



Эффекты межчастичного взаимодействия в транспорте носителей заряда двумерных наноструктур

Ковалёв В.М.

Лаборатория теоретической физики ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН

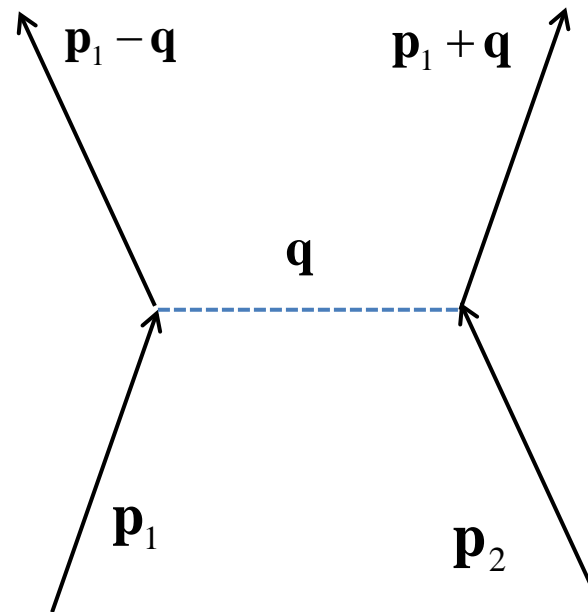
Электрон-электронное взаимодействие

Феноменологическое описание

$$\frac{d\mathbf{p}_1}{dt} = e\mathbf{E} - \frac{\mathbf{p}_1 - \mathbf{p}_2}{\tau_{ee}} - \frac{\mathbf{p}_1}{\tau}$$

$$\frac{d\mathbf{p}_2}{dt} = e\mathbf{E} - \frac{\mathbf{p}_2 - \mathbf{p}_1}{\tau_{ee}} - \frac{\mathbf{p}_2}{\tau}$$

$$\mathbf{j} = e(\mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2) = \frac{e}{m}(\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)$$



Теоретическая модель

$$-(\mathbf{F} \cdot \nabla_{\mathbf{p}})f_{\mathbf{p}} = -\frac{f_{\mathbf{p}} - n_{\mathbf{p}}}{\tau_i} + Q_{ee}\{f_{\mathbf{p}}\}$$

$$\delta f_{\mathbf{p}} \propto (\mathbf{F} \cdot \mathbf{v}_{\mathbf{p}})n'_{\varepsilon_{\mathbf{p}}}$$

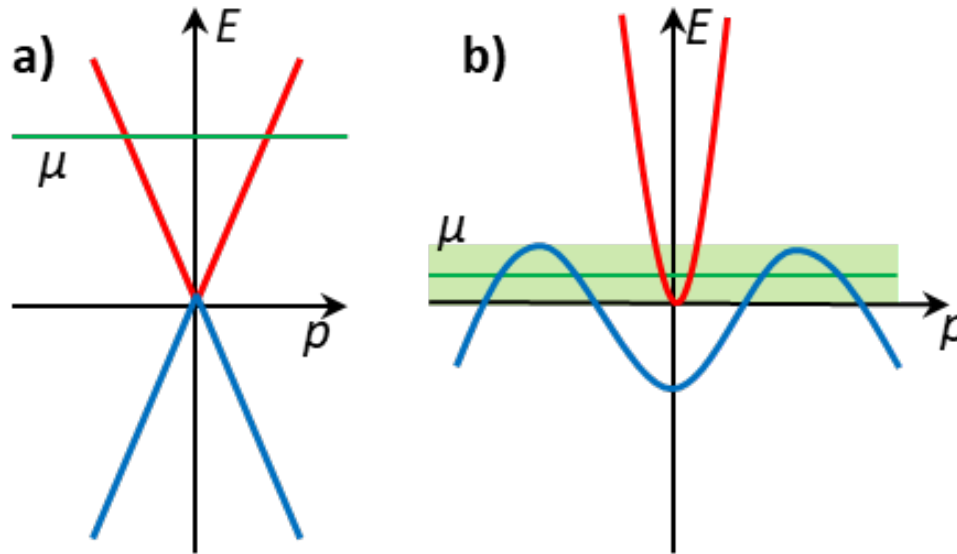
$$\mathbf{j} = 2\pi e\tau_i^2 \sum_{\mathbf{p}, \mathbf{k}, \mathbf{q}} (\mathbf{F} \cdot \mathbf{v}_{\mathbf{p}})[\mathbf{v}_{\mathbf{p}} + \mathbf{v}_{\mathbf{k}} - \mathbf{v}_{\mathbf{p}-\mathbf{q}} - \mathbf{v}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}]|U_{\mathbf{q}}|^2(n_{\mathbf{p}} - n_{\mathbf{p}-\mathbf{q}})(n_{\mathbf{k}} - n_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}) \\ \times \int \frac{d\omega}{4T \sinh^2(\frac{\omega}{2T})} \delta(\epsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{q}} - \epsilon_{\mathbf{k}} - \omega) \delta(\epsilon_{\mathbf{p}-\mathbf{q}} - \epsilon_{\mathbf{p}} + \omega).$$

