

# Зонная теория твердого тела

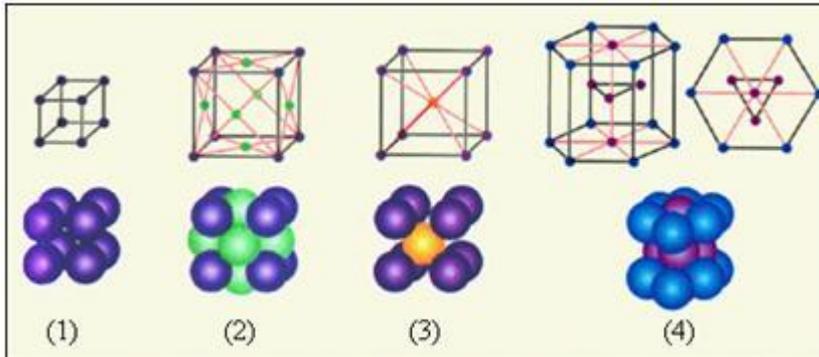
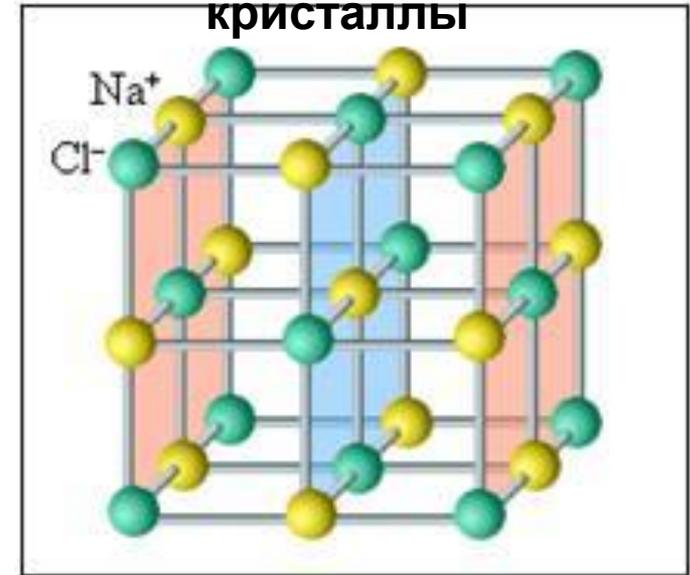
## **ВОПРОСЫ:**

- 1.Общая постановка задачи и пути ее решения.**
- 2.Метод слабой связи.**
- 3.Метод сильной связи.**
- 4.Зонная картина твердого тела.**
- 5.Диэлектрики, проводники, полупроводники**

# Модель строения твердых тел

1. Ионные кристаллы
2. Атомные кристаллы- ковалентная связь: алмаз, графит, германий, кремний
3. Молекулярные кристаллы- нафталин, парафин, сухой лед  $\text{CO}_2$ , лед  $\text{H}_2\text{O}$ .
4. Металлические кристаллы

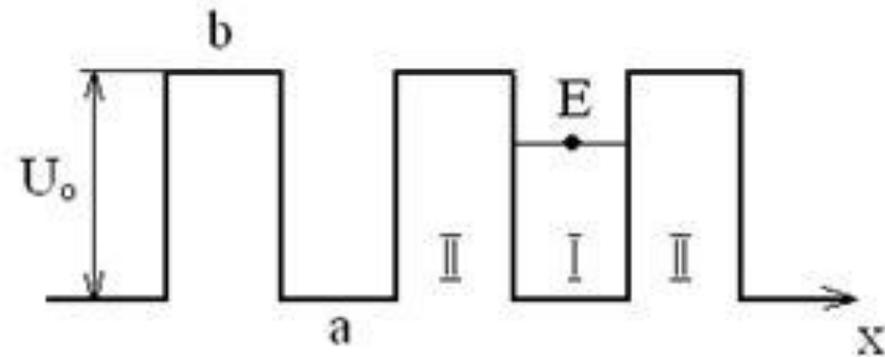
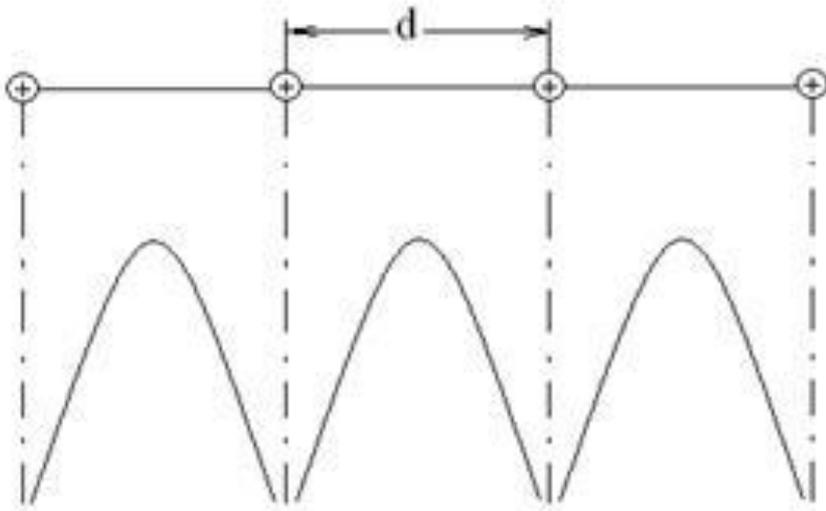
## 1. Ионные кристаллы



