

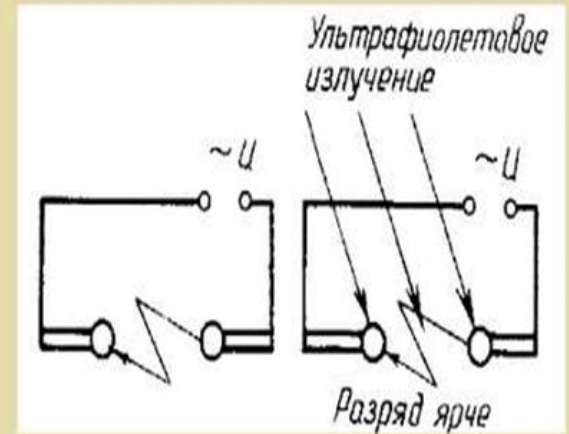
# Явление фотоэффекта

Внешний  
фотоэффект

# Внешний фотоэффект

- Опыт Г. Герца (1888 г.):

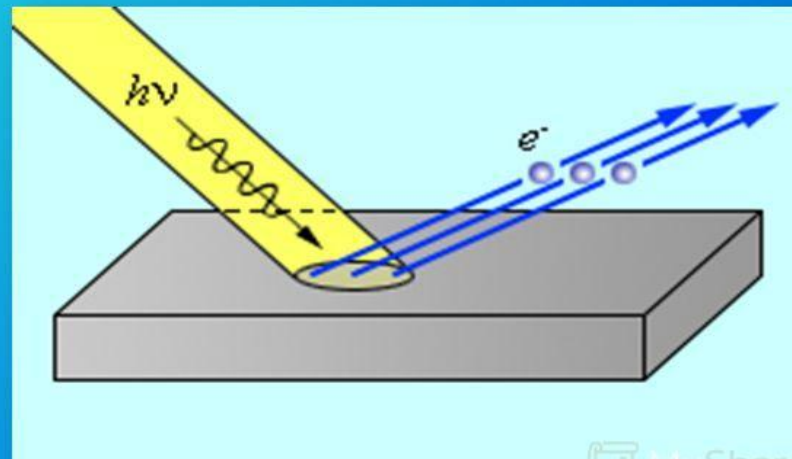
при облучении ультрафиолетовыми лучами электродов, находящихся под высоким напряжением, разряд возникает при большем расстоянии между электродами, чем без облучения.



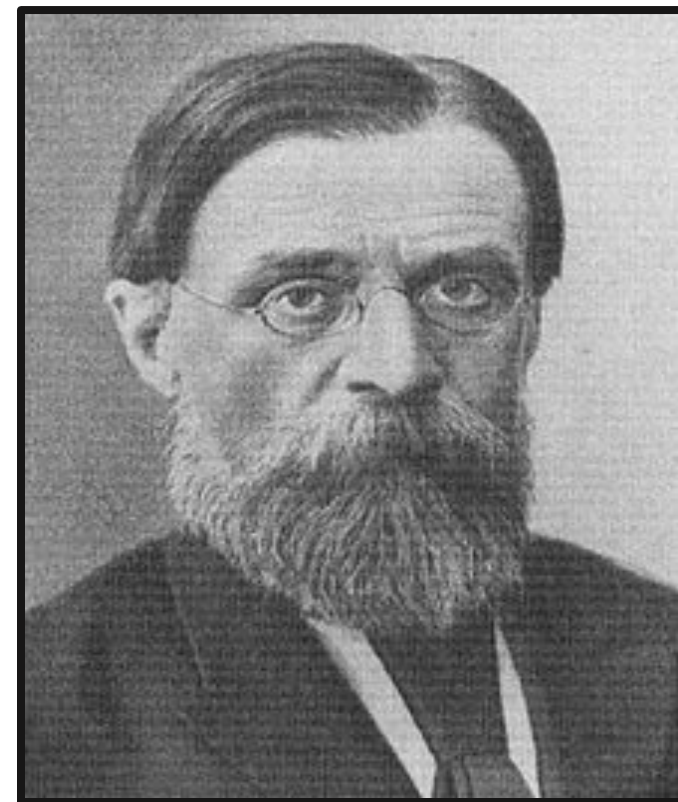
Немецкий физик Генрих Герц установил, что заряженный проводник, будучи освещен ультрафиолетовыми лучами, быстро теряет свой заряд, а электрическая искра возникает в искровом промежутке при меньшей разности потенциалов. Замеченное явление было описано Герцем в его статьях 1887-1888 годов, но оставлено им без объяснения, поскольку физическую природу его он не знал

Внешний фотоэффект (фотоэлектронная эмиссия)-  
испускание электронов твёрдыми телами и жидкостями  
под действием электромагнитного излучения в вакуум или  
другую среду.

