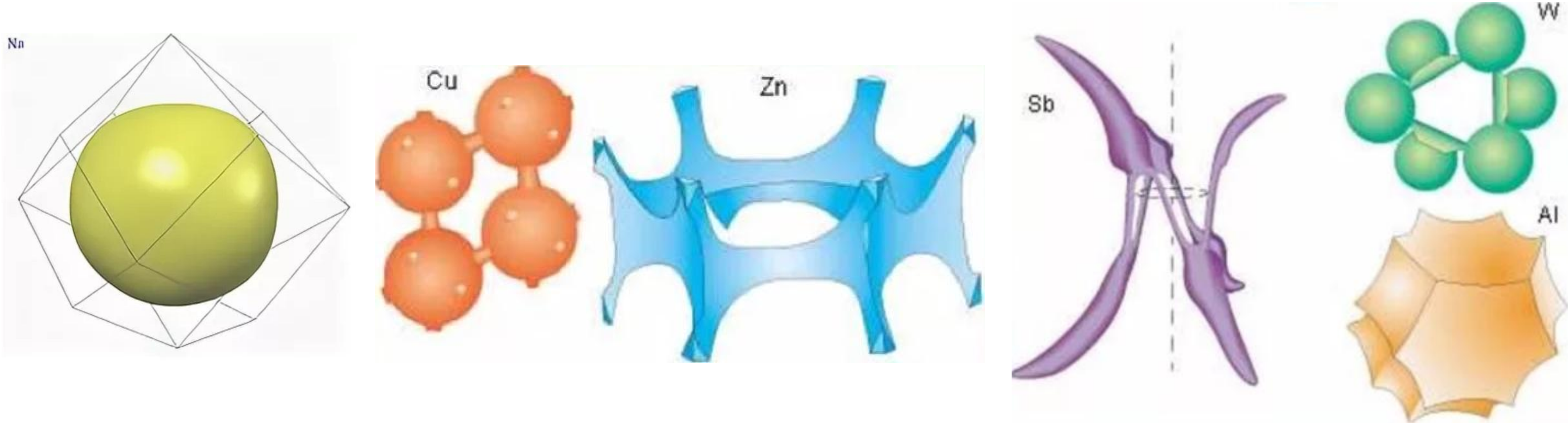


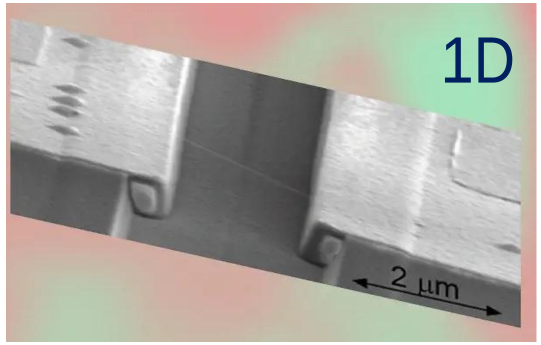
Дистанционный семинар №5

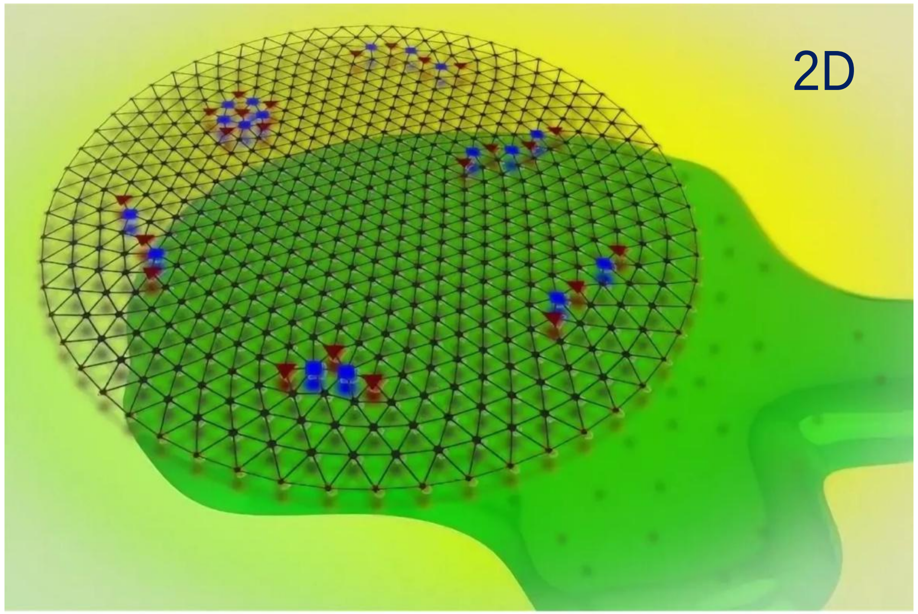
Кинетика электронов в металле

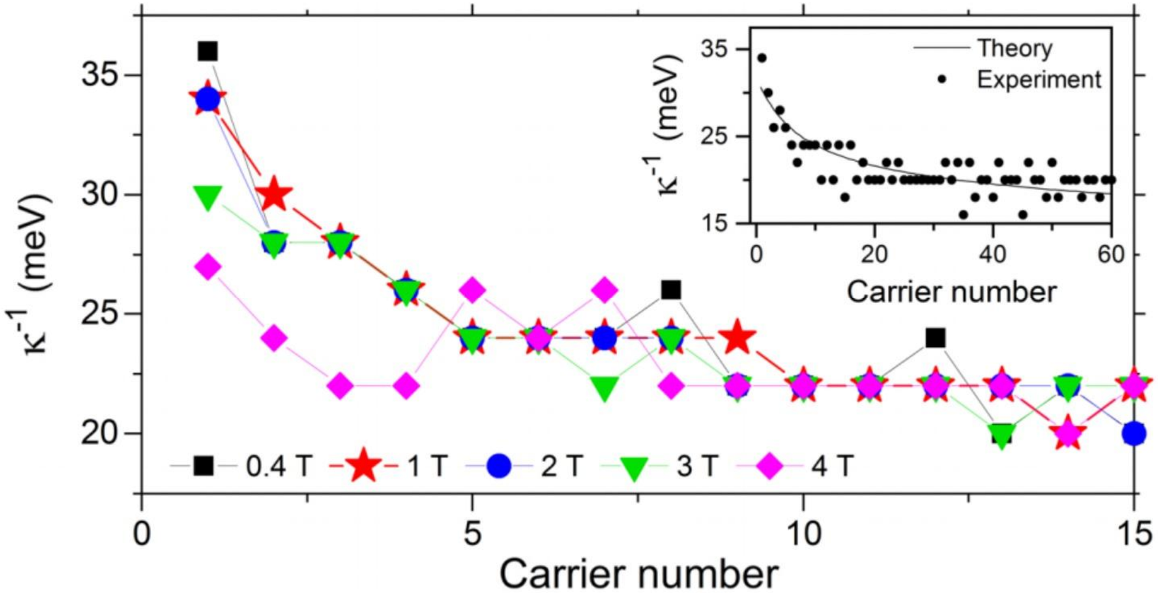
Кубышкин А.В. - март 2021

Взаимодействие электронов. Вигнеровский кристалл

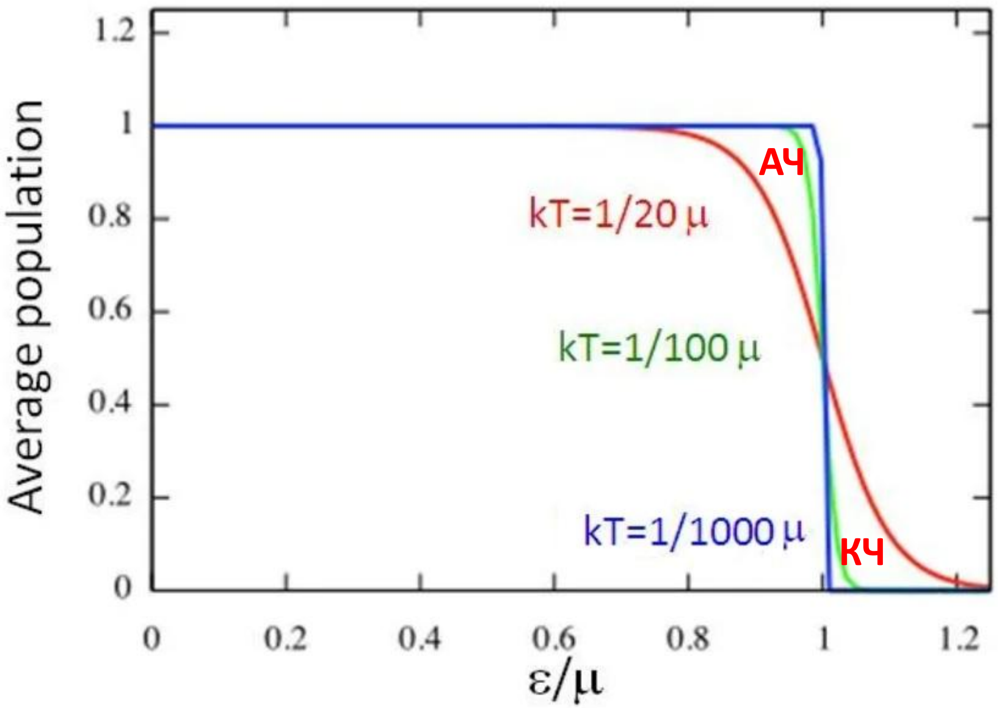