- Простые кристаллические решетки:*
- 1 – простая кубическая решетка;
  - 2 – гранецентрированная кубическая решетка;
  - 3 – объемноцентрированная кубическая решетка;
  - 4 – гексагональная решетка.

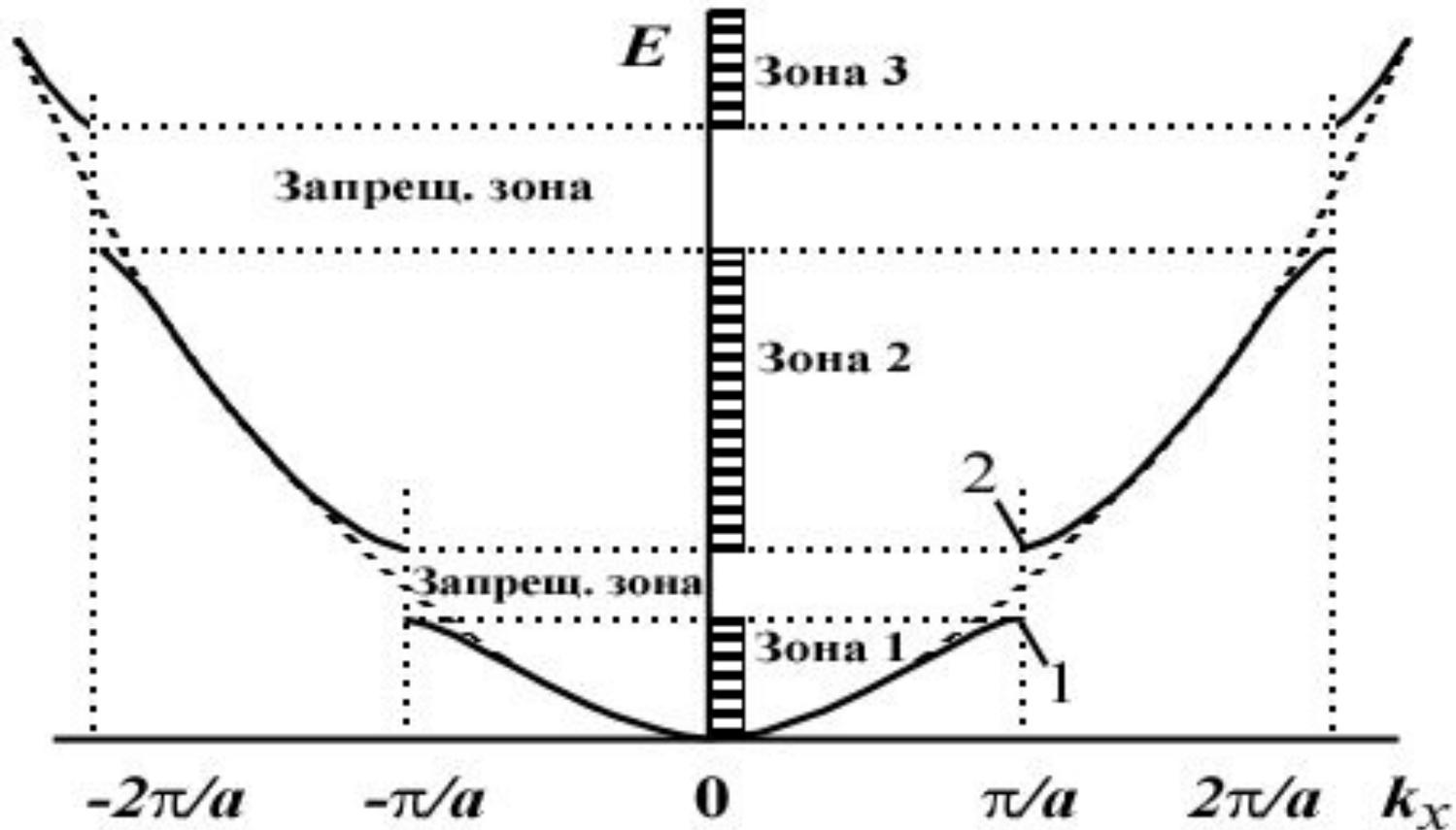
# МЕТОД СЛАБОЙ СВЯЗИ

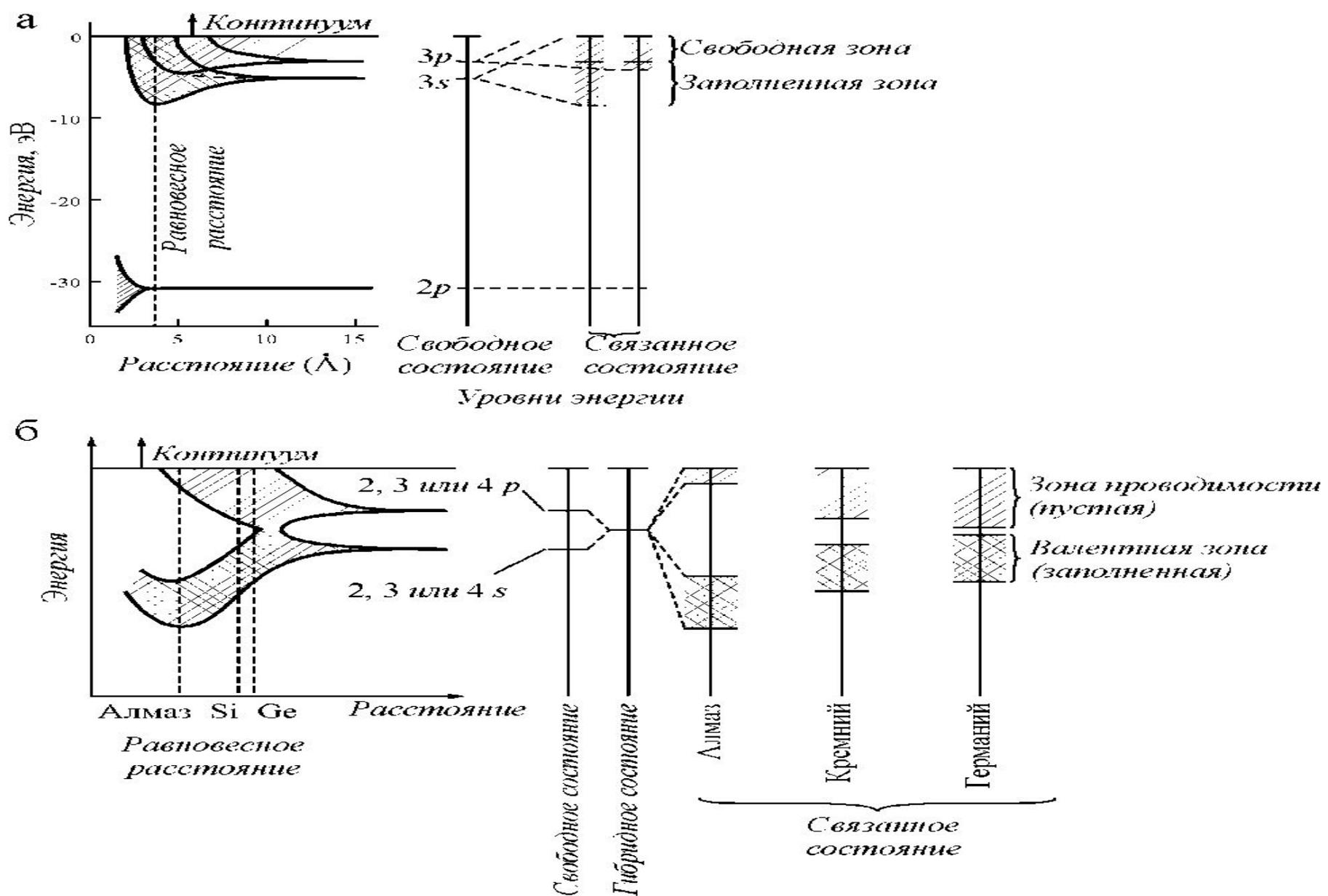
Рассматривается движение электронов в линейной цепочке прямоугольных потенциальных ям.