## Фотоэффект

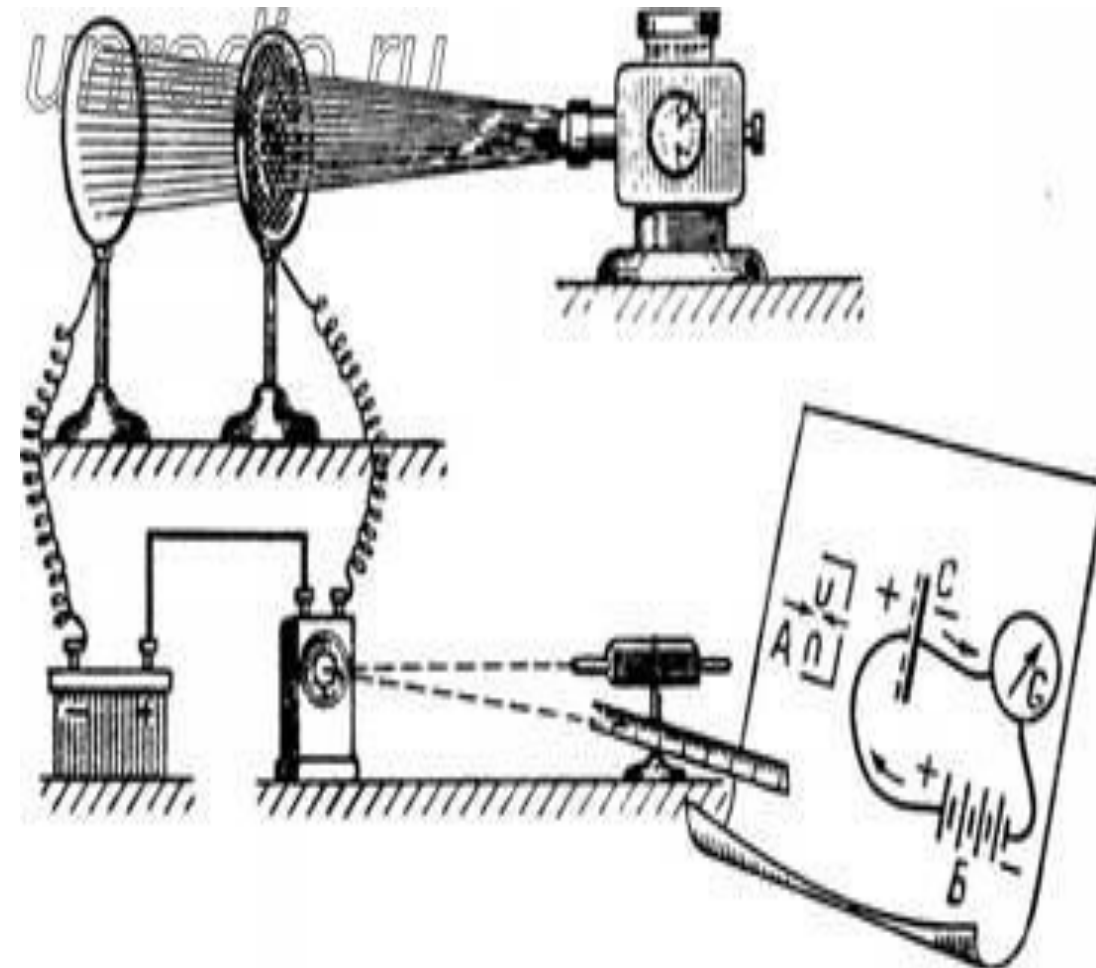


В 1888 г. явлением фотоэффекта заинтересовался русский учёный Александр Григорьевич Столетов. Исследования, продолжавшиеся два года, принесли ученому мировую известность.



Опыт А. Г. Столетова (справа — рисунок из его сочинения, на котором: А — дуговой фонарь; Б — батарея; С — два плоскопараллельных диска; G — гальванометр).

Первые опыты со светом А.Г. Столетов проводил с обычным электроскопом. Освещая электрической дугой цинковую пластину, заряженную отрицательно и соединенную с электроскопом, он нашел, что заряд быстро исчезал. Положительный же заряд не уничтожался.



Для дальнейших опытов Столетов сконструировал прибор, состоявший из двух параллельных дисков.

Катод, сделанный из металла, находился внутри стеклянного корпуса. Другой диск, анод, представлял собой металлическую сетку, нанесённую на изготовленный из кварцевого стекла торец корпуса. Кварцевое стекло было выбрано потому, что оно, в отличие от обычного, пропускает и ультрафиолетовое излучение. К каждому из дисков подводилось напряжение: к катоду отрицательное, к аноду положительное. Во время опытов катод освещался красным, зелёным, синим и ультрафиолетовым светом. Величина тока регистрировалась гальванометром.

Наибольший эффект оказывали ультрафиолетовые лучи. И чем больше их было в спектре, тем сильнее оказывалось воздействие света. Катод изготавливали из различных металлов. Наиболее чувствительными к свету оказались такие металлы, как алюминий, медь, цинк, серебро, никель.

