

Лекции по дисциплине «Основы анализа поверхности методами атомной физики»  
Профессор каф. общей физики ТПУ Н.Н. Никитенков.

# *Фотоэффект*

## 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 фотоэмиттер 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:

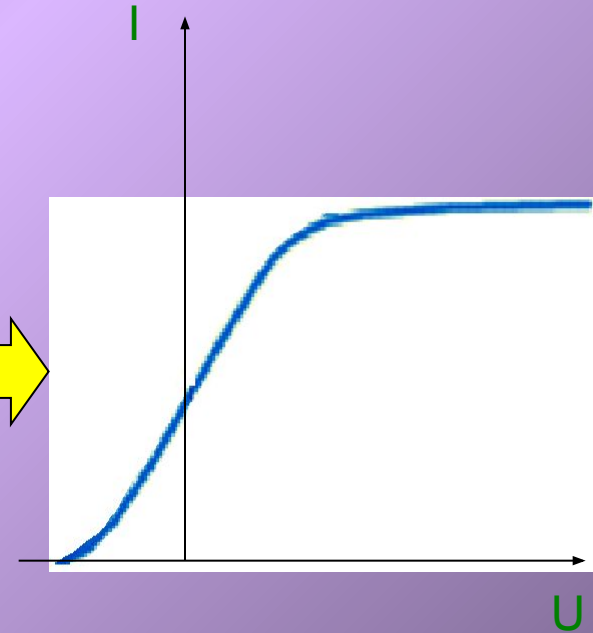
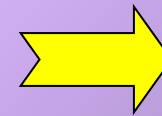
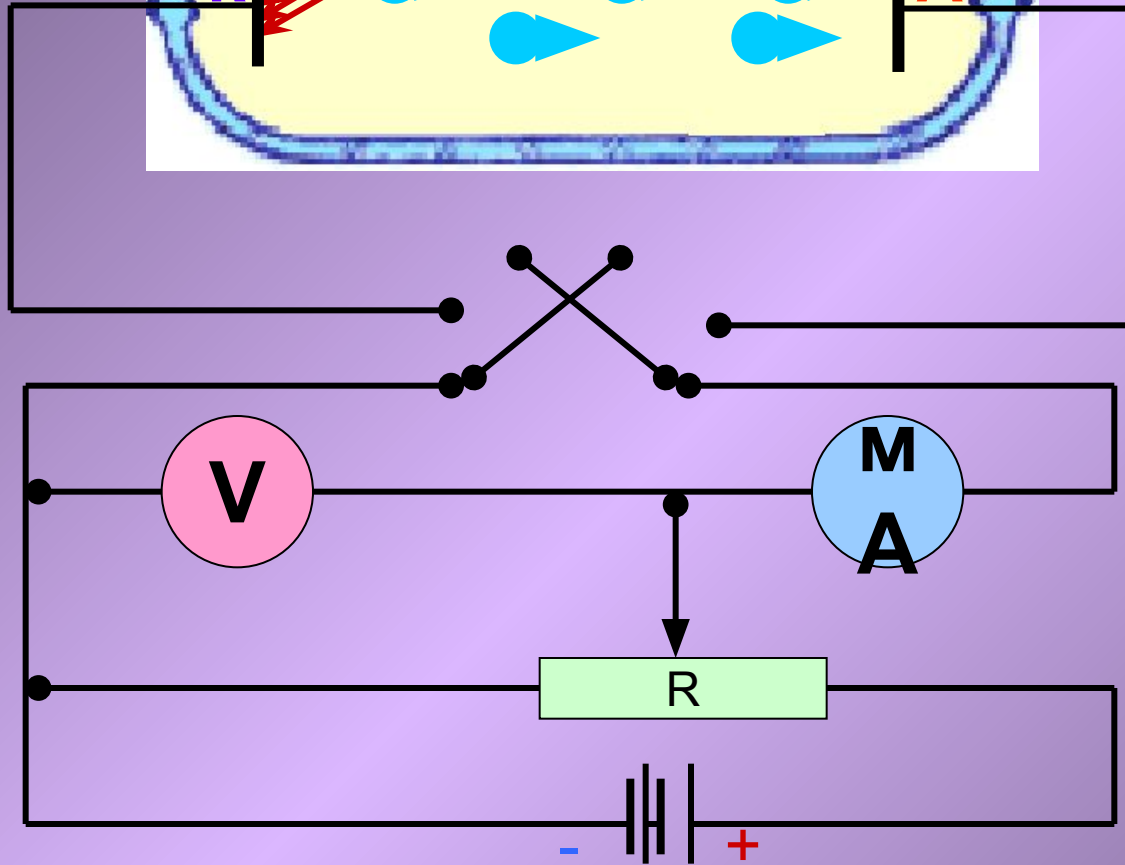
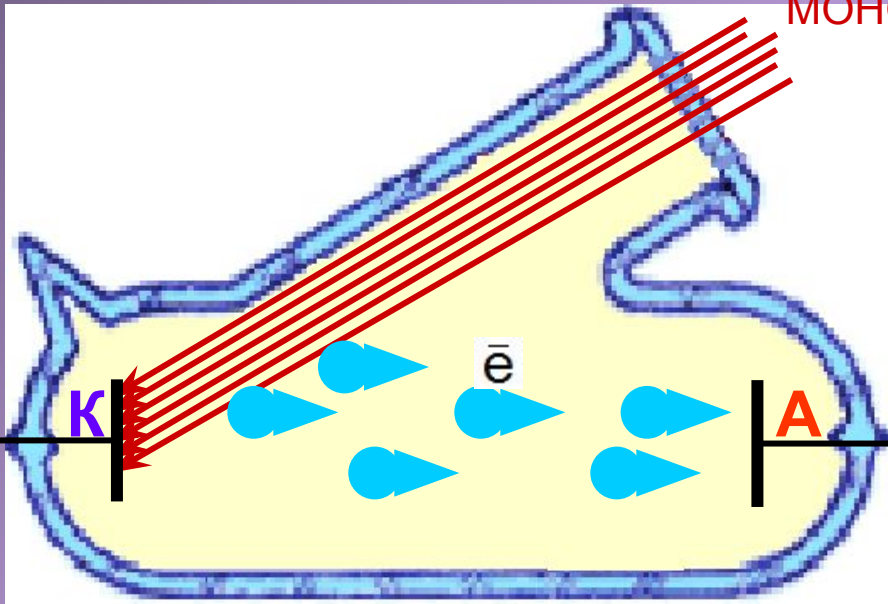
большой класс полупроводниковых приемников излучения:  
фоторезисторы,  
фотодиоды,  
солнечные батареи

