

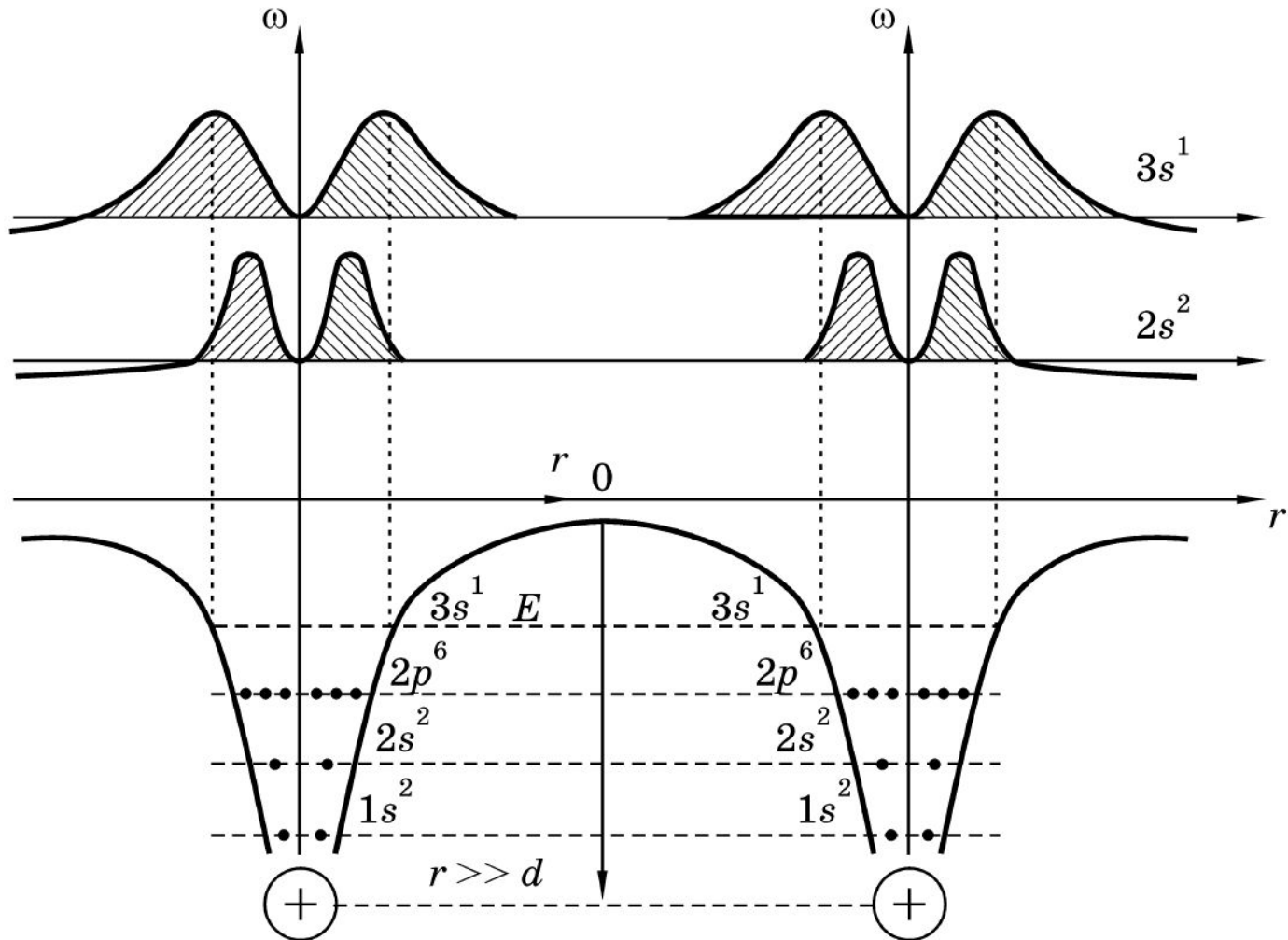
# Электронны в кристаллах.