Зависимость энергии электрона от его волнового вектора в модели свободных электронов и в модели почти свободных электронов .

## Образование энергетических зон.

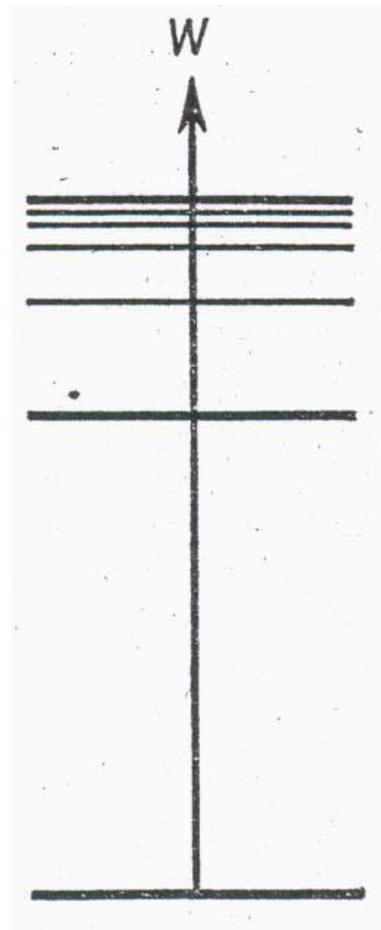
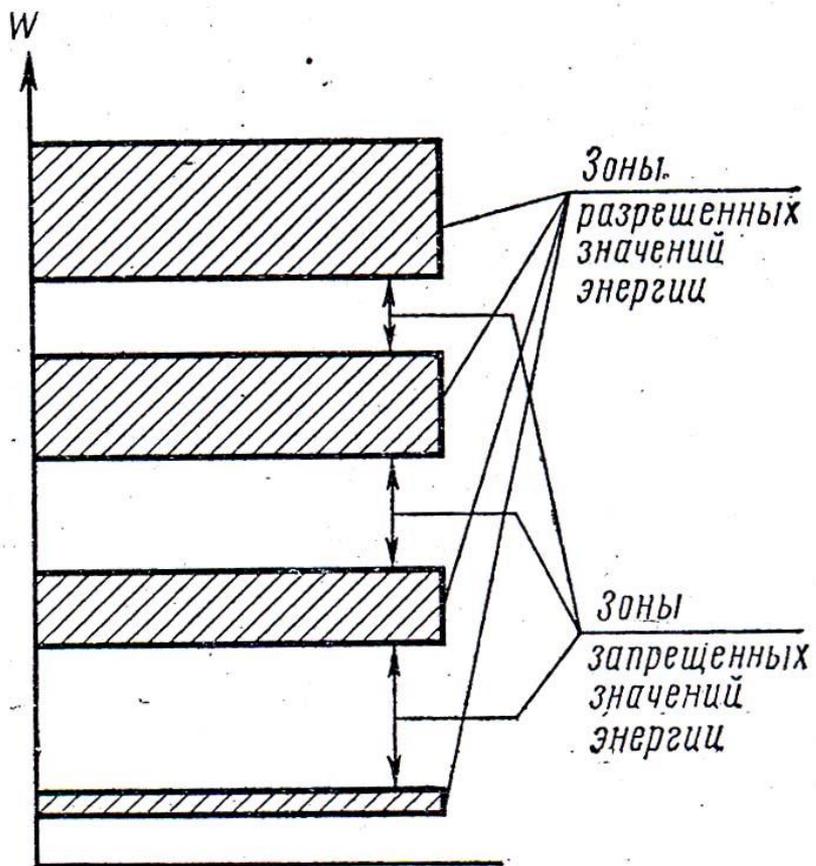




