

Металлы с сильным рассеянием

$$\sigma = \frac{ne^2l}{\hbar k_F}$$

$k_F l > 1$ – принцип Иоффе-Регеля, $k_F = (3\pi^2 n)^{1/3}$

$$\sigma = A \frac{e^2}{\hbar} n^{1/3} (k_F l) \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ n^{-1/3} \approx 3 \text{ \AA} \end{array} \right\} \rho_{\max} \sim (100 \div 1000) \mu\Omega \cdot \text{cm}$$

Транспорт в жидких металлах

(Теория Займана)

Рассеивающий потенциал

$$V(\mathbf{r}) = \sum_{\mathbf{R}_i} v(\mathbf{r} - \mathbf{R}_i),$$

$$V(\mathbf{q}) = \sum_{\mathbf{R}_i} \int e^{i\mathbf{q}\mathbf{r}} v(\mathbf{r} - \mathbf{R}_i) d\mathbf{r} = \sum_{\mathbf{R}_i} e^{i\mathbf{q}\mathbf{R}_i} \int e^{i\mathbf{q}\mathbf{r}} v(\mathbf{r}) d\mathbf{r} = v(\mathbf{q}) \sum_{\mathbf{R}_i} e^{i\mathbf{q}\mathbf{R}_i}$$

Матричный элемент перехода

$$\int \Psi_2^* V(\mathbf{r}) \Psi_1 d\mathbf{r} = \int e^{i(\mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)\mathbf{r}} V(\mathbf{r}) d\mathbf{r} = V(\mathbf{q}), \quad \mathbf{q} = \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2$$

Квадрат матричного элемента

$$|V(\mathbf{q})|^2 = |v(\mathbf{q})|^2 \sum_{\mathbf{R}_i, \mathbf{R}_j} e^{i\mathbf{q}(\mathbf{R}_i - \mathbf{R}_j)} = |v(\mathbf{q})|^2 \left(N + \sum_{\mathbf{R}_{i0}} \left(\sum_{\mathbf{R}_j \neq \mathbf{R}_{i0}} e^{i\mathbf{q}(\mathbf{R}_{i0} - \mathbf{R}_j)} \right) \right)$$

Сумму во внутренних скобках можно усреднить по всем возможным конфигурациям вокруг фиксированного атома в точке \mathbf{R}_{i0} , т.е. по всем \mathbf{R}_{i0} .

Написав вместо суммы во внутренних скобках ее среднее $\sum_{\mathbf{R}_i} e^{i\mathbf{q}\mathbf{R}_i}$
и заменив суммирование по \mathbf{R}_{i0} умножением на N , получим

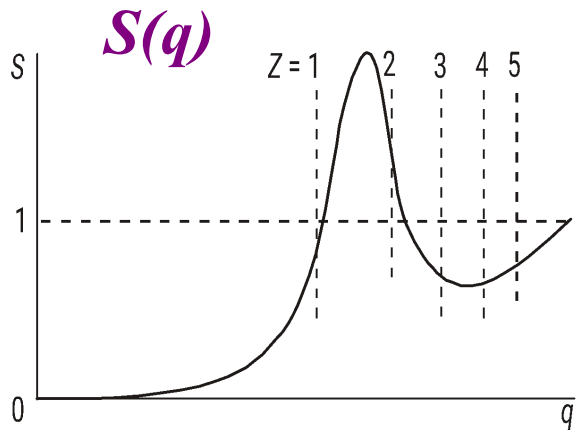
$$|\overline{V(\mathbf{q})}|^2 = |v(\mathbf{q})|^2 N \left(1 + \sum_{\mathbf{R}_i} e^{i\mathbf{q}\mathbf{R}_i} \right) = |v(\mathbf{q})|^2 NS(q)$$

Наконец, структурный фактор $S(q)$ можно вычислить, заменив в усредненной сумме суммирование интегрированием.

