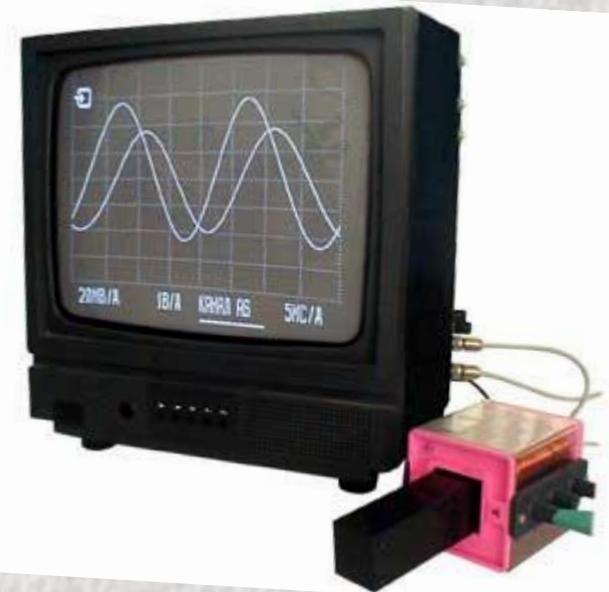


# Тема занятия №27.

## Основные параметры полупроводниковых приборов.

### Электрический ток

### упроводни



- Слайды под запись: № 1, 20, 22-25, 27, 28, 31-36, 38, 42-46, 52, 53, 55 – ответить на контрольные вопросы.
- Остальные слайды для прочтения и изучения.

Давайте вспомним...

*Повторение  
материала физики 1  
курса.*

**1. Какие частицы являются носителями электрического тока в металлах?**

- А. Только электроны.
- Б. Электроны и протоны.
- В. Электроны и положительные ионы.
- Г. Положительные и отрицательные ионы.

## **2. Какие частицы являются носителями электрического тока в электролитах?**

- А. Только электроны.
- Б. Электроны и протоны.
- В. Электроны и положительные ионы.
- Г. Положительные и отрицательные ионы.

**3. Стрелка электрометра показывает, что на пластинах накоплен электрический заряд. При комнатной температуре, если воздух достаточно сухой, конденсатор заметно не разряжается – положение стрелки электрометра не изменяется. К какому классу веществ относится сухой воздух?**

**А. К проводникам.**

**Б. К диэлектрикам.**

**В. К полупроводникам.**

**Г. Воздух занимает промежуточное положение между проводниками и полупроводниками.**

**4. Упорядоченное движение заряженных свободных электронов называется электрическим током в металлах. Что принято считать за скорость тока в проводнике?**

**А. Наибольшую скорость движения электронов.**

**Б. Скорость движения электрического поля.**

**В. Наименьшую скорость движения электронов.**

**Г. Среднюю скорость движения электронов.**

**5. Чистая вода является диэлектриком.  
Почему водный раствор соли NaCl  
является проводником?**

- А. Соль в воде распадается на заряженные ионы  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$ .
- Б. После растворения соли молекулы NaCl переносят заряд
- В. В растворе от молекулы NaCl отрываются электроны и переносят заряд.
- Г. При взаимодействии с солью молекулы воды распадаются на ионы водорода и кислорода.

**6. В газах без действия ионизатора может наблюдаться процесс соединения положительных ионов и свободных электронов в нейтральный атом. Как называется данный процесс?**

- А. Ионизация.**
- Б. Рекомбинация.**
- В. Нейтрализация.**
- Г. Соединение.**

## **7. Вакуум является диэлектриком потому, что...**

- А. В нем почти нет частиц вещества.**
- Б. Его температура очень низка.**
- В. Все атомы, находящиеся в вакууме, электрически нейтральны.**
- Г. В нем очень низкое давление.**

# ПРОВЕРКА

1. А

2. Г

3. Б

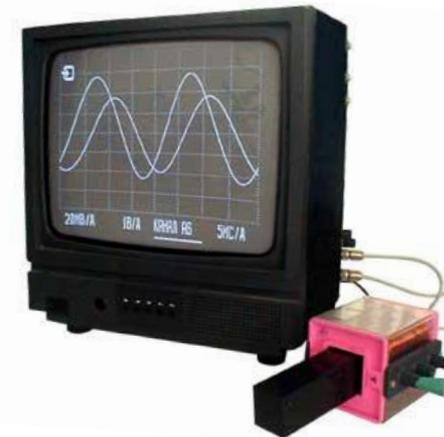
4. Б

5. А

6. Б

7. А

# Электрический ток в полупроводниках



# ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРОВОДИМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ

Вещества (по электропроводности)

Проводники

Полупроводники

Диэлектрики

Вакуум

Металлы

Растворы  
электролитов

Расплавы  
электролитов

Плазма

# Области применения

## Электронные приборы СВЧ-диапазона



РЛС дальнего обнаружения «Дарьял»

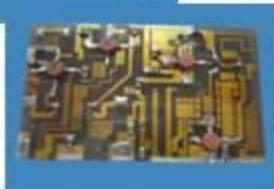


РЛС «Имбирь» Тяжелый истребитель перехватчик СУ-27



ЗРК С-300

## Гибридные интегральные модули СВЧ-диапазона



Истребитель МИГ 29



Мобильная РЛС



ЗРК «Тунгуска»

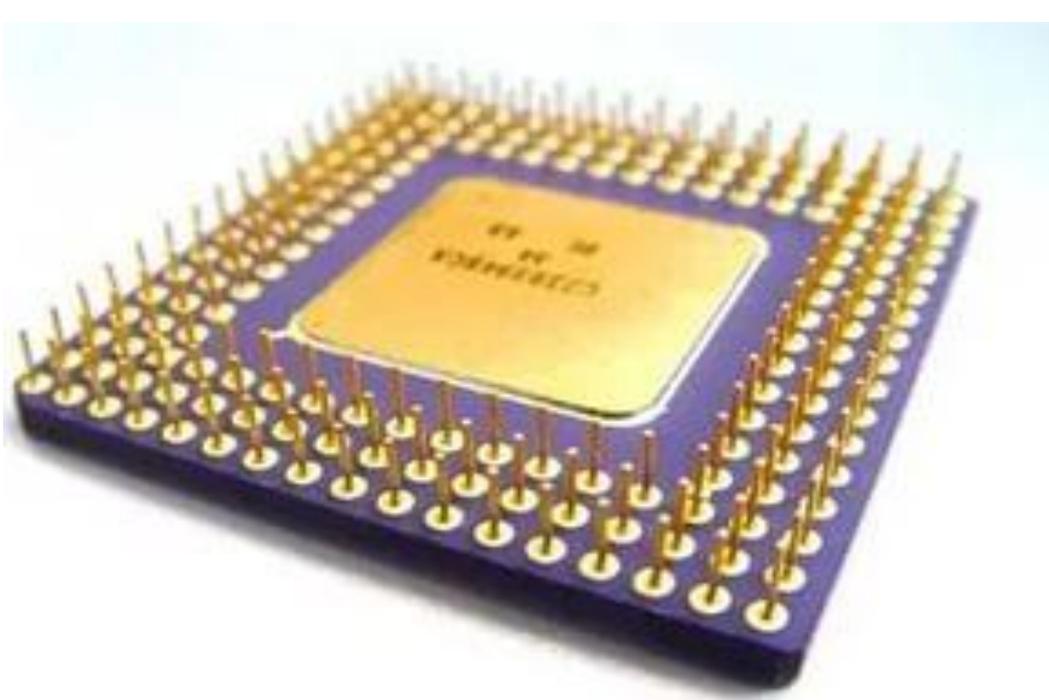
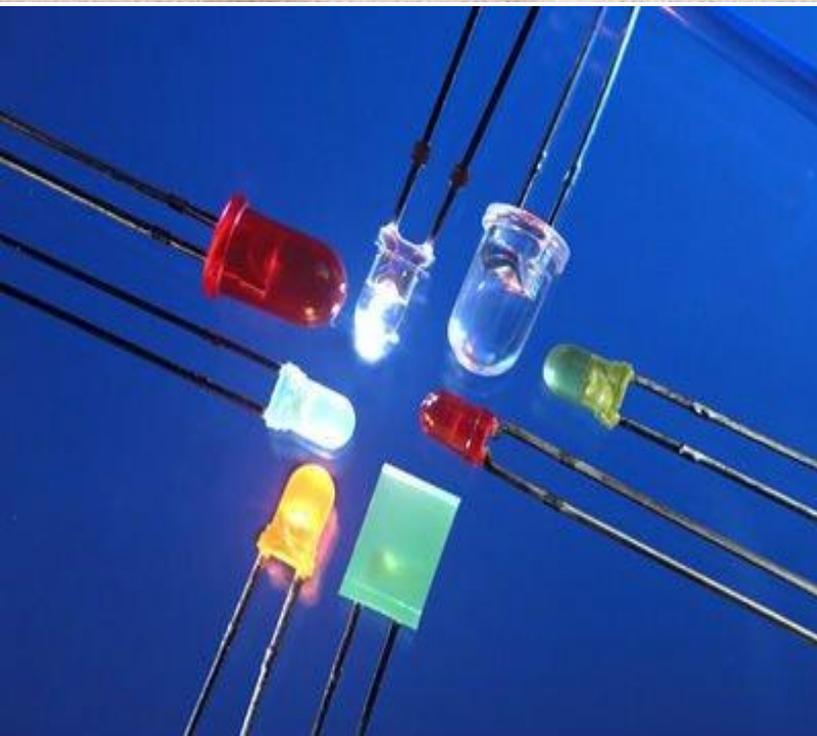
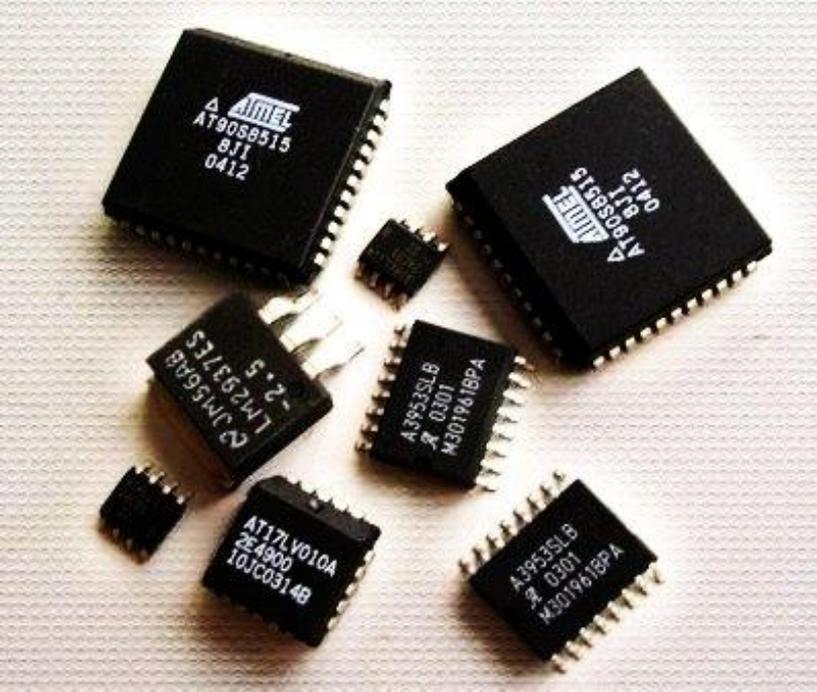
## Полупроводниковые приборы