. Образование энергетических зон: а – в металлическом натрии; б – в элементах IV группы элементов: алмаз, кремний и германий [89]

# Зонная схема

(метод сильной связи)



# Деление твердых тел на проводники, полупроводники и диэлектрики

С позиций зонной теории различие в электрических свойствах твердых тел объясняется:

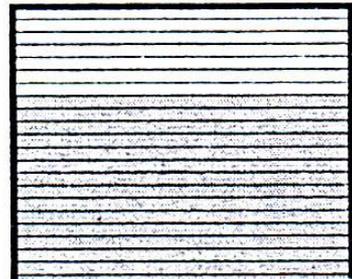
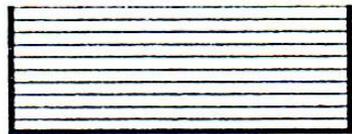
- а) шириной запрещенных зон;
- б) различным заполнением электронов разрешенных энергетических зон, а именно валентной зоны.

Необходимое условие проводимости — наличие свободных электронов в валентной зоне.

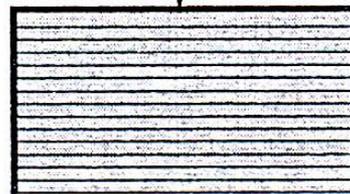
В зависимости от степени заполнения валентной зоны электронами и ширины запрещенной зоны кристаллы подразделяются на металлы, полупроводники и диэлектрики.



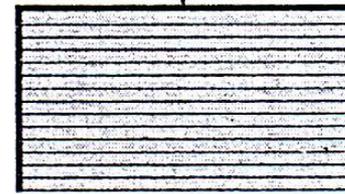
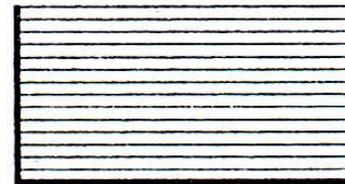
# Зонная схема металлов, полупроводников и диэлектриков