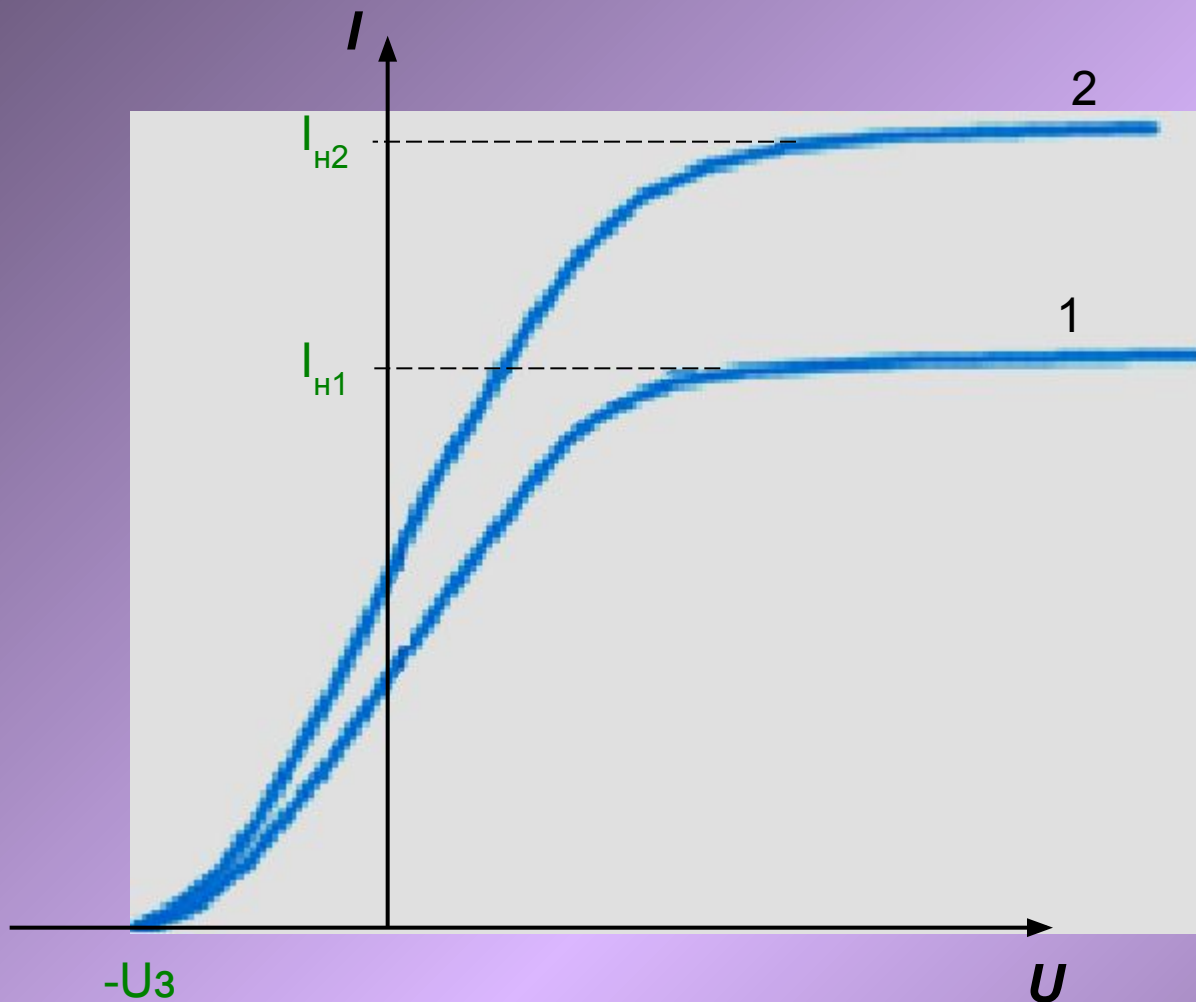
## История развития учения о фотоэлектричестве и создании фотоэлектронных приборов насчитывает более 150 лет.

