

Оптические и транспортные свойства экситонов и экситонных конденсатов в полупроводниковых наноструктурах

В.М. Ковалёв

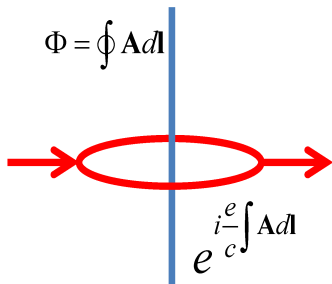
Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова
Сибирского отделения РАН
Лаборатория теоретической физики

22 марта 2018

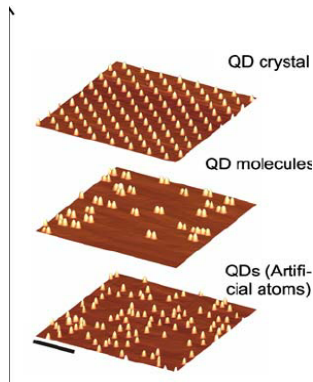
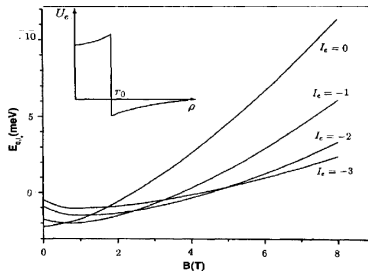
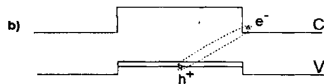
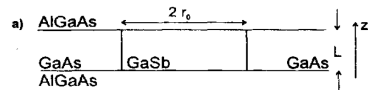
- Эффект Ааронова-Бома для экситонов и плазмонов в квантовых точках и квантовых кольцах
- Эффекты взаимодействия элементарных возбуждений в бозон-фермионных газах полупроводниковых наноструктур
- Кинетические эффекты в бозе-конденсированных экситонных газах

Эффект Ааронова-Бома для нейтральных частиц

Эффект Ааронова-Бома для экситонов и плазмонов в квантовых точках и квантовых кольцах

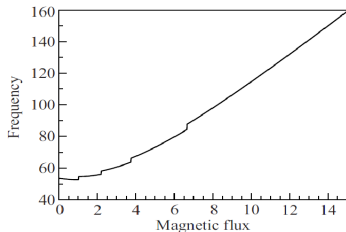
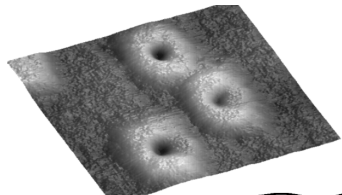
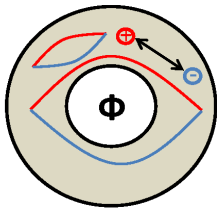


Эффект Ааронова-Бома для экситонов в квантовых точках



$$I \sim \int \frac{d\varphi}{2\pi} e^{i(\ell_e + \ell_h)\varphi} = \delta_{\ell_e + \ell_h, 0}$$

Эффект Ааронова-Бома (АБ) для плазмонов в квантовых кольцах



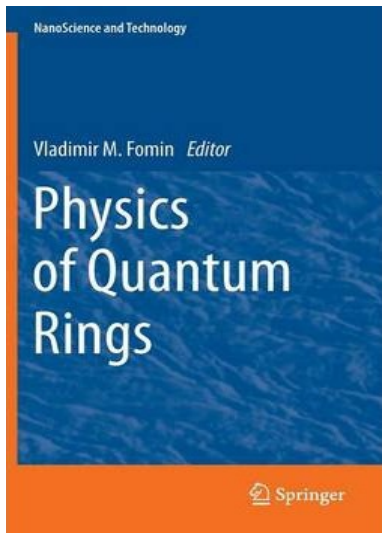
Точно решаемая модель:

$$U(\rho) = \frac{A}{\rho^2} + B\rho^2$$

Дисперсионное уравнение

$$e^2 F_\ell \sum_m \frac{f(E_m) - f(E_{m+\ell})}{E_m - E_{m+\ell} - \omega} = 1$$

Monography: Physics of Quantum Rings



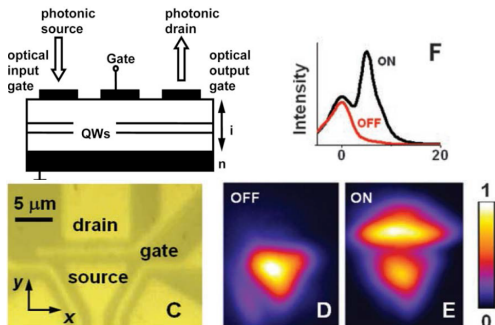
Part II Aharonov-Bohm Effect for Excitons