МКС, модуль «Альфа» Тяжелый авианосец проекта 11435



Спутник «Ямал»



# **ВОПРОСЫ:**

- 1. Классификация веществ по проводимости**
- 2. Собственная проводимость полупроводников**
- 3. Примесная проводимость полупроводников**
- 4. p – n переход и его свойства**
- 5. Полупроводниковый диод и его применение**
- 6. Вопросы для контроля**

Вопрос 1

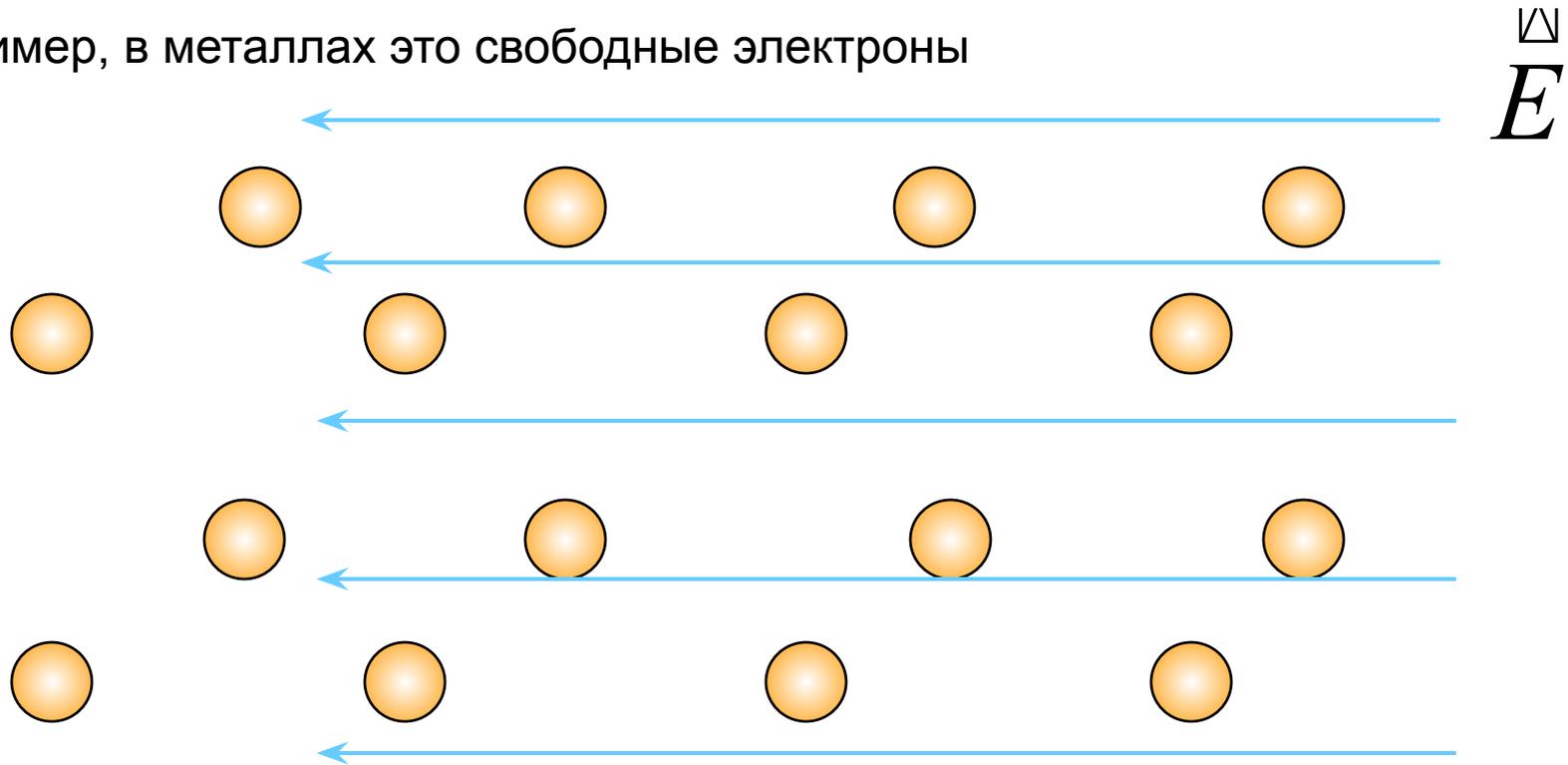
# **Классификация веществ по проводимости**

Разные вещества имеют различные электрические свойства, однако по электрической проводимости их можно разделить на 3 основные группы:



Вспомним, что проводимость веществ обусловлена наличием в них свободных заряженных частиц

Например, в металлах это свободные электроны



**Вспомните и объясните характер проводимости металлов и его зависимость от температуры**

**Полупроводники (ПП)** - широкий класс веществ, характеризующихся значениями удельного сопротивления, промежуточным между удельным сопротивлением металлов ( $\approx 10^{-2} - 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ) и хороших диэлектриков ( $\approx 10^8 - 10^{10} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ).

К ПП следует отнести: большинство минералов, неметаллические элементы 3-й, 4-й, 5-й и 6-й групп периодической системы Д.И. Менделеева, неорганические соединения (сульфиды, оксиды и др.), некоторые сплавы металлов, органические красители.

- К числу полупроводников относятся многие химические элементы (германий, кремний, селен, теллур, мышьяк и др.), огромное количество сплавов и химических соединений.
- Почти все неорганические вещества окружающего нас мира – полупроводники.
- Самым распространенным в природе полупроводником является кремний, составляющий около 30 % земной коры.

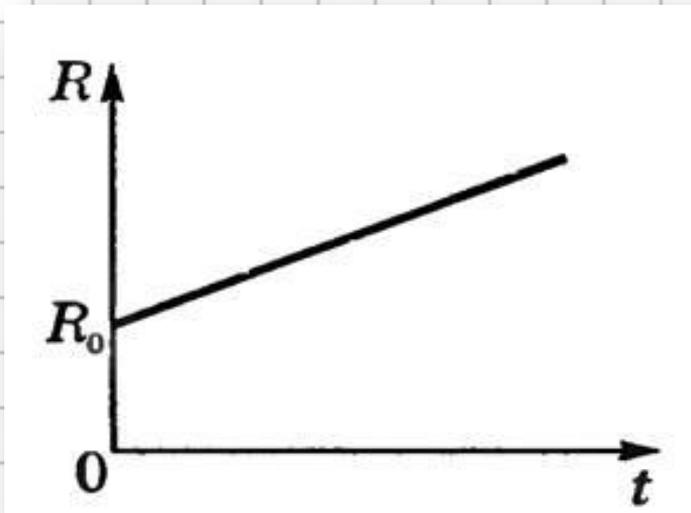
# Полупроводники

| Период | Группа |    |    |    |     |
|--------|--------|----|----|----|-----|
|        | III    | IV | V  | VI | VII |
| 1      |        |    |    |    |     |
| 2      | B      | C  | N  | O  | F   |
| 3      | Al     | Si | P  | S  | Cl  |
| 4      | Ga     | Ge | As | Se | Br  |
| 5      | In     | Sn | Sb | Te | I   |
| 6      | Tl     | Pb | Bi | Po | At  |

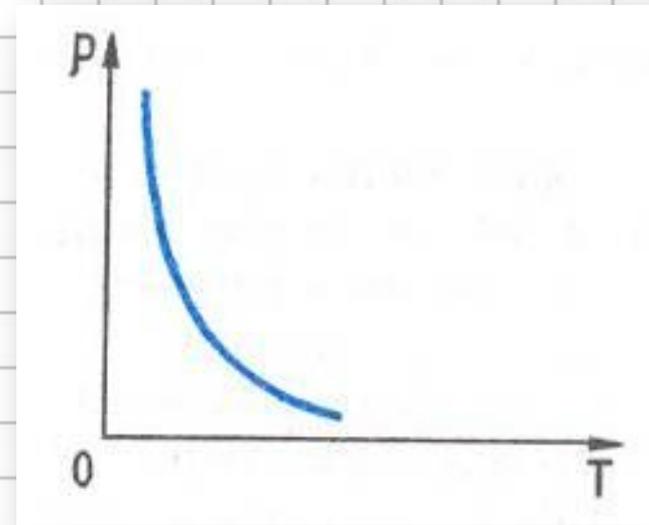
Полупроводники - это 12 элементов таблицы Менделеева, большинство минералов, различные окислы, сульфиды, и другие химические соединения.

# ПОЛУПРОВОДНИКИ

Зависимость  
сопротивления  
металлов от  
температуры



Зависимость уд. сопротивления  
полупроводников от  
температуры



***Полупроводники – вещества, у которых удельное сопротивление уменьшается с ростом температуры***

Вопрос 2

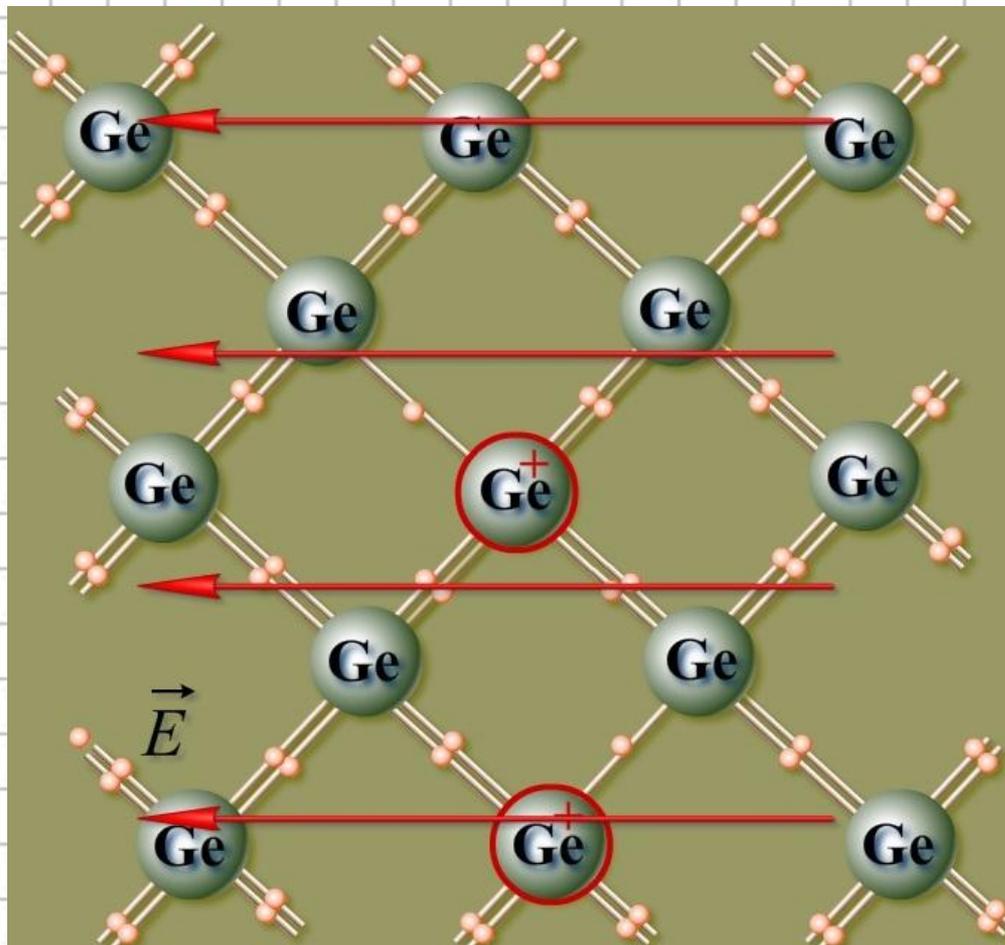
# **Собственная проводимость полупроводников**

# ЭЛЕКТРОННАЯ И ДЫРОЧНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ

Носители заряда в полупроводниках:

- электроны;
- дырки.

