

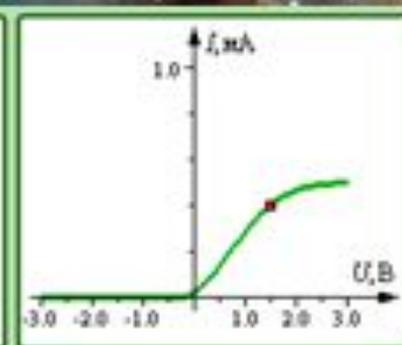
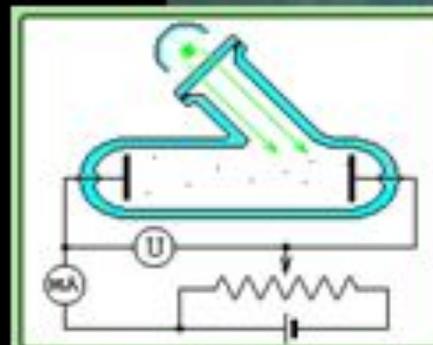
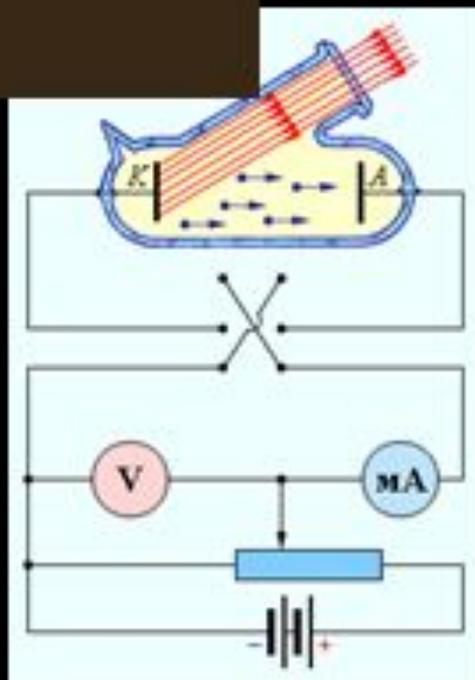
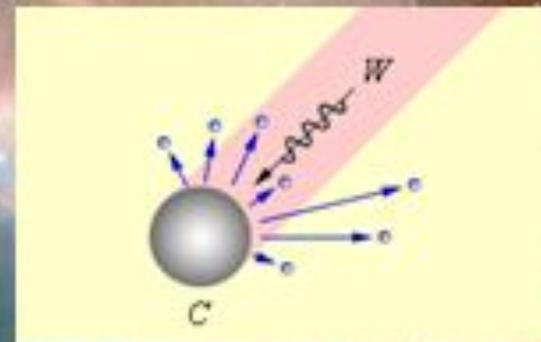
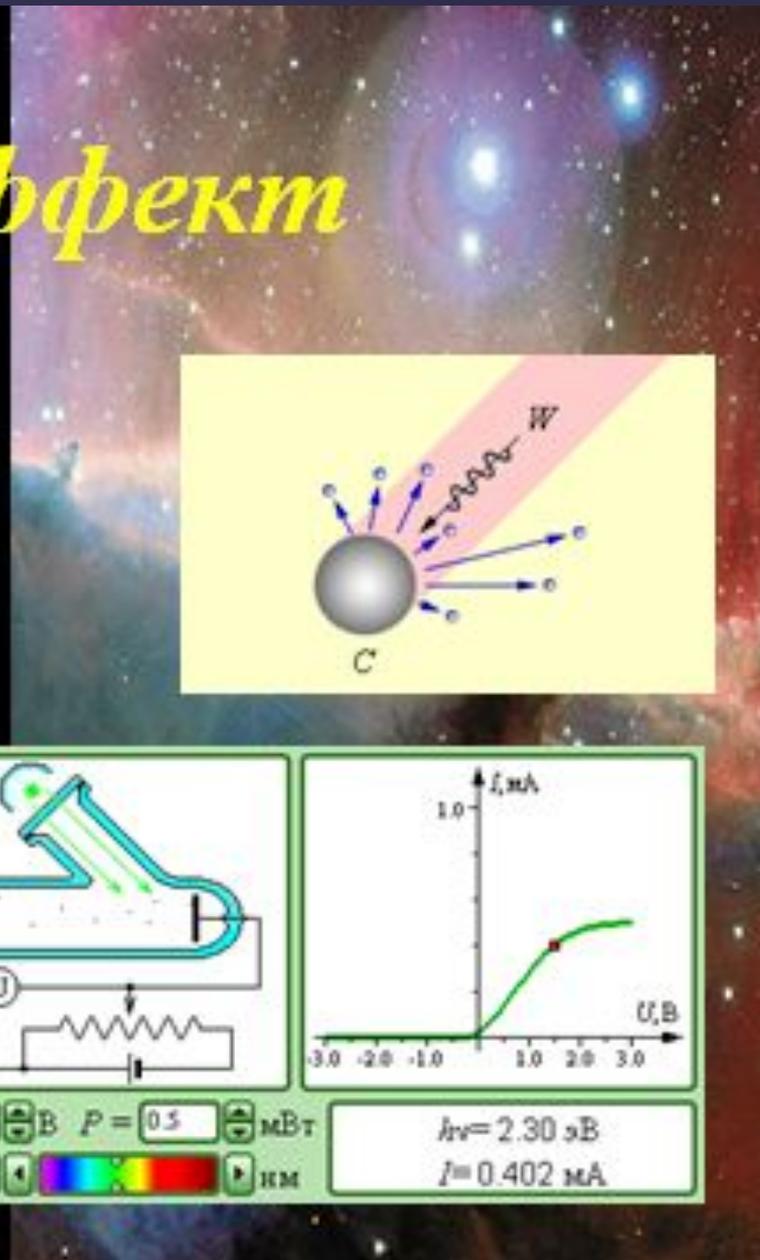
# ФОТОЭФФЕКТ

