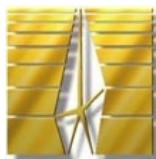


Ключевые работы и горизонты («Baker's dozen»)



Е.Л. Ивченко

60
80

- Прецессионный механизм спиновой релаксации в магнитном поле
- Спиновый эффект Фарадея в режиме “накачка – зондирование”
- Циркулярный фотогальванический эффект
- Особенность при многократном упругом рассеянии назад
- Интерфейсное смешивание состояний тяжелых и легких дырок
- Резонансная брэгговская структура
- Анизотропия электронного g -фактора в квантовой яме
- Линейно-циркулярный двухфотонный дихроизм
- Сдвиговый механизм фотогальванических эффектов
- Естественная оптическая активность полупроводников
- Тонкая структура низкоразмерных экситонов
- Спиновый шум в полупроводниках
- Ориентация спинов электрическим током

1. Е.Л. Ивченко, Спиновая релаксация свободных носителей в полупроводниках без центра инверсии в продольном магнитном поле, ФТТ **15**, 1566 (1973).
2. А.Г. Аронов, Е.Л. Ивченко, Дихроизм и оптическая анизотропия в среде с ориентированными спинами свободных электронов, ФТТ **15**, 231 (1973).
3. Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, Новый фотогальванический эффект в гиротропных кристаллах, Письма в ЖЭТФ **27**, 640 (1978).
4. Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, Б.С. Разбирин, А.Н. Старухин, Оптическая ориентация и выстраивание свободных экситонов в GaSe при резонансном возбуждении. Теория, ЖЭТФ **72**, 2230 (1977).
5. И.Л. Алейнер, Е.Л. Ивченко, Природа анизотропного обменного расщепления в сверхрешетках GaAs/AlAs типа II, Письма в ЖЭТФ **55**, 662 (1992).
6. Е.Л. Ивченко, А.И. Несвижский, С. Йорда, Брэгговское отражение света от структур с квантовыми ямами, ФТТ **36**, 2118 (1994).
7. Е.Л. Ивченко, А.А. Киселев, Электронный g -фактор в квантовых ямах и сверхрешетках, ФТП **26**, 1471 (1992).
8. Е.Л. Ивченко, Двухфотонное поглощение и оптическая ориентация свободных носителей в кубических кристаллах, ФТТ **4**, 3489 (1972).
9. В.И. Белиничер, Е.Л. Ивченко, Б.И. Стурман, Кинетическая теория сдвигового фотогальванического эффекта в пьезоэлектриках, ЖЭТФ **83**, 649 (1982).
10. Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, Естественная оптическая активность полупроводников (теллур), ФТТ **16**, 1933 (1974).
11. E.L. Ivchenko, V.P. Kochereshko, A.Yu. Naumov, I.N. Uraltsev, P. Lavallard, Magnetic-field-effects on photoluminescence polarization in type II GaAs/AlAs superlattices, Superlatt. Microstruct. **10**, 497 (1991).
12. Е.Л. Ивченко, К вопросу о флуктуациях спиновой поляризации свободных носителей в полупроводниках, ФТП **7**, 1489 (1973).
13. Л.В. Воробьев, Е.Л. Ивченко, Г.Е. Пикус, И.И. Фарбштейн, В.А.Шалыгин, А.В.Штурбин, Оптическая активность в теллуре, индуцированная током, Письма в ЖЭТФ **29**, 485 (1979).

- Прецессионный механизм спиновой релаксации в магнитном поле
- Спиновый эффект Фарадея в режиме “накачка – зондирование”
- Циркулярный фотогальванический эффект
- Особенность при многократном упругом рассеянии назад
- Интерфейсное смешивание состояний тяжелых и легких дырок
- Резонансная брэгговская структура
- Анизотропия электронного g -фактора в квантовой яме
- Линейно-циркулярный двухфотонный дихроизм
- Сдвиговый механизм фотогальванических эффектов
- Естественная оптическая активность полупроводников
- Тонкая структура низкоразмерных экситонов
- Спиновый шум в полупроводниках
- Ориентация спинов электрическим током

- Прецессионный механизм спиновой релаксации в магнитном поле
- Спиновый эффект Фарадея в режиме “накачка – зондирование”
- Циркулярный фотогальванический эффект
- Особенность при многократном упругом рассеянии назад
- Интерфейсное смешивание состояний тяжелых и легких дырок
- Резонансная брэгговская структура
- Анизотропия электронного g -фактора в квантовой яме
- Линейно-циркулярный двухфотонный дихроизм
- Сдвиговый механизм фотогальванических эффектов
- Естественная оптическая активность полупроводников
- Тонкая структура низкоразмерных экситонов
- Спиновый шум в полупроводниках
- Ориентация спинов электрическим током

