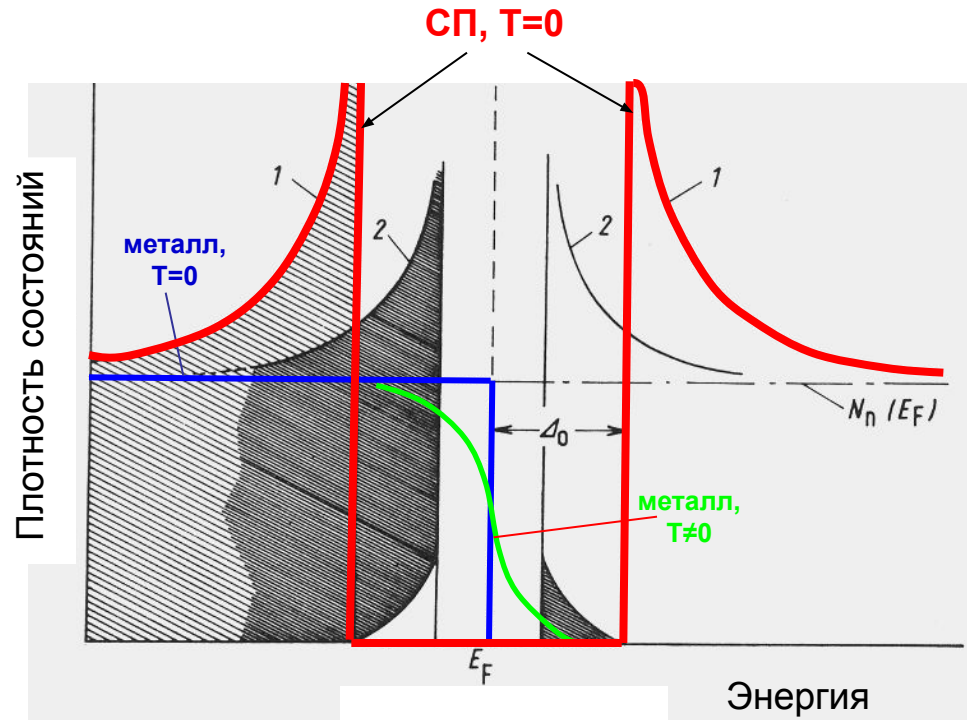
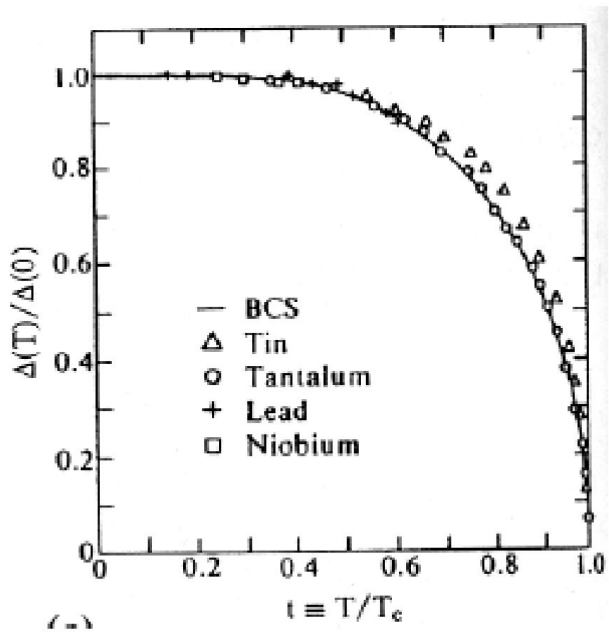