• *Металл*

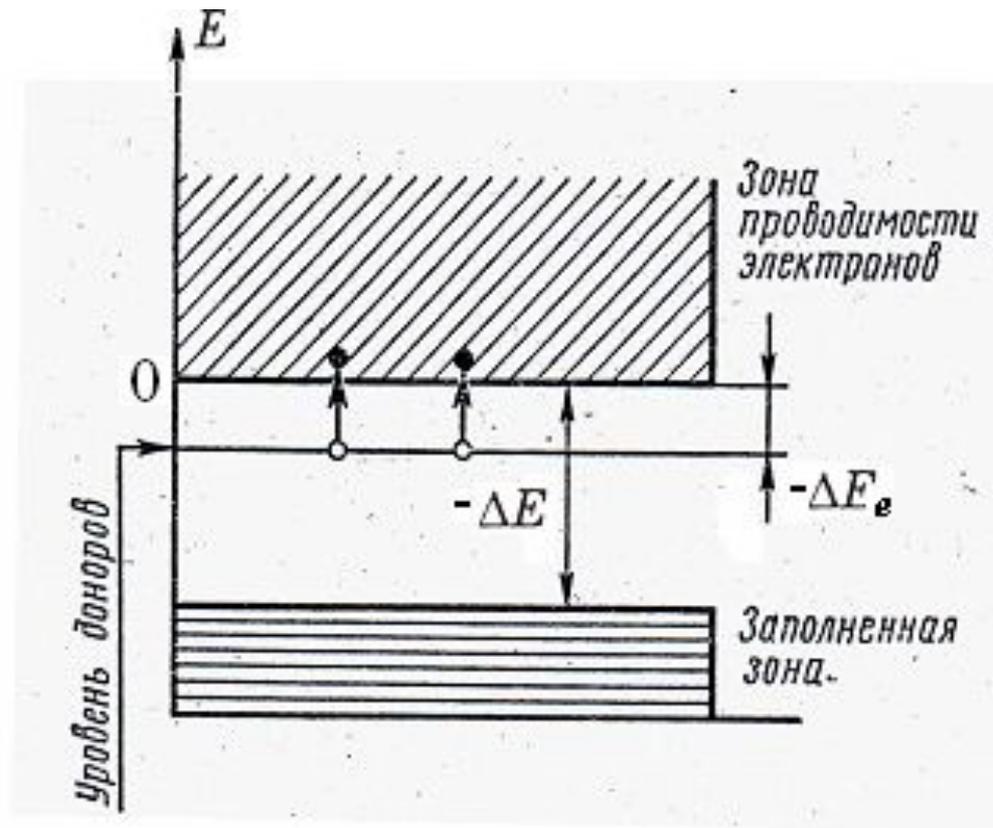


*Полупроводник*

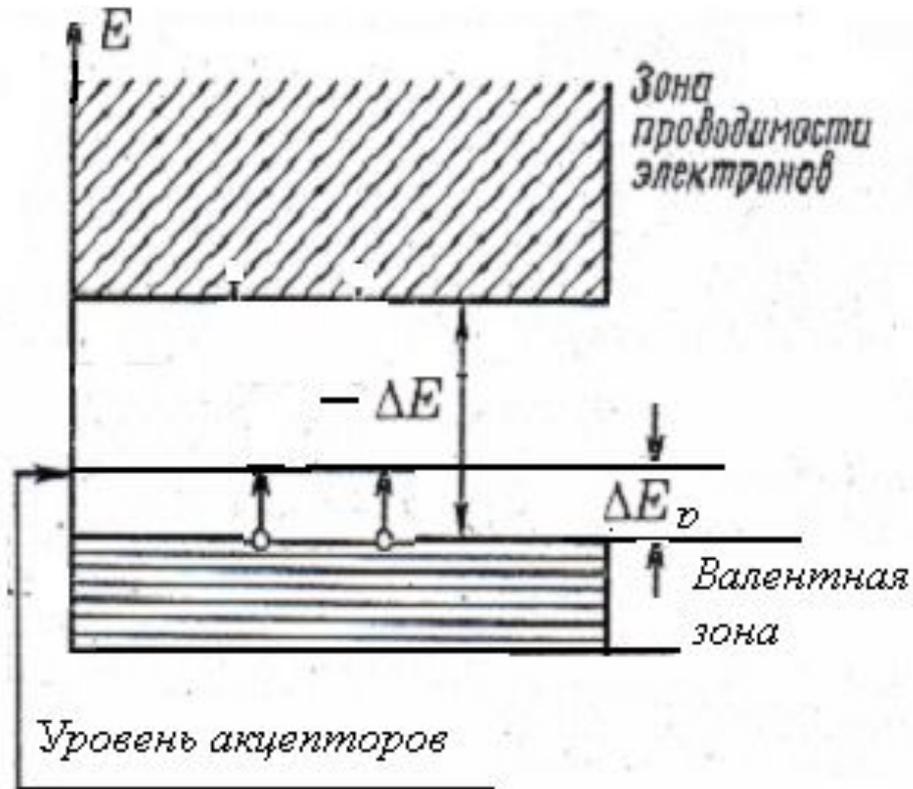


*Диэлектрик*

# Донорные уровни



# Акцепторные уровни



# Электропроводность металлов

Согласно квантовой теории проводимость металлов

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}.$$

$\tau$  – время релаксации.

В проводимости участвуют не все электроны, а только те из них, которые имеют энергию вблизи уровня Ферми. Это – малая часть всех свободных электронов

Физическая причина электрического сопротивления – рассеяние электронных волн на примесях и дефектах решетки, а также на ее тепловых колебаниях.

# Собственная проводимость полупроводников

У полупроводников и диэлектриков валентная зона полностью заполнена электронами. При  $T=0$  К они могут принять участие в проводимости, если им сообщить энергию, превышающую энергию запрещенной зоны и они перейдут в свободную зону. Свободная зона станет для них зоной проводимости.

Уровень Ферми, как показывает расчет, расположен в собственных полупроводниках и диэлектриках посередине запрещенной зоны и не связан с реальным электроном.