Параболический спектр $\mathbf{v}_{\mathbf{p}} + \mathbf{v}_{\mathbf{k}} - \mathbf{v}_{\mathbf{p}-\mathbf{q}} - \mathbf{v}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}} = (\mathbf{p} + \mathbf{k} - \mathbf{p} + \mathbf{q} - \mathbf{k} - \mathbf{q})/m = 0$

Линейный спектр $\mathbf{v}_{\mathbf{p}} + \mathbf{v}_{\mathbf{k}} - \mathbf{v}_{\mathbf{p}-\mathbf{q}} - \mathbf{v}_{\mathbf{k}+\mathbf{q}} = v^2 \left(\frac{\mathbf{p}}{\epsilon_{\mathbf{p}}} + \frac{\mathbf{k}}{\epsilon_{\mathbf{k}}} - \frac{\mathbf{p}-\mathbf{q}}{\epsilon_{\mathbf{p}-\mathbf{q}}} - \frac{\mathbf{k}+\mathbf{q}}{\epsilon_{\mathbf{k}+\mathbf{q}}} \right)$

$$\sigma_{xx} = -\frac{1}{\pi^3} \left(\frac{e\tau_i}{4v} \right)^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\omega^4 d\omega}{\sinh^2(\omega/2T)} \int_{\omega/v}^{\infty} \frac{qdq}{2\pi} \frac{|U_{\mathbf{q}}|^2}{\varepsilon_{\mathbf{q}}^2} \quad \sigma_{xx} = -\frac{e^2}{6\hbar} \left(\frac{e^2}{\varepsilon \hbar v} \right)^2 \left(\frac{T\tau_i}{\hbar} \right)^2$$