БКШ-сверхпроводимость

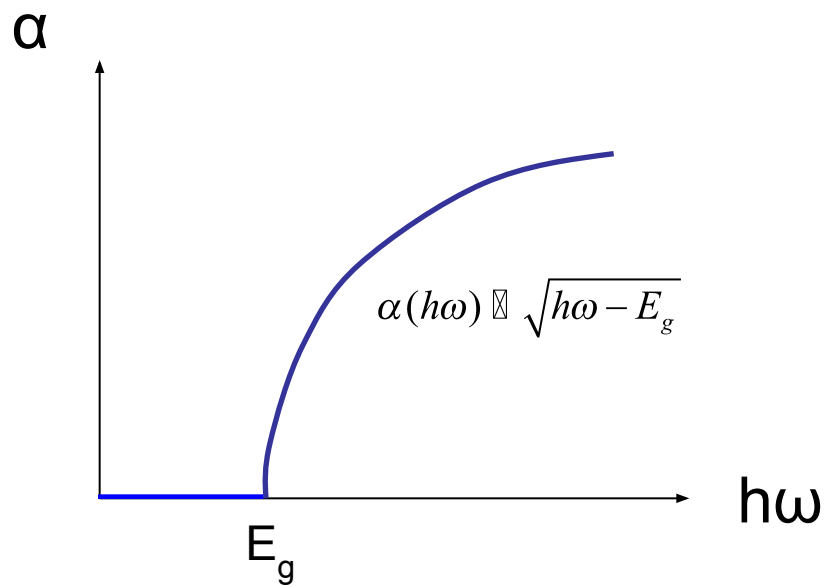
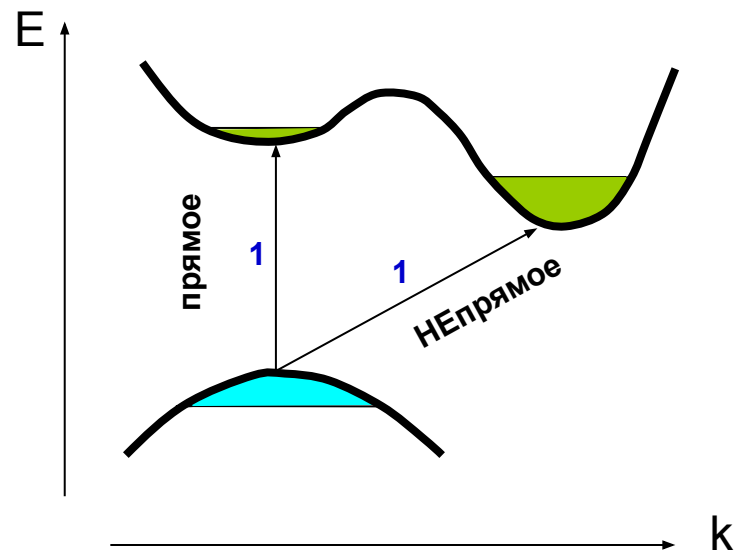
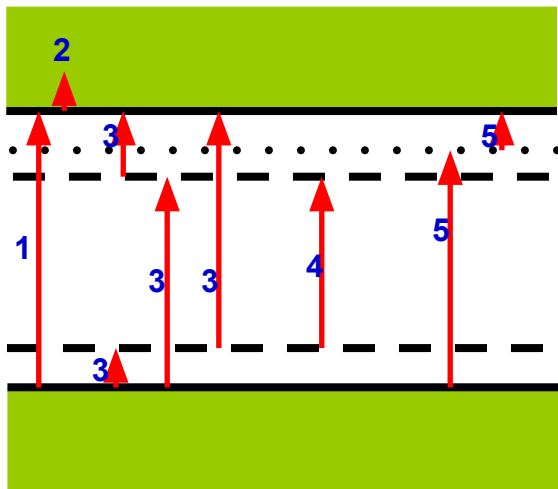
Энергетическая щель в спектре плотности состояний

БКШ (слабая связь):