Ф

И

Э

И

К

А

- Прецессионный механизм спиновой релаксации в магнитном поле
- Спиновый эффект Фарадея в режиме "накачка – зондирование"
- Циркулярный фотогальванический эффект
- Особенность при многократном упругом рассеянии назад
- Интерфейсное рассеяние на состояниях тяжелых и легких дырок
- Резонансная фотоупругая структура
- Анизотропия электронного g-фактора в квантовой яме
- Линейно-циркулярный двухфотонный хиротризм
- Спинтовый механизм фотогальванических эффектов
- Естественная оптическая активность нанокристаллов
- Тонкая структура низкоразмерных экситонов
- Спиновый шум в полупроводниках
- Ориентация спинов электрическим током

Философия

Ф

И

Э

И

К

А

- Прецессионный механизм спиновой релаксации в магнитном поле
- Спиновый эффект Фарадея в режиме "пакачка – зондирование"
- Циркулярный фотогальванический эффект
- Особенность при многократном упругом рассеянии назад
- Интерфейсное взаимодействие состояний тяжелых и легких дырок
- Резонансная фотоупругая структура
- Анизотропия электронного g-фактора в квантовой яме
- Линейно-циркулярный двухфотонный хиротризм
- Спинтовый механизм фотогальванических эффектов
- Естественная оптическая активность нанокристаллов
- Тонкая структура низкоразмерных экситонов
- Спиновый шум в полупроводниках
- Ориентация спинов электрическим током

Математика

60
80

Математика

По-видимому, впервые мнимые величины были упомянуты в известном труде “Великое искусство, или об алгебраических правилах” Джероламо Кардано (1545). Возможность использования мнимых величин при решении кубического уравнения впервые описал Рафаэль Бомбелли (1572).

Рассмотрим уравнение третьего порядка

$$x^3 = 15x + 4,$$

проанализированное Бомбелли. Согласно формуле Кардано решение уравнения третьего порядка

$$x^3 = kx + b$$

можно представить в виде

$$x = \sqrt[3]{\frac{b}{2} + \sqrt{\Phi}} + \sqrt[3]{\frac{b}{2} - \sqrt{\Phi}}, \quad \Phi = \left(\frac{b}{2}\right)^2 - \left(\frac{k}{3}\right)^3$$

Математика

$$x = \sqrt[3]{\frac{b}{2} + \sqrt{\Phi}} + \sqrt[3]{\frac{b}{2} - \sqrt{\Phi}},$$

Для примера Бомбелли неожиданно имеем $\Phi = -121$ и корень принимает вид

$$x = \sqrt[3]{2 + \sqrt{-121}} + \sqrt[3]{2 - \sqrt{-121}}.$$

Используя тождества

$$\sqrt[3]{2 + \sqrt{-121}} = 2 + \sqrt{-1}, \quad \sqrt[3]{2 - \sqrt{-121}} = 2 - \sqrt{-1},$$

находим $x = 4$. Бомбелли впервые описал правила сложения, вычитания, умножения и деления комплексных чисел, однако всё равно считал их бесполезной и хитроумной “выдумкой”.

Математика

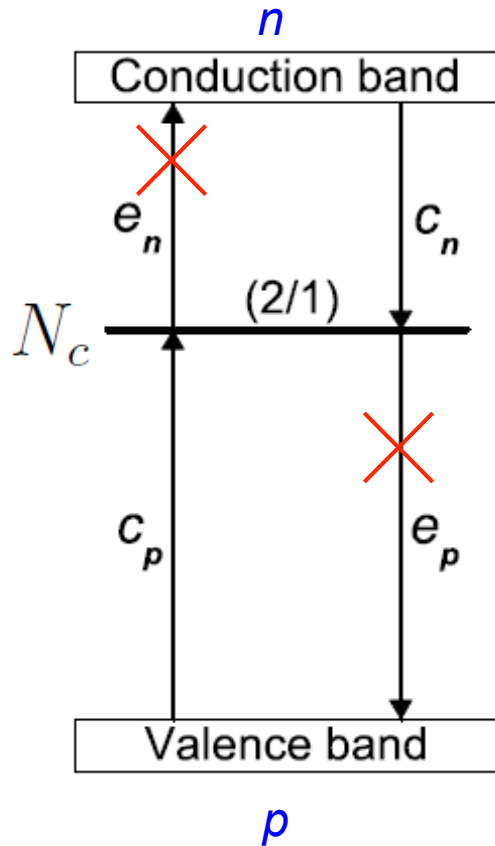
Предубеждение перед корнем квадратным из отрицательного числа существовало очень долго. Например, Лейбниц писал: “Дух божий нашел тончайшую отдушину в этом чуде анализа, уроде из мира идей, двойственной сущности, находящейся между бытием и небытием, которую мы называем мнимым корнем из отрицательной единицы”. Символ i для обозначения мнимой единицы предложил Леонард Эйлер (1777, опубликовано 1794), взявший для этого первую букву латинского слова *imaginarius* — мнимый. До него мнимый корень рассматривался как “трюк”, хотя