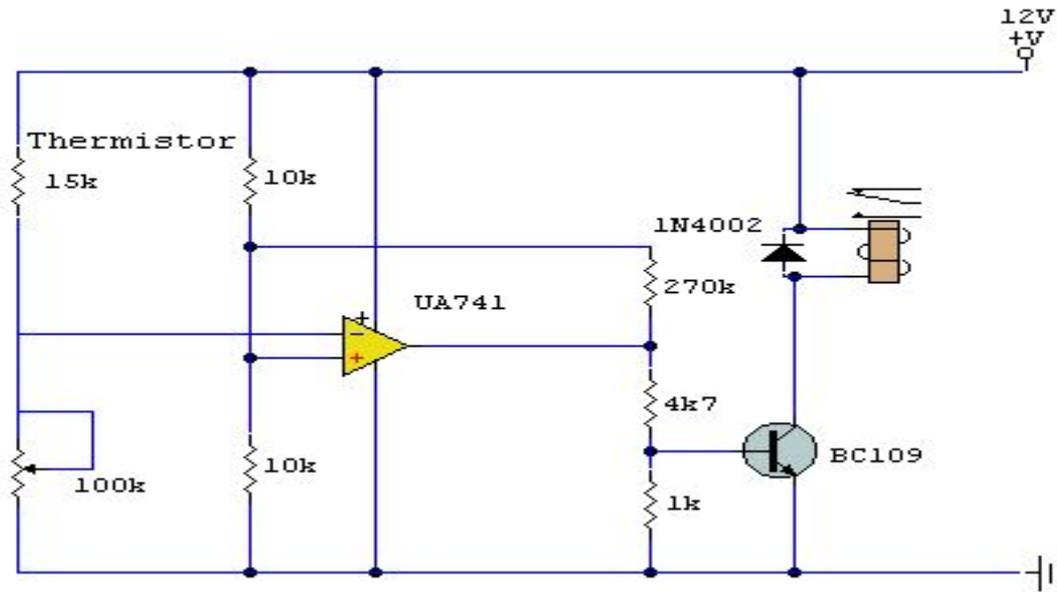
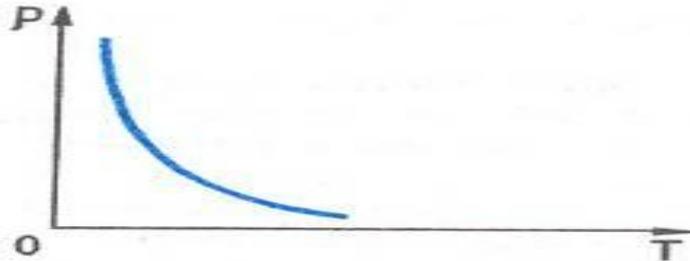
**Собственная проводимость полупроводников – проводимость чистых полупроводников при отсутствии примесей**



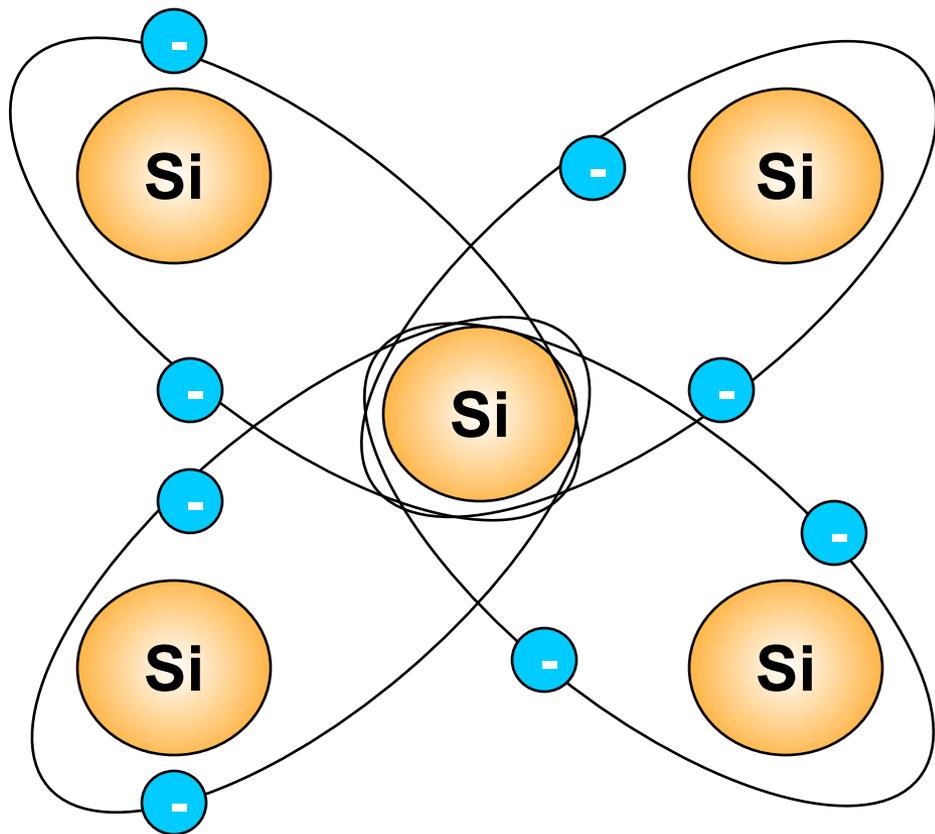
Собственная проводимость невелика и сильно зависит от температуры, освещенности, радиоактивного фона и др.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Зависимость уд. сопротивления полупроводников от температуры исп. в термисторах для измерения температуры и в автоматике



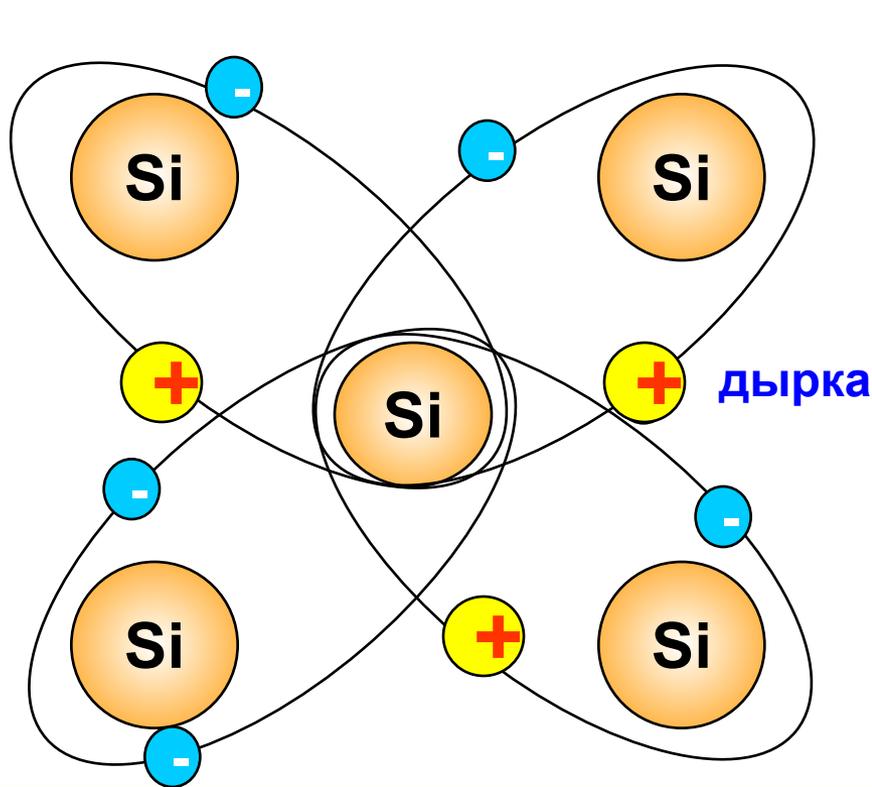
## Рассмотрим проводимость полупроводников на основе кремния Si



Кремний – **4 валентный** химический элемент. Каждый атом имеет во внешнем электронном слое по **4 электрона**, которые используются для образования **парноэлектронных (ковалентных) связей** с 4 соседними атомами

При обычных условиях (невысоких температурах) в полупроводниках отсутствуют свободные заряженные частицы, поэтому полупроводник не проводит электрический ток

## Рассмотрим изменения в полупроводнике при увеличении температуры

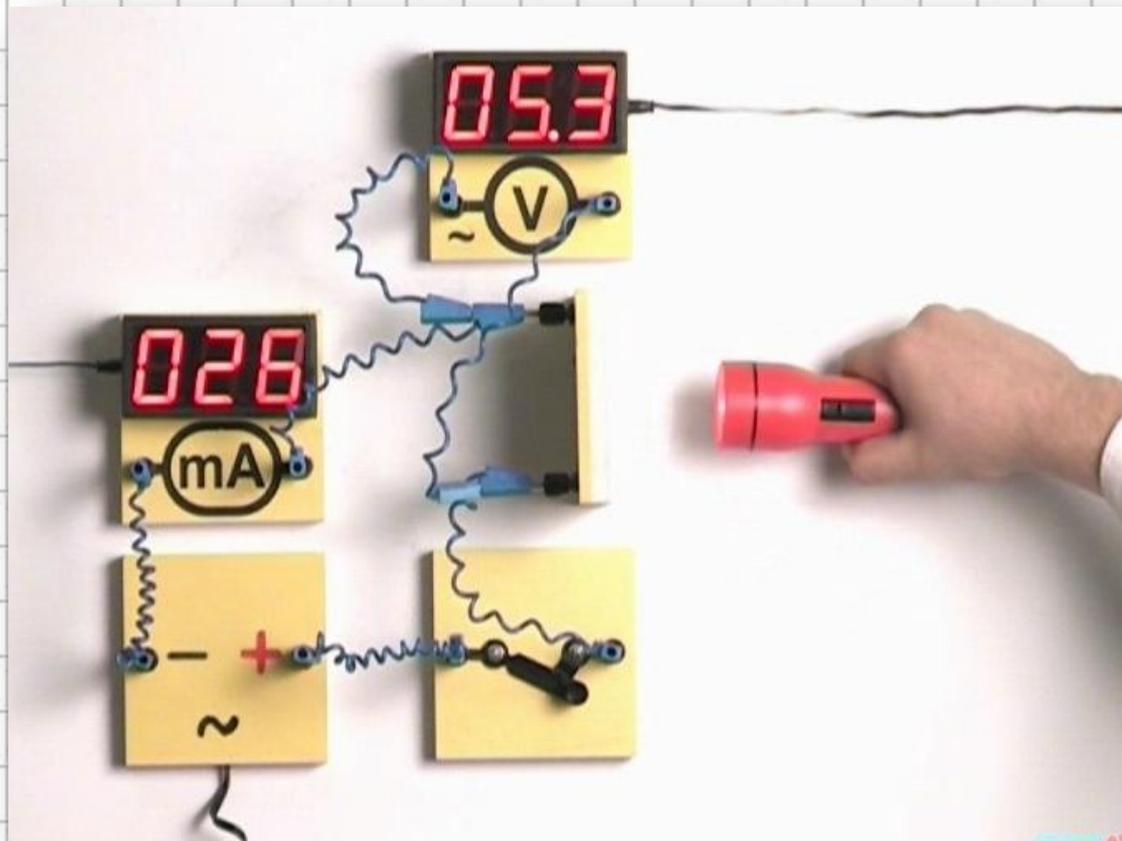


**свободный  
электрон**

Под воздействием электрического поля электроны и дырки начинают упорядоченное (встречное) движение, образуя электрический ток

При увеличении температуры энергия электронов увеличивается и некоторые из них покидают связи, становясь **свободными электронами**. На их месте остаются некомпенсированные электрические заряды называемые **дырками**.

# ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСТЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ФОТОРЕЗИСТОР

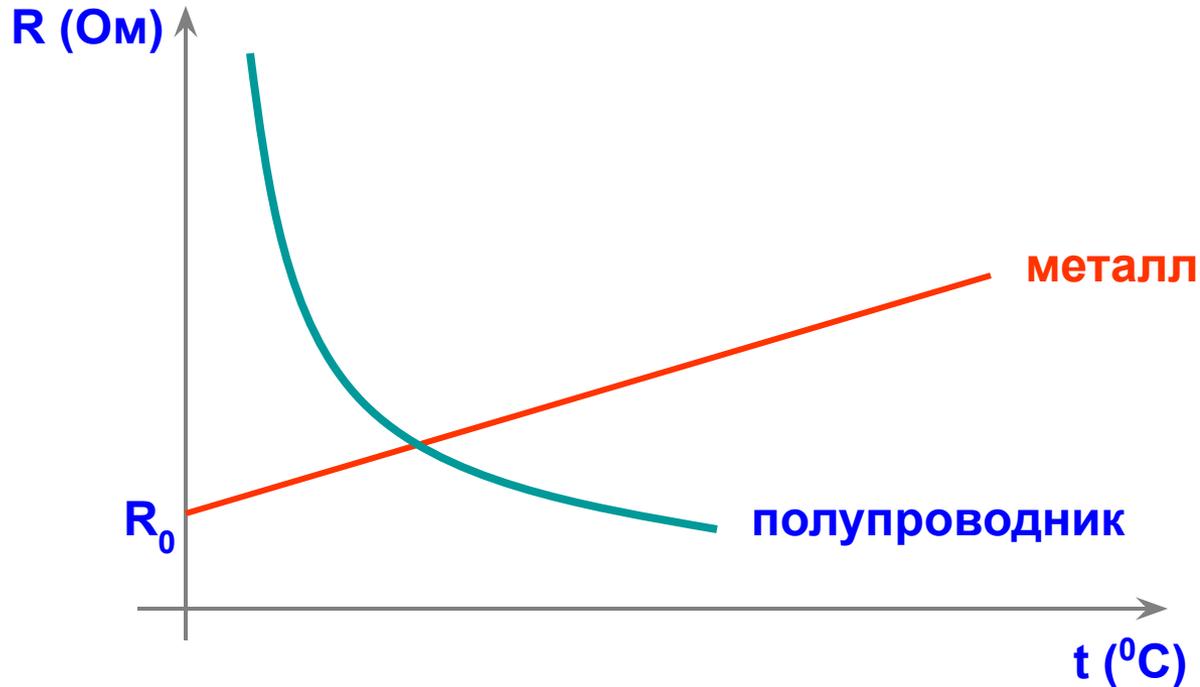


[Видеоролик](#)

Таким образом, **электрический ток в полупроводниках** представляет собой упорядоченное движение **свободных электронов** и положительных виртуальных частиц - **дырок**

---

При **увеличении температуры** растет число свободных носителей заряда, **проводимость полупроводников растет**, сопротивление уменьшается

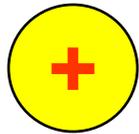


**Объясните графики зависимости сопротивления металлов и полупроводников от температуры**

Вопрос 3

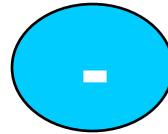
**Примесная проводимость  
полупроводников**

Итак, существует 2 типа примесных полупроводников, имеющих большое практическое применение:



**p - типа**

Основные носители заряда -  
**дырки**



**n - типа**

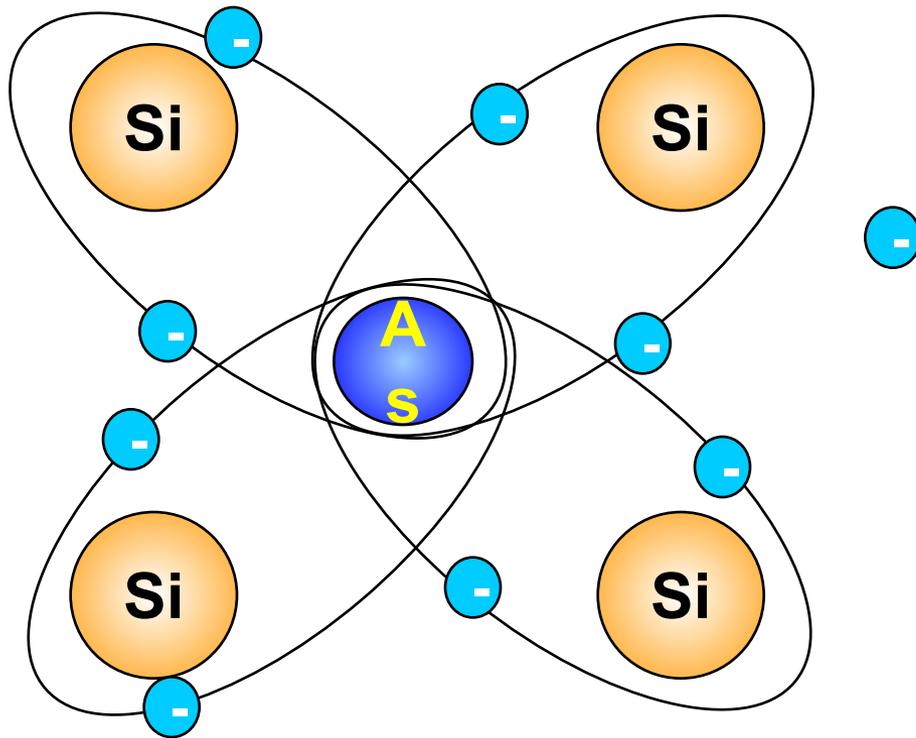
Основные носители заряда -  
**электроны**

Помимо основных носителей в полупроводнике существует очень малое число неосновных носителей заряда ( в полупроводнике p – типа это электроны, а в полупроводнике n – типа это дырки), количество которых растет при увеличении температуры

# Примесная проводимость полупроводников

Собственная проводимость полупроводников явно недостаточна для технического применения полупроводников

Поэтому для увеличения проводимости в чистые полупроводники внедряют примеси (легируют), которые бывают **донорные** и **акцепторные**



## Донорные примеси

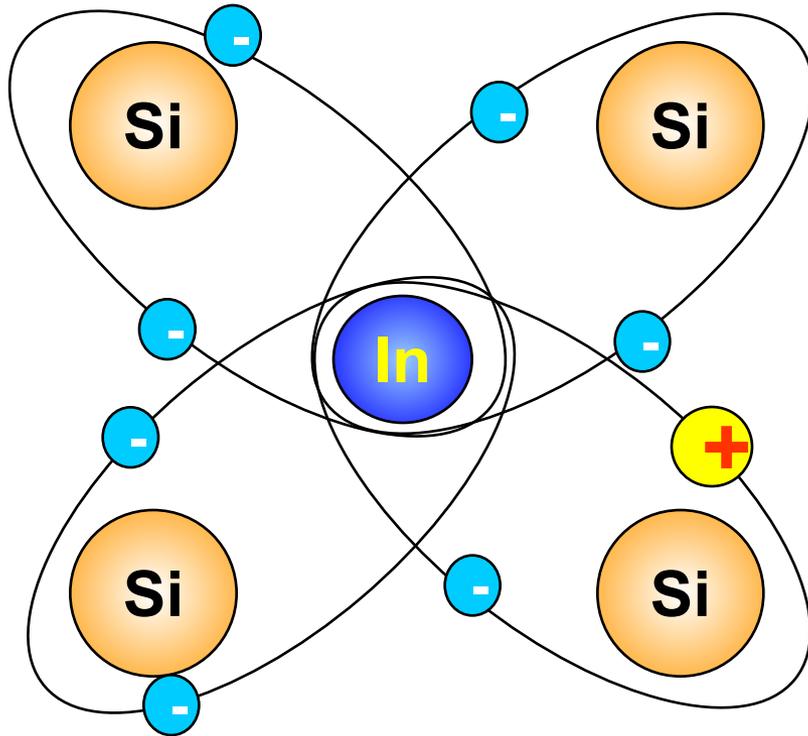
При легировании 4 – валентного кремния Si 5 – валентным мышьяком As, один из 5 электронов мышьяка становится **свободным**

Таким образом изменяя концентрацию мышьяка, можно в широких пределах изменять проводимость кремния

Такой полупроводник называется полупроводником **n – типа**, **основными носителями** заряда являются **электроны**, а примесь мышьяка, дающая свободные электроны, называется **донорной**

## Акцепторные примеси

Если **кремний** легировать трехвалентным **индием**, то для образования связей с кремнием у индия не хватает одного электрона, т.е. образуется **дырка**



Изменяя концентрацию индия, можно в широких пределах изменять проводимость кремния, создавая полупроводник с заданными электрическими свойствами