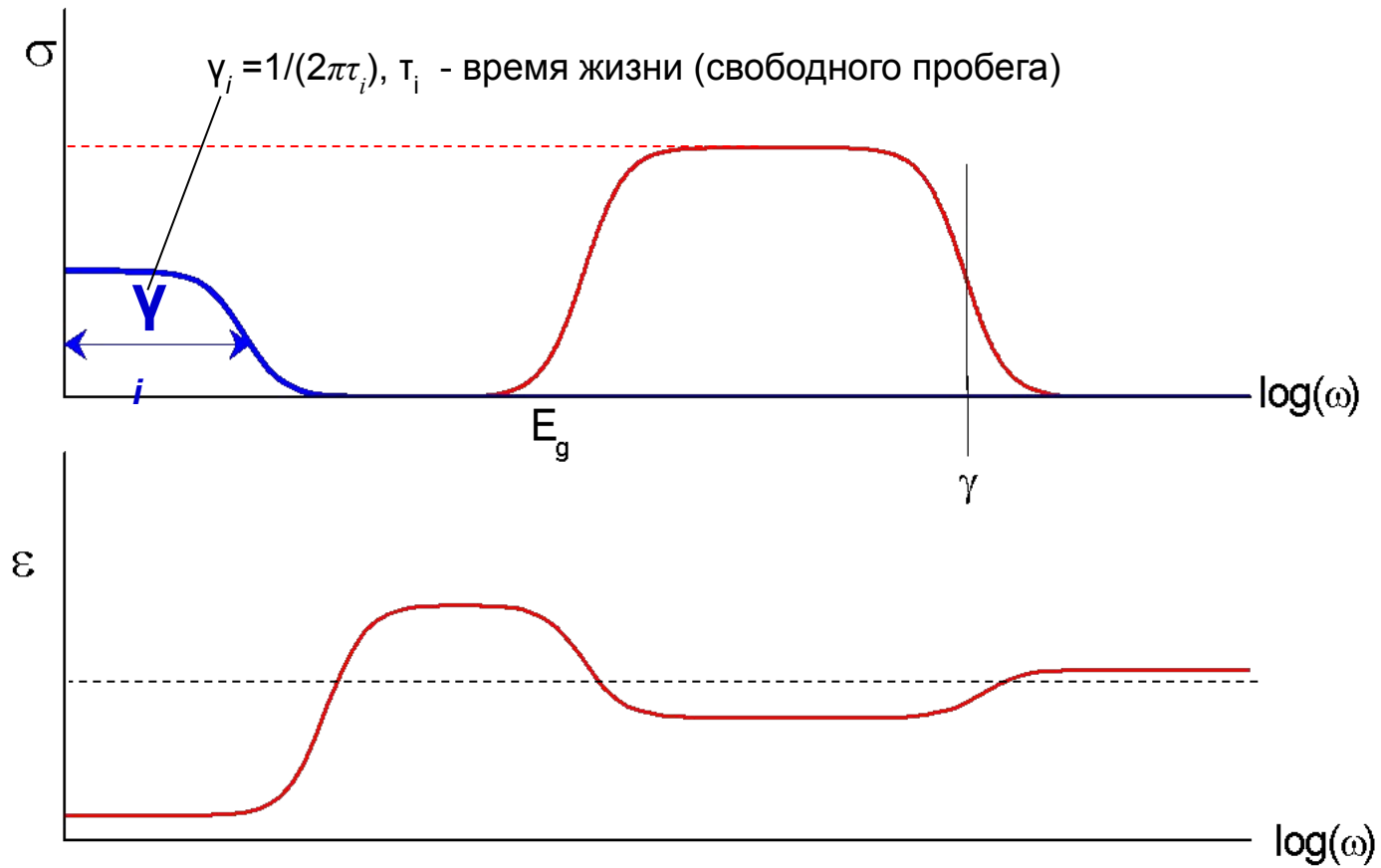
$$\frac{2\Delta(T=0)}{k_B T_c} = 3.5$$



Поглощение в полупроводнике



Оптика полупроводника



Сверхпроводник: $\tau \rightarrow \infty$ $\gamma \rightarrow 0$ при $\int_0^{\infty} \sigma(\omega) d\omega = const!!!$

Оптика БКШ-сверхпроводника

Маттис, Бардин:

$$\sigma^*(\omega, T) = \sigma_1(\omega, T) + i\sigma_2(\omega, T)$$

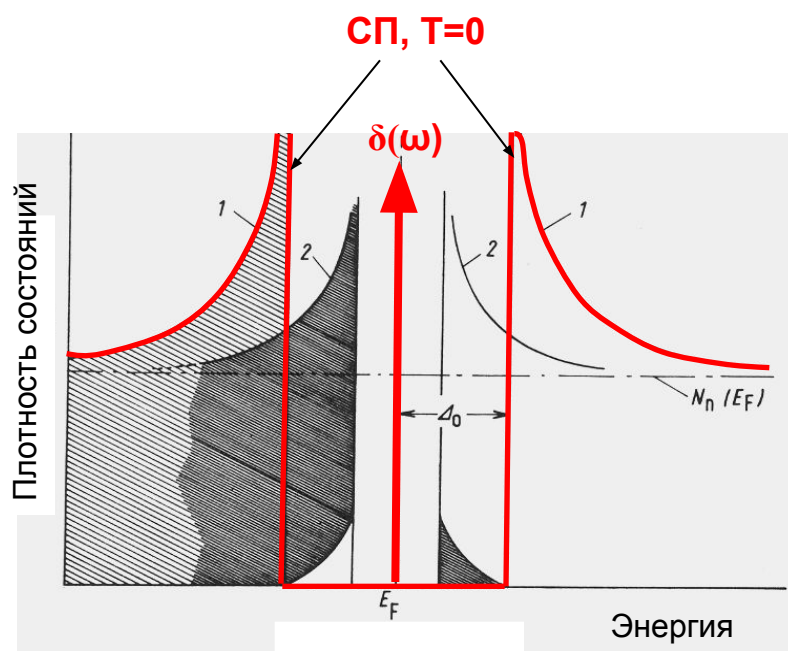
$$\frac{\sigma_1(\omega, T)}{\sigma_n} = \frac{2}{\omega} \int_{\Delta}^{\infty} \frac{[f(E) - f(E + \omega)](E^2 + \Delta^2 + \omega E)}{\sqrt{E^2 - \Delta^2} \sqrt{(E + \omega)^2 - \Delta^2}} dE + \int_{\Delta - \omega}^{-\Delta} \frac{[1 - 2f(E + \omega)](E^2 + \Delta^2 + \omega E)}{\sqrt{E^2 - \Delta^2} \sqrt{(E + \omega)^2 - \Delta^2}} dE$$

$$\frac{\sigma_2(\omega, T)}{\sigma_n} = \frac{1}{\omega} \int_{\Delta - \omega, -\Delta}^{\Delta} \frac{[1 - 2f(E + \omega)](E^2 + \Delta^2 + \omega E)}{\sqrt{E^2 - \Delta^2} \sqrt{(E + \omega)^2 - \Delta^2}} dE$$

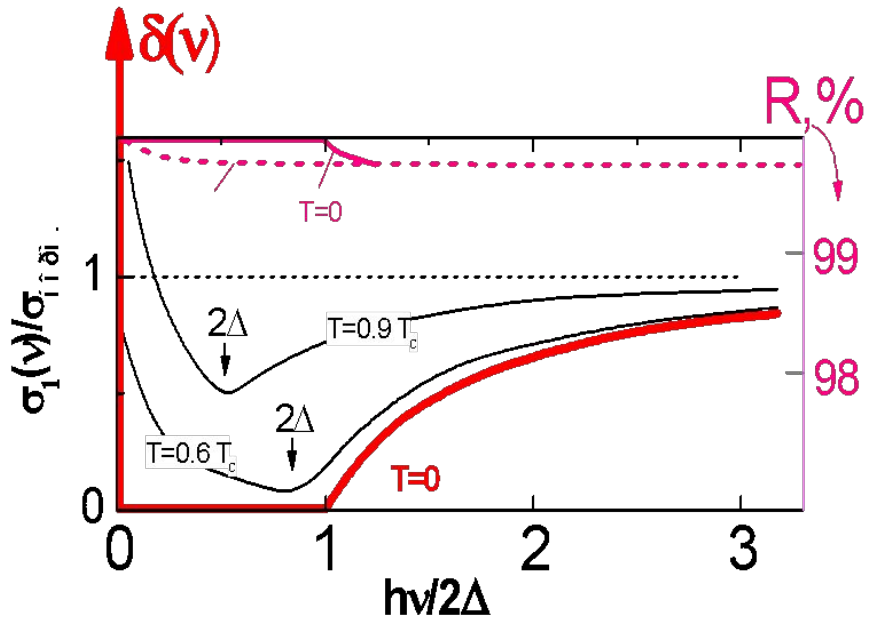
Крамерс-Крониг реакция δ - функции

$$\sigma_2 = -\frac{1}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{\sigma_1(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' = -\frac{1}{\pi} P \int_0^{\infty} \frac{A\delta(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' = \frac{A}{\pi\omega}$$