## §9 Приложения зонной теории.

*План:*

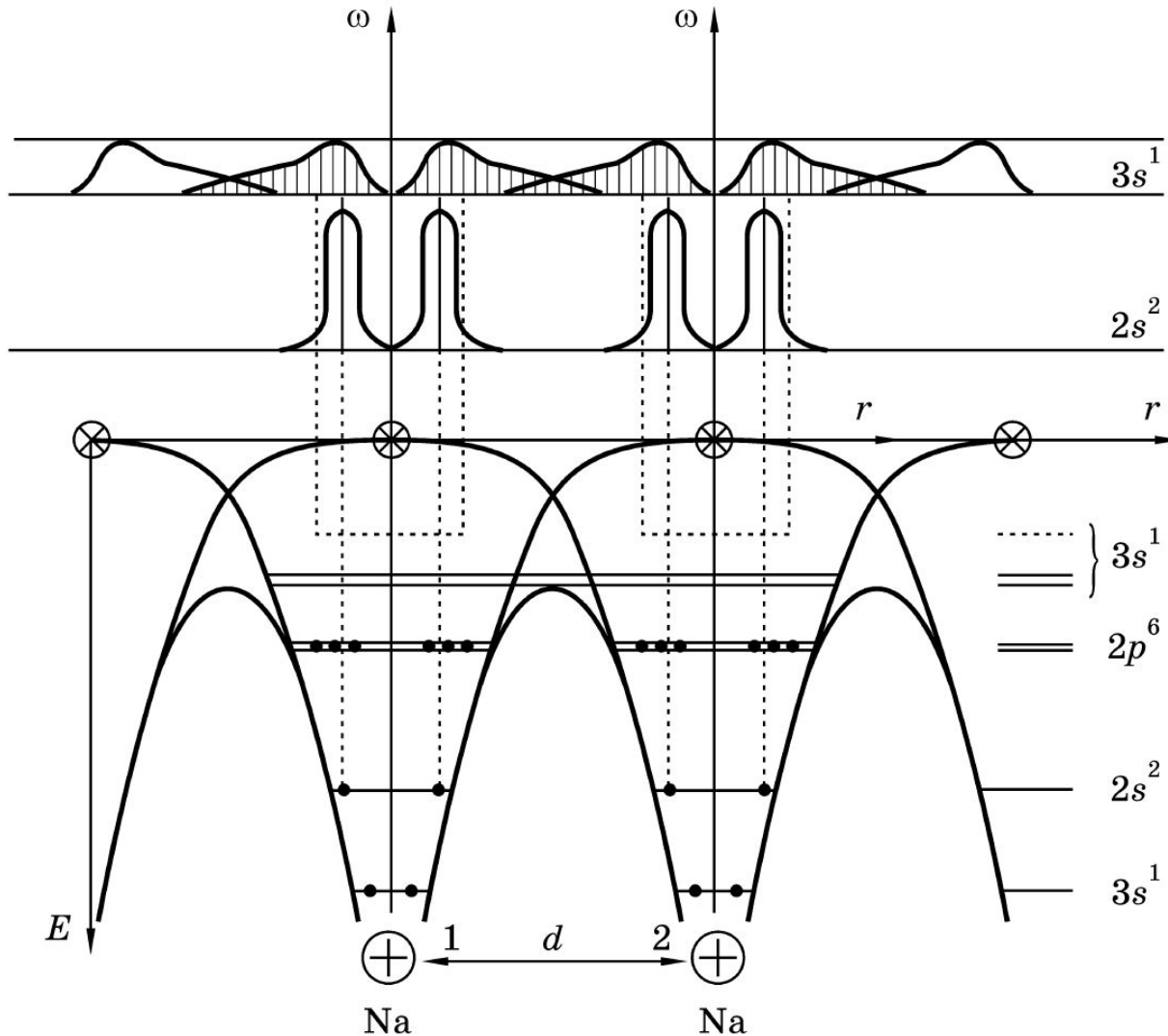
- 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра.*
- 2. Электропроводность кристаллов.*
- 3. Теплоемкость электронного газа.*

# 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра



Энергетическая схема  
двух изолированных атомов натрия

# 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра



Энергетическая схема двух атомов натрия, сближенных на расстояние, равное параметру решетки кристалла натрия

# 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра

$$D = \exp\left[-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m(U-E)}d\right] \quad (1)$$