$$S(q) = 1 + \sum_{\mathbf{R}_i} e^{i\mathbf{q}\mathbf{R}_i} = 1 + N \int e^{i\mathbf{q}\mathbf{r}} Q(r) d^3r =$$

$$= 1 + 2\pi N \iint e^{iqr \cos \vartheta} \sin \vartheta d\vartheta Q(r) r^2 dr = 1 + 4\pi N \int_0^\infty Q(r) \frac{\sin qr}{qr} r^2 dr$$

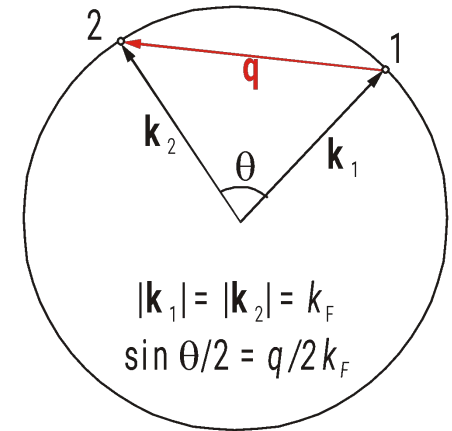
$Q(r)$ называется парной корреляционной функцией.



Вычисление проводимости

$$1/l \propto \int_0^{\pi} |V(q)|^2 (1 - \cos \vartheta) \sin \vartheta d\vartheta \propto$$

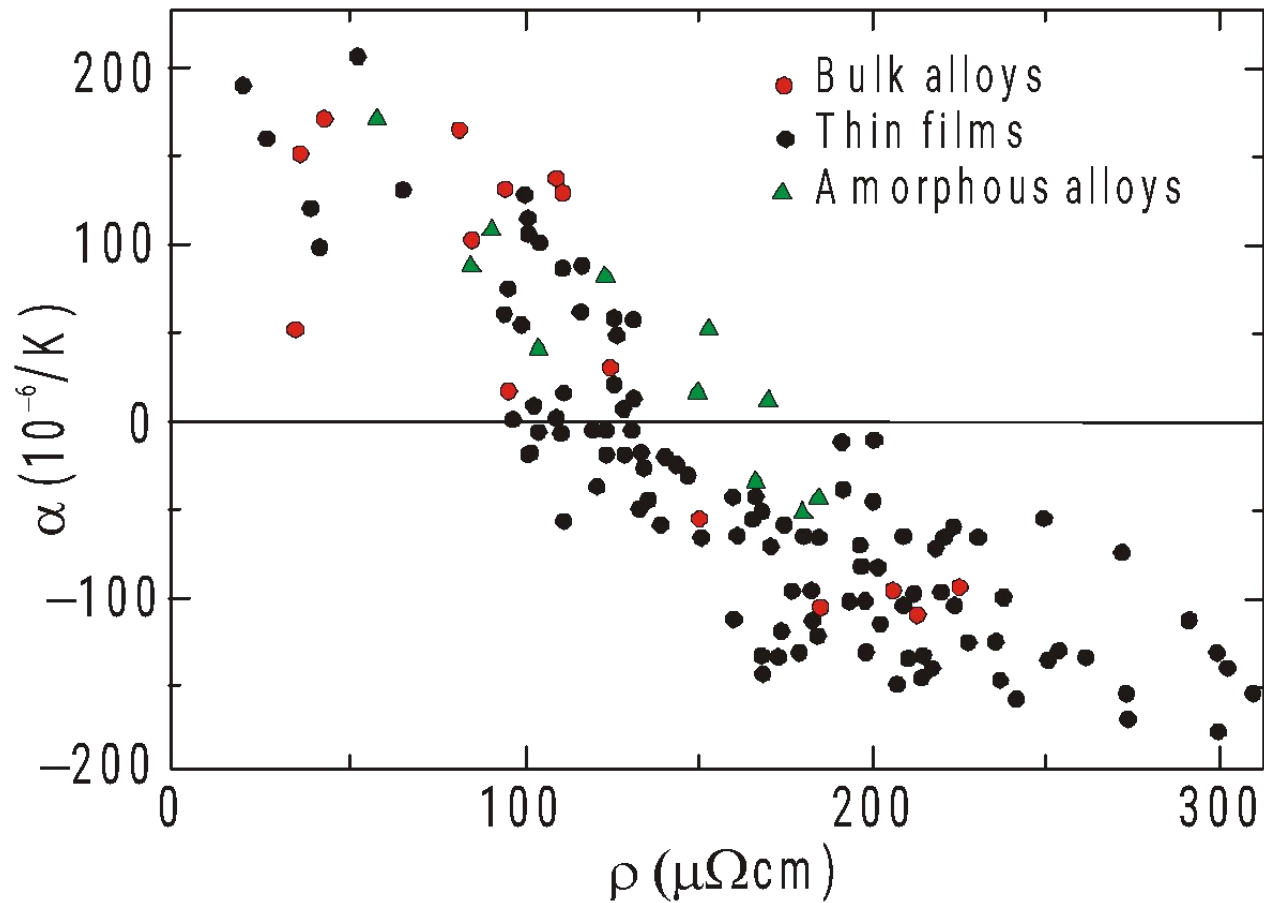
$$\propto \int_0^1 S(2k_F x) v^2 (2k_F x) x^3 dx, \quad x = q / 2k_F$$