Зонные диаграммы двумерных полуметаллов

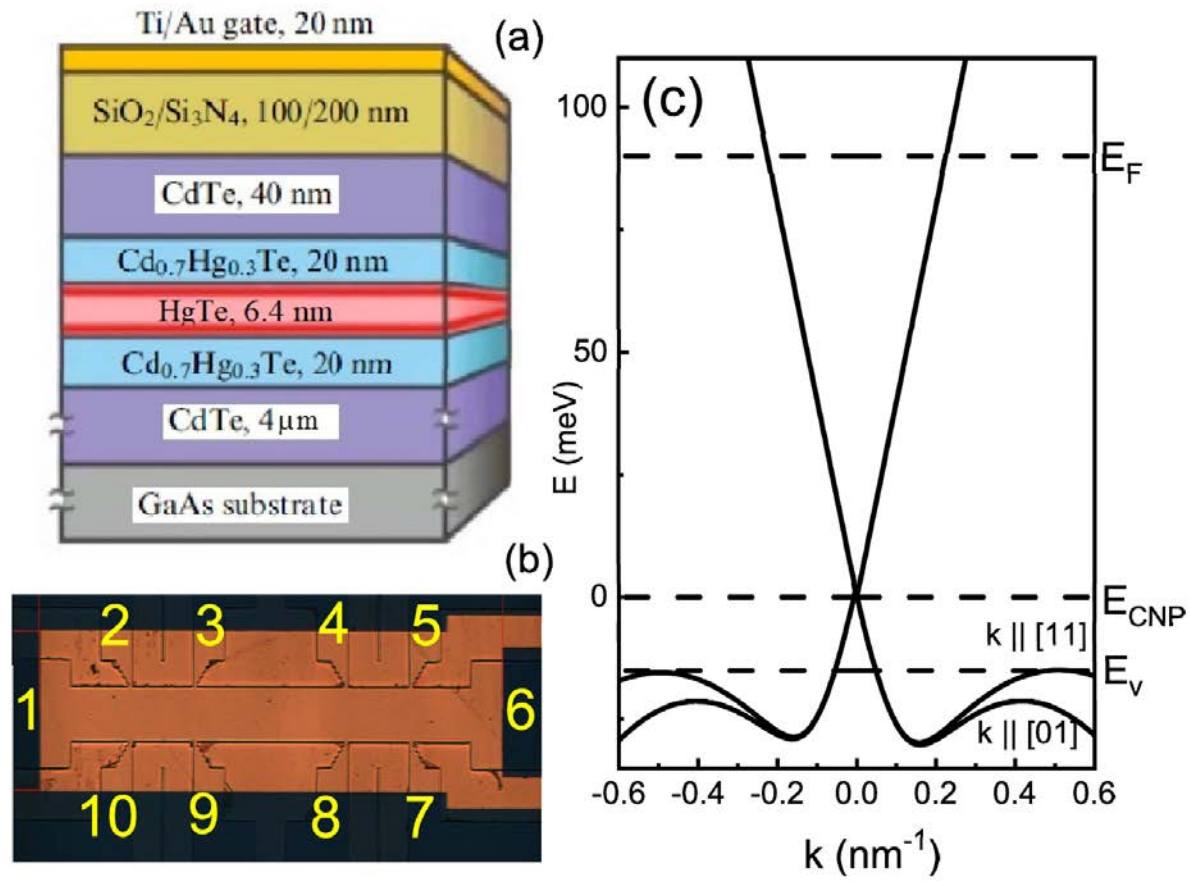


Зонные диаграммы носителей заряда двумерных полуметаллов:

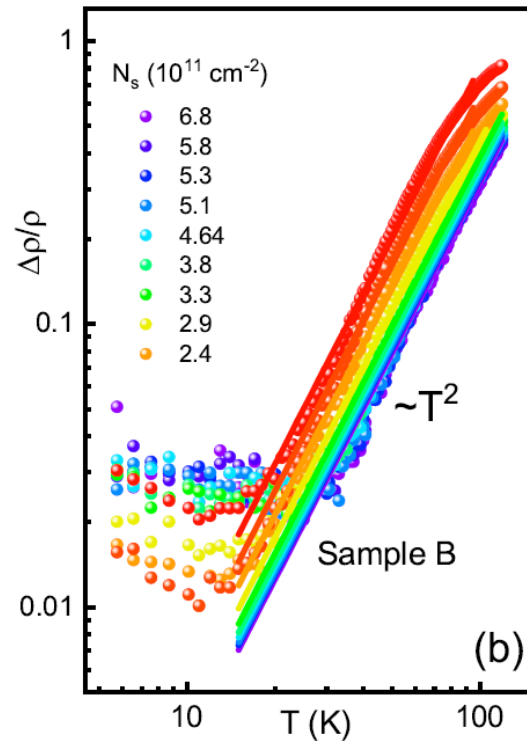
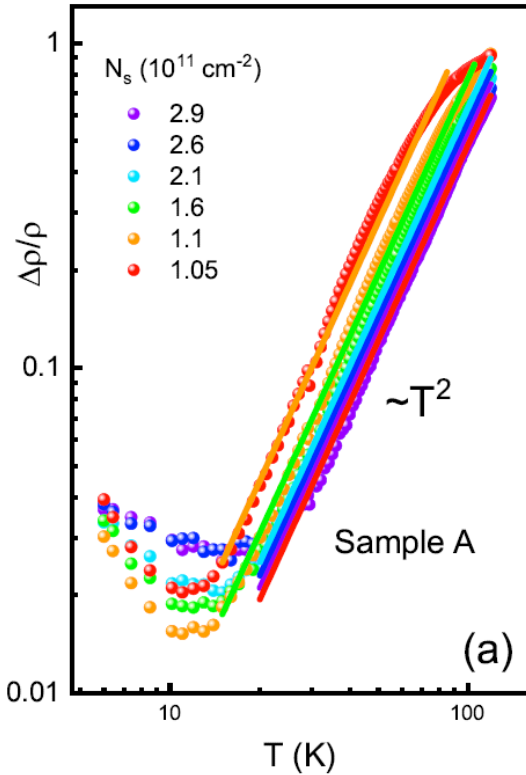
а) дираковский спектр, б) параболический спектр.