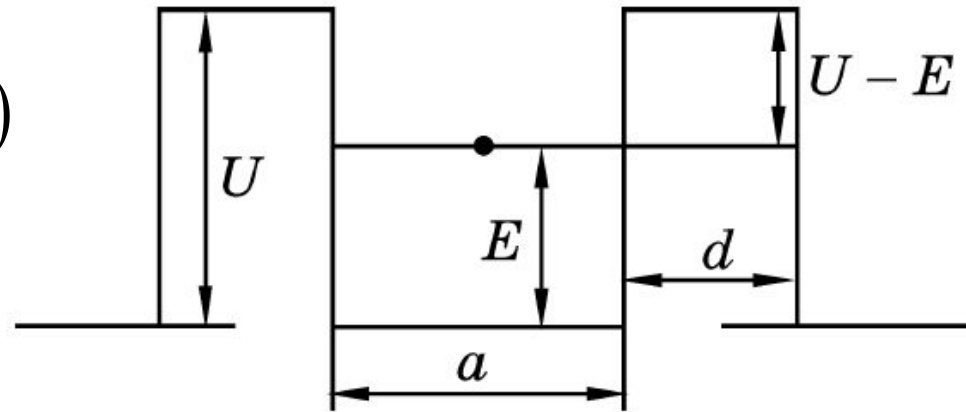
$\frac{\nu}{a}$  раз

Умножая  $\frac{\nu}{a}$  на  $D$

$$\nu \cong \frac{\nu}{a} \exp\left[-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m(U-E)}d\right] \quad (2)$$

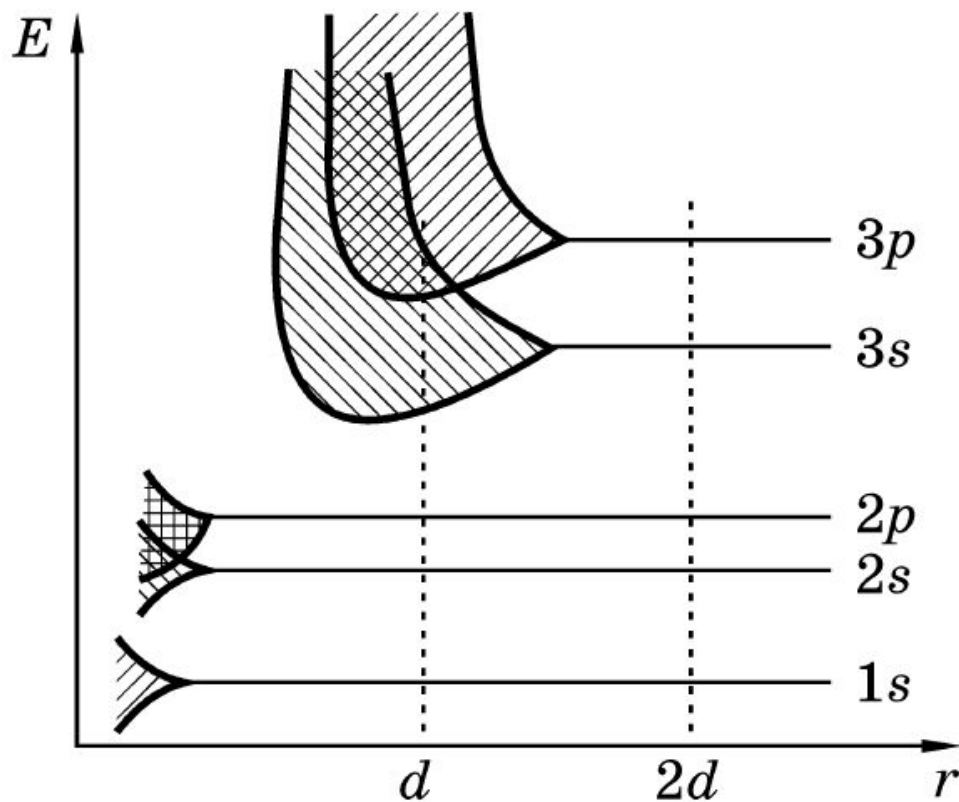
$$d = 1 \text{ \AA} \quad \nu \cong 10^{15} \text{ с}^{-1} \quad \tau \cong 10^{-15} \text{ с}$$