- 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.

# Схема экспериментальной установки

МОНОХРОМАТИЧЕСКИЙ  
СВЕТ





При достаточно больших положительных напряжениях на аноде А фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода (К), достигают А.

Ток насыщения  $I_n$  прямо пропорционален интенсивности падающего света.

Когда  $U < 0$  на А, электрическое поле между К и А тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, у которых  $E_{кин} > |eU|$ . Если  $U_{анода} < -U_3 \rightarrow$  фототок прекращается.

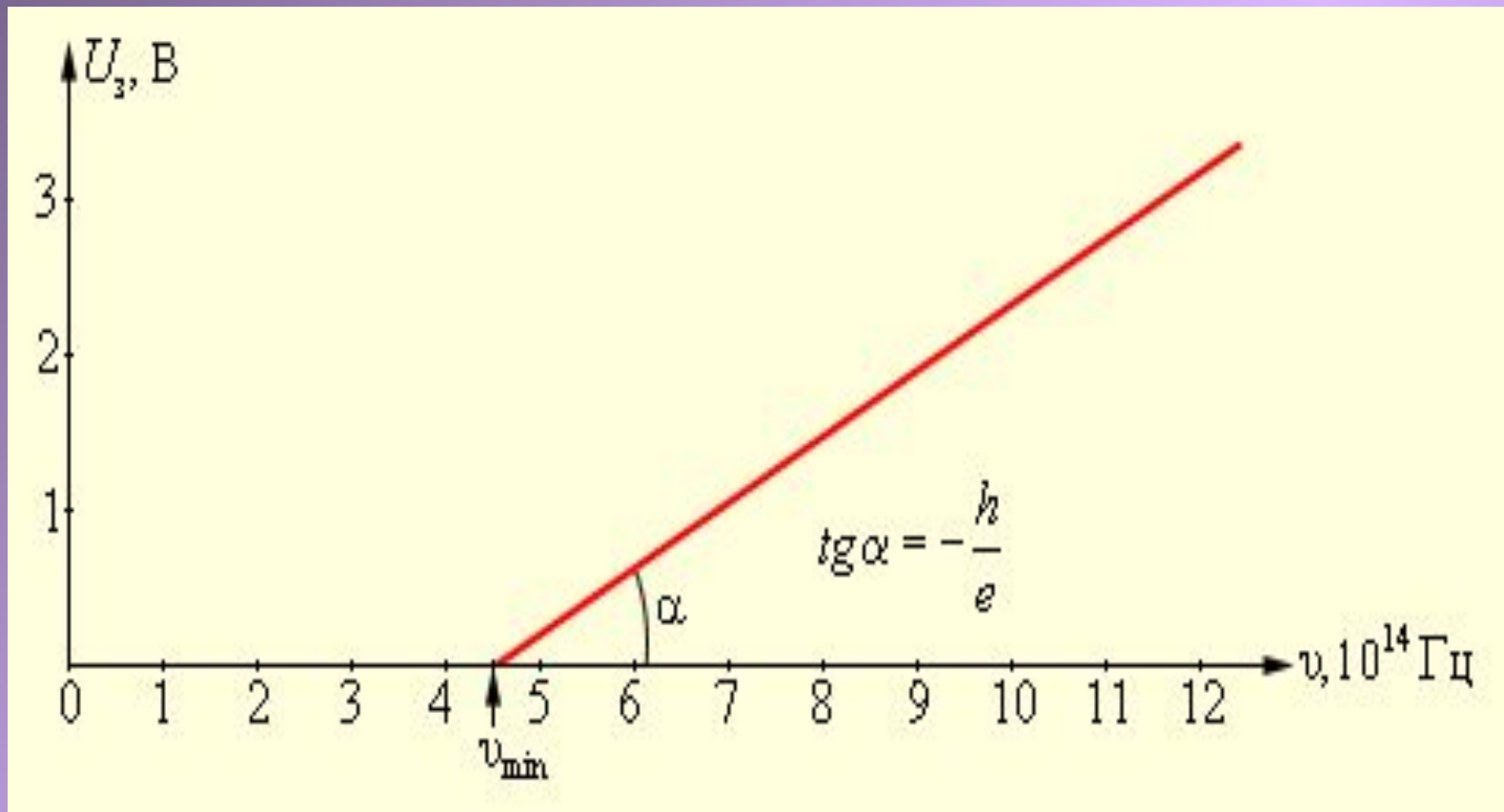
Измеряя  $U_3$ , можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов:

$$\left( \frac{mv^2}{2} \right)_{\max} = eU_3 \quad 6$$

**Зависимость силы фототока от приложенного напряжения.**

Кривая 2 соответствует большей интенсивности светового потока.

$I_{H1}$  и  $I_{H2}$  – токи насыщения,  
 $U_3$  – запирающий потенциал.



Зависимость запирающего потенциала  $U_3$  от частоты  $\nu$  падающего света

# Основные закономерности фотоэффекта,

- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света  $\nu$  и не зависит от его интенсивности (закон Эйнштейна).

Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из катода фотоэлектрон:

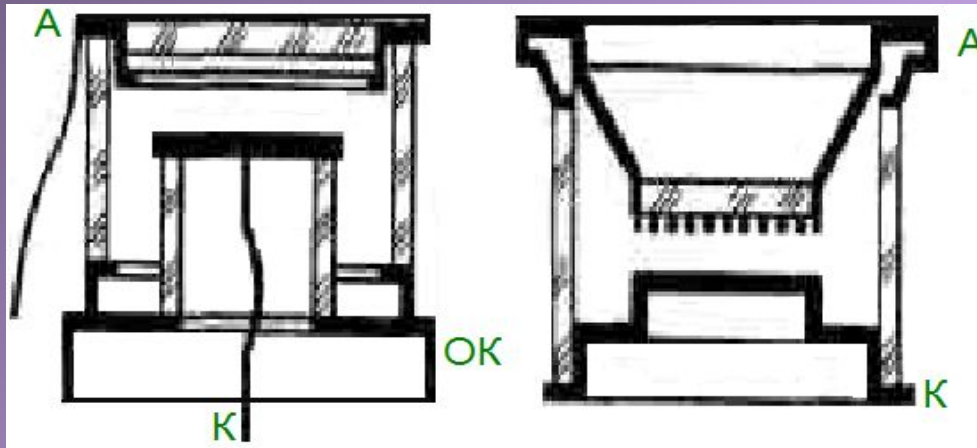
$$\left(\frac{mv^2}{2}\right) = eU_3 = h\nu - A$$

- Для каждого вещества существует так называемая красная граница фотоэффекта, т. е. наименьшая частота  $\nu_{\min}$ , при которой еще возможен внешний фотоэффект.
- Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
- Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода при условии, что частота света  $\nu > \nu_{\min}$ .



# Фотоэлектронные приборы:

## 1. фотоэлементы



### Типичные конструкции вакуумных фотоэлементов:

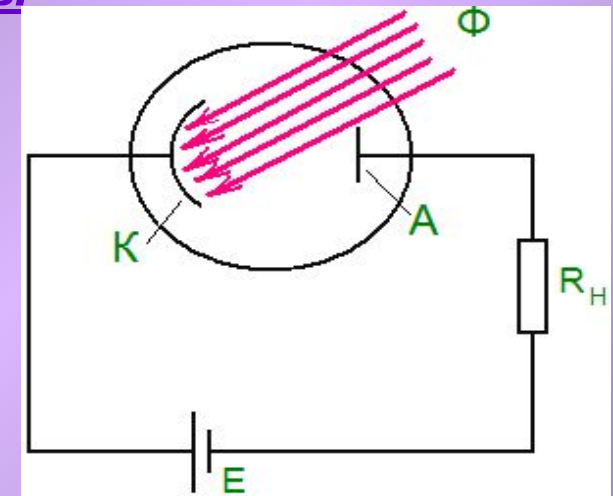
- A** - вывод анода;
- K** – вывод фотокатода;
- OK** - вывод металлического охранного кольца  
(устанавливается для исключения попадания токов утечки на нагрузку).

