Фотоэффектом называется испускание электронов веществом под действием света.

Явление было открыто в 1887 г. Герцем.

В 1888-1889 гг. Столетов установил, что :

1) испускаемые под действием света заряды имеют отрицательный знак

2) наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи

3) величина испущенного телом заряда пропорциональна поглощенной им световой энергии

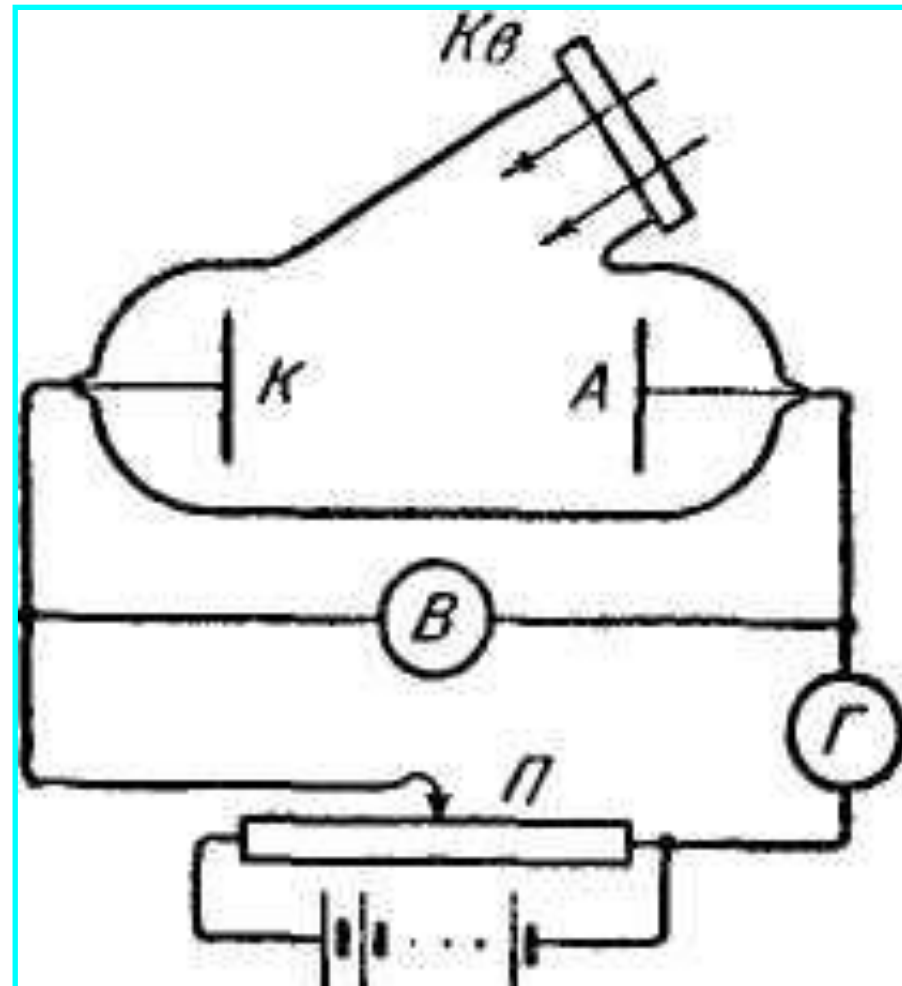
В 1898 г. **Ленард и Томсон** показали, что испускаемые частицы являются электронами.

Схема установки для изучения фотоэффекта.

