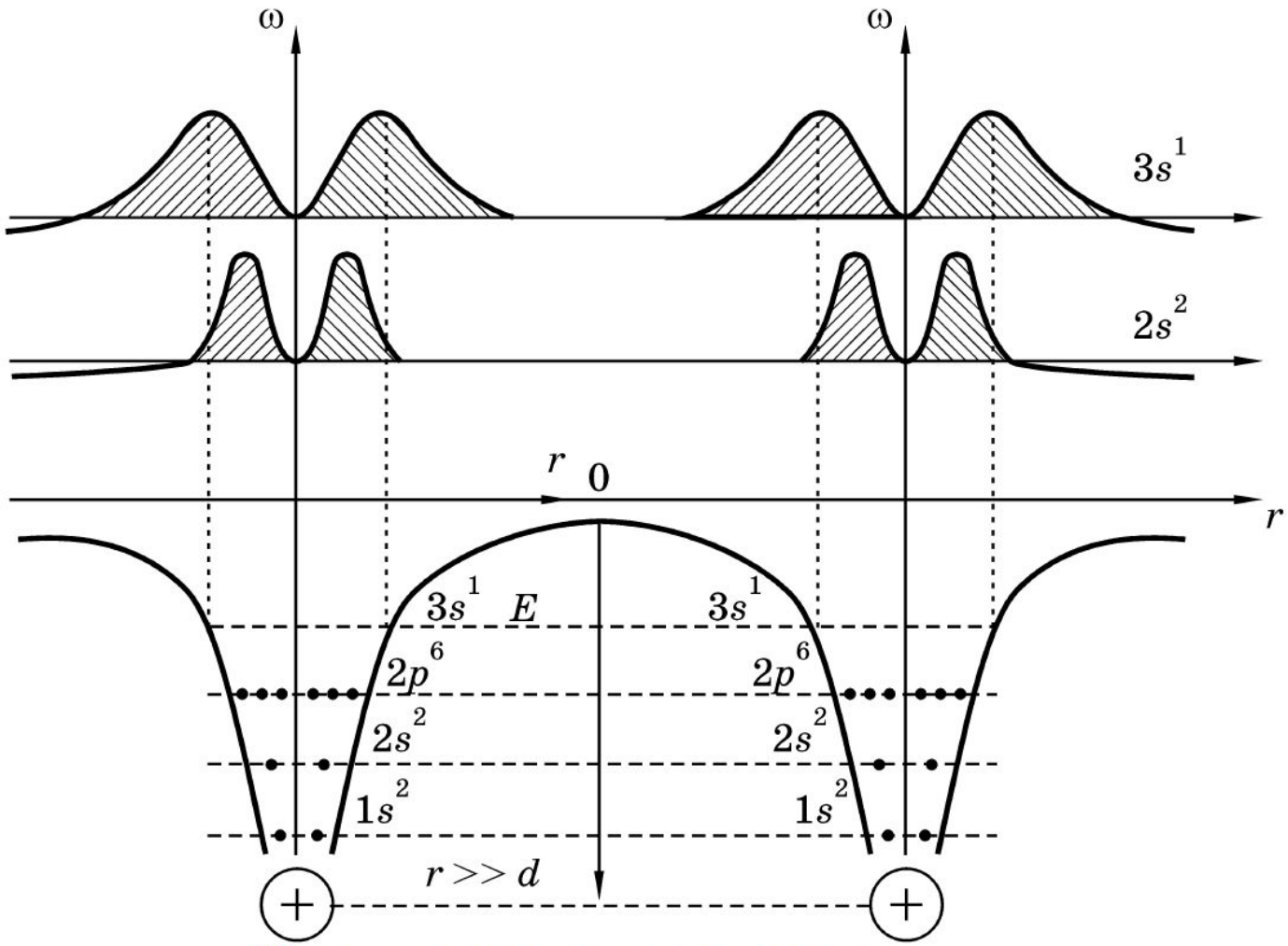
Электроны в кристаллах.
§9 Приложения зонной теории.