### Применение:

Различные приборы и системы для регистрации световых потоков

### Недостаток:

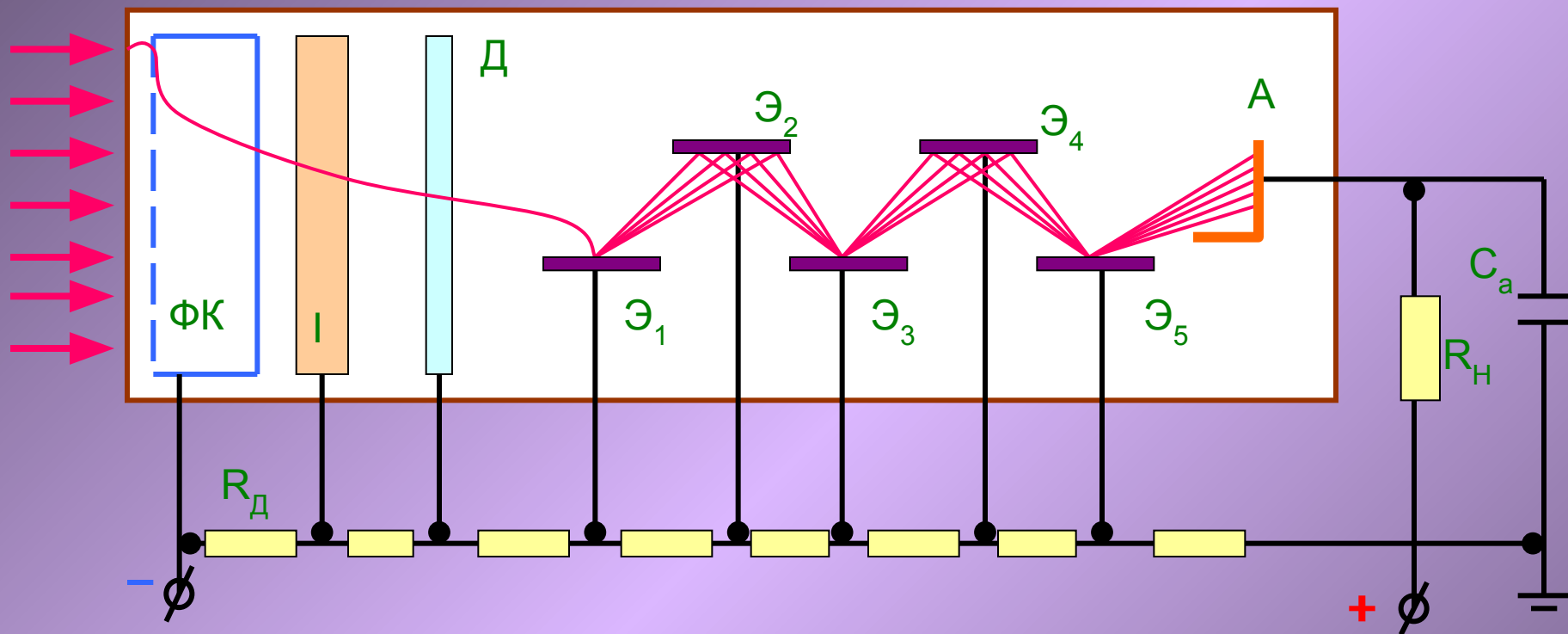
низкая чувствительность



### Схема включения фотоэлемента с внешним фотоэффектом:

- K** - фотокатод; **A** - анод;
- Φ** - световой поток;
- E** - источник постоянного тока, служащий для создания в пространстве между катодом и анодом электрического поля, ускоряющего фотоэлектроны;
- R<sub>н</sub>** — нагрузка.

## 2. фотоумножители



### **Принципиальная схема ФЭУ с делителем напряжения:**

ФК - фотокатод;

I - фокусирующий электрод;

Д - диафрагма;

Э1. . . .Э5 - диноды;

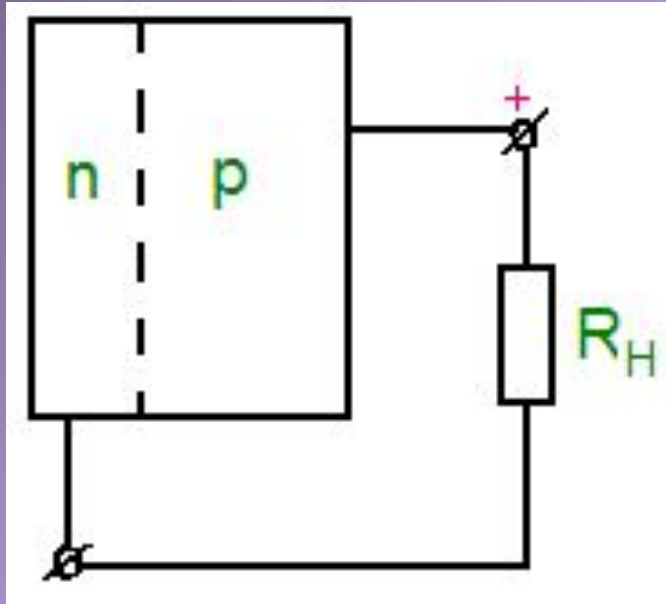
A - анод;

$R_{д}$  - сопротивление делителя напряжения;

$R_{н}$  — нагрузочное сопротивление в цепи анода;

$C_{а}$  — емкость анода.