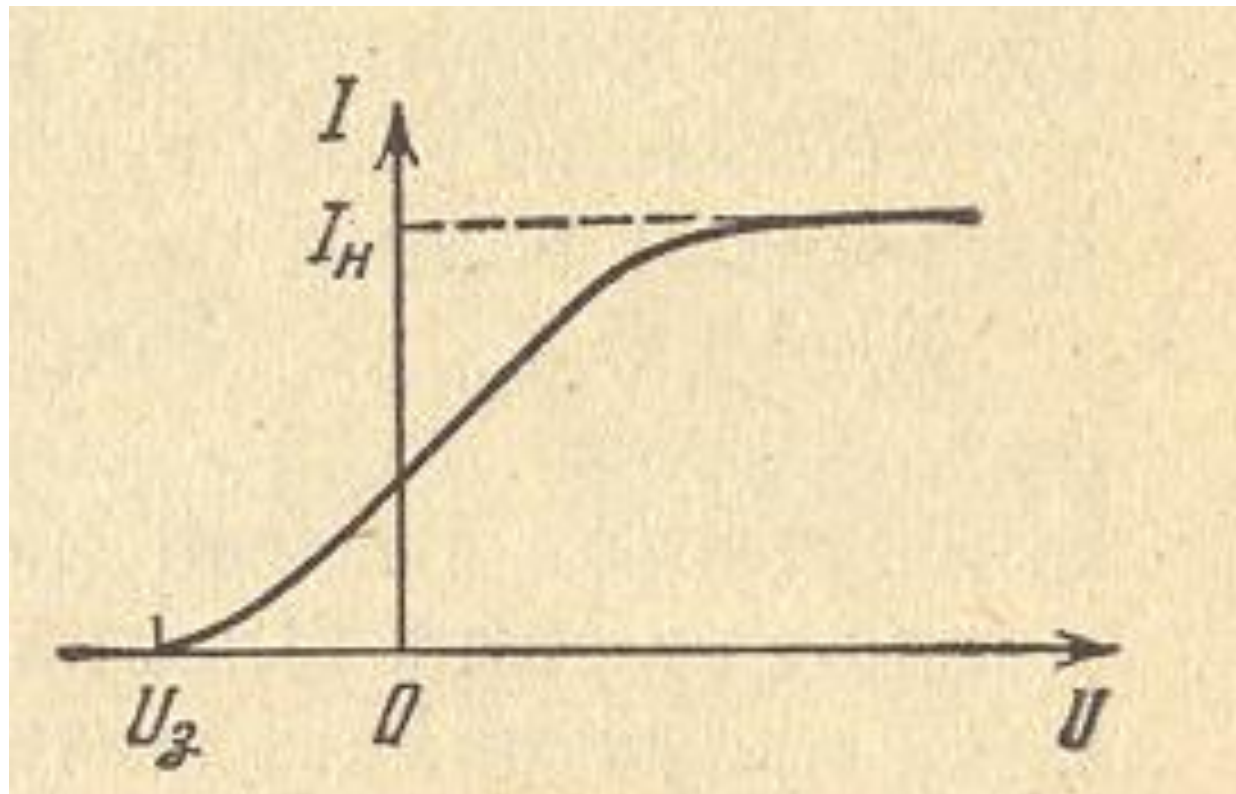
Свет проходит через кварцевое окно **Кв** и попадает на катод **К**.

Испущенные электроны движутся под действием электрического поля к аноду **А**. Фототок измеряется гальванометром **Г**.

Потенциометром **П** меняют напряжение между анодом и катодом. Напряжение измеряют вольтметром **В**.



На рисунке показана зависимость фототока  $I$  от напряжения  $U$  при неизменном потоке света  $\Phi$ . Фототок достигает насыщения  $I_H$  когда все электроны, испущенные катодом, попадают на анод. При  $U = 0$  фототок не исчезает. Чтобы фототок стал равным нулю, нужно приложить задерживающее напряжение  $U_3$ .



При напряжении  $U_3$  ни один электрон, даже обладающий максимальной скоростью  $v_{max}$ , не может преодолеть задерживающее поле и достигнуть анод. Поэтому можно написать

$$\frac{mv_{max}^2}{2} = eU_3 \quad (7.1)$$

где  $m$  - масса электрона. Таким образом, измерив задерживающее напряжение  $U_3$ , можно определить максимальное значение скорости фотоэлектронов  $v_{max}$ .