$$\left.\begin{aligned} U_{\text{кул}} &= \frac{e^2}{\langle r\rangle} \approx e^2 n^{1/3} \\ K &\approx \frac{p_F^2}{2m} = \frac{(3\pi^2 n)^{2/3}}{2m}\hbar^2 \end{aligned}\right\} \rightarrow \frac{U}{K} \approx \frac{me^2}{\hbar^2} n^{-1/3} \approx \frac{\langle r\rangle}{a_B} > 1!$$







Элементарные возбуждения вблизи поверхности Ферми



Например, вывод для теплоёмкости металлов

$$\boxed{C=\frac{\pi^2}{2}N\frac{k_B^2 T}{E_F}=\frac{\pi^2}{3}D(E_F)k_B^2 T}$$

***!

Идеальный газ квазичастиц с линейным законом дисперсии

$$\varepsilon_ч=\frac{p^2}{2m}-\frac{p_F^2}{2m}=V_F(p-p_F)$$

$$\varepsilon_a=\frac{p_F^2}{2m}-\frac{p^2}{2m}=V_F(p_F-p)$$

Фермиевская статистика с нулевым химпотенциалом

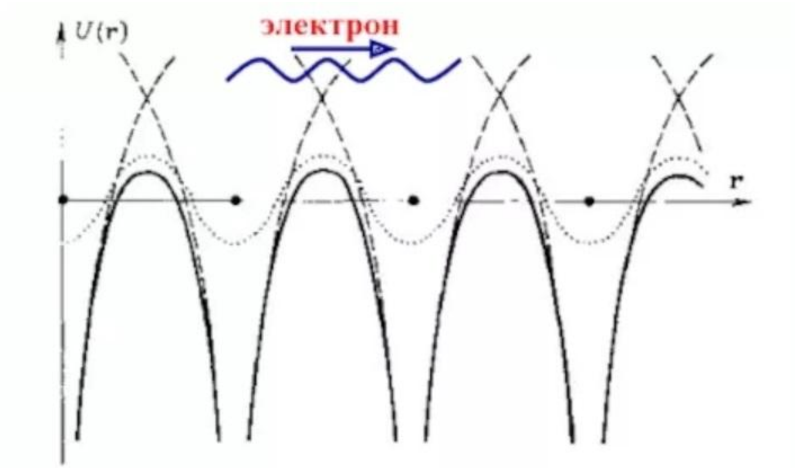
числа заполнения для частиц:

$$n=\frac{1}{e^{(E-\mu)/T}+1}=\frac{1}{e^{\varepsilon_ч/T}+1}$$

для античастиц:

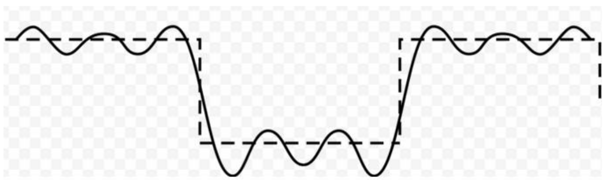
$$n=1-\frac{1}{e^{(E-\mu)/T}+1}=\frac{1}{e^{(\mu-E)/T}+1}=\frac{1}{e^{\varepsilon_a/T}+1}$$

Перенос импульса, заряда и тепла



$\sum U_q e^{iqr}$ – дискретна!

$q_n = \dfrac{2\pi}{a} n$ – зоны Бриллюэна не поглощают!

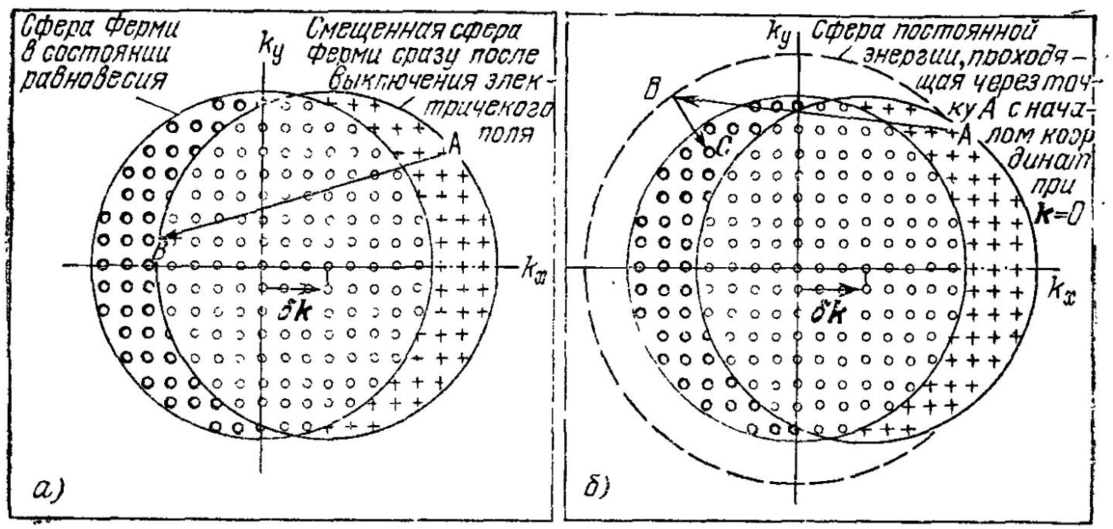


$$U(r) = \int_{-\infty}^{+\infty} U_q e^{iqr}\, dr$$ – отражение будет всегда!