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\infty} - \frac{4\pi}{\omega} \sigma_2 \approx -\frac{4\pi}{\omega} \sigma_2 = -\frac{4A}{\omega^2}$$



WASF - демонстрация



Двухжидкостная модель сверхпроводника

Феноменологическая модель (Гортер, Казимир):

2 типа электронов

$$n_0 = n_s(T) + n_n(T)$$

$$n_n(0) = 0; n_s(0) = n_0$$

$$n_n(T_c, T > T_c) = n_0; n_s(T_c, T > T_c) = 0$$

Наилучшее согласие с экспериментом:

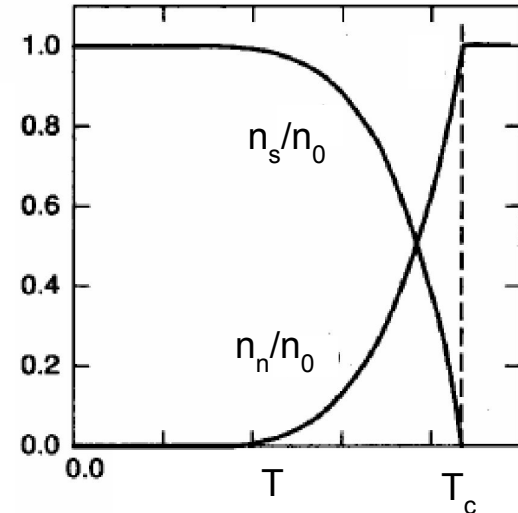
$$n_s / n_0 = 1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \quad n_n / n_0 = \left(\frac{T}{T_c} \right)^4$$

Уравнения движения для n- и s-компонент:

$$m \frac{dV_s}{dt} = -eE \quad m \frac{dV_n}{dt} + m \frac{V_n}{\tau} = -eE$$

Плотности тока для n- и s-компонент:

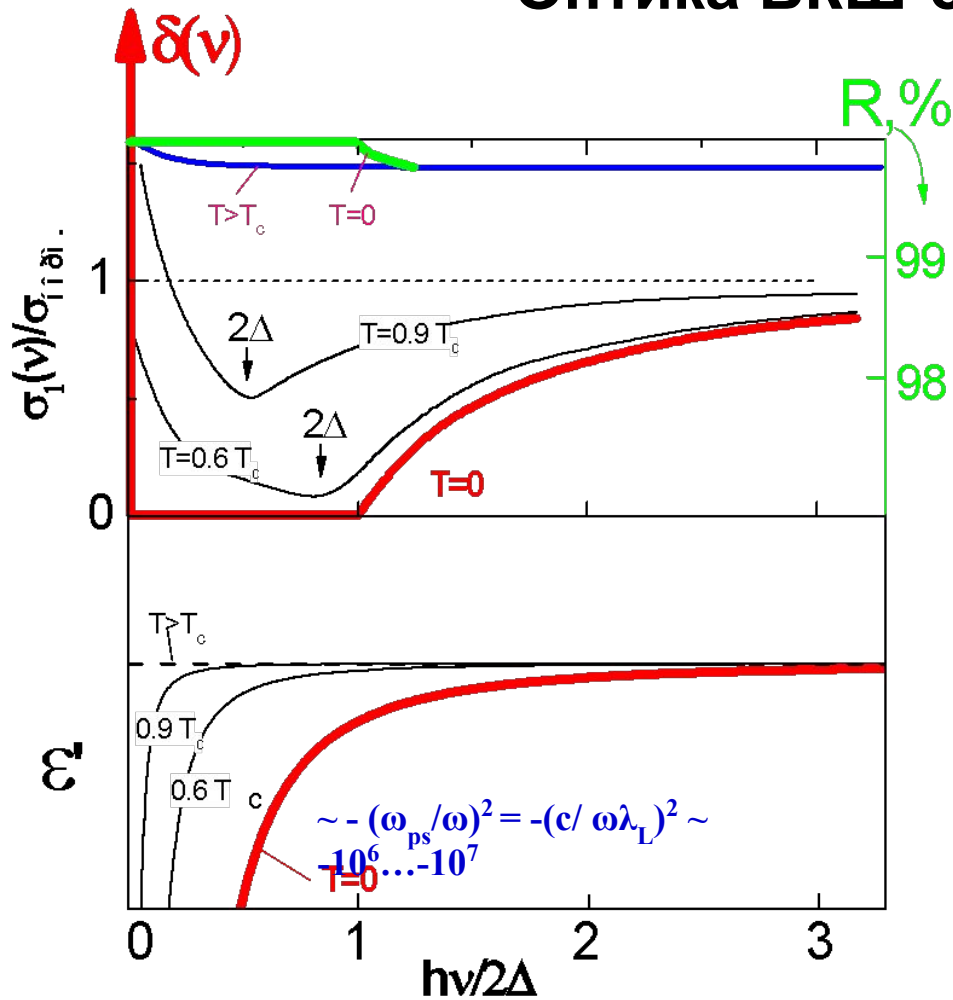
$$J_s = -n_s e V_s \quad J_n = -n_n e V_n \quad J_0 = J_n + J_s$$