*Интеграл
определяется
окрестностью
верхнего предела
благодаря
множителю x^3*

Металл	Валент- ность	ρ , $\mu\Omega \text{ cm}$	$d \ln \rho / d \ln T$
Li	1	25	0.6
Na	1	10	0.85
K	1	13	0.76
Rb	1	22	0.70
Ce	1	37	0.69
Zn	2	13	-0.24
Cd	2	37	-0.22
Hg	2	34	-0.10
Ga	3	26	0.14
In	3	33	0.16

Правило Мооя



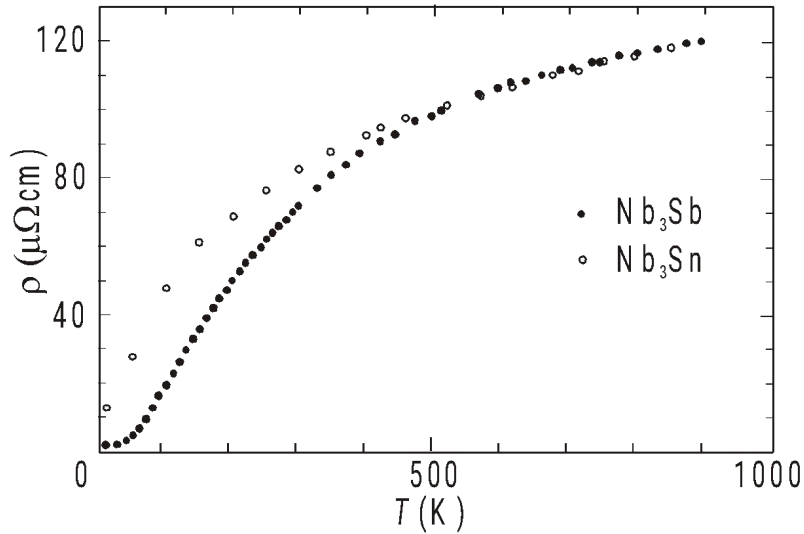
α —
температурный
коэффициент
сопротивления