Экспериментально установлено:

- 1) Фототок насыщения пропорционален падающему световому потоку
- 2) Для каждого металла существует максимальная длина волны  $\lambda_{кр}$  (красная граница фотоэффекта), при которой еще происходит вырывание электронов. Если же длина волны больше  $\lambda_{кр}$ , то испускание фотоэлектронов отсутствует даже при большой интенсивности света.
- 3) Максимальная кинетическая энергия  $T_{max}$  фотоэлектронов линейно зависит от частоты облучающего света и не зависит от интенсивности света.
- 4) Фотоэффект возникает почти мгновенно после освещения ( $< 10^{-9}$  с).

Кроме 1 закона волновая теория света объяснить остальные законы не смогла.

В 1905 г. Эйнштейн объяснил законы фотоэффекта предположив, что свет представляет собой совокупность квантов - фотонов, энергии которых равны

$$\varepsilon = h \nu$$

При поглощении фотона его энергия мгновенно и целиком передается одному электрону, которая частично затрачивается на освобождение электрона из металла, а оставшаяся часть переходит в кинетическую энергию электрона. Из закона сохранения энергии

$$h \nu = A + T_{max}$$

где  $A$  – работа выхода металла – минимальная энергия, необходимая для освобождения электрона из металла.

Из формулы Эйнштейна вытекают все законы фотоэффекта.

Если  $\varepsilon = h\nu < A$ , то электроны не могут выйти из металла. Минимальная частота света, при которой фотоэффект возможен

$$\nu_{кр} = A/h$$

Отсюда максимальная длина волны (красная граница эффекта)

$$\lambda_{кр} = hc/A$$

*Внутренний фотоэффект* – вызванные электромагнитным излучением переходы электронов внутри полупроводников и диэлектриков из связанных состояний в свободные без вылета наружу. Следствием является появление фототока.

*Вентильный фотоэффект* (разновидность внутреннего) – возникновение э.д.с. (фото-э.д.с.) при освещении контакта двух разных полупроводников или полупроводника и металла при отсутствии внешнего электрического поля. Применение – солнечные батареи.