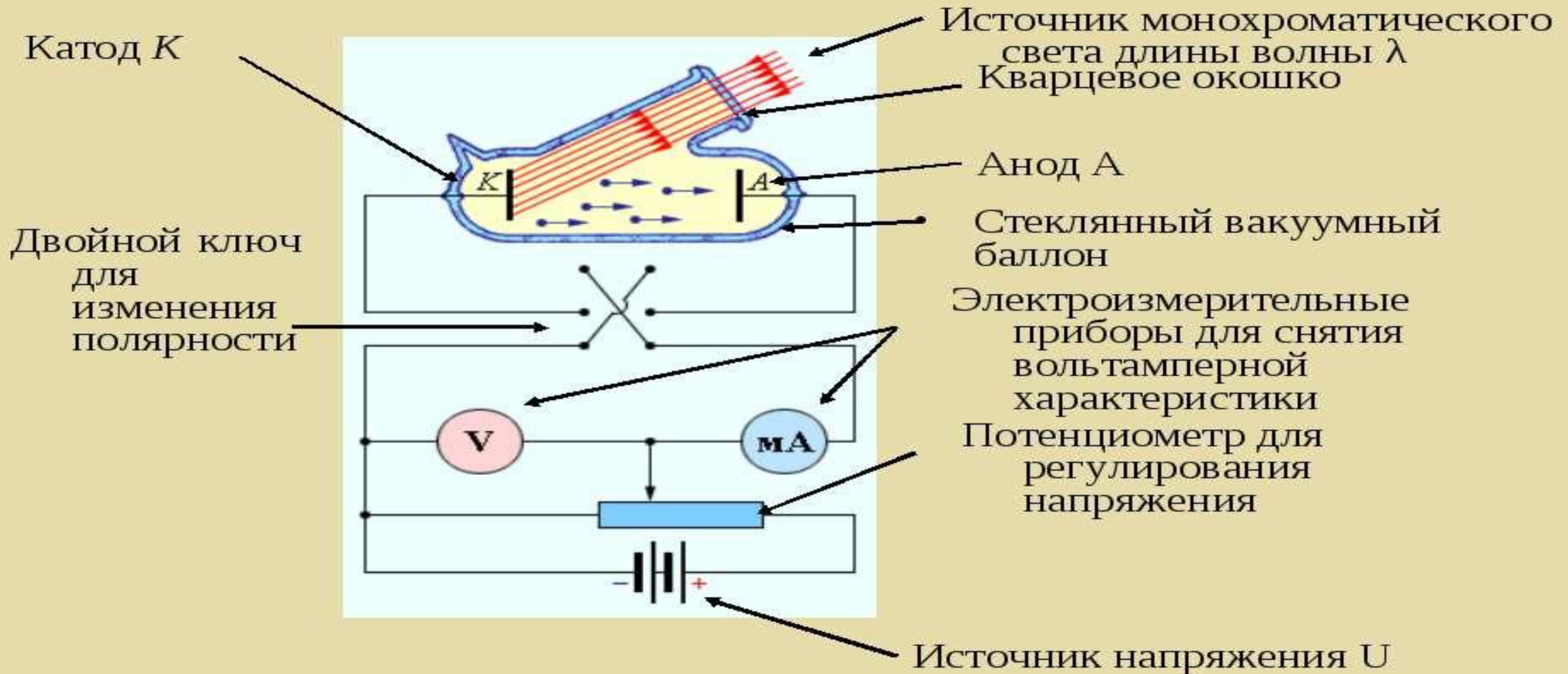


В результате Столетовым был открыт 1-й закон внешнего фотоэффекта. В опытах Столетова фотоэлектроны двигались в воздухе, что не позволило обнаружить всех закономерностей фотоэффекта