9 New Versions of the Aharonov-Bohm Effect in Quantum Rings . . .	199
A.V. Chaplik and V.M. Kovalev	
9.1 Introduction	199
9.2 Electron-Electron Interaction and Persistent Current in a Quantum Ring [8]	200
9.3 Electronic Absorption of the Surface Acoustic Wave by QR in a Magnetic Field [15]	204
9.3.1 Noninteracting Electrons	204
9.3.2 Two-Electron Wigner Molecule	205
9.3.3 Discussion	209
9.4 Effect of Spin-Orbit Interaction on Persistent Currents in QR [20]	211
9.5 AB Effect for Composite Particles	214
9.5.1 Excitons in 1D Ring [22]	215
9.5.2 Accounting for the Finite Width [23]	216
9.5.3 Trion X^- and Multiply Charged Excitons	221
9.6 AB Effect for Plasmons [26]	223
9.7 Polaronic Effect in QRs [30]	228
9.7.1 Electron and Hole Polarons	228
9.7.2 Excitonic Polaron and Interband Optical Transitions	231
9.8 Vertical Transport Through QR (Longitudinal Magnetoresistance) [39]	234
9.8.1 Spectrum and Wave Functions of a QR	235
9.8.2 Tunnel Current in the Model of a δ -Shaped Solenoid	236
9.8.3 Uniform Magnetic Field	238
9.9 Ring Excitons Under External Electromagnetic Radiation [40]	240
9.9.1 Model and Hamiltonian	240
9.9.2 Perturbation Theory Calculations	241
9.9.3 Resonance Frequency of the External Field	242
9.9.4 Adiabatic Approximation	242
References	244

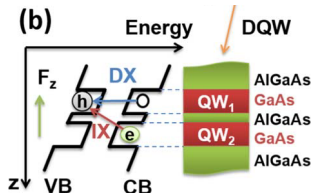
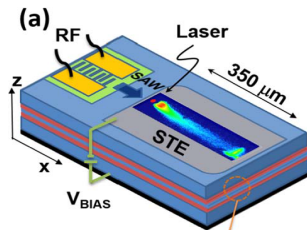
Двумерный экситонный газ

Оптоэлектроника и акустоэлектроника на экситонном газе

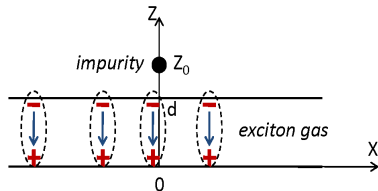
Экситонный транзистор



Акустический транспорт



Экранирование в экситонном конденсате



В нормальной фазе:

$$W(\mathbf{r}) = \frac{U(\mathbf{r})}{\epsilon_{eff}},$$

$$\epsilon_{eff} = 1 + \frac{2d}{a^*} \left(e^{2\pi N_0 / MT} - 1 \right)$$

Диэлектрический тип
экранирования.

В конденсированной фазе:

$$W(\mathbf{k}) = \frac{U(\mathbf{k})}{\epsilon_{eff}(\mathbf{k})},$$

$$\epsilon_{eff}(\mathbf{k}) = 1 + \frac{4Mn_c g(\mathbf{k})}{k^2}.$$

При $z_0 = d$, получаем

$$W(\rho) \sim \frac{1}{n_c^4 \rho^7}$$

Поглощение звука в экситонном конденсате

$$\Gamma_c(\omega) \sim n_c \omega^2 \delta(c - s), \quad \Gamma_n(\omega) \sim \frac{\omega}{\sqrt{c^2 - s^2}} \theta(c^2 - s^2), \quad Ms^2 = g_0 n_c.$$

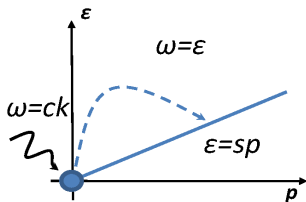


Рис.: "Трансформация волн"

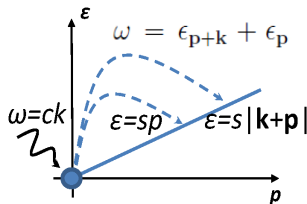


Рис.: Затухание Беляева

Акустоэкситонный транспорт в экситонном конденсате

$$W(\mathbf{r}, t) = W_{k\omega} e^{i\mathbf{k}\mathbf{r} - i\omega t} + W_{k\omega}^* e^{-i\mathbf{k}\mathbf{r} + i\omega t}$$