$$\alpha = \frac{1}{R} \left(\frac{dR}{dT} \right)$$

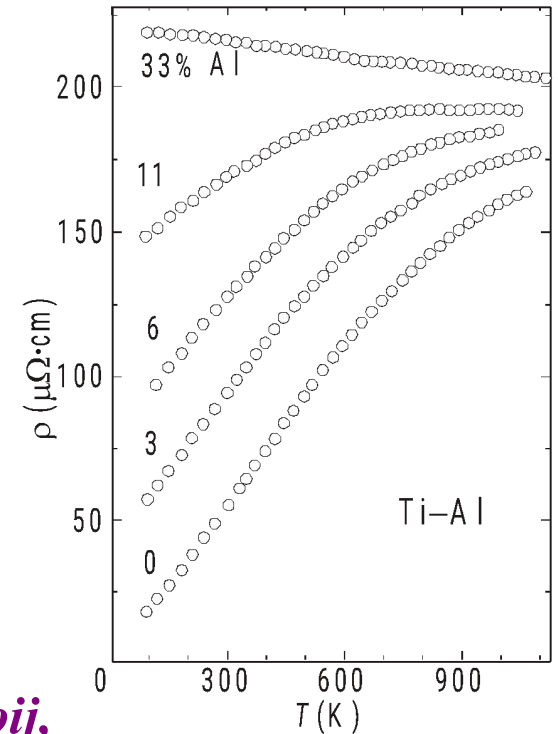
J.H. Mooij, physica status solidi (a) 17, 521 (1973)

Насыщение сопротивления

в материалах с сильным электрон-фононным взаимодействием



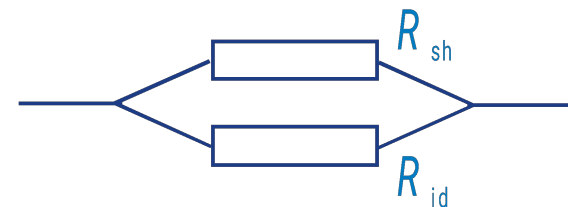
*Z. Fisk, G. Webb,
PRL 36, 1084 (1976)*



*J.H. Mooij,
physica status solidi (a)
17, 521 (1973)*

*Феноменологическая модель с
шунтирующим сопротивлением ρ_{sh}*

$$\rho^{-1} = \rho_{id}^{-1} + \rho_{sh}^{-1}$$



Насыщение сопротивления (грубая, но очень наглядная модель)

M. Gurvitch,
PRB 24, 7404 (1981)

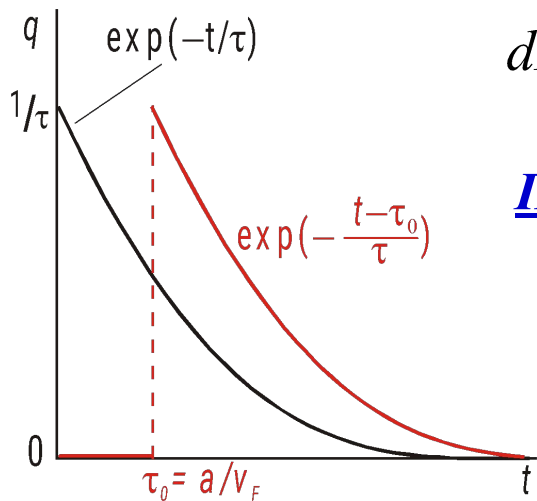
Обычно вероятность рассеяния электрона за время dt равна $p dt = dt/\tau$,

вероятность того, что акт рассеяния произойдет в момент времени t , равна

$$dP = q dt = \frac{1}{\tau} \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) dt,$$

Предположим, что между двумя актами рассеяния должно пройти минимальное время τ_0 .

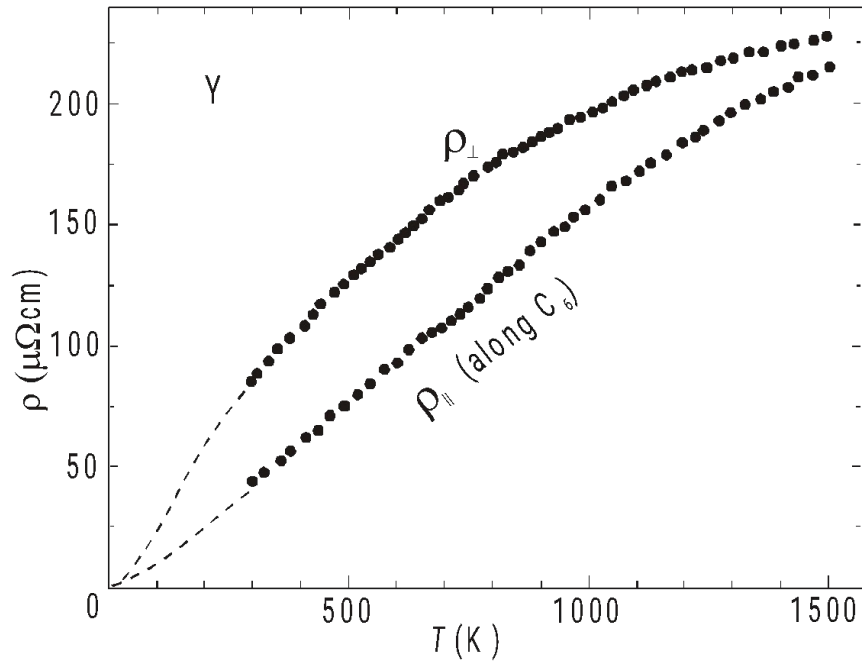
Усредним дрейфовую скорость, набранную электронами за время между столкновениями t