Собственная проводимость полупроводников зависит от температуры по закону

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{2kT}}.$$

Наиболее важными собственными полупроводниками являются кремний (Si  $Z=14$ ) и германий (Ge  $Z=32$ ).

Элементарные полупроводники:

Ge, Si, углерод (алмаз и графит), B,  
 $\alpha$ -Sn (серое олово), Te, Se.

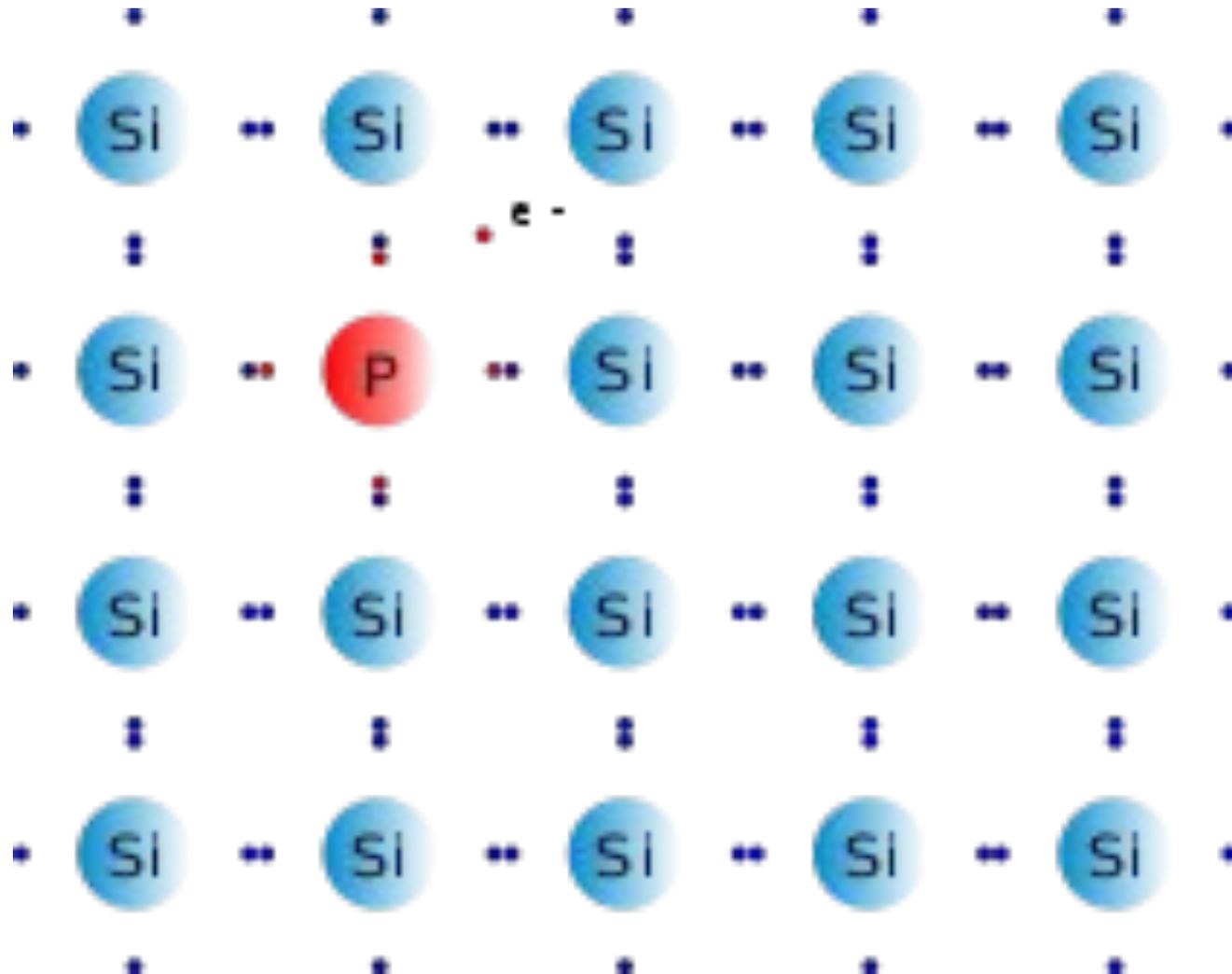