### 3. полупроводниковые устройства



**Полупроводниковый прибор с выпрямляющим полупроводниковым переходом** (p-n - 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 p-n - переход

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

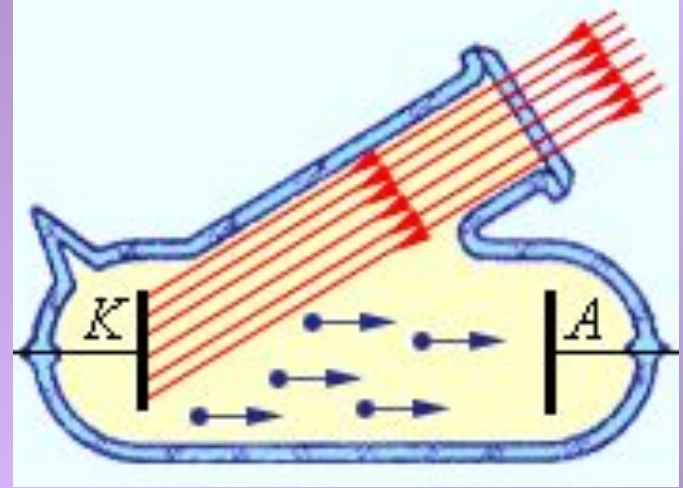
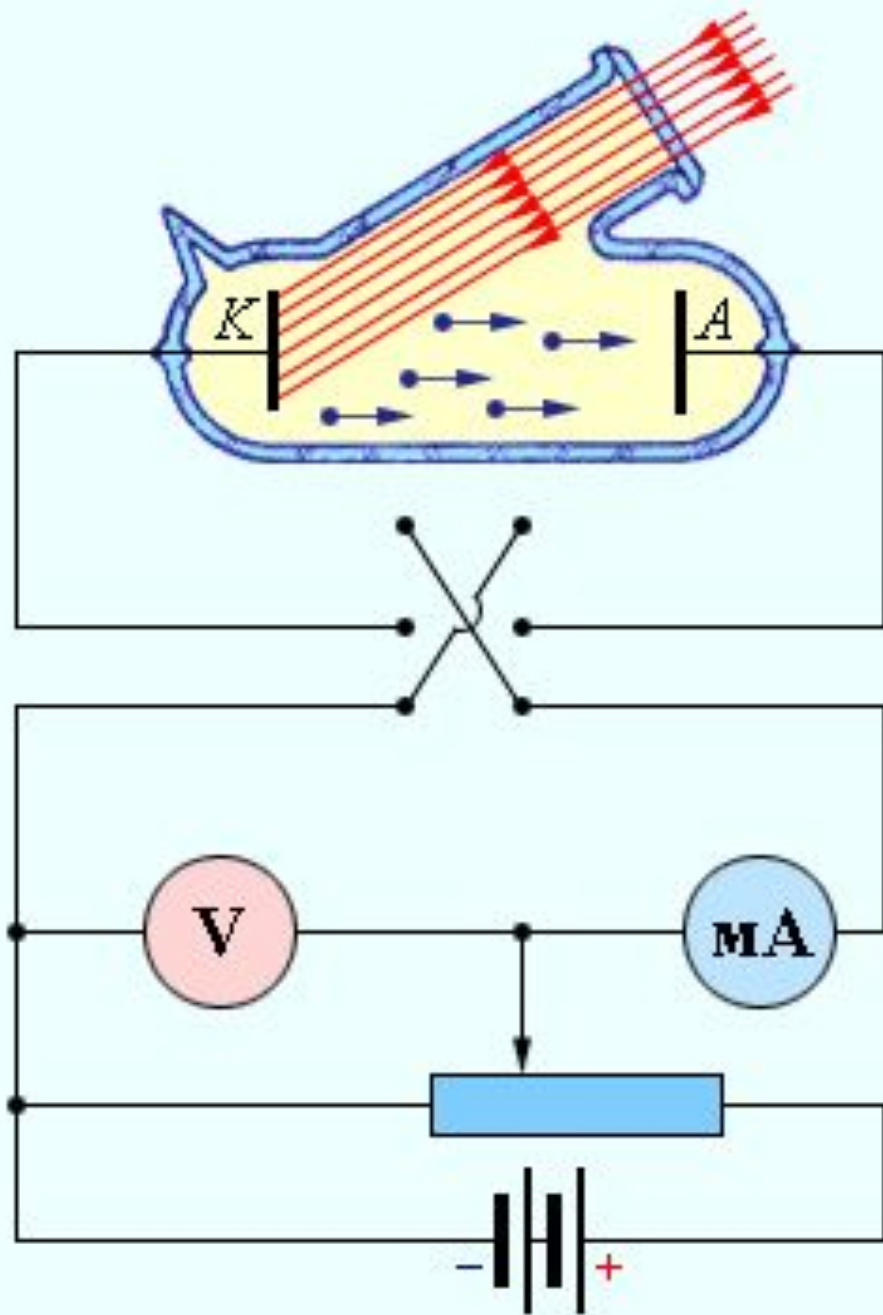
**Применение:**