{

Выполнила: Тореханкызы Аяжан  
1 курс, группа ПО-14-02



# Фотоэффект

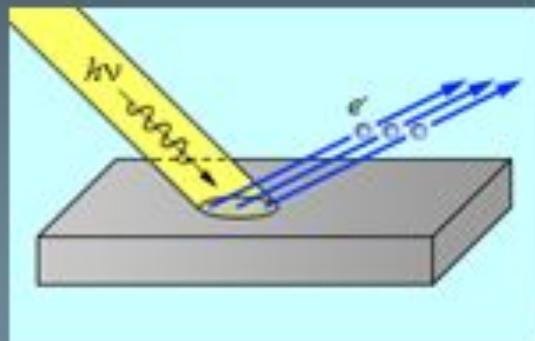


$U = 1.5$  В  $P = 0.5$  мВт  
 $\lambda = 540$  нм

$\lambda_{\nu} = 2.30$  нВ  
 $I = 0.402$  мА

# Раздел современной физики

Квантовая физика изучает свойства, строение атомов и молекул, движение и взаимодействие микрочастиц



История развития учения о фотоэлектричестве и создании фотоэлектронных приборов насчитывает более 150 лет.

- 1839 г.** - **А. Беккерель** впервые обнаружил образование фотоЭДС на контактах разнородных материалов.
- 1873 г.** - первые сообщения о зависимости сопротивления селена от освещения.
- 1875 г.** - построение первого селенового фотоэлемента, использующего это свойство.
- 1876 г.** - первый селеновый фотоэлемент с запирающим слоем.
- 1887 г.** – открытие **Г. Герцем** внешнего фотоэффекта, который установил, что электрический разряд между двумя проводниками происходит значительно сильнее, когда металлические электроды освещаются светом, богатым ультрафиолетом (например, светом от искры другого разрядника).
- 1888 г.** – итальянский уч. **Аугусто Риги** обнаружил, что проводящая пластинка, освещенная пучком ультрафиолетовых лучей, заряжается положительно; ввел термин фотоэлектрические явления.
- 1888 г.** - **А. Г. Столетовым** выполнены фундаментальные работы по исследованию фотоэмиссии и сформулированы основные законы внешнего фотоэффекта.
- 1889 г.** - **Ф. Ленард** и **Дж. Дж. Томсон** доказали, что при фотоэффекте испускаются электроны.
- 1889 г.** - **Эльстер** и **Гейтель** построили первый вакуумный фотоэлемент с фотокатодом из сплава натрия и калия.
- 1905 г.** - **А. Эйнштейн** объяснил основные закономерности фотоэффекта на основе гипотезы о квантовании энергии электромагнитного поля, проявляющемся в процессах испускания и поглощения света. 1921 г. – Нобелевская премия.