Ток увлечения: среднее по времени

$$\langle \mathbf{j}(\mathbf{r}, t) \rangle_t \sim W_{k\omega} W_{k\omega}^*$$

Вклад механизма

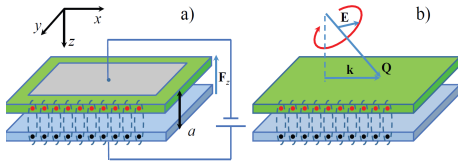
"Трансформация волн"

$$j_c \sim \frac{\omega l_0}{(1 - s^2/c^2)^2}$$

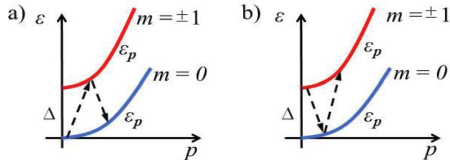
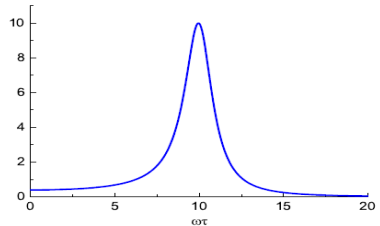
Вклад механизма Беляева

$$j_c \sim \frac{l_0}{\omega(1 - s^2/c^2)^{3/2}} \theta[\omega^2 - s^2 k^2]$$

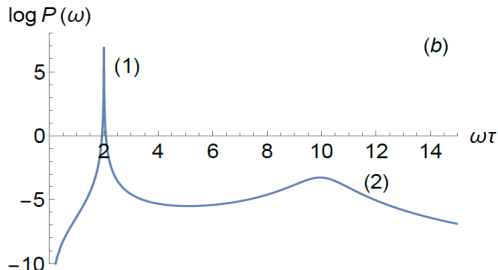
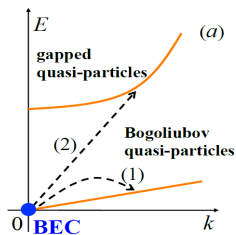
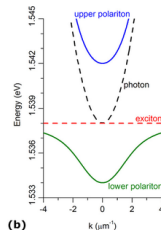
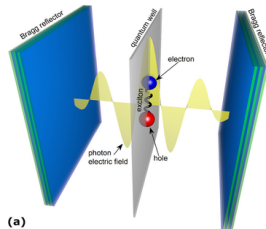
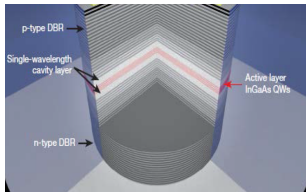
Светозекситонный транспорт: увлечение экситонов фотонами



$$\mathbf{j} \sim \frac{\mathbf{k}(N_1 - N_2)}{(\omega - \Delta)^2 + 1/\tau^2} \mathcal{I}$$

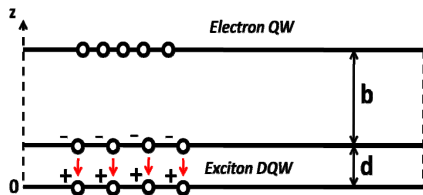


Парамагнитный резонанс в поляритонном конденсате



Гибридные электрон-экситонные системы

Гибридные электрон-экситонные системы: столкновительные времена жизни квазичастиц



Электрон:

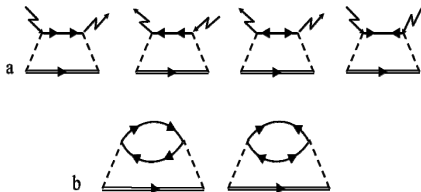
$$\frac{1}{\tau_{cn}} \sim \frac{\xi|\xi|}{Ms^2}, \quad \frac{1}{\tau_{nn}} \sim 0.6\xi \quad (1)$$

Плазмон:

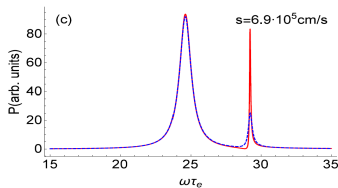
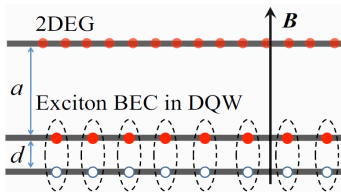
$$\text{Re} \omega_k \sim \sqrt{k}, \quad \text{Im} \omega_k \sim k \quad (2)$$

Боголон:

$$\text{Re} \omega_k = sk, \quad \text{Im} \omega_k \sim k^3 \quad (3)$$



Гибридные электрон-экситонные системы: циклотронный Фано-резонанс



$$\tilde{\sigma}_{k\omega} = \frac{1}{\sigma_B^{-1} + i \frac{k^2}{e^2 \omega} [U_{k\omega} + V_{k\omega}^2 P_{k\omega}]},$$

$$\sigma_B = \sigma_0 \frac{i(\omega\tau_e + i)}{(\omega\tau_e + i)^2 - \omega_c^2 \tau_e^2},$$

Благодарности

- М.В. Боев
 - И.Г. Савенко
 - А.В. Чаплик
 - М.В. Энтин
 - М.В. Фистуль
 - А.Ф. Садреев
 - П.И. Арсеев
 - А.Г. Семенов
 - М.М. Глазов
 - S. Flach
 - Y. Rubo
- и др.

Thank you for your attention!