$$\Delta E \approx 1 \text{ эВ} \quad 10^{-7} \text{ эВ}$$



Прямоугольный  
потенциальный барьер  
конечной ширины

# 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра

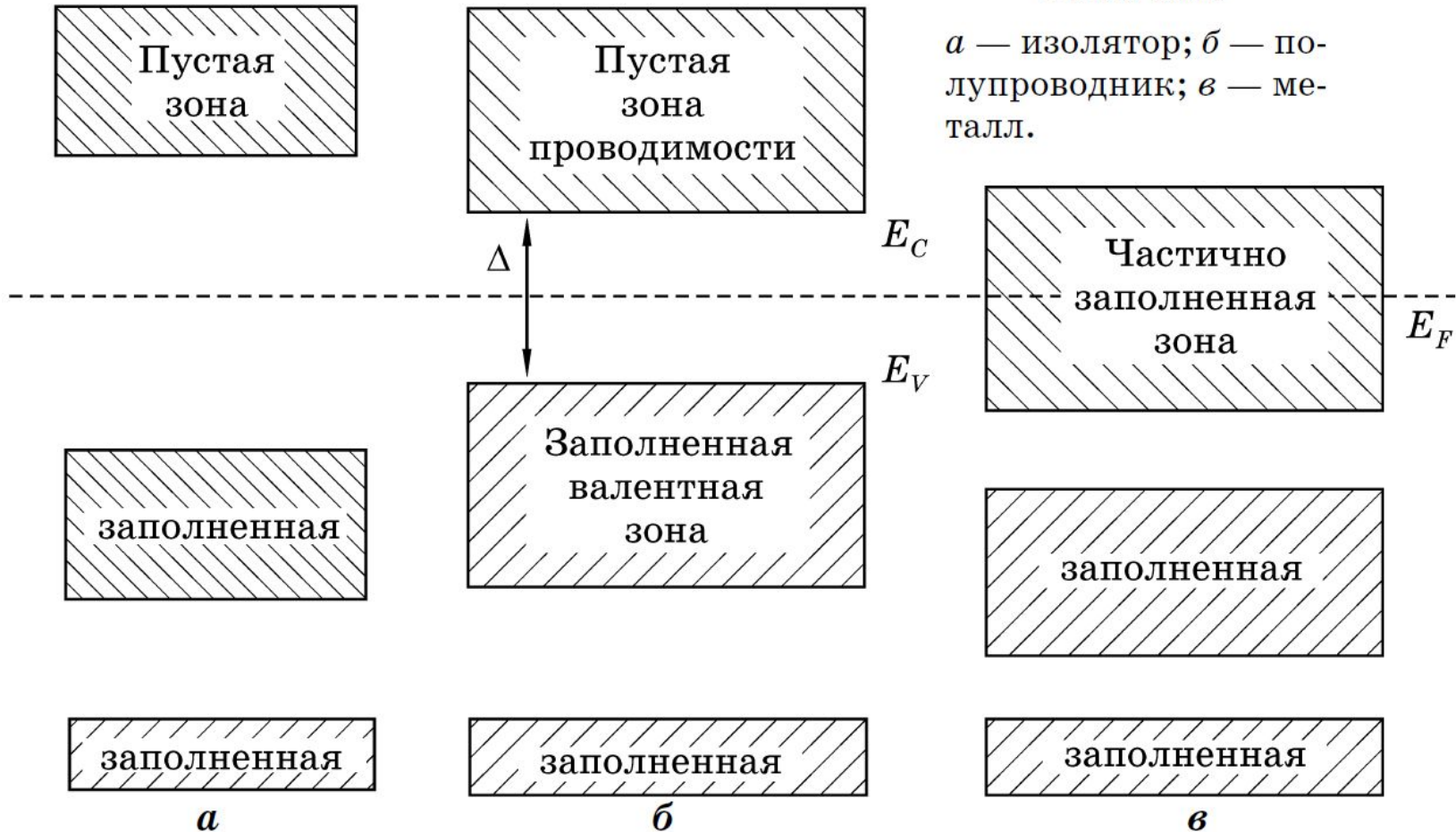


*Расширение энергетических уровней при сближении атомов натрия*  
 $d$  — межатомное расстояние в кристалле натрия.

# 1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра

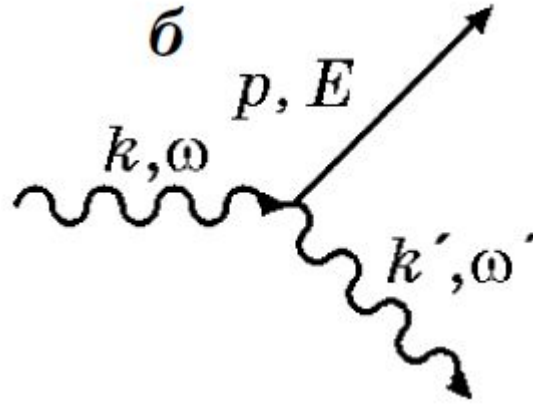
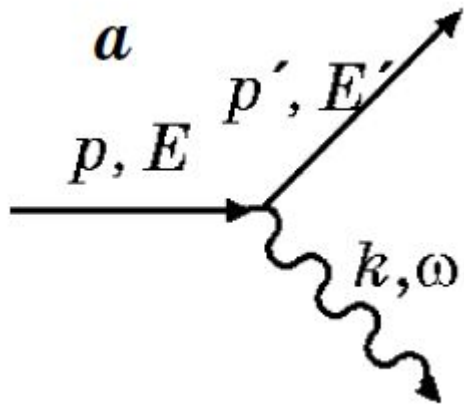
Схема энергетических зон:

*a* — изолятор; *б* — полупроводник; *в* — металл.