## Определение фотоэффекта

**Фотоэффект** - любые изменения, которые происходят с веществом при поглощении им электромагнитного излучения

### Это могут быть:

- изменения строения и свойств молекул и кристаллов (фотохимический эффект),
- увеличение скорости химических реакций (фотокаталитический эффект),
- изменение характеристик движения носителей электрического заряда в веществе (фотоэлектрический эффект) и др.

# ФОТОЭФФЕКТ

## внешний

(фотоэлектронная эмиссия)  
испускание освещенным телом свободных электронов в вакуум;

свободные электроны могут собираться на анод, фокусироваться или ускоряться электрическим полем.

### Применение:

вакуумные и газонаполненные фотоэлементы с внешним фотоэффектом и более сложные вакуумные приборы, в которых фотозмиттер служит источником свободных электронов

## внутренний

переход электронов в объеме освещенного полупроводника в возбужденное состояние (т. е. на более высокие энергетические уровни) без изменения нейтральности твердого тела, т. е. без выхода электронов за его пределы.

проявляется, например, в виде изменения концентрации электронов проводимости в полупроводнике при его освещении, т. е. в изменении связанных с этим электрических свойств полупроводникового материала

### Применение:

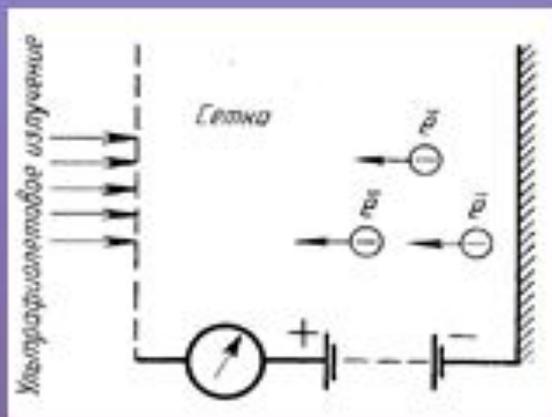
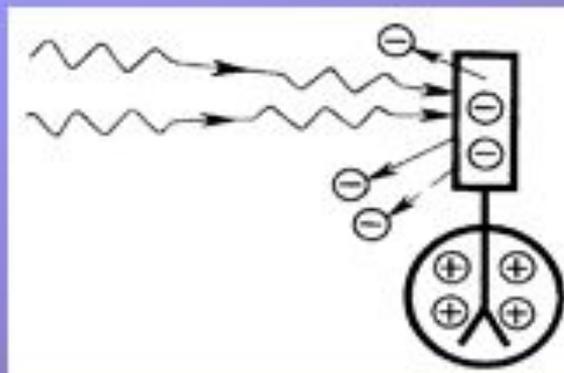
большой класс полупроводниковых приемников излучения:  
фоторезисторы,  
фотодиоды,  
солнечные батареи

# Открытие фотоэффекта

- 1886 – 1889 года, наблюдение фотоэффекта
- Немецкий физик
- Генрих Герц
- Обнаружил фотоэффект



# Наблюдение фотоэффекта



- Явление выхода (вырывания) электронов из вещества под действием света получило название фотоэлектрического эффекта - фотоэффекта