Зеленая область – область перекрытия спектров электронов и дырок,
 μ – положение уровня Ферми.

Дираковский спектр



Эксперимент



$$\frac{\delta\rho}{\rho_0} = -\frac{\sigma_{xx}}{\sigma_0} = \frac{2}{3} \left(C \frac{e^2}{\varepsilon\hbar v} \right)^2 \frac{T}{\mu} \left(\frac{T\tau_i}{\hbar} \right) \sim \frac{\tau_i}{\tau_{ee}}$$

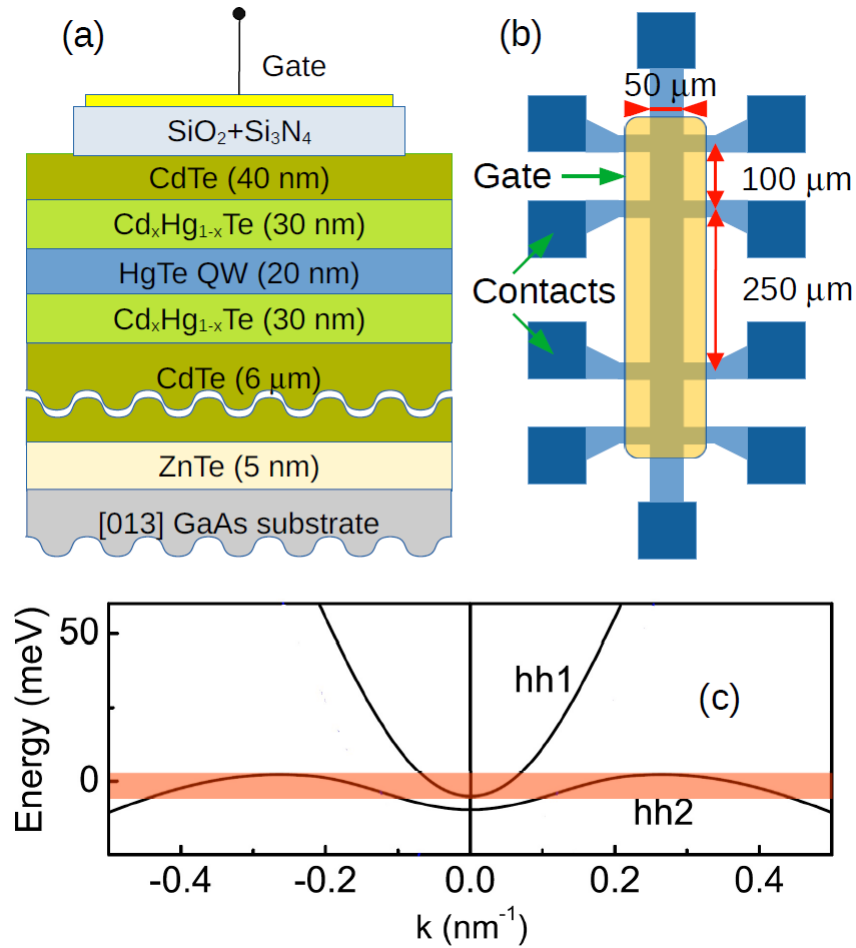
sample	τ_i (10^{-12} s)	μ (meV)	C
A	0.56	62	2.6
A	0.47	51	3
A	0.41	45	3.2
B	1.7	92.8	1.5
B	1.4	70.8	1.6
B	1	56.8	2

PHYSICAL REVIEW LETTERS **134**, 196303 (2025)