Важнейшие представители группы —

**Ge** и **Si**

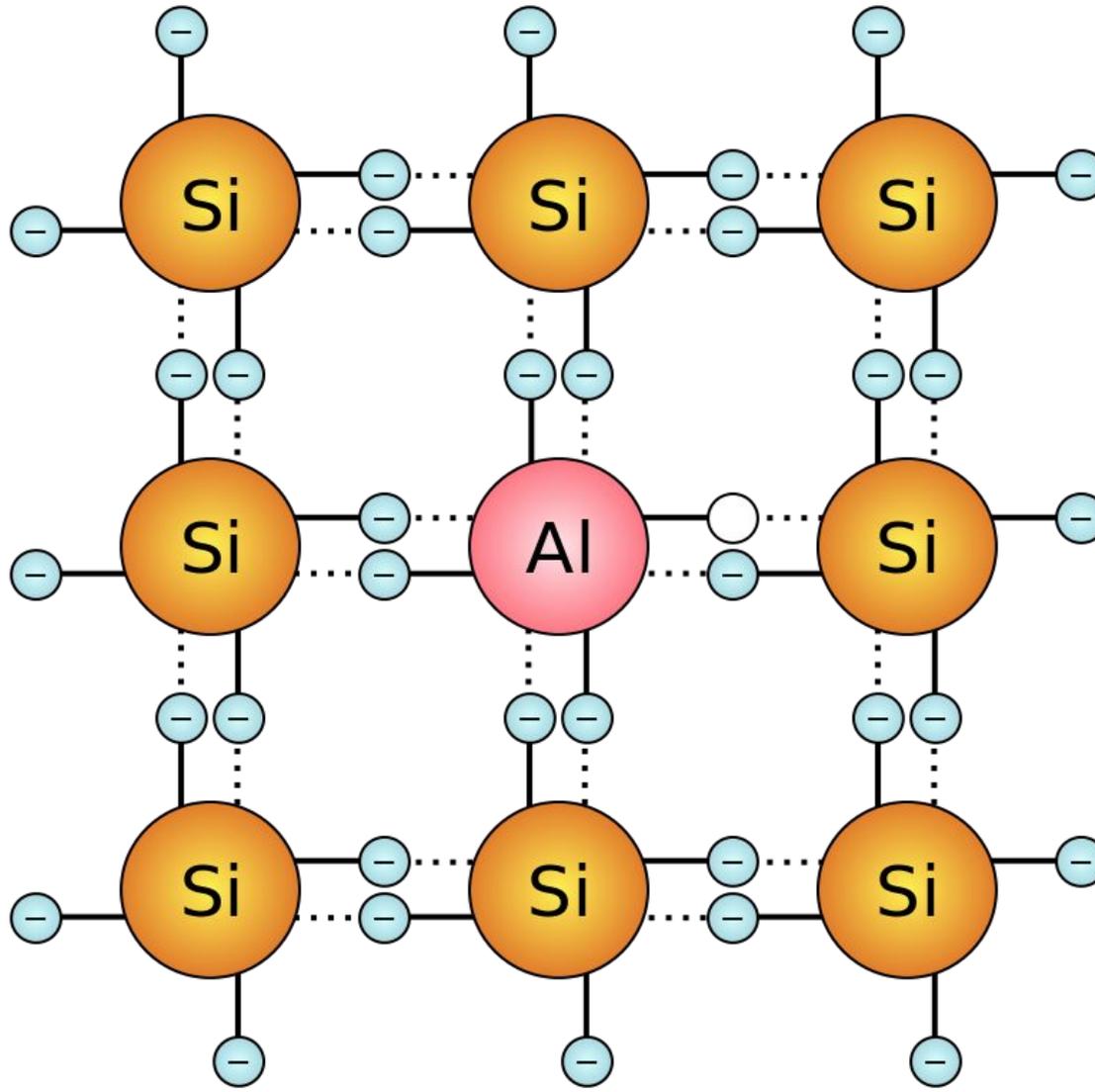
имеют кристаллическую решётку типа алмаза  
(алмазоподобны).

Примесный полупроводник n-типа.

Атом 5-ти валентного фосфора в 4-х валентный кремний



Примесный полупроводник **p**-типа.  
Атом 3-х валентного алюминия в 4-х валентный кремний



# Уровень Ферми в собственном полупроводнике