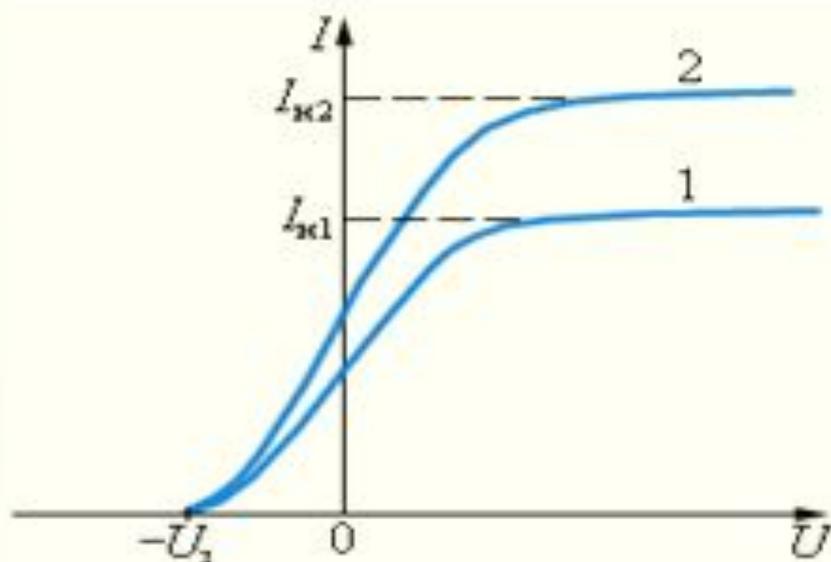
# Законы фотоэффекта

Количественные  
закономерности  
фотоэффекта (1888  
- 1889) были  
установлены  
Русским физиком  
А.Г. Столетовым



# Первый закон фотоэффекта

- Сила тока насыщения (фактически, число выбиваемых с поверхности электронов за единицу времени) прямо пропорциональна интенсивности светового излучения, падающего на поверхность тела.  $I_{\text{нас}} \sim \text{световому потоку!}$



Внимание!

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

$$\Phi_2 > \Phi_1$$

## Второй закон фотоэффекта

Если частоту света увеличить, то при неизменном световом потоке запирающее напряжение увеличивается, а, следовательно, увеличивается и кинетическая энергия фотоэлектронов.

**Максимальная скорость фотоэлектронов зависит только от частоты падающего света и не зависит от его интенсивности.**

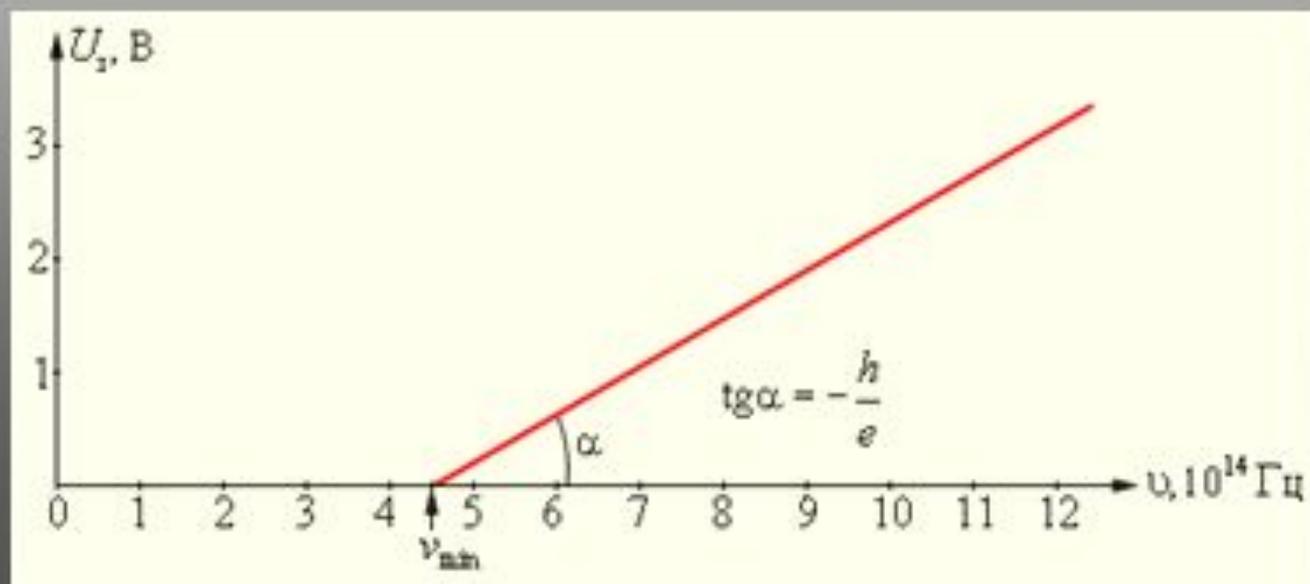
Важно!