## 8. Эффект Комптона

Фотон с энергией  $E = h\nu$  обладает импульсом

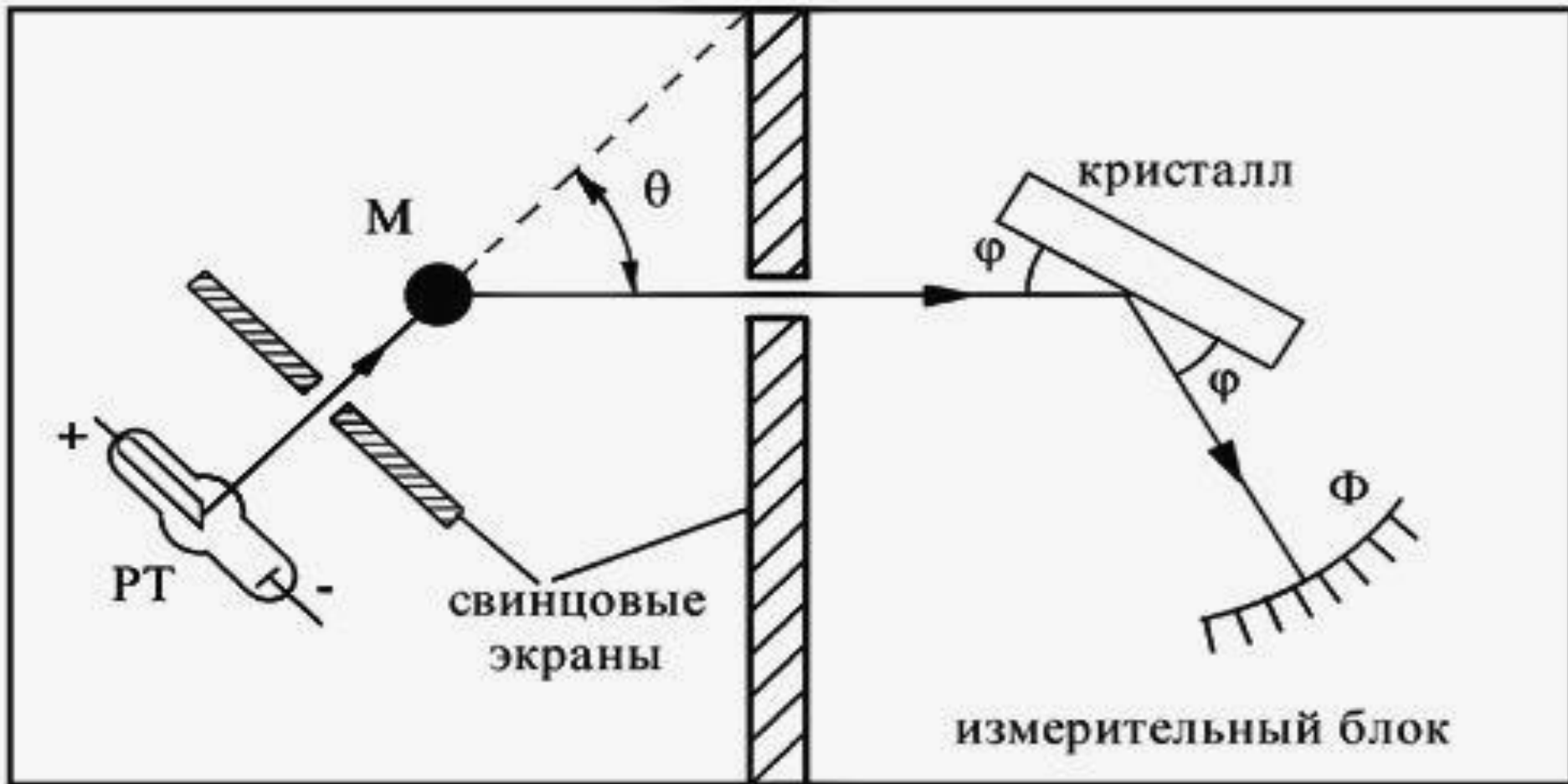
$$p = E/c = h\nu/c = h/\lambda$$

При фотоэффекте импульс фотона передается всему образцу и испущенному электрону. Приобретенный образцом импульс слишком мал и не поддается измерению.

Но при столкновении фотона со свободным электроном величину передаваемого импульса можно измерить.

Этот процесс – рассеяние фотона на свободном электроне – называется эффектом Комптона.

Исследуя рассеяние рентгеновского излучения на парафине, Комптон в 1923 г. обнаружил, что в рассеянном излучении присутствуют волны с длиной волны  $\lambda'$  большей длины волны падающего излучения  $\lambda$



## Схема эксперимента Комптона

*RT*- рентгеновская трубка; *M* - мишень–рассеивателя;  $\theta$  - угол рассеяния излучения; Длина волны рассеянного излучения  $\lambda'$  определялась с помощью его дифракции на кристалле.

Комптон установил, что разность длин волн рассеянного и падающего излучения  $\Delta\lambda$  не зависит от материала рассеивателя, а определяется только величиной угла рассеяния  $\theta$ :

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \lambda_c (1 - \cos\theta)$$

– формула Комптона

Значение постоянной  $\lambda_c = 2,426 \cdot 10^{-12}$  м Комптон определил экспериментально.