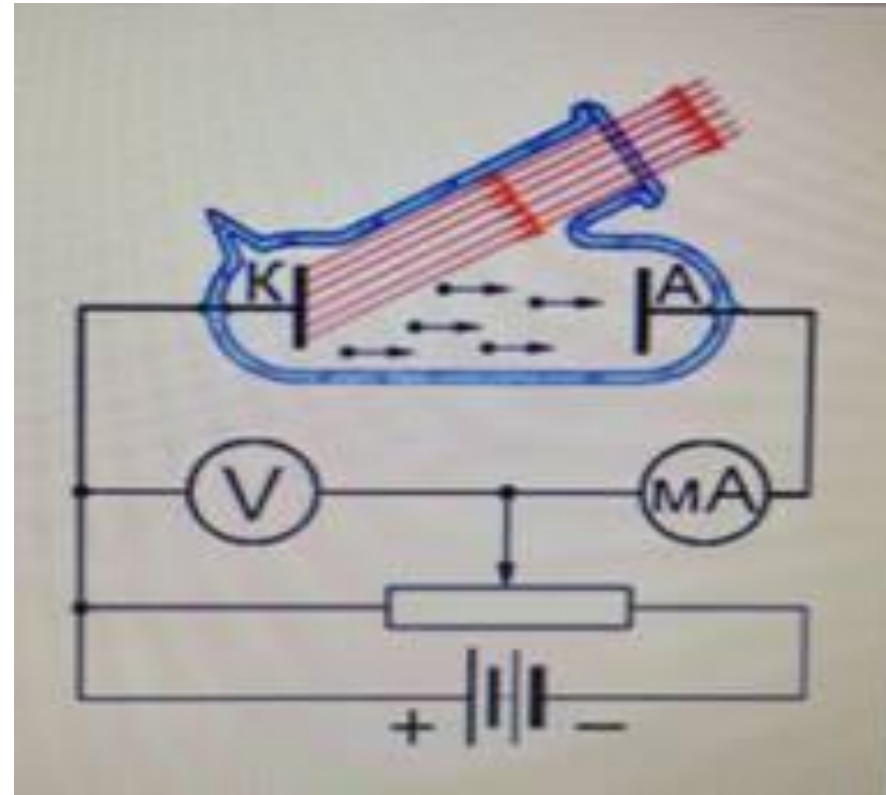
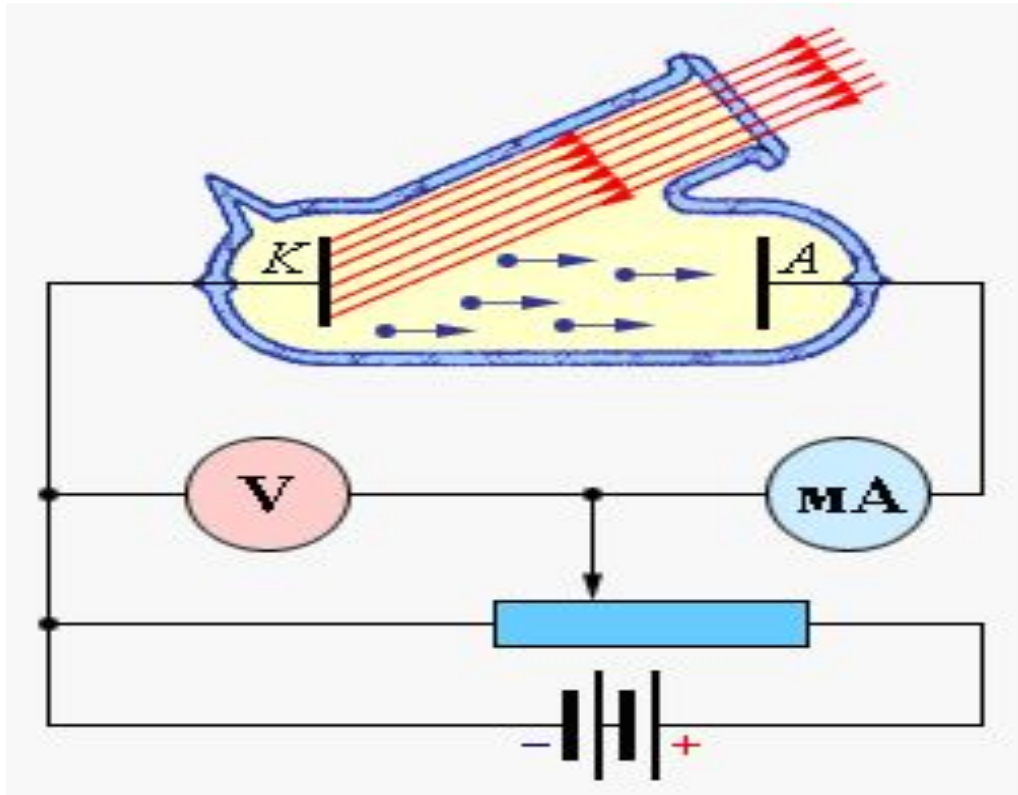
В конце XIX – начале XX в. немецкий ученый Ф. Ленард (ученик Герца) усовершенствовал прибор Столетова и поместил электроды в вакуумный баллон. Свет проникает через кварцевое окошко и освещает катод К, изготовленный из исследуемого материала. Электроны, испущенные вследствие фотоэффекта, перемещаются под действием электрического поля к аноду А. В результате в цепи прибора течет фототок, измеряемый амперметром. Напряжение между катодом и анодом можно изменять с помощью реостата. Ленард установил, что энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а прямо пропорциональна его частоте. Дальнейшие тщательные исследования фотоэффекта были проделаны американским физиком Р. Милликеном уже после работ Эйнштейна