система уравнений
двухжидкостной модели СП

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_1(\omega) = \frac{\pi n_s e^2}{2m} \delta(\omega = 0) + \frac{n_n e^2 \tau}{m(1 + \omega^2 \tau^2)} \\ \sigma_2(\omega) = \frac{n_s e^2}{m\omega} + \frac{n_n e^2 (\omega \tau)^2}{m\omega(1 + \omega^2 \tau^2)} \\ n_s / n_0 = 1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \\ n_n / n_0 = \left(\frac{T}{T_c} \right)^4 \end{array} \right.$$

Оптика БКШ-сверхпроводника



Оптическая спектроскопия:

- Наличие, величина, температурная зависимость СП-щели (или псевдощели, $T > T_c$).
- Абс. величина и температурная зависимость λ_L .
- Концентрация СП-электронов, $n_s(T)$.
- Тип симметрии параметра порядка.
- Изменение кинетической энергии электронов (правило сумм).
- Коллективные возбуждения, поглощение.

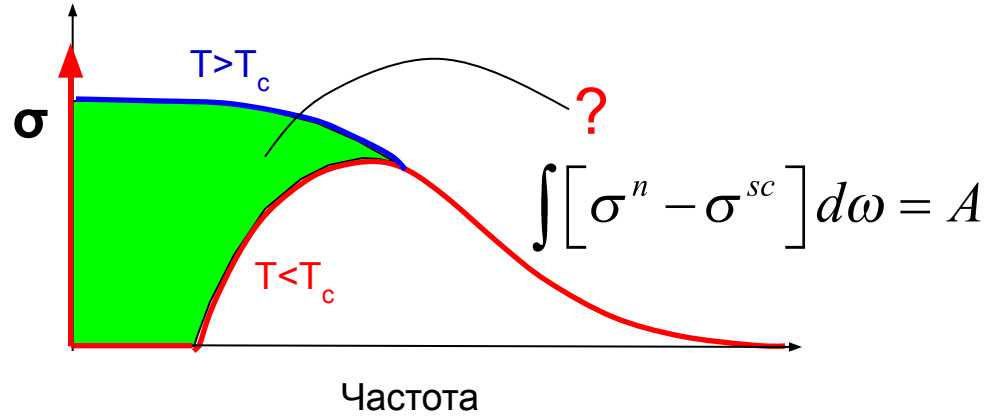
(Диэлектрик: $\sigma = nk = 0$ из-за $k=0$)
($R \neq 100\%$)

БКШ-сверхпроводник

$$\left. \begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{\omega}{4\pi} \varepsilon'' = \frac{\omega nk}{2\pi} = 0 \\ \varepsilon' &= n^2 - k^2 \rightarrow -\infty \end{aligned} \right\} \begin{aligned} nk &= 0 \\ n^2 - k^2 &< 0 \end{aligned} \left\} \begin{aligned} \text{при } T=0: \\ n &= 0 \\ k &\gg 1 \end{aligned} R = \frac{(n-1)^2 + k^2}{(n+1)^2 + k^2} = \frac{1+k^2}{1+k^2} = 100\%$$