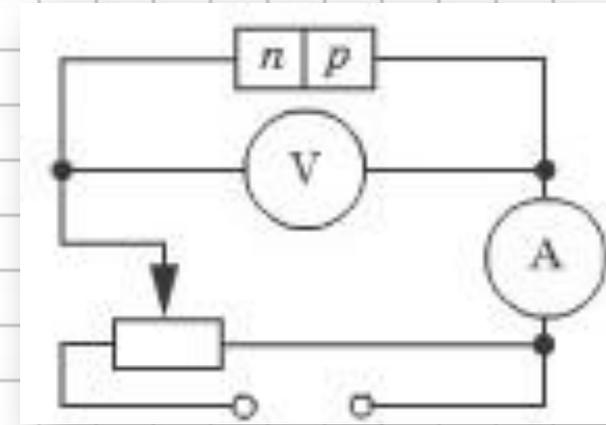
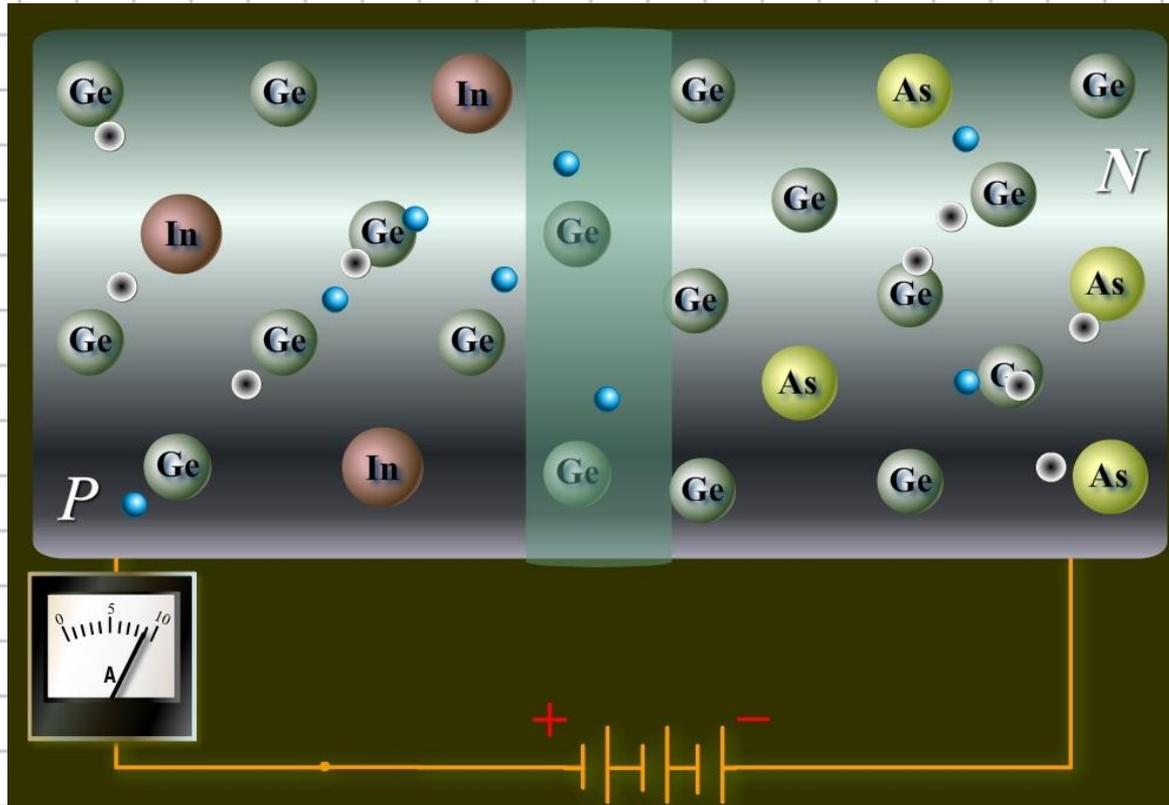
Такой полупроводник называется полупроводником **p – типа**, **основными носителями** заряда являются **дырки**, а примесь индия, дающая дырки, называется **акцепторной**

## Вопрос 4

**p – n** переход и его  
электрические свойства

# Р-Н-ПЕРЕХОД

*р-п-переход* – контактный слой двух примесных полупроводников р- и п-типа



При контакте электроны частично переходят в полупр. р-типа

Возникает запирающий слой

# ПРЯМОЕ И ОБРАТНОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ P-N-ПЕРЕХОДА

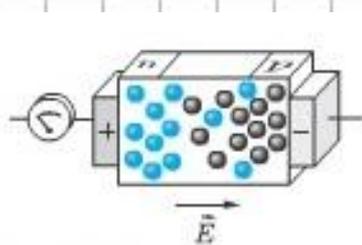
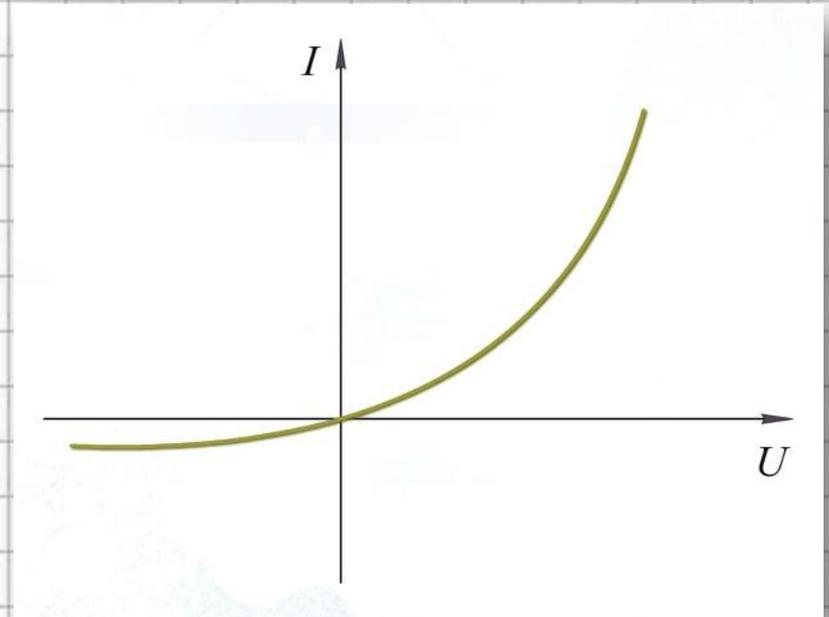
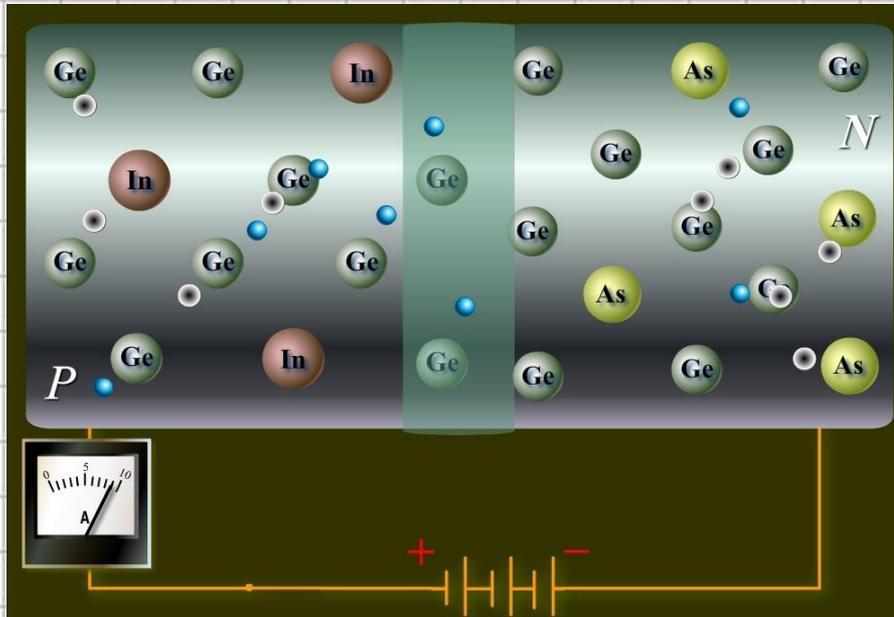
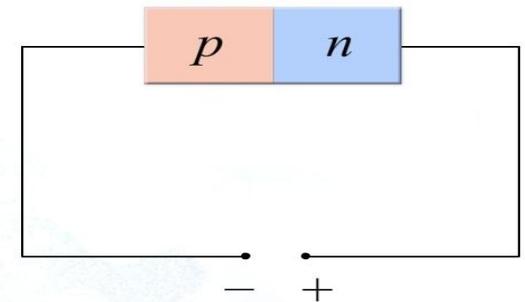
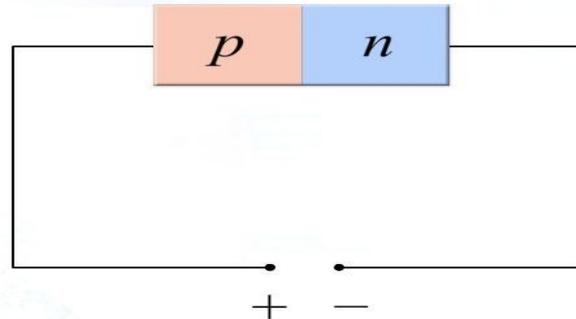


Рис. 16.14



# ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

*Диод – прибор с односторонней проводимостью.*

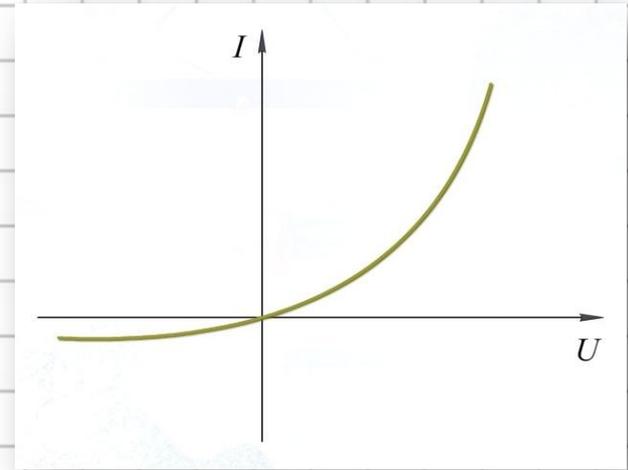
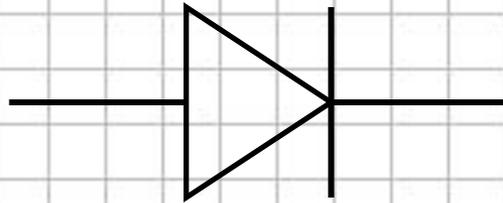
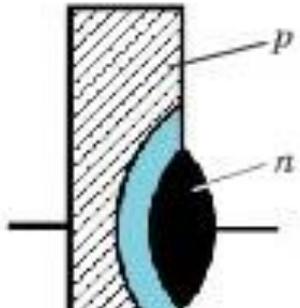
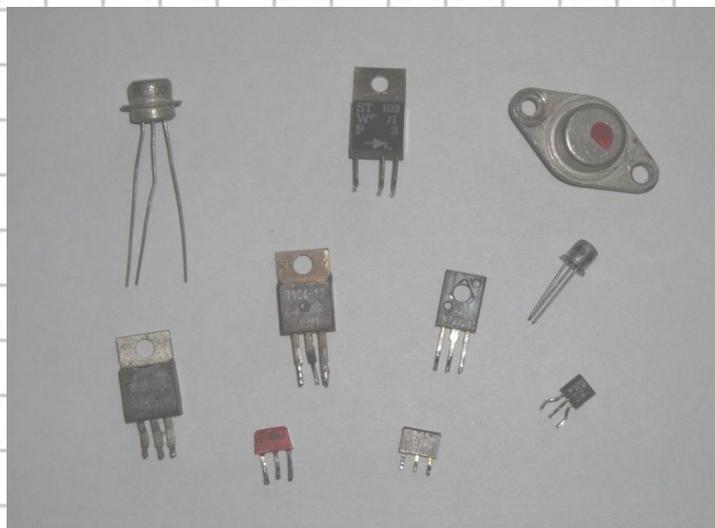
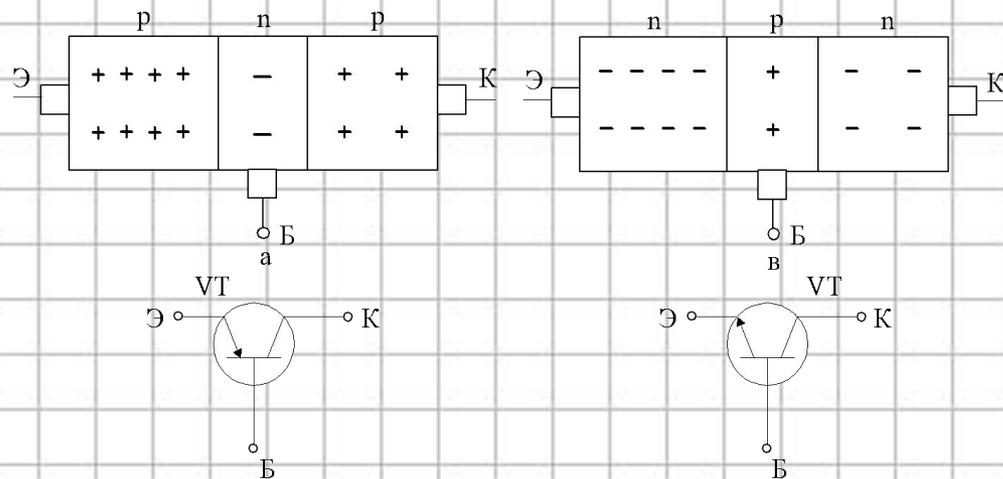


Рис. 16.15



# ТРАНЗИСТОРЫ

**Транзистор – полупроводниковый прибор с двумя p-n-переходами**



## Разные виды транзисторов.

Первый транзистор был создан в 1948 г. американскими учёными У. Шокли, У. Браттейном и Дж. Бардином.