# Схема экспериментальной установки для изучения фотоэффекта.



# Зависимость фототока от анодного напряжения: прямое и обратное включение

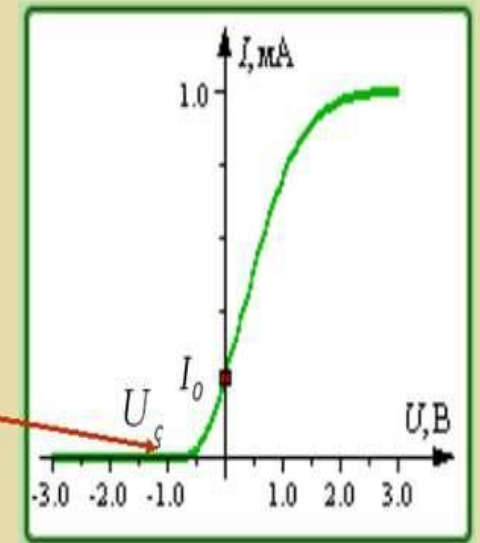


# Обратное включение

При большом отрицательном напряжении тока нет, т.к. действующее на электроны электрическое поле, является тормозящим. Максимальная кинетическая энергия электронов меньше, чем модуль работы поля по их перемещению:  $mv^2/2 < eu$ . Электроны не достигают анода. Постепенно напряжение увеличивается. При некотором  $U_3$  (задерживающем напряжении) электроны уже достигают анода, но с нулевой скоростью, т.е. величина  $U_3$  позволяет определить максимальную кинетическую энергию электронов:  $mv^2/2 = eU_3$ . При небольших превышениях  $U_3$  появляется слабый фототок. Его формируют электроны, покинувшие анод с максимальной кинетической энергией. При дальнейшем

## Анализ вольт-амперной характеристики.

- При таком значении напряжения сила тока в цепи анода равна нулю.



Напряжение запертия  
(запирающее напряжение)

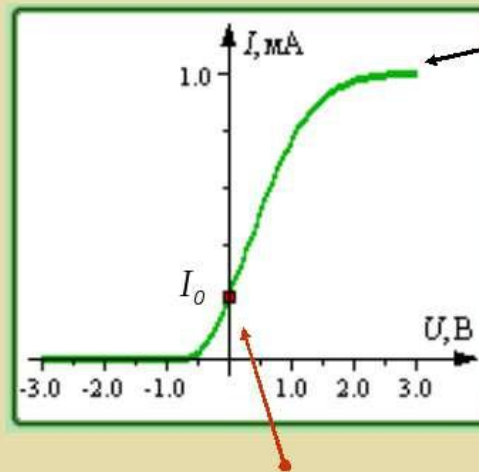
При  $U > U_3$  в результате облучения электроны, выбитые из электрода, могут достигнуть противоположного электрода и создать некоторый начальный ток.

$$\frac{m v_{\max}^2}{2} = e \cdot U_3$$

## Прямое включение

При нулевом напряжении фототок имеет место. При положительных значениях напряжения ток возрастает, т.к. электрическое поле разгоняет электроны и всё большее их количество достигает анода. Постепенно ток достигает предельной величины  $I_H$  (тока насыщения) и перестаёт возрастать. Это означает, что напряжение настолько велико, что все выбитые электроны приобретают достаточную энергию, чтобы достигнуть анода.

## Анализ вольт-амперной характеристики.



- При  $U = 0$   $I_0 \neq 0$  следовательно выбитые электроны обладают кинетической энергией.

Начиная с некоторого значения напряжения сила тока в цепи перестает изменяться, достигнув **насыщения**.

- Сила тока насыщения прямо пропорциональна числу электронов, выбитых светом за 1 с с поверхности катода:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{|e|N}{1c} = \text{const} \equiv I_{\text{нас}}$$

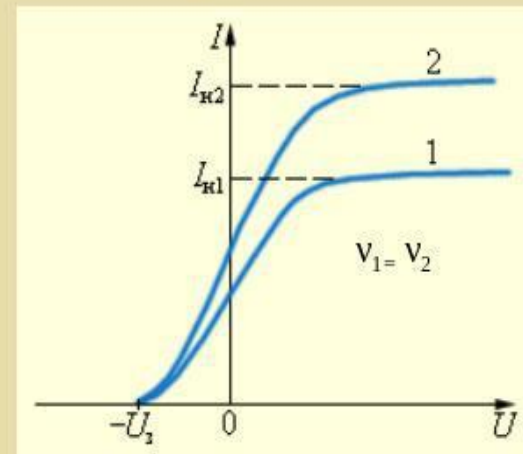
## Первый закон фотоэффекта

- Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл.

или

- Количество фотоэлектронов, выбиваемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.