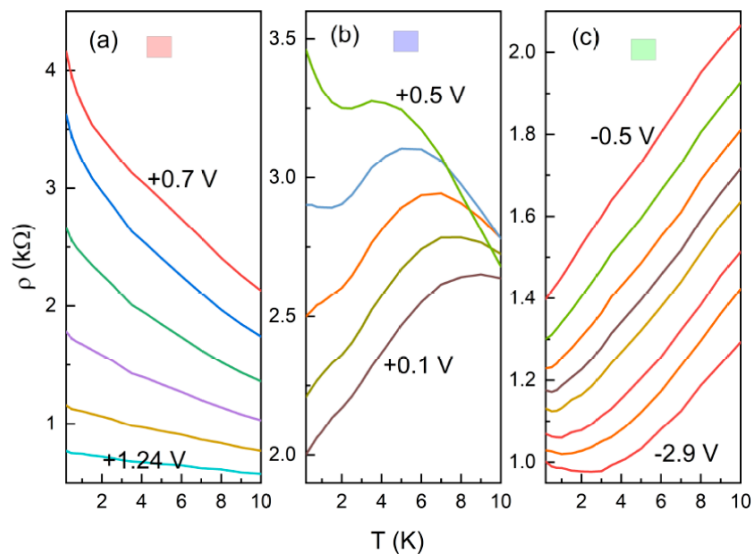
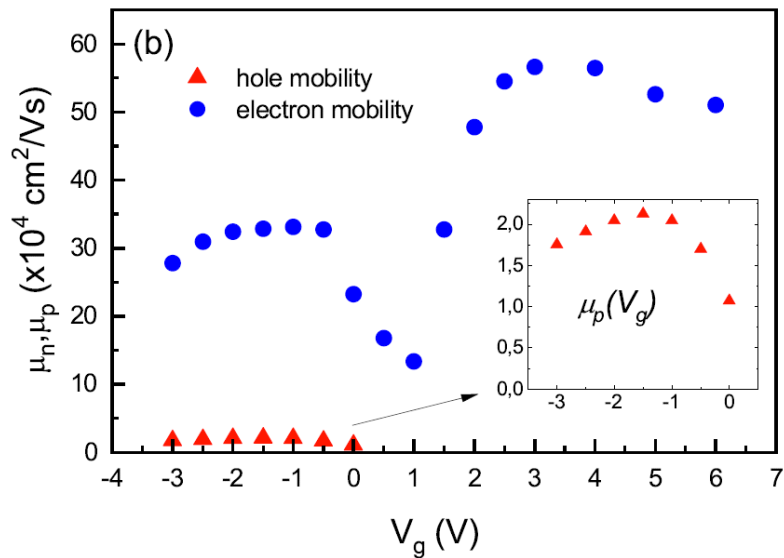
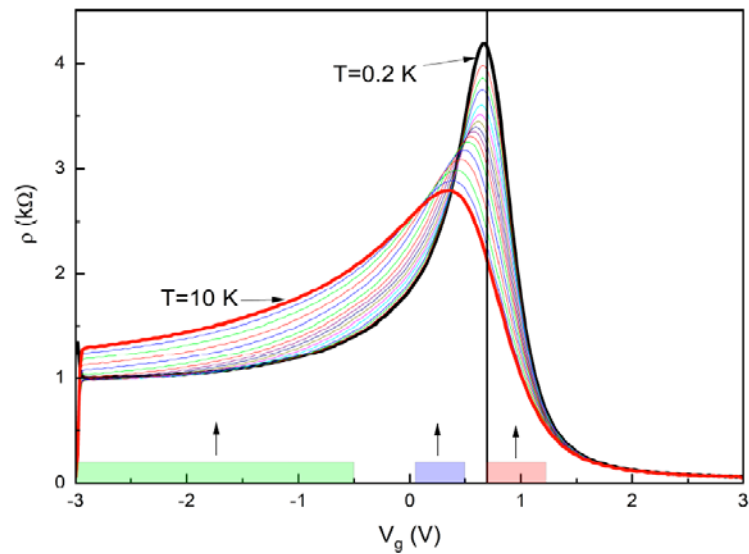
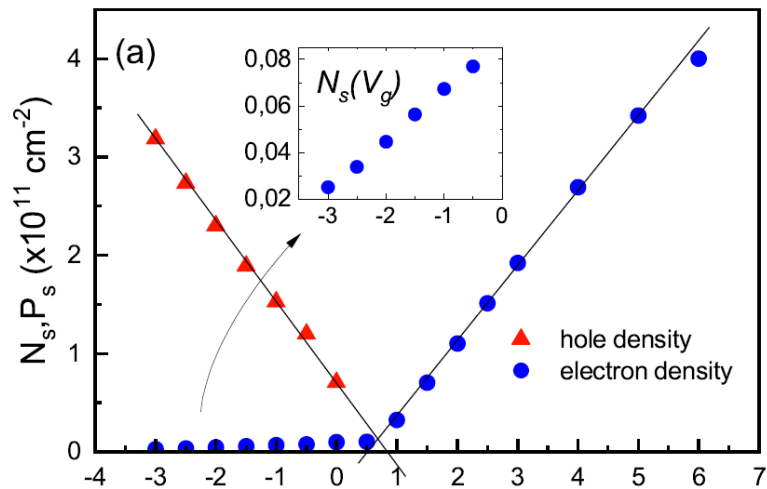
Resistivity of Non-Galilean-Invariant Two-Dimensional Dirac Systems