$$\exp\left(-\frac{\Delta}{KT}\right)$$

## 2. Электропроводность кристаллов



*Схемы рассеяния  
электронов на  
фононах*

$$a = \frac{F}{m^*} = \frac{eE}{m^*} \quad F = eE \quad v_{cp} = \frac{eE\tau}{m^*} \quad (3)$$

$$\mu = \frac{e\tau}{m^*} \quad (4) \quad \sigma = \frac{j}{E} = \frac{nev_{cp}}{E}$$

$$\sigma = \frac{nev_{cp}}{E} = \frac{e^2}{m^*} n\tau = en\mu \quad (5)$$

## 2. Электропроводность кристаллов

$$\tau = \frac{\lambda}{v_F} \quad (6)$$

$$\lambda \sim T^{-1} \quad (7)$$

$$\mu \sim \tau \sim \frac{1}{T} \quad (8)$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{en\mu}$$

$$\mu \sim v_F^3 = \text{const} \quad (9)$$



### 3. Теплоемкость электронного газа

$$\frac{4\pi p_F^2 dp_F}{\left(\frac{4}{3}\right)\pi p_F^3} \approx 3 \frac{dp_F}{p_F} \quad (10)$$

$$E = \frac{p^2}{2m}, \quad dE_F \approx 2kT$$

$$\frac{dp_F}{p_F} = \frac{1}{2} \frac{dE_F}{E_F} \approx \frac{kT}{E_F} \quad (11)$$

$$\frac{4\pi p_F^2 dp_F}{\left(\frac{4}{3}\right)\pi p_F^3} \approx \frac{3kT}{E_F}$$

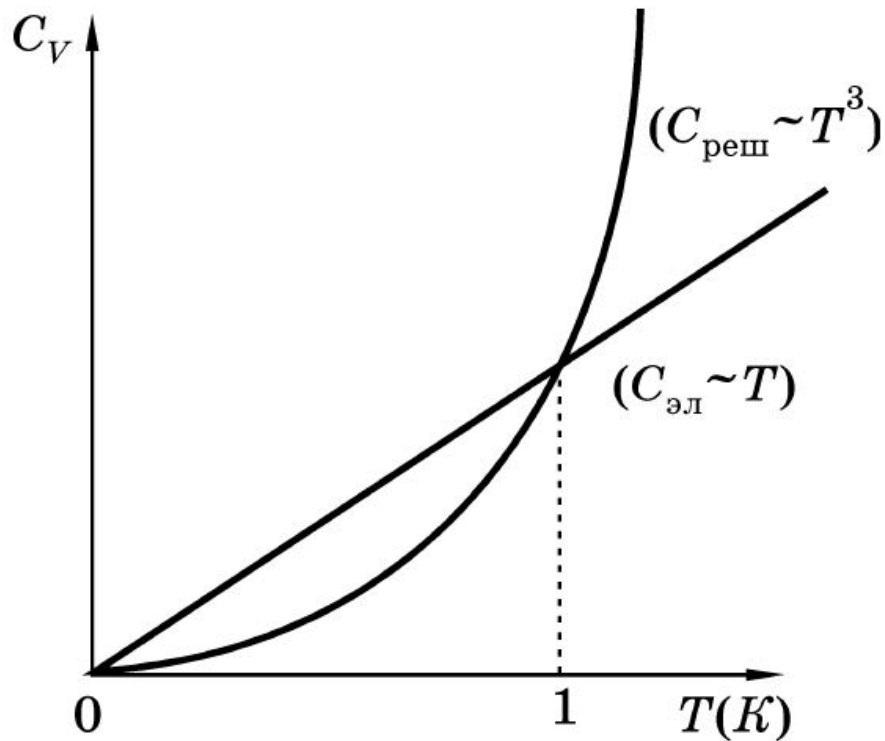
$$T = 300 \text{ К} \quad \text{менее } 1\%$$

$$C_{\text{э}} \approx \frac{3}{2} kn \frac{3kT}{E_F} \quad n = N_A$$

$$C_{\text{э, моль}} = \frac{9}{2} k \frac{RT}{E_F}$$

$$C_{\text{э, моль}} = \frac{\pi^2}{2} k \frac{RT}{E_F} \quad (12)$$

### 3. Теплоемкость электронного газа



$$C_V = \gamma T + AT^3 \quad (13)$$

$$\gamma = \frac{\pi^2}{3} k^2 D(E_F)$$

$$\frac{C_V}{T} = \gamma + AT^2 \quad (14)$$

$T = 0$  К дает значения  $\gamma$

*Зависимость теплоемкости от температуры*