$$\langle v_{dr} \rangle = \frac{eE}{m} \langle t \rangle = \frac{eE}{m} \int_0^{\infty} t q dt = \frac{eE}{m} \int_{\tau_0}^{\infty} \frac{t}{\tau} \exp\left(-\frac{t-\tau_0}{\tau}\right) dt = \frac{eE}{m} (\tau + \tau_0)$$

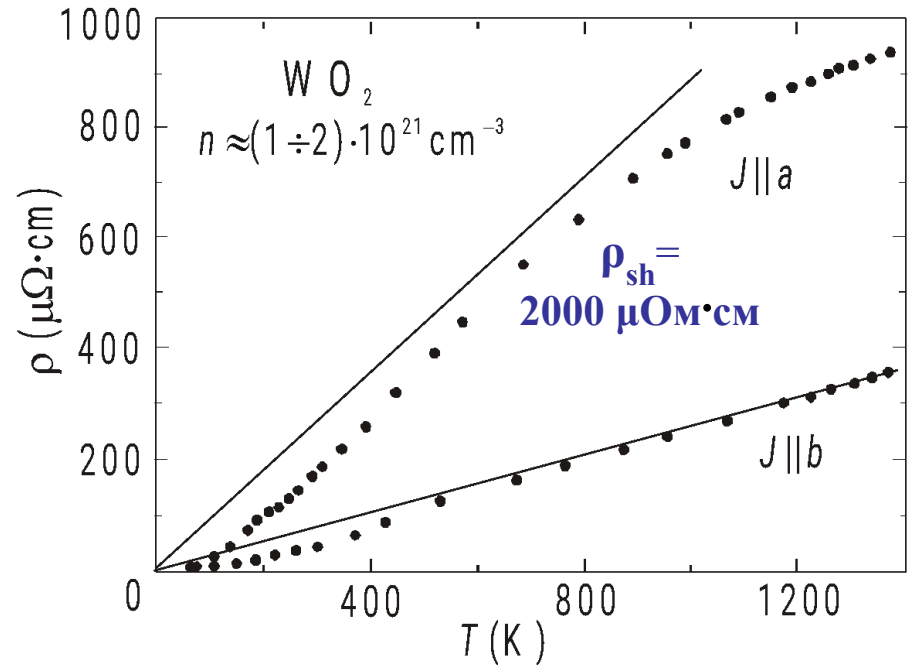
$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m} \longrightarrow \sigma = \frac{ne^2\tau}{m} + \frac{ne^2\tau_0}{m}$$