V. M. Kovalev^{1,2}, M. V. Entin^{1,3}, Z. D. Kvon^{1,3}, A. D. Levin⁴, V. A. Chitta⁴, G. M. Gusev⁴ and N. N. Mikhailov^{1,3}

Полуметалл с параболическим спектром



Эксперимент



Теоретическая модель

$$\delta\sigma_{xx}^e = 2\pi e^2 \frac{\tau_e}{m_e} \left(\frac{\tau_e}{m_e} + \frac{\tau_h}{m_h} \right) \times$$

$$\int_0^\infty \frac{q dq}{2\pi} \frac{q^2 |U_{\mathbf{q}}|^2}{2} \int_{-\infty}^{+\infty} d\omega \frac{\text{Im} \Pi^e(-\mathbf{q}, -\omega) \text{Im} \Pi^h(\mathbf{q}, \omega)}{4\pi^2 T \sinh^2(\omega/2T)}$$

Quasiballistic regime

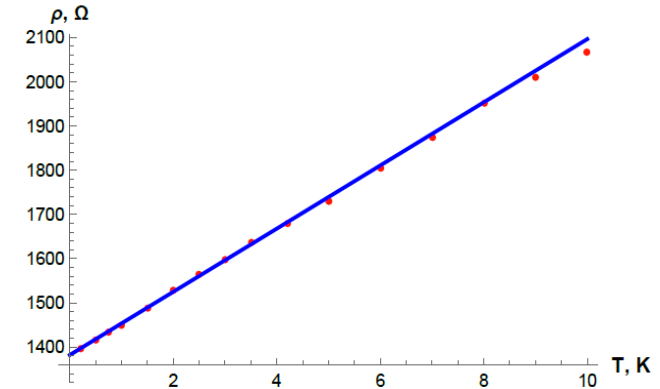
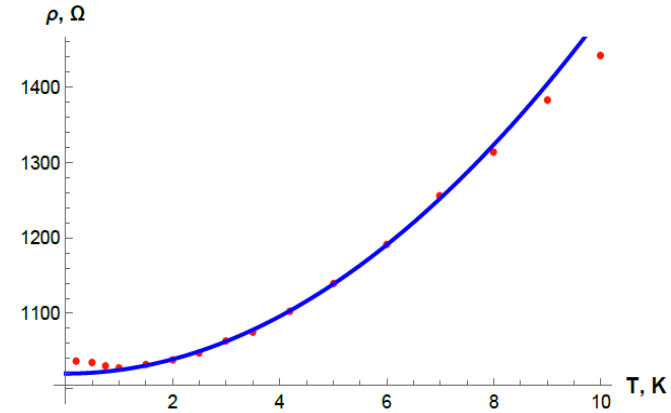
$$\delta\sigma_{xx}^e = -\frac{Ae^2}{3(2\pi)^2 \hbar} \frac{\tau_e T^2 (\tau_e m_h + \tau_h m_e)}{m_e v_e v_h \hbar^6} \int_0^{q_1} q dq |U_{\mathbf{q}}|^2$$

$$q_1 = \min(2p_0, 1/d)$$

Diffusive regime





$$\delta\sigma_{xx}^{e(II)} = -\frac{Be^2 (\tau_e T)}{\hbar (2\pi)^3} \frac{\tau_e m_h + \tau_h m_e}{\hbar^3 p_e} \int_0^{q_2} q^2 dq |U_{\mathbf{q}}|^2$$

$$q_2 = \min(1/l_h, 1/d)$$



PHYSICAL REVIEW RESEARCH 7, 043169 (2025)

Interplay between electron-hole and impurity scattering in HgTe-based quantum wells

A. V. Snegirev ^{1,2} V. M. Kovalev ^{1,3} M. V. Entin ¹ E. B. Olshanetsky,^{1,*} G. M. Gusev ⁴
N. N. Mikhailov,¹ and Z. D. Kvon^{1,2}



Эффекты межчастичного взаимодействия в транспорте носителей заряда двумерных наноструктур

Ковалёв В.М.

Лаборатория теоретической физики ИФП им. А.В. Ржанова СО РАН