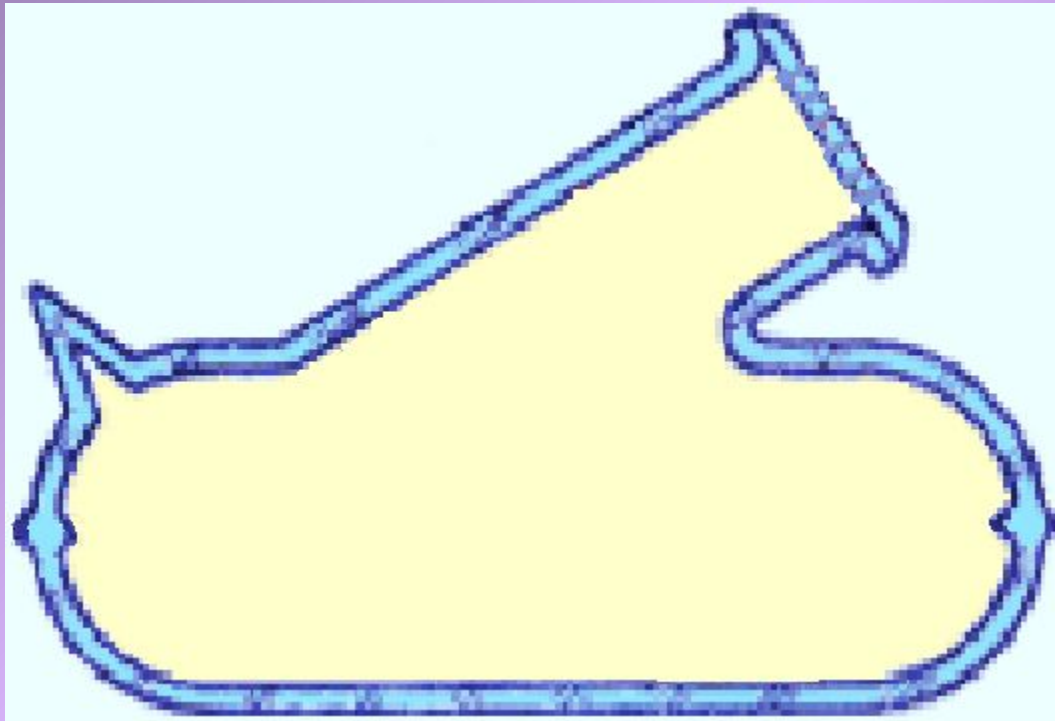
Приемники оптического излучения, для прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию в солнечных батареях.

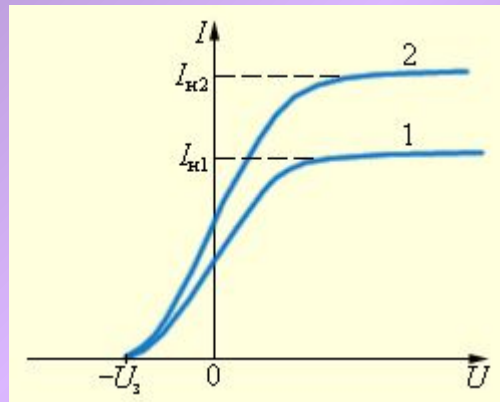
# Основные области применения фотоэлектронных приборов

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*).

Фото:

**А. Беккерель, Г. Герцем, Аугусто Риги,  
А. Г. Столетовым, Ф. Ленард и Дж. Дж.  
Томсон, Эльстер и Гейтель**