По модулю запирающего напряжения можно судить о скорости фотоэлектронов и об их кинетической энергии!

$$eU = \frac{m v^2}{2} \Rightarrow v_m = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}$$

## Третий закон фотоэффекта

Для каждого вещества существует минимальная частота (так называемая красная граница фотоэффекта), ниже которой фотоэффект невозможен.



# Объяснение фотоэффекта



Немецкий физик

Макс Планк

1900 г. Гипотеза:

*Тела испускают свет порциями- квантами.*

$$E = h\nu$$

Где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Джс  
постоянная Планка

# Теория фотоэффекта

Альберт Эйнштейн

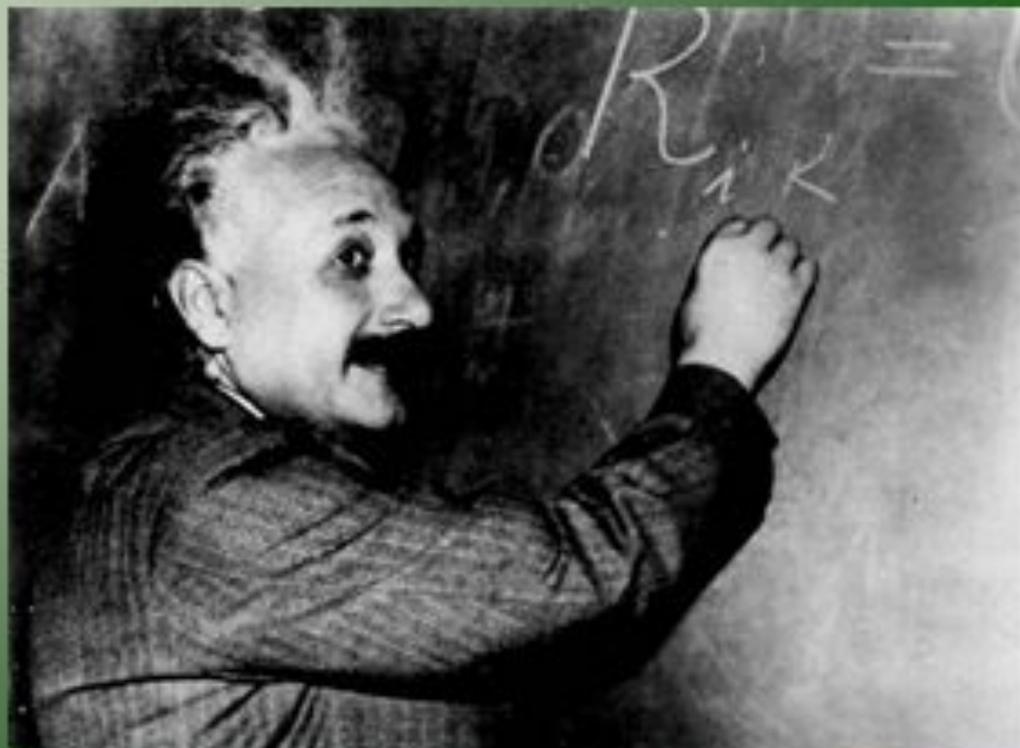
1905 г.

Развитие идеи Планка:

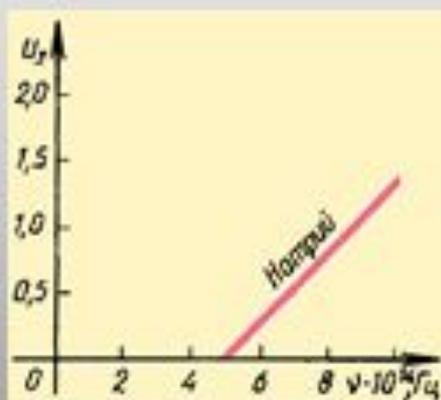
*Свет не только излучается  
и поглощается, но и  
существует в виде  
отдельных квантов.*

*Объяснение законов  
фотоэффекта*

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



## Красная граница фотоэффекта



При  $\nu < \nu_{\min}$  ни при какой интенсивности волны падающего на фотокатод света фотоэффект не произойдет!

$$\nu_{\min} = \frac{A}{h}$$

Для каждого вещества своя!!!!