План:

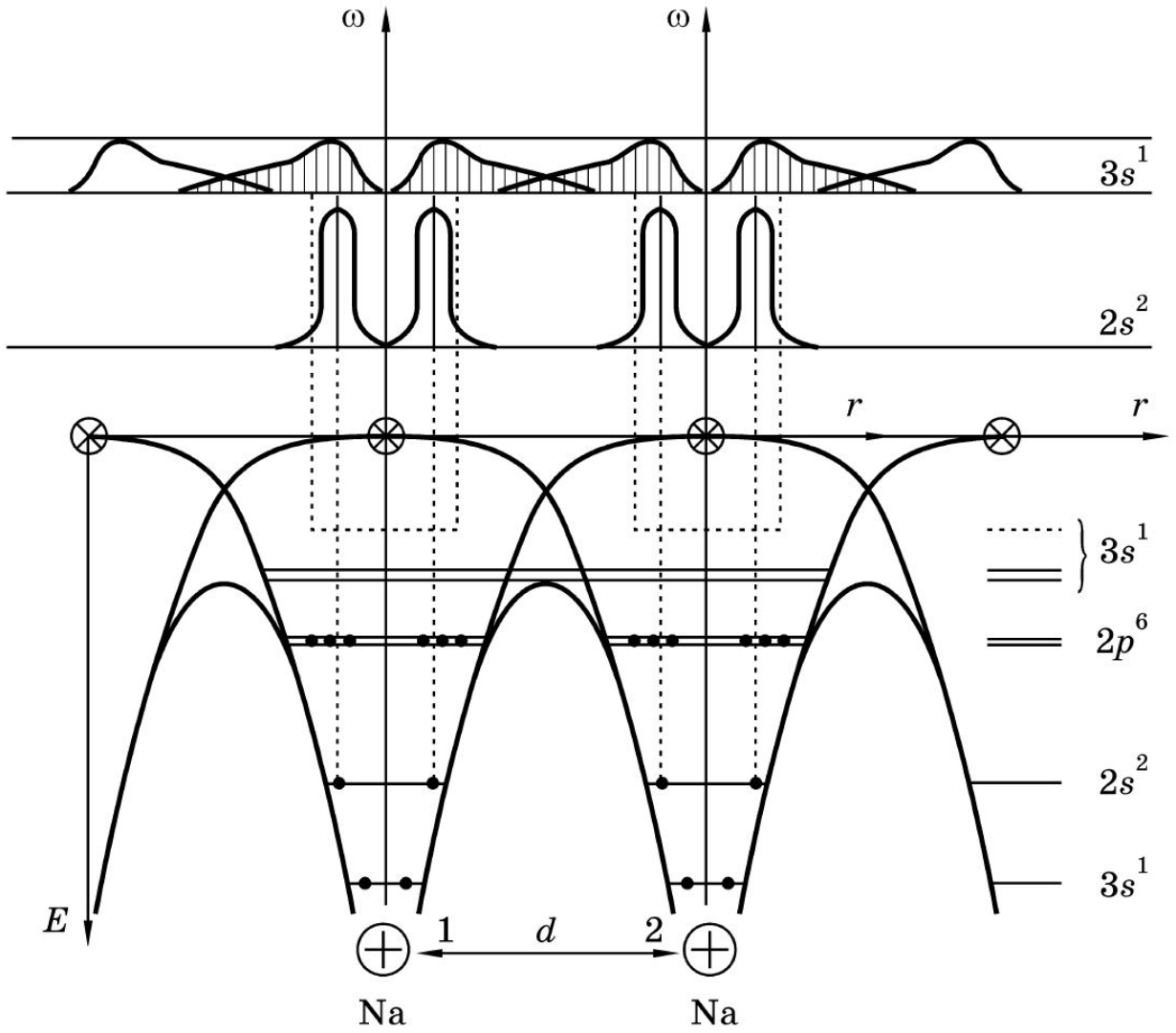
1. *Классификация твердых тел по типу энергетического спектра.*
2. *Электропроводность кристаллов.*
3. *Теплоемкость электронного газа.*

1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра



Энергетическая схема двух изолированных атомов натрия

1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра

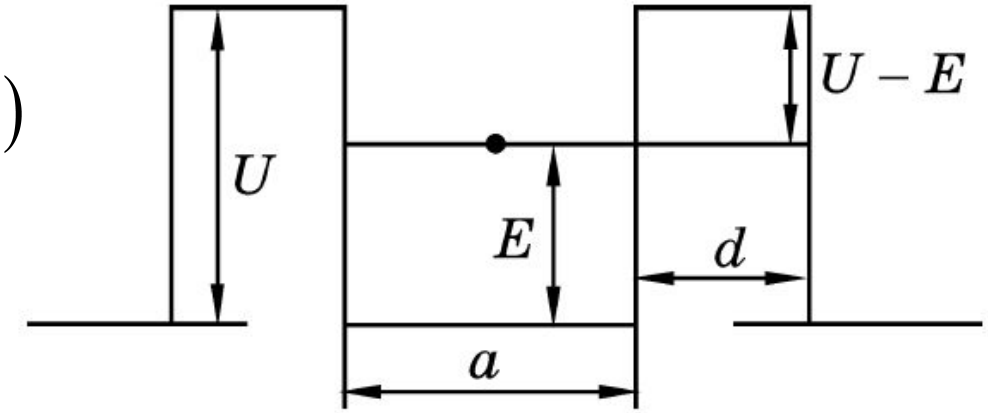


Энергетическая схема двух атомов натрия, сближенных на расстояние, равное параметру решетки кристалла натрия

1. Классификация твердых тел по типу энергетического спектра

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

$\frac{\upsilon}{a}$ раз



Прямоугольный потенциальный барьер конечной ширины

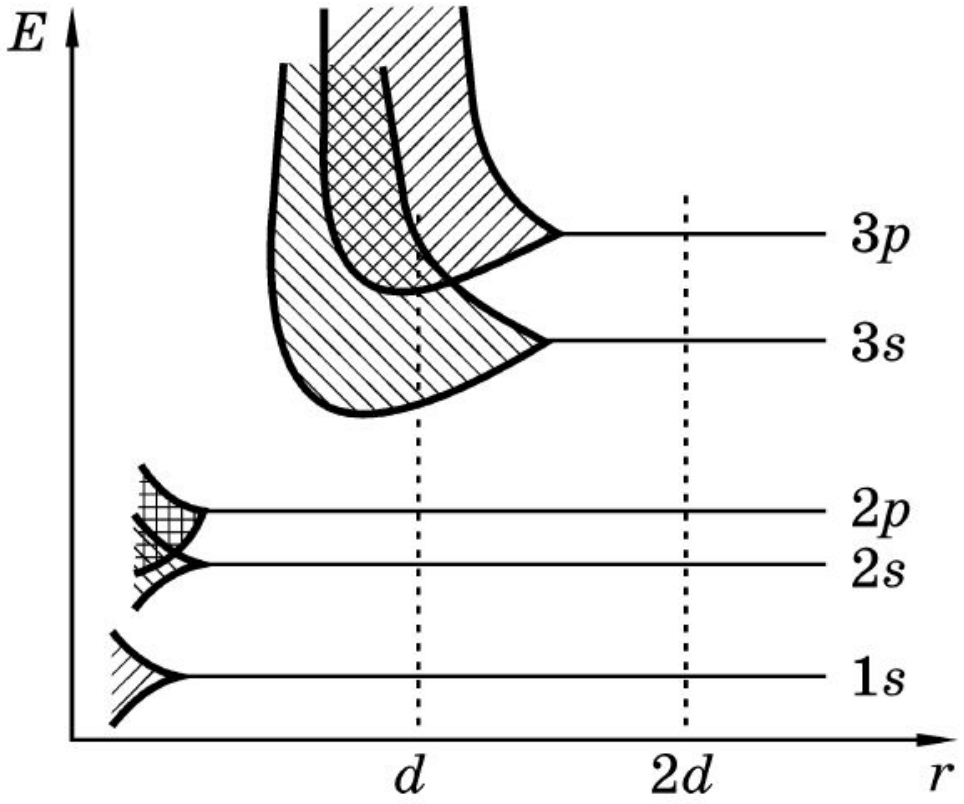
Умножая $\frac{\upsilon}{a}$ на D

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

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

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

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

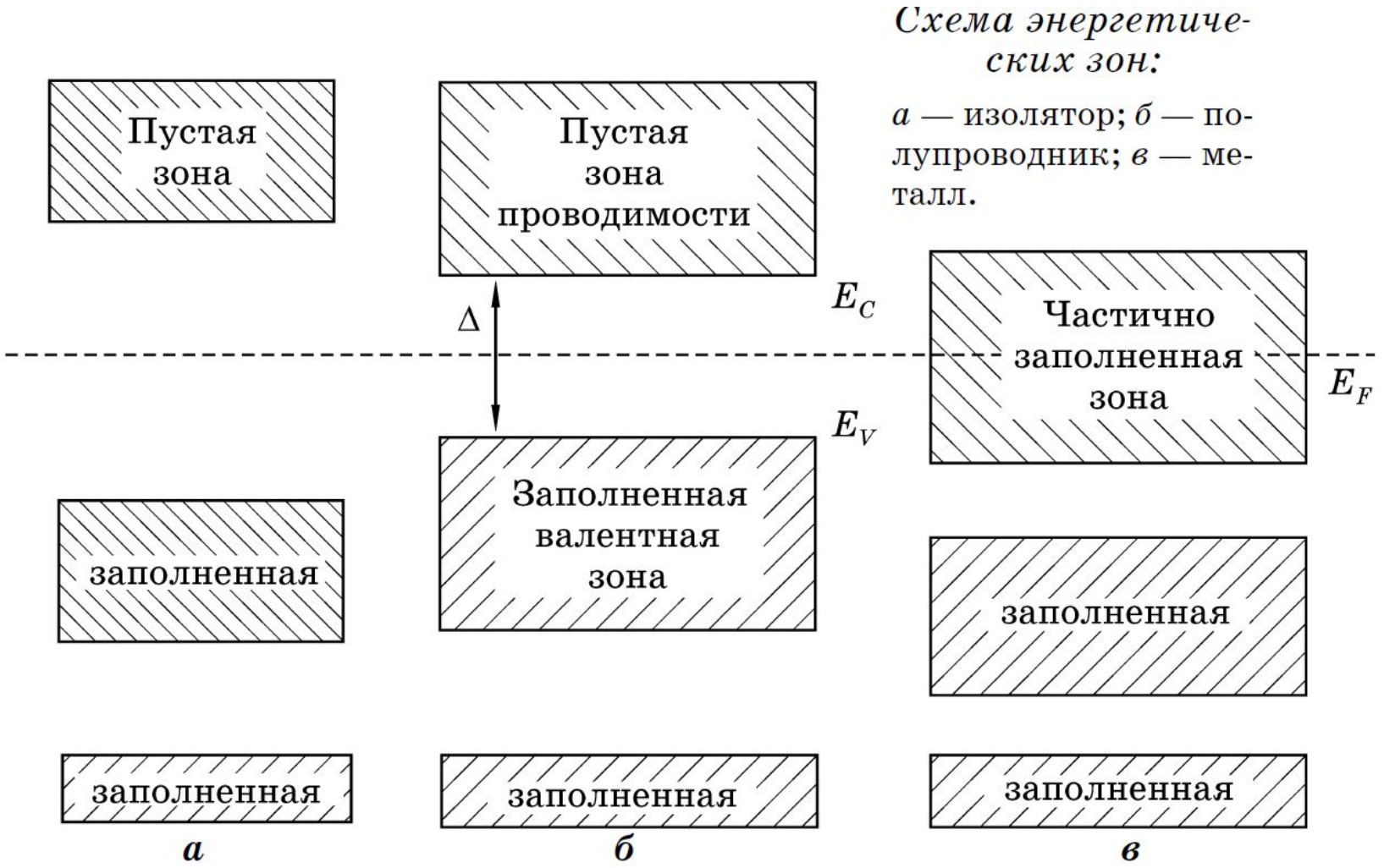
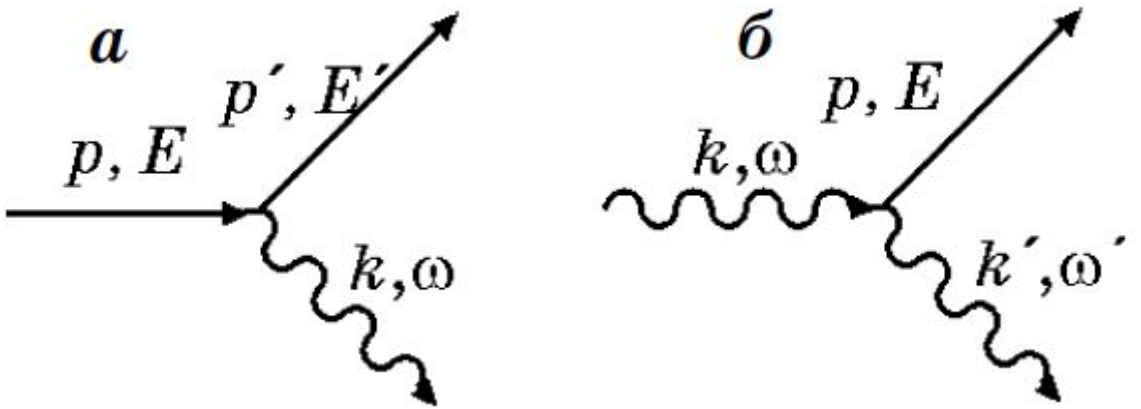


Схема энергетических зон:

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

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

2. Электропроводность кристаллов



Схемы рассеяния электронов на фононах

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

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

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

2. Электропроводность кристаллов

$$\tau = \frac{\lambda}{\upsilon_F} \quad (6) \qquad \lambda \sim T^{-1} \quad (7) \qquad \mu \sim \tau \sim \frac{1}{T} \quad (8)$$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{1}{en\mu} \qquad \mu \sim \upsilon_F^3 = \text{const} \quad (9)$$

3. Теплоемкость электронного газа

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

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

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

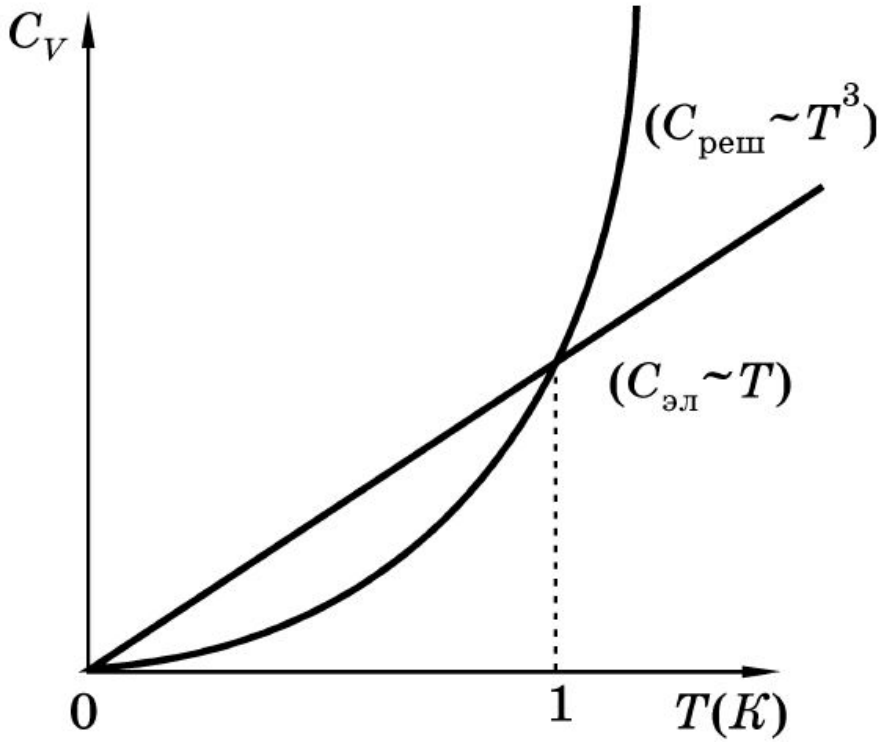
$$\frac{4\pi p_F^2 dp_F}{\left(\frac{4}{3}\right)\pi p_F^3} \approx \frac{3kT}{E_F}$$

$T = 300$ К менее 1%

$$C_э \approx \frac{3}{2}kn\frac{3kT}{E_F} \qquad n = N_A \qquad C_{э,\,моль} = \frac{9}{2}k\frac{RT}{E_F}$$

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

3. Теплоемкость электронного газа



Зависимость теплоемкости от температуры

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

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

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

$T = 0$ К дает значения γ