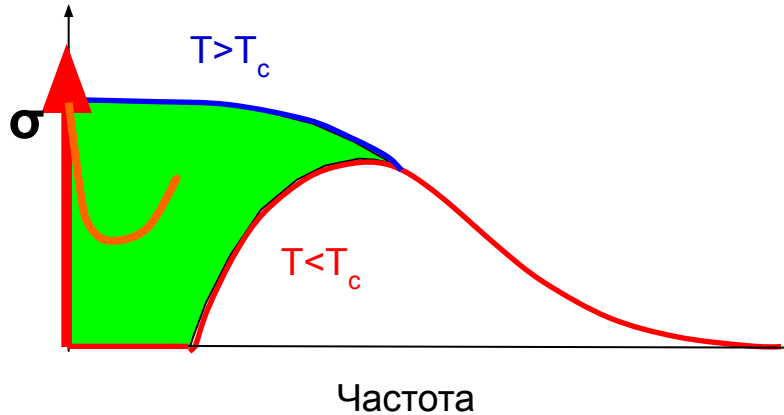
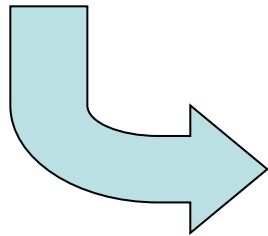
Правило сумм для сверхпроводника

$$\int \sigma(\omega) d\omega = \frac{\omega_p^2}{8} = \frac{\pi n e^2}{2m}$$



Правило сумм Феррела-Гловера-Тинкхама
(Ferrell-Glover-Tinkham)
для сверхпроводника:

$$\int [\sigma^n - \sigma^{sc}] d\omega = A \delta(\omega = 0)$$



$$\int \sigma_1(\omega) d\omega = -\frac{\pi e^2 a^2}{2h^2} K \quad (K - \text{кинетическая энергия электронов})$$

Оптика сверхпроводящего состояния: δ -функция

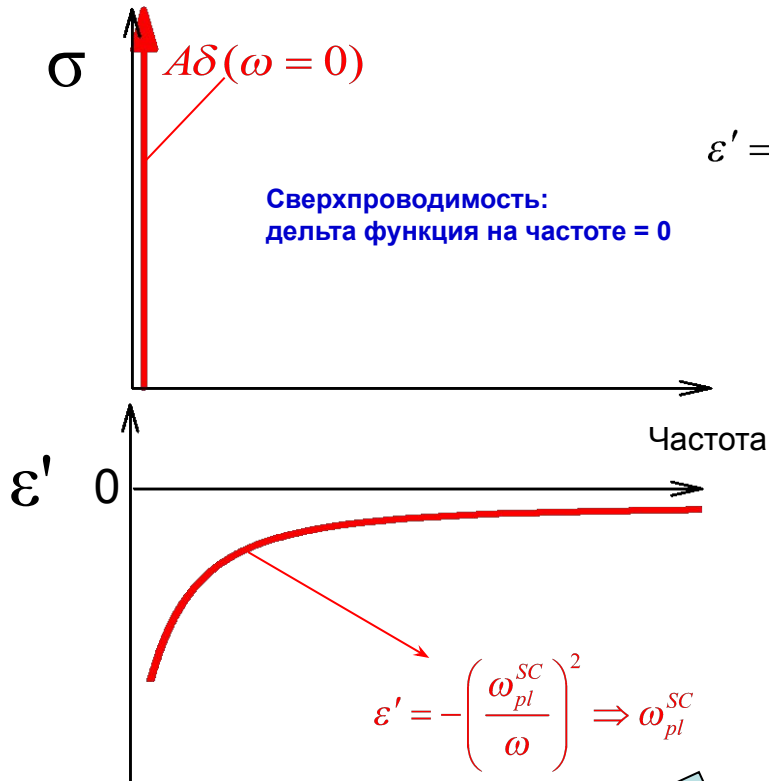
Сверхпроводимость: $\rho_{dc} = \rho(\omega=0) = 0 \rightarrow \sigma_{dc} = 1/\rho_{dc} = \sigma(\omega=0) = \infty \rightarrow$