## Основные закономерности:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света  $\nu$  и не зависит от его интенсивности.
2. Для каждого вещества существует так называемая **красная граница фотоэффекта**, то есть наименьшая частота  $\nu_{\min}$ , при которой еще возможен внешний фотоэффект.
3. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
4. Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света  $\nu > \nu_{\min}$

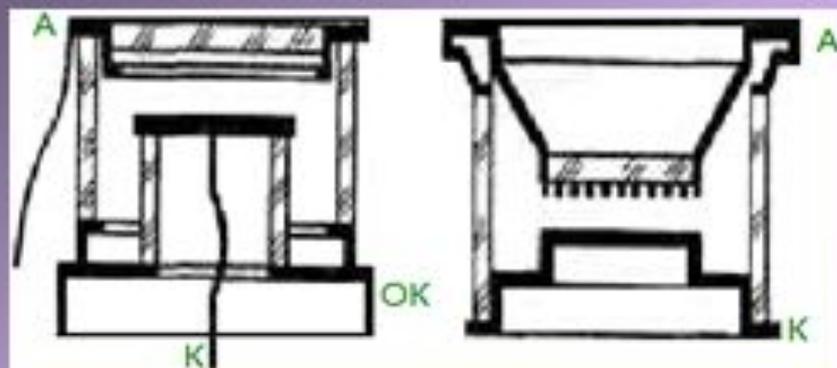
# Вакуумный фотоэлемент

Простейшим фотоэлементом с внешним фотоэффектом является **вакуумный фотоэлемент**. Он представляет собой откачанный стеклянный баллон, внутренняя поверхность которого (за исключением окошка для доступа излучения) покрыта фоточувствительным слоем, служащим фотокатодом. В качестве анода обычно используется кольцо или сетка, помещаемая в центре баллона.



# Фотоэлектронные приборы:

## 1. фотоэлементы



### Типичные конструкции вакуумных фотоэлементов:

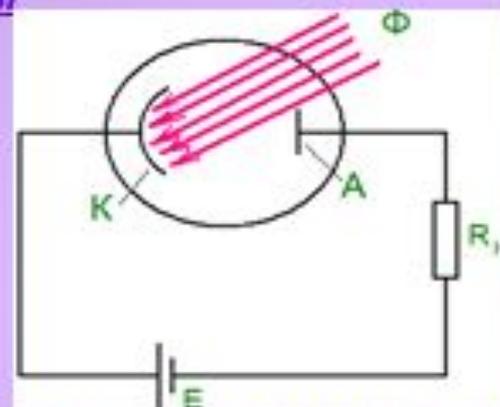
- A - вывод анода;
- K - вывод фотокатода;
- OK - вывод металлического охранного кольца  
(устанавливается для исключения попадания токов утечки на нагрузку).