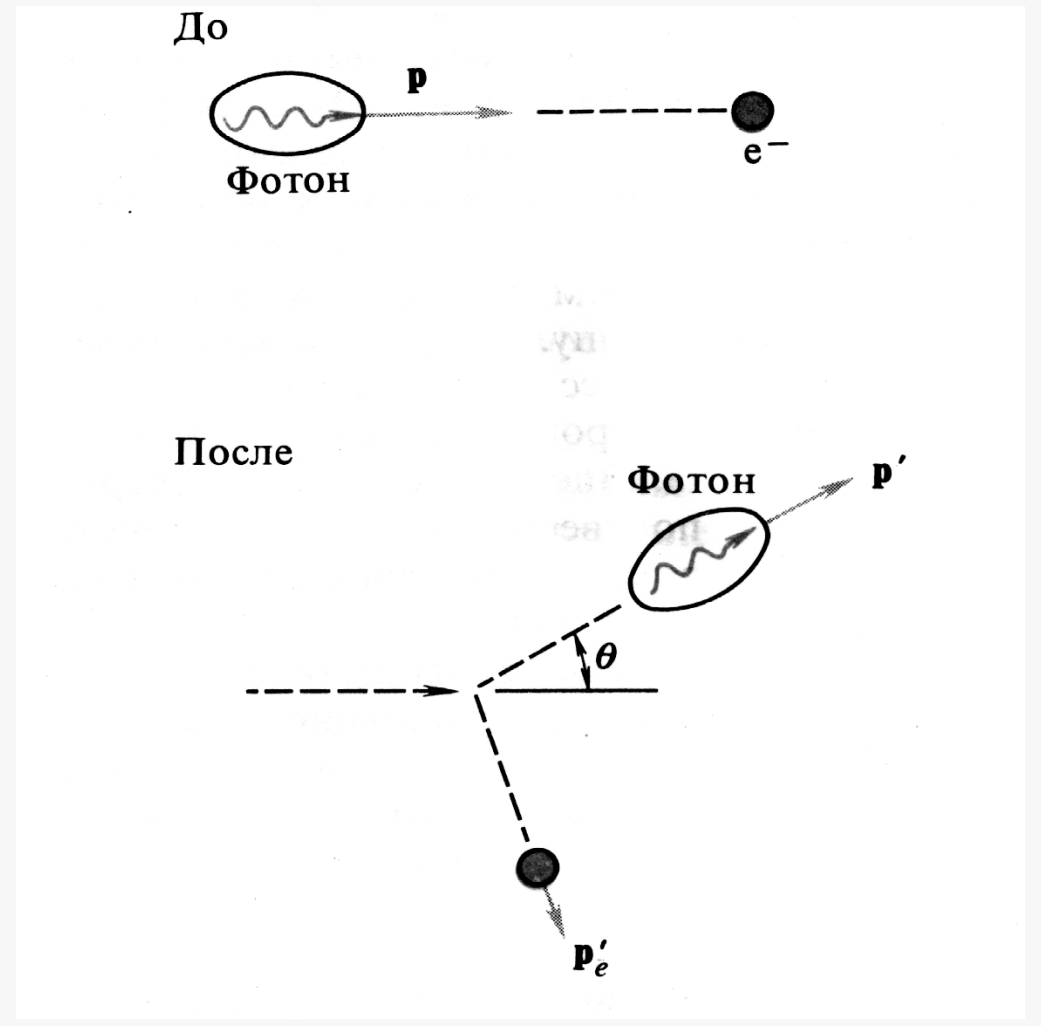
# Выведем формулу Комптона

Фотон с импульсом  $\mathbf{p}$  и энергией  $E=pc$  сталкивается с неподвижным электроном.

Энергия покоя электрона равна  $mc^2$ .

После соударения фотон с импульсом  $\mathbf{p}'$  вылетает под углом  $\theta$ .

Импульс электрона отдачи -  $\mathbf{p}'_e$ , его полная релятивистская энергия  $E'_e$ .



Запишем законы сохранения энергии и импульса.

Закон сохранения энергии:

$$pc + mc^2 = p'c + E'_e$$

откуда  $(p - p' + mc)^2 = (E'_e / c)^2$

Закон сохранения импульса

$$\mathbf{p} - \mathbf{p}' = \mathbf{p}'_e$$

$$p^2 - 2pp'\cos(\theta) + (p')^2 = (p'_e)^2$$

Откуда находим

$$p' = \frac{p}{1 + \frac{p}{mc} (1 - \cos \theta)}$$

Воспользовавшись тем, что  $p = h/\lambda$ , получаем

$$\frac{1}{\lambda'} = \frac{1}{\lambda + \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta)}$$

или

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \theta) = \lambda_c (1 - \cos \theta)$$

где  $\lambda_c = \frac{h}{mc} = 0,024 \text{ \AA}$  – комптоновская длина волны.