δ - функция

Крамерс-Крониг «образ» δ - функции

:

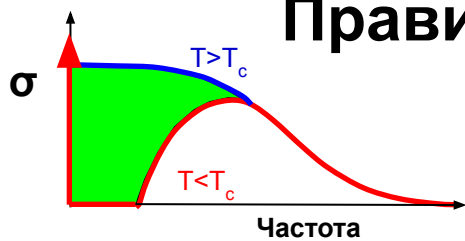
$$\varepsilon' = -\frac{4}{\omega} P \int_0^{\infty} \frac{\sigma_1(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' = -\frac{4}{\omega} P \int_0^{\infty} \frac{A\delta(\omega')}{\omega' - \omega} d\omega' = -\frac{4A}{\omega^2} = -\left(\frac{\omega_{pl}^{SC}}{\omega}\right)^2$$



$$\varepsilon' = -\left(\frac{\omega_{pl}^{SC}}{\omega}\right)^2 \Rightarrow \omega_{pl}^{SC}$$

1. Плотность СП-конденсата ρ_{SC} .
2. Глубина проникновения магнитного поля $\lambda = 1/\omega_{pl}^{SC}$.

Правило сумм как метод исследования СП



$$A - \int_{0+}^W [\sigma_1^n(\omega) - \sigma_1^s(\omega)] d\omega = \frac{\pi e^2 a^2}{2h^2} \Delta K$$

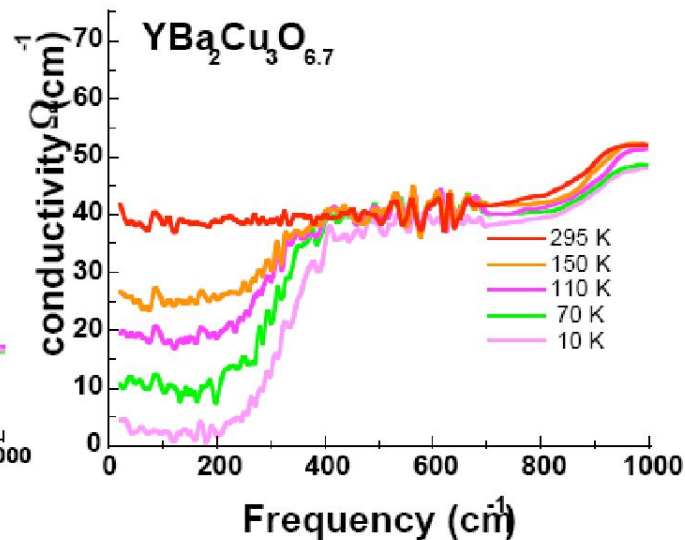
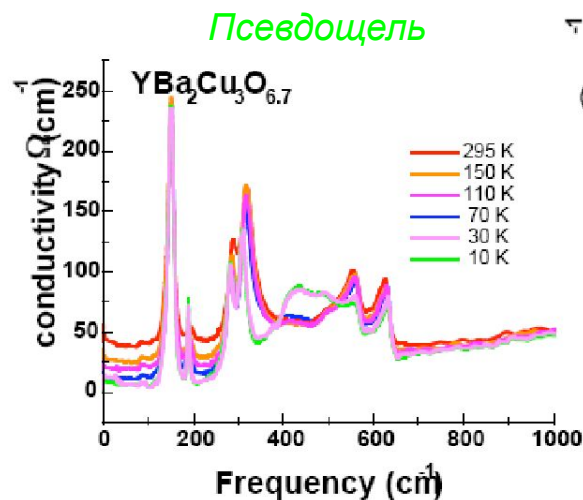
Информация об изменении кинетической энергии электронов при переходе в СП-состояние



Механизм сверхпроводимости!!!

Практические проблемы:

1. Точное измерение коэффициента отражения на уровне 99%
1. До какой частоты интегрировать?
2. Наличие и роль псевдощели.



C.Homes et al.

Типичные величины n и k в 4-х видах материалов