### Применение:

Различные приборы и системы для регистрации световых потоков

### Недостаток:

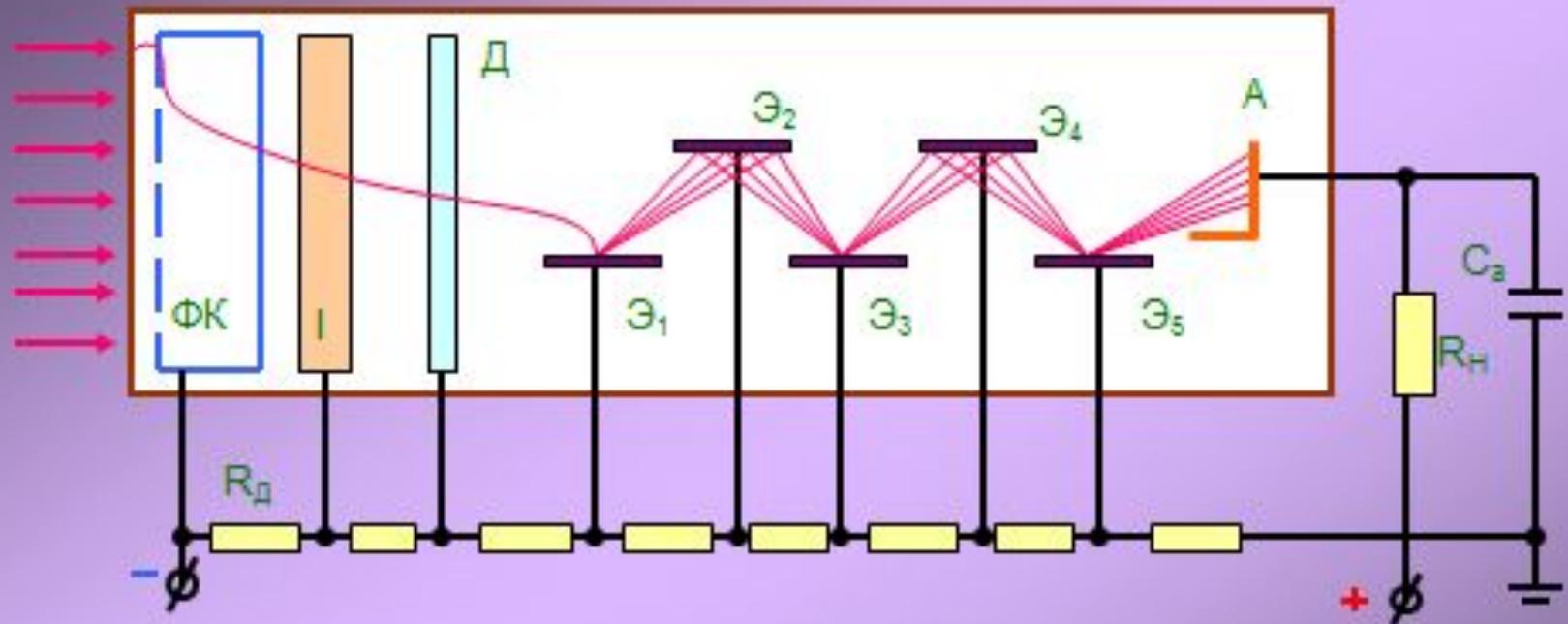
низкая чувствительность



### Схема включения фотоэлемента с внешним фотоэффектом:

- K - фотокатод; A - анод;
- $\Phi$  - световой поток;
- E - источник постоянного тока, служащий для создания в пространстве между катодом и анодом электрического поля, ускоряющего фотоэлектроны;
- $R_n$  — нагрузка.

## 2. фотоумножители



### Принципиальная схема ФЭУ с делителем напряжения:

ФК - фотокатод;

I - фокусирующий электрод;

Д - диафрагма;

Э1. . . Э5 - диноды;

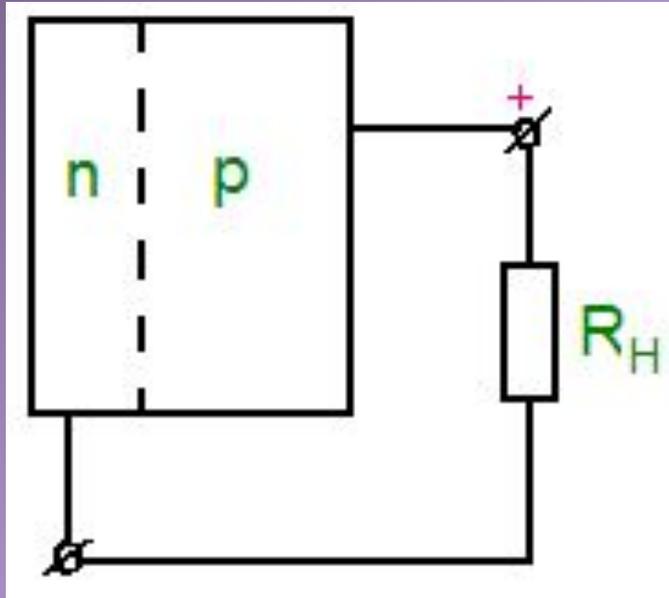
A - анод;

$R_d$  - сопротивление делителя напряжения;

$R_n$  — нагрузочное сопротивление в цепи анода;

$C_a$  — емкость анода.

### 3. полупроводниковые устройства



**Полупроводниковый прибор с выпрямляющим полупроводниковым переходом** (р-п - переходом) – фотоэлемент, действие которого основано на внутреннем фотоэффекте.

**Схема фотоэлемента с внутренним фотоэффектом:**

*p* и *n* — области полупроводника с дырочной и электронной проводимостями.

Пунктирной линией обозначен р-п - переход

В качестве материалов для полупроводникового фотоэлемента используются **Se, GaAs, CdS, Ge** и **Si**.