## Зависимость числа выбитых электронов от светового потока.



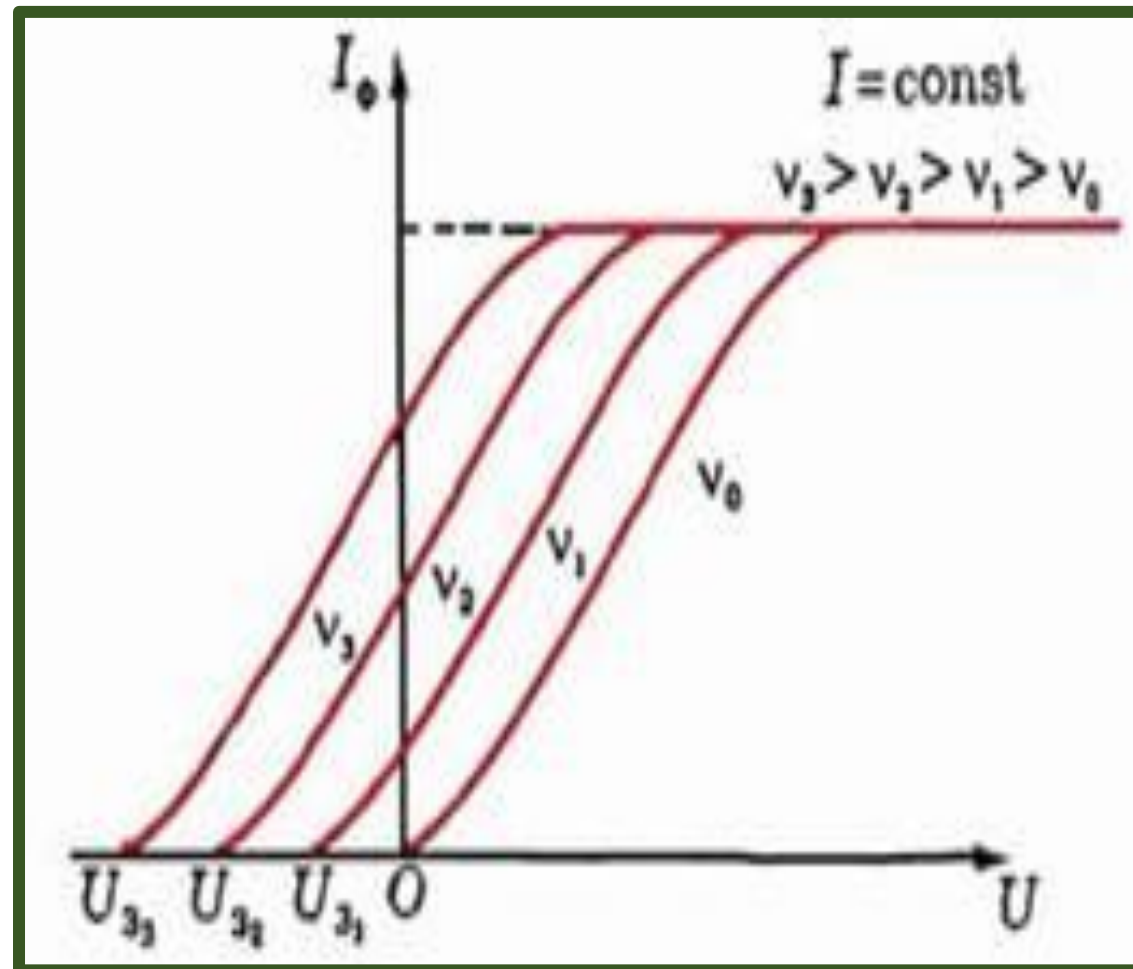
Световой поток, падающий на фотокатод увеличивается, а его спектральный состав остается неизменным:

$$\Phi_2 > \Phi_1$$

- Сила тока насыщения и, следовательно, число выбитых светом за 1 с электронов увеличивается:  $I_{нас,2} > I_{нас,1}$
- Значение запирающего напряжения не меняется!