Простейший полупроводниковый прибор — диод.



# Применение полупроводниковых диодов

Выпрямление переменного тока

Детектирование электрических сигналов

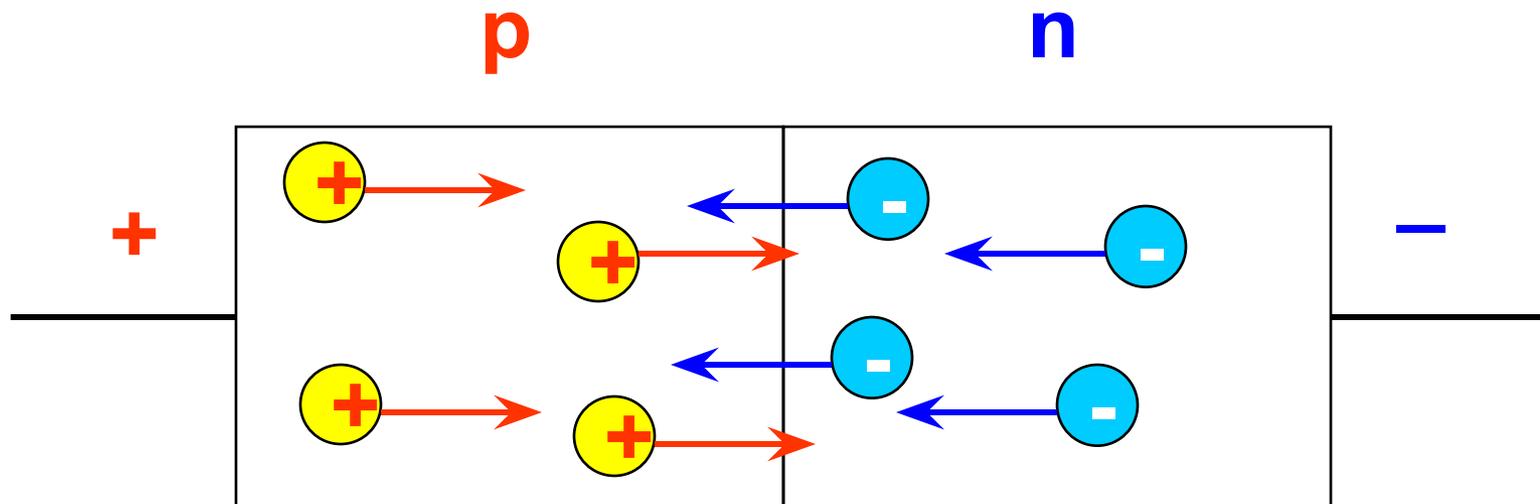
Стабилизация тока и напряжения

Передача и прием сигналов

Микропроцессорная техника и другое применение

Рассмотрим электрический контакт двух полупроводников  $p$  и  $n$  типа, называемый  $p-n$  переходом

## 1. Прямое включение

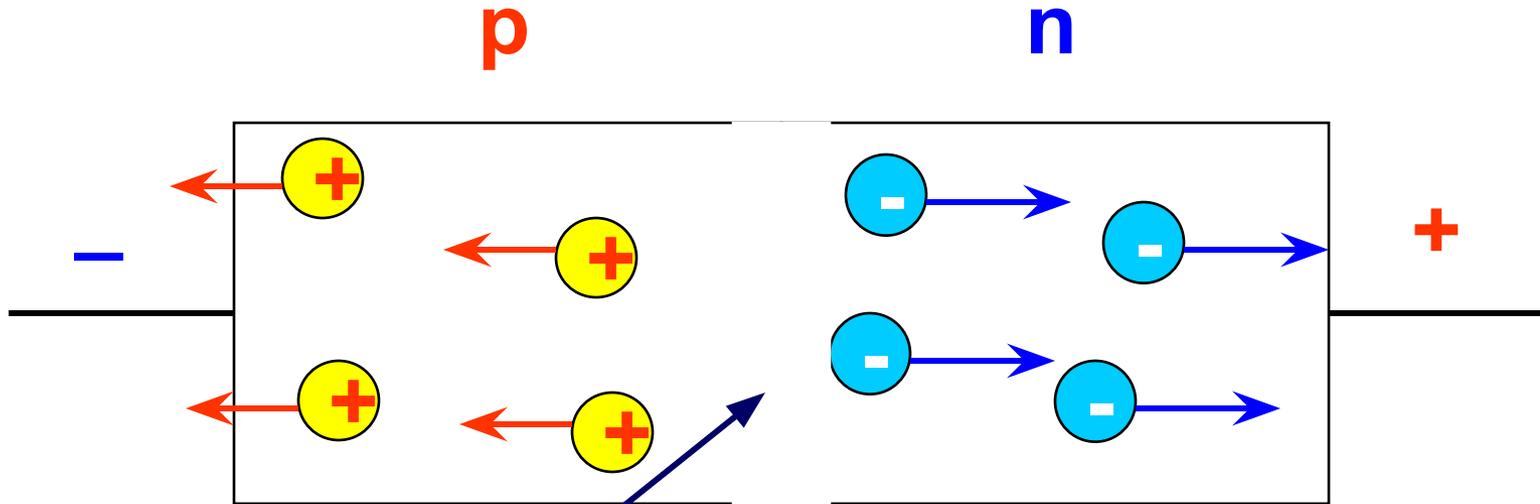


Ток через  $p-n$  переход осуществляется **основными носителями заряда** (дырки двигаются вправо, электроны – влево)

**Сопротивление перехода мало, ток велик.**

Такое включение называется **прямым**, в прямом направлении  $p-n$  переход **хорошо проводит электрический ток**

## 2. Обратное включение



Запирающий слой

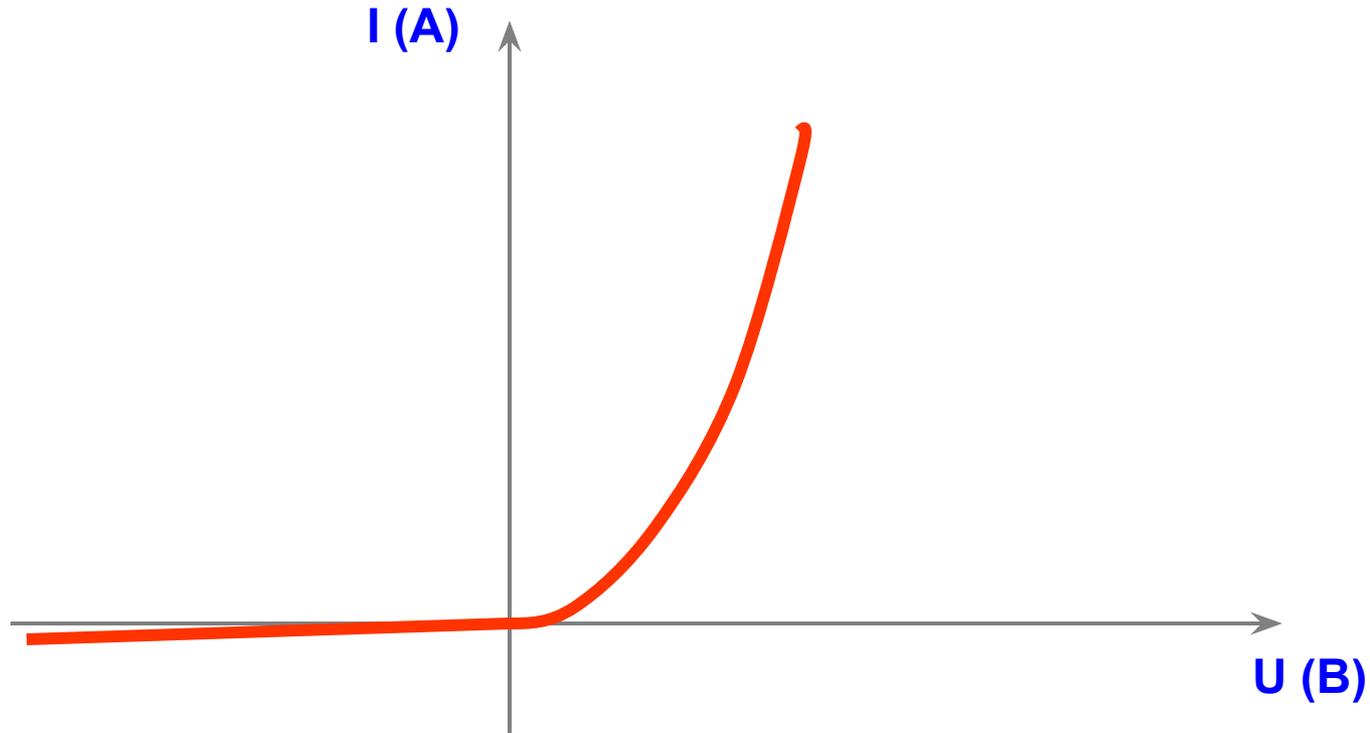
Основные носители заряда не проходят через  $p-n$  переход

**Сопротивление перехода велико, ток практически отсутствует**

Такое включение называется **обратным**, в обратном направлении  $p-n$  переход **практически не проводит электрический ток**

Итак, основное свойство  $p-n$  перехода заключается в его **односторонней проводимости**

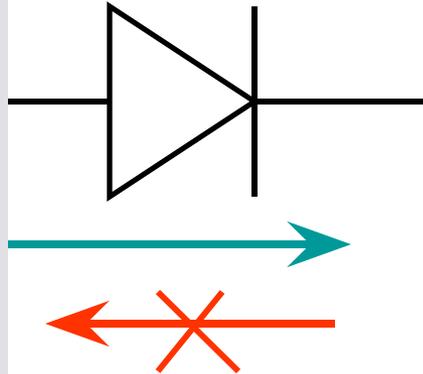
Вольт – амперная характеристика  $p-n$  перехода (ВАХ)