Анизотрия насыщения сопротивления



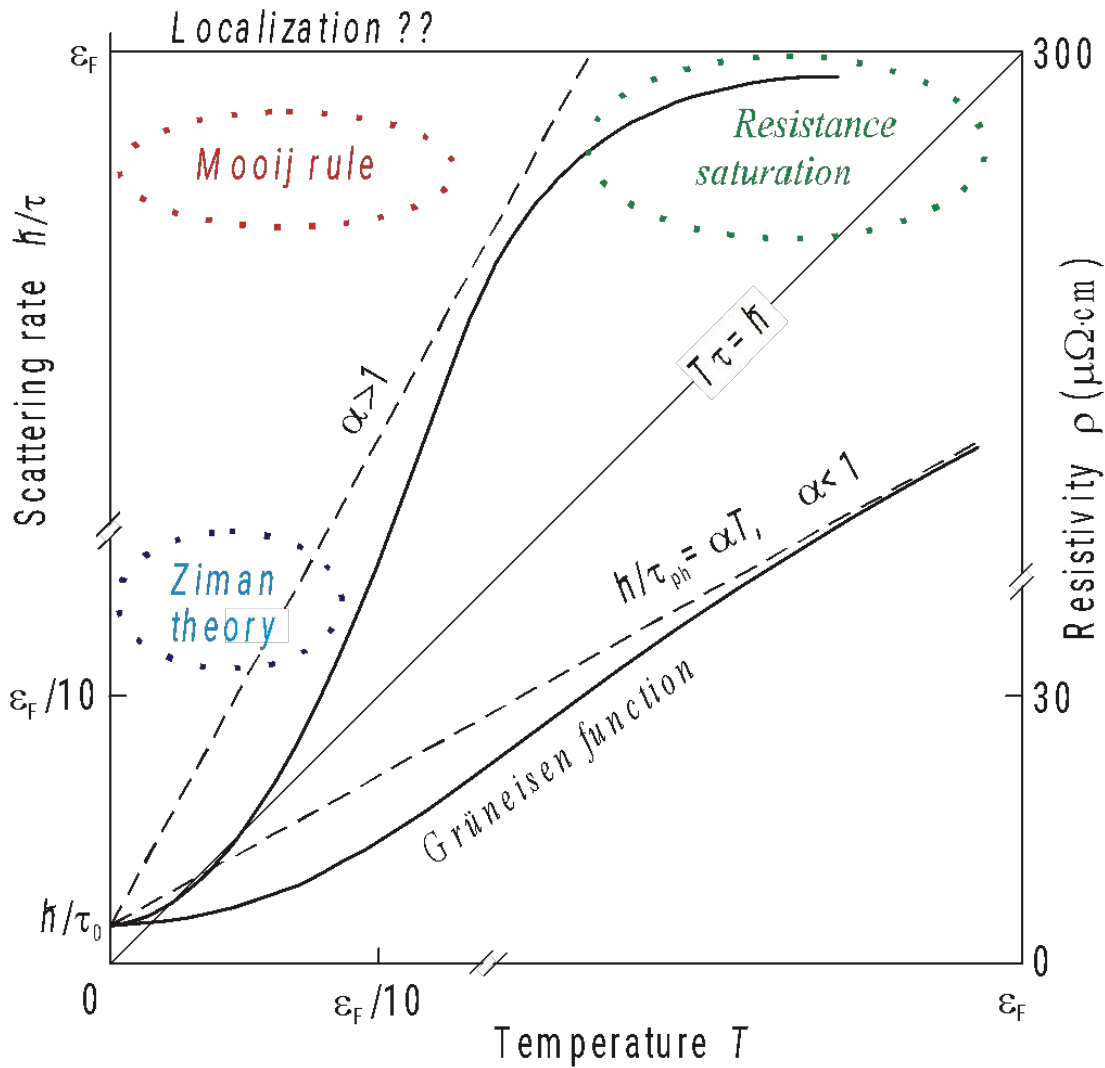
*В.Е. Зиновьев,
А.Л. Соколов,
П.В. Гельд и др.,
ФТТ 17, 3617 (1975)*

*Уменьшение концентрации n
приводит к большему значению ρ_{sh}*



*В.Ф. Гантмахер, Г.И.
Кулеско, В.М.
Теплинский,
ЖЭТФ 90, 1421 (1986)*

Выводы ...



	α (экспер.)
K	1.75
Cu	1.35
Al	0.4
Sn	0.07
W	0.2
Pb	0.1
Ag	1.5

... И ПЛАНЫ (Что делать, чтобы добиться локализации?)