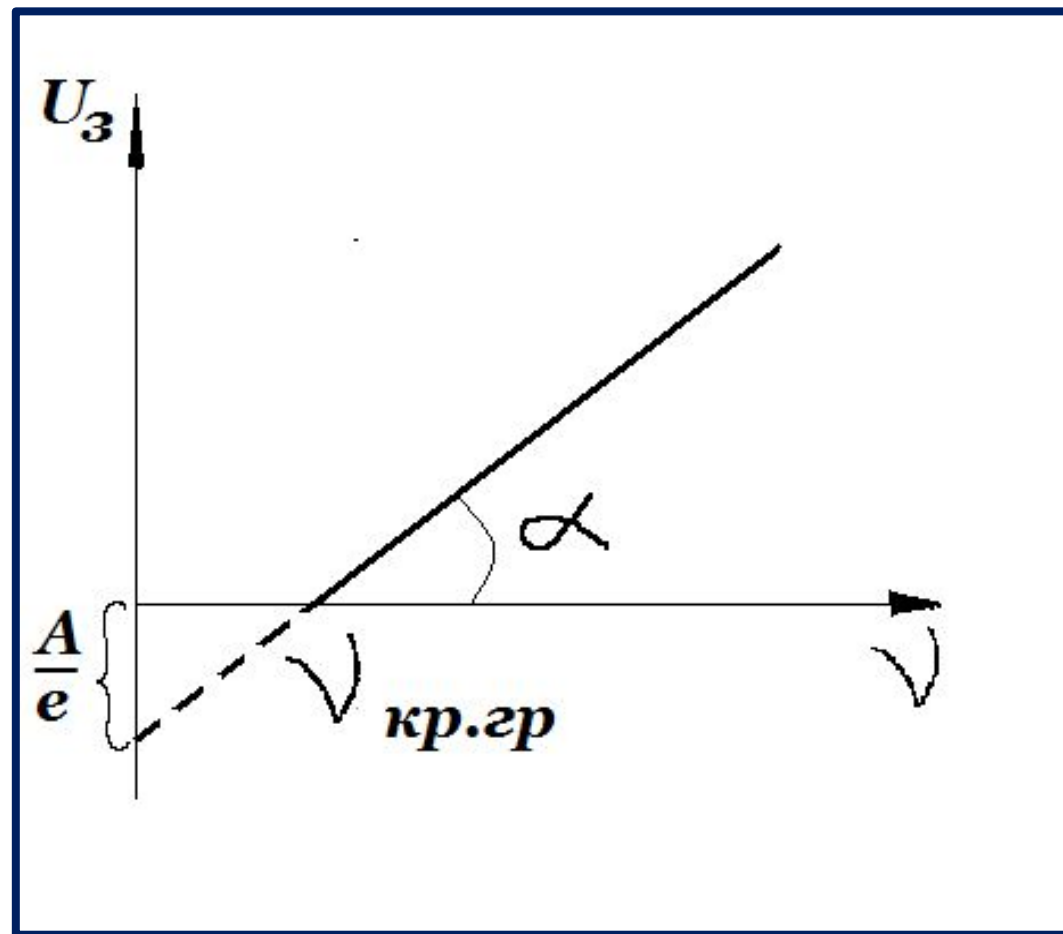
## II закон фотоэффекта

- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов прямо пропорциональна частоте света и не зависит от его интенсивности.



## Третий закон фотоэффекта

- Заменяя в приборе материал фотокатода, Столетов установил, что красная граница фотоэффекта является характеристикой данного вещества.
- **Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота  $\nu_{min}$ , при которой еще возможен фотоэффект.**





## Четвёртый закон фотоэффекта

- Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света  $\nu > \nu_{\min}$ .

Все законы фотоэффекта противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с веществом.

Согласно этим представлениям электрону требуется значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы накопить достаточно энергии и вылететь из катода. Как показывают расчеты, это время исчисляется минутами или часами. Однако, фотоэлектроны появляются сразу же после начала освещения катода. Также невозможно понять существование красной границы. Волновая теория не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света.

Объяснение законов фотоэффекта дал в 1905 г. Альберт Эйнштейн, исходя из принципиально нового представления о физических свойствах света. Эйнштейн возродил идею Ньютона о том, что свет обладает двойственностью свойств: в одних явлениях он ведет себя как волновой процесс, в других - как поток корпускул. При этом он использовал квантовую гипотезу Планка.

# Гипотеза Планка (1900 г.)

- *Атомы испускают электромагнитную энергию отдельными порциями — **квантами**.*
- *Энергия  $E$  каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения:*

$$E = h\nu$$

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

что свет не только излучается, но поглощается и распространение отдельными порциями — квантами, обладающими энергией. Фотоны могут обмениваться энергией и импульсом с частицами вещества. В частности, происходит столкновение фотонов с электронами металла катода.

Поглощение света — это поглощение фотонов, т.е. неупругое столкновение фотонов с частицами (атомами,

# Уравнение Эйнштейна

## Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

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

где  $A$  – работа выхода электронов из металла.