Вопрос 5

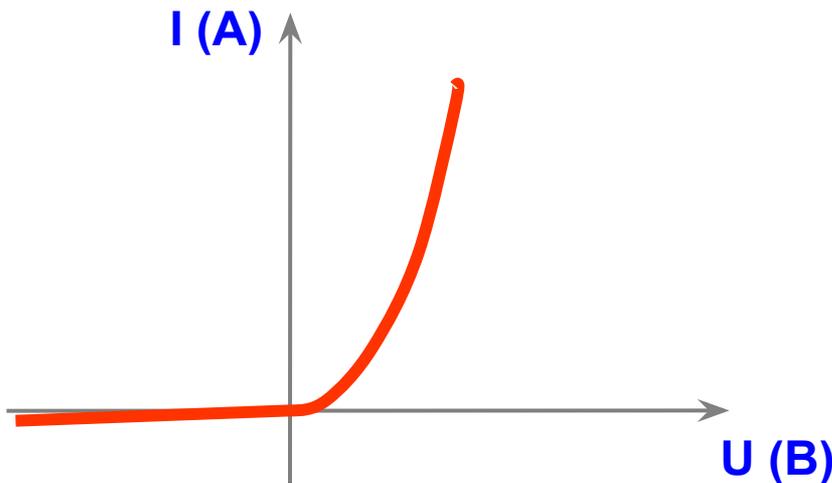
# **Полупроводниковый диод и его применение**

Полупроводниковый диод – это **p – n** переход, заключенный в корпус



Обозначение полупроводникового диода на схемах

Вольт – амперная характеристика полупроводникового диода (ВАХ)