**Применение:**

Приемники оптического излучения, для прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию в солнечных батареях.

# Применение фотоэффекта



# Основные области применения фотоэлектронных приборов

1. Объективная фотометрия, различного рода световые, цветовые, спектральные измерения (спектроскопия и спектрофотометрия), а также измерение весьма слабых излучений (в астрофизике, в биологии и других областях научного исследования).
2. Фотоэлектрический контроль и управление производственными процессами, автоматика, транспорт, бытовая техника.
3. Электронные счетные, запоминающие и записывающие устройства.
4. Регистрация и измерение инфракрасного излучения, сигнализация и локация в видимых и инфракрасных лучах, техника ночного видения.
5. Системы оптической связи на лазерах.
6. Преобразование энергии солнечного излучения непосредственно в электрическую энергию (солнечные батареи, широко применяющиеся для питания аппаратуры искусственных спутников Земли и других устройств).
7. Оптоэлектроника.

Основными законами внешнего фотоэффекта (справедливыми для любого материала фотоэмиттера) являются следующие экспериментально установленные соотношения:

- 1. Величина фототока в режиме насыщения прямо пропорциональна интенсивности падающего света, если спектральный состав излучения неизменен (*закон Столетова*)..
- 2. Для каждого вещества существует длинноволновая (*красная*) граница спектра излучения  $\lambda_0$ , за которой (при  $\lambda > \lambda_0$ ) фотоэмиссии не происходит. Эту наибольшую длину волны  $\lambda_0$  (или наименьшую энергию кванта  $h\nu_0$ ) излучения, еще вызывающего фотоэффект, называют также *длинноволновым порогом фотоэффекта*, а соответствующую ей наименьшую частоту  $\nu_0 = \lambda_0 / c$  *пороговой частотой* ( $c$  – скорость света).
- 3. Максимальная начальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой падающего света и не зависит от его интенсивности (*закон Эйнштейна*).

№1: Какому из нижеприведенных выражений соответствует единица измерения постоянной Планка в СИ?

а) Дж · с

б) кг · м/с<sup>2</sup>

в) кг · м/с

г) Н · м

д) кг/м<sup>3</sup>

№2: По какой из нижеприведенных формул, можно рассчитать импульс фотона? ( E- энергия фотона; c- скорость света)

A)  $Ec$

B)

$Ec^2$

C)  $c/E$

D)

$c^2/E$

E)

$E/c$

№3 Как изменится работа выхода, при увеличении длины волны падающего излучения на катод, в четыре раза?

- А) Увеличится в четыре раза.
- В) Уменьшится в четыре раза.
- С) Увеличится в два раза.
- Д) Уменьшится в два раза.
- Е) Не изменится.

№4 Какое из нижеприведенных утверждений  
( для данного электрода) справедливо?

- А) Работа выхода зависит от длины волны падающего излучения.
- В) «Запирающее» напряжение зависит от работы выхода.
- С) Увеличение длины волны падающего излучения приводит к увеличению скорости вылетающих фотоэлектронов.
- Д) Максимальная скорость вылетающих фотоэлектронов, зависит только от работы выхода.
- Е) Увеличение частоты падающего излучения, приводит к увеличению скорости фотоэлектронов.

№5. Пластина изготовлена из материала, «красная граница» для которого попадает в голубую область спектра. При освещении какими лучами данной пластины наблюдается фотоэффект?

- А) Инфракрасными.
- В) Ультрафиолетовыми.
- С) Желтыми.
- Д) Красными.
- Е) Оранжевыми.

№6: Как изменится работа выхода, при увеличении длины волны падающего излучения на катод, в четыре раза?

- А) Увеличится в четыре раза.
- В) Уменьшится в четыре раза.
- С) Увеличится в два раза.
- Д) Уменьшится в два раза.
- Е) Не изменится.

№7 Какое из нижеприведенных утверждений справедливо? Кинетическая энергия вылетающих фотоэлектронов зависит от:

- А) Только от частоты падающего излучения.
- В) Только от температуры металла.
- С) Только от интенсивности излучения.
- Д) От частоты и интенсивности падающего Излучения.
- Е) От температуры металла и интенсивности излучения.