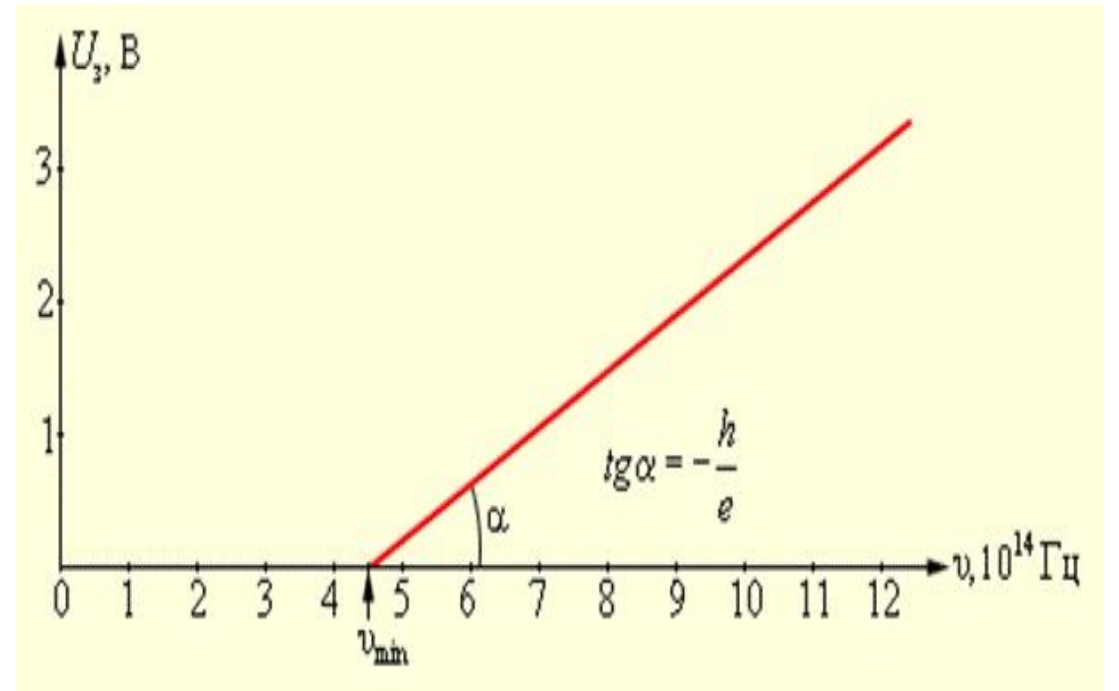
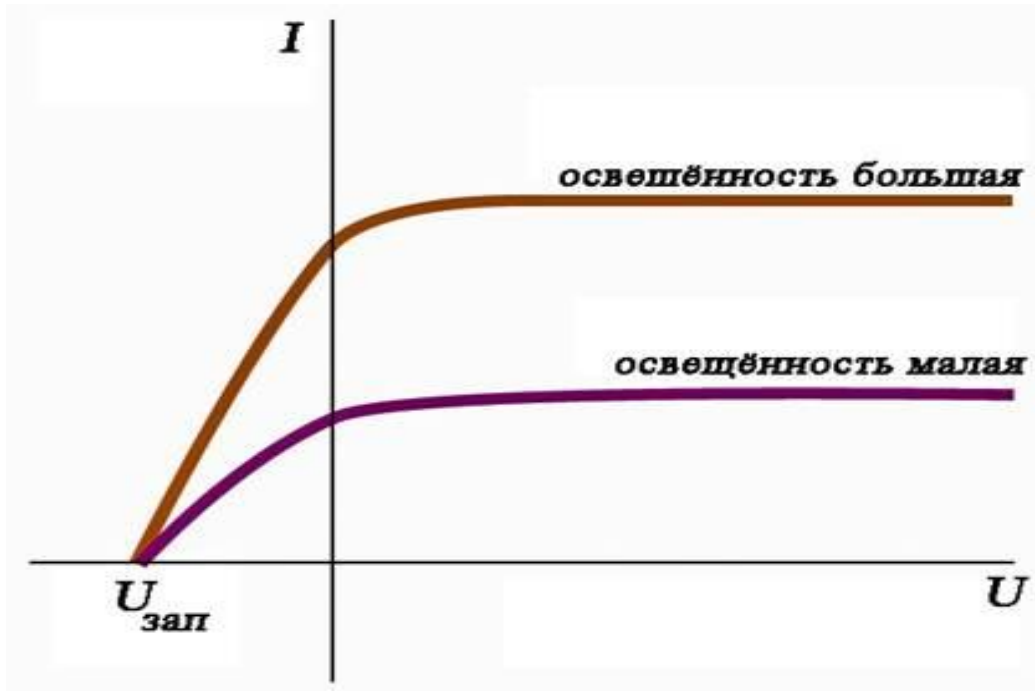
Уравнение получено в предположении, что каждый вылетающий электрон поглощает один фотон.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта есть ни что иное, как закон сохранения энергии. Энергия фотона при его неупругом столкновении с электроном расходуется на совершение работы выхода по извлечению электрона из вещества и на придание ему кинетической энергии

# объяснение законов фотоэффекта с точки зрения уравнения Эйнштейна.

1. Число выбиваемых электронов пропорционально числу поглощённых фотонов. С увеличением интенсивности света количество фотонов, падающих на катод за секунду, возрастает и, соответственно, возрастает число выбитых за секунду электронов.
2. Кинетическая энергия :  $mv^2/2 = hv - A$  выбитых электронов линейно растёт с частотой и не зависит от интенсивности света.
3. Чтобы начался фотоэффект, энергии фотона должно хватить как минимум на совершение работы выхода: наименьшая частота, определяемая равенством  $hv_0 = A$  как раз и будет красной границей. Красная граница  $v_0 = A/h$  определяется только работой выхода, т.е. зависит лишь от вещества поверхности катода. Если  $v < v_0$ , то фотоэффекта не будет ни при какой интенсивности. Следовательно, интенсивность света роли не играет: главное — хватает ли отдельному фотону энергии, чтобы

# И ещё раз для повторения: графики фотоэффекта





*Благодарю за  
внимание*