Основное свойство диода – его односторонняя электрическая проводимость

**Применение  
полупроводниковых  
диодов**

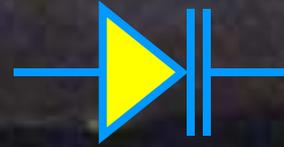
Выпрямление  
переменного тока

Детектирование  
электрических сигналов

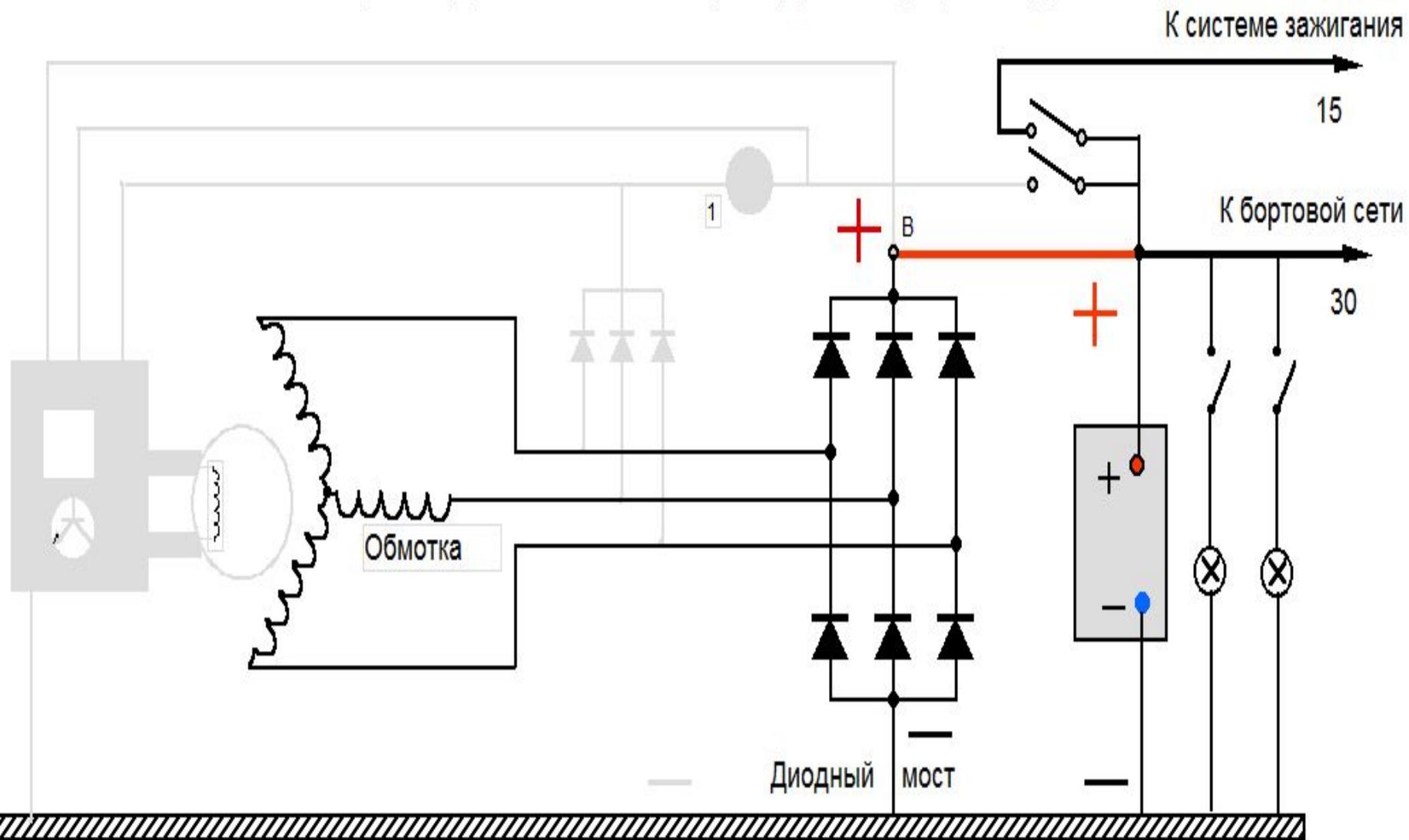
Стабилизация тока и  
напряжения

Передача и прием  
сигналов

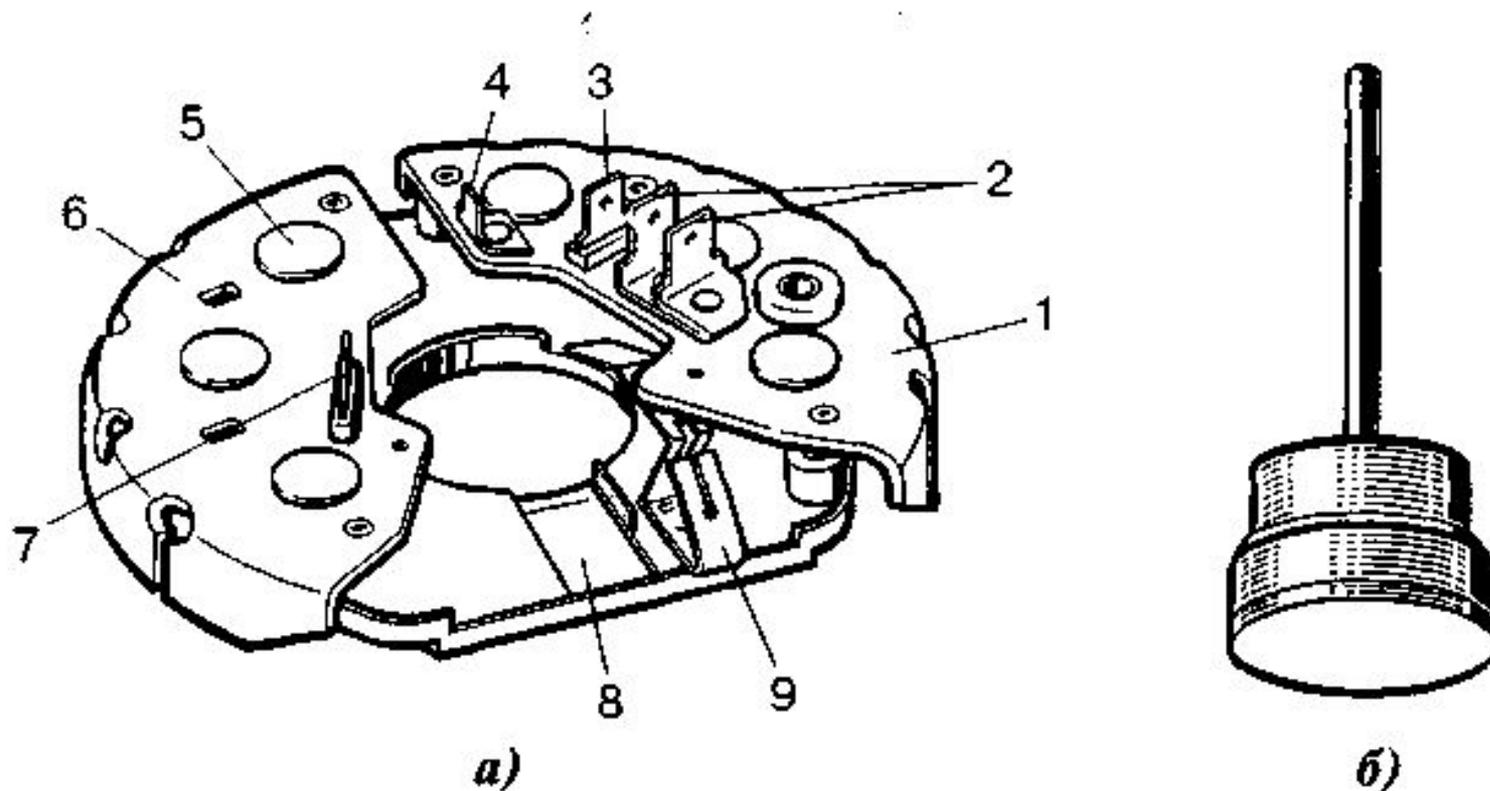
Прочие применения



# Подключение электрооборудования к генератору и аккумулятору

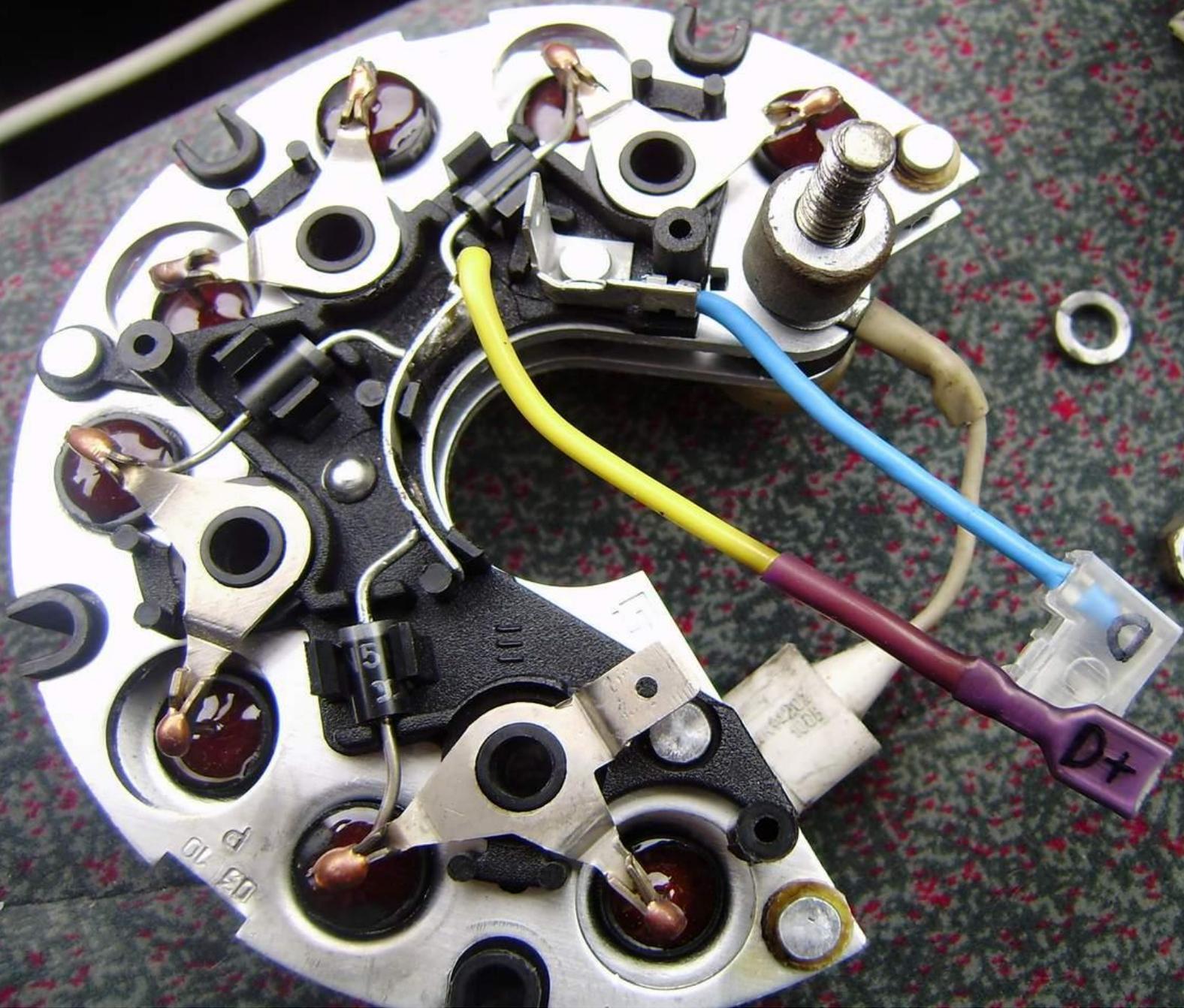


# Диодный мост в автомобильном генераторе.



**Рис. 16.** Выпрямительный блок генераторов К1, N1 фирмы Bosch

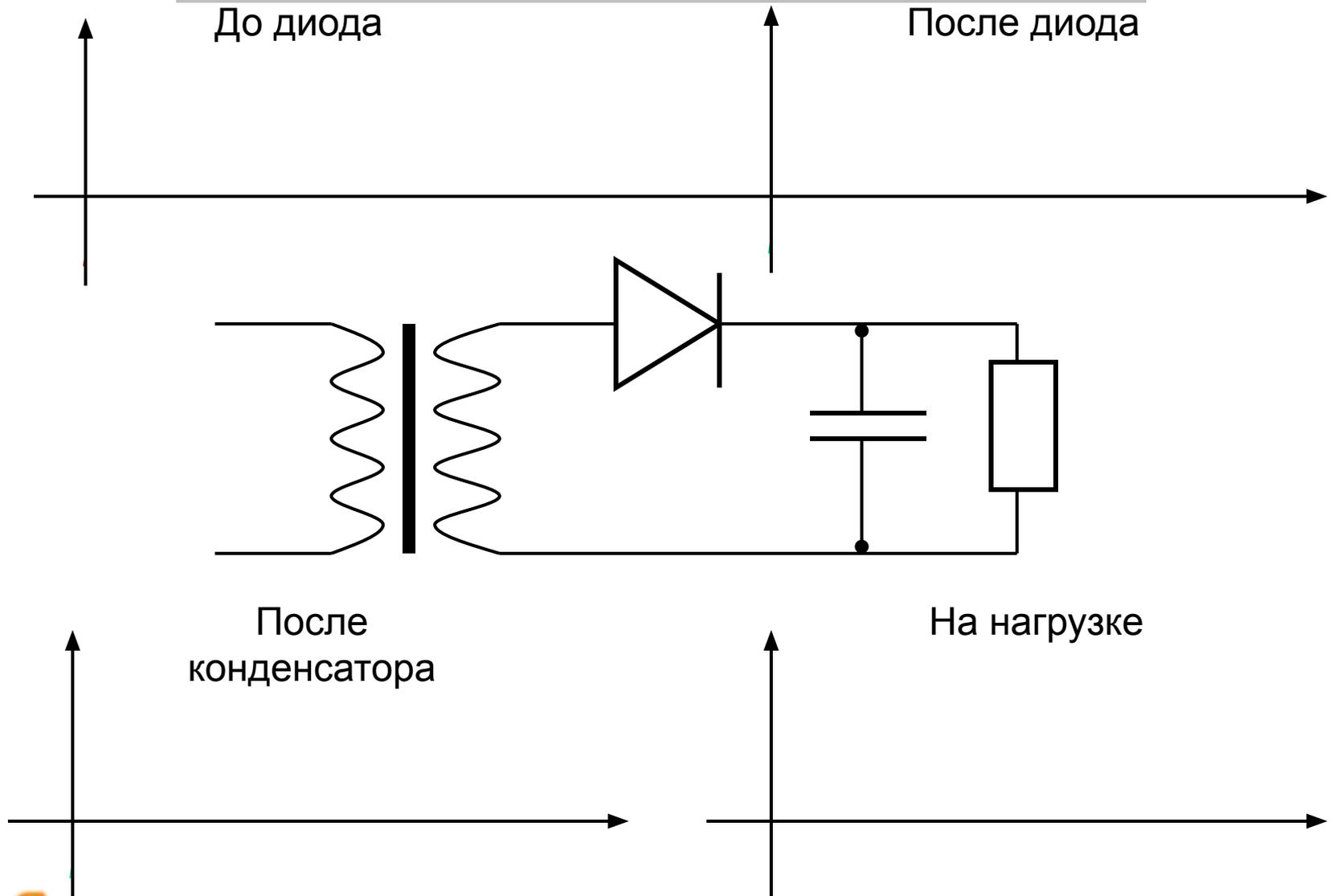
а - выпрямительный блок, б - диод выпрямительного блока; 1 - положительный теплоотвод; 2,8 - выходы "В+" генератора; 3 - вывод "D+" генератора; 4 - вывод "+" для конденсатора; 5 - запрессованный диод; 6 - отрицательный теплоотвод; 7 - вывод "W" генератора; 9 - пружинный вывод "D+"





51118516-1-15-012  
CQ1000110 13 150000111

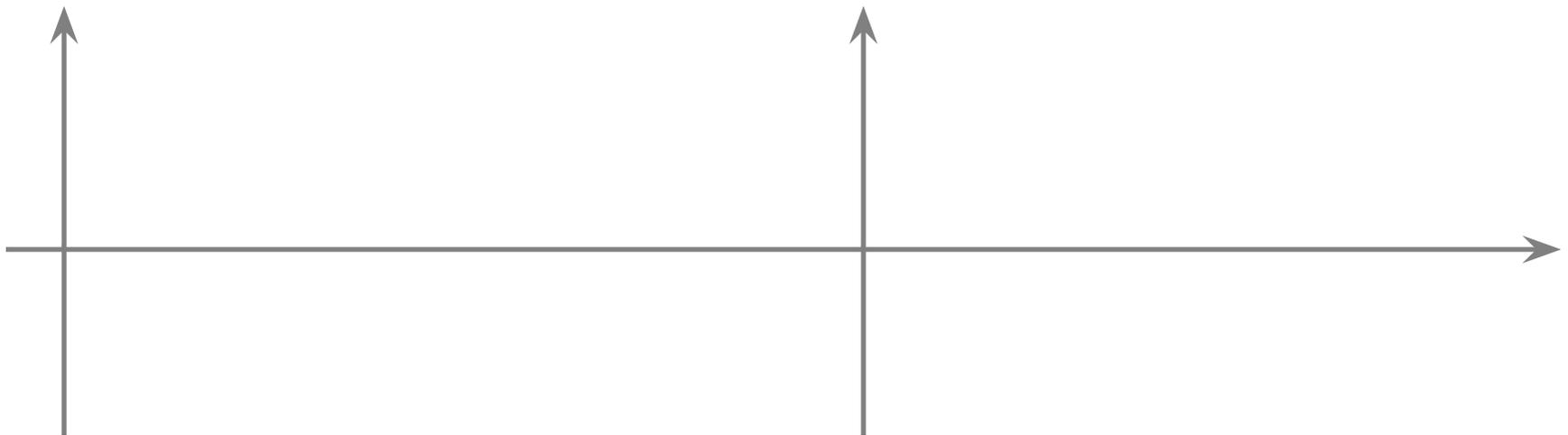
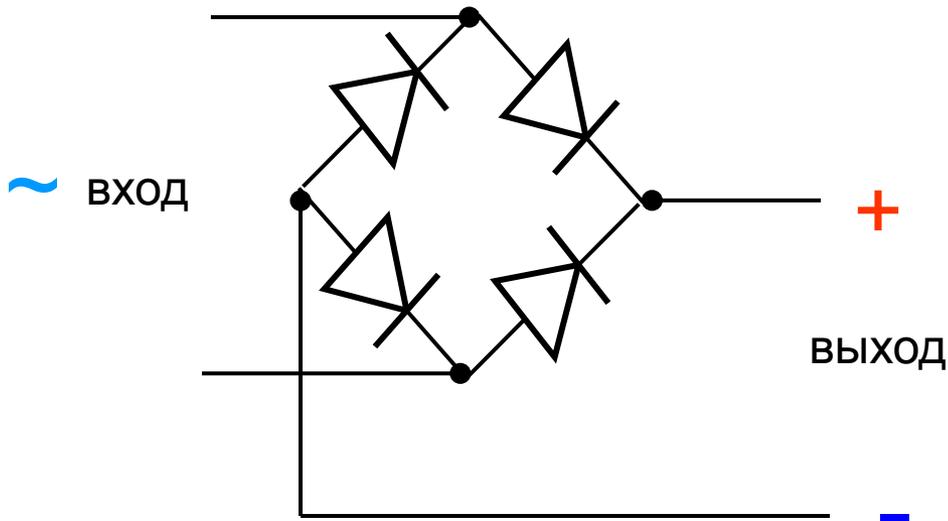
## Схема однополупериодного выпрямителя



?

Каковы недостатки выпрямителя на одном диоде

## Схема двухполупериодного выпрямителя (мостовая)



Вопрос 6

**Вопросы для контроля**

## Вопросы для контроля

1. Объясните характер проводимости полупроводников **p** – типа
2. Объясните характер проводимости полупроводников **n** – типа
3. На основе строения полупроводника объясните зависимость его сопротивления от температуры
4. Для чего легируют чистые полупроводники
5. Как, имея источник тока и лампочку, проверить исправность полупроводникового диода
6. Объясните принцип выпрямления переменного тока с помощью полупроводникового диода.