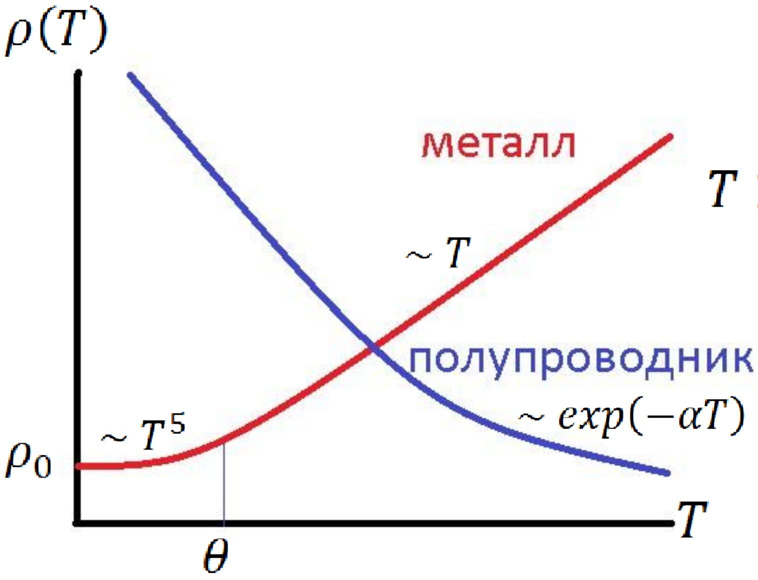
$$m^* \frac{d\vec{v}}{dt} = e\vec{E} - \eta\vec{v} \;\rightarrow\; \vec{v}(t) = \frac{e\vec{E}\tau}{m^*}\left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$

Закон Ома: $\vec{j} = en\vec{v}_\infty = \dfrac{e^2 n\tau}{m^*}\vec{E} = \sigma\vec{E} \;\rightarrow\; \tau \approx \dfrac{m\sigma}{e^2 n} \sim 10^{-13}\ c$

Ферми-жидкость: $f(\vec{p}) = f(\mathcal{E}) + \delta f \approx f(\mathcal{E}) + \dfrac{\partial f}{\partial p} m^* v_\infty$



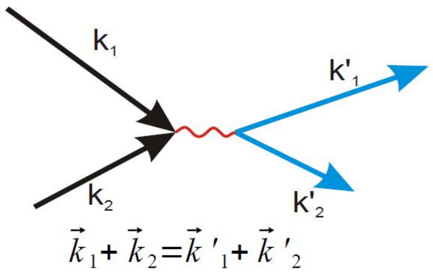
Эмпирические зависимости и их объяснение



Правило Матиссена: $\rho(T) = \rho_0 + \rho_{\text{РЕШ}}(T)$

$T \gg \theta$: $R(T) = R_0(1 + \alpha T)$

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m^*}{e^2 n\tau} = \frac{m^* v_F}{e^2 n\lambda} \qquad \lambda = \frac{1}{n_{\text{расс}}\sigma_{\text{расс}}}$$



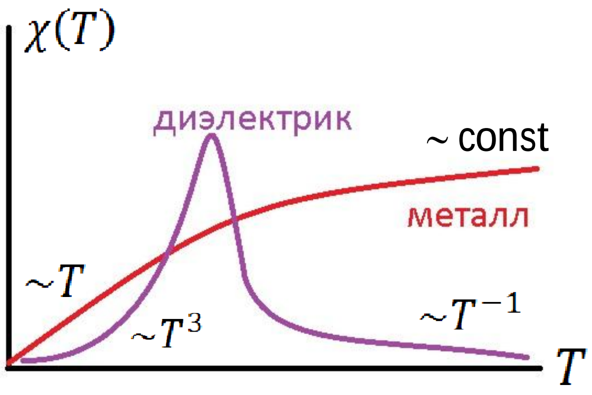
$$n_{\text{фон}} = \int_0^{\omega_D} g(\omega)\bar{n}(\omega, T)d\omega$$

$k \gg k' \rightarrow$ случайное блуждание по ферми-сфере с шагом k'

$T \ll \theta$: $\rho \sim T^5$ Закон Блоха-Грюнайзена

число шагов $N = \frac{k_F^2}{k_\Phi^2} \sim T^{-2}$

длина пробега $\lambda = N\lambda_0 \sim T^{-5}$



Теплопроводность $\chi = \frac{1}{3} C v \lambda$

Закон Видемана – Франца: $\frac{\chi}{\sigma} = \frac{\pi^2}{3} \frac{k_Б^2}{e^2} T$

3.56, 3.8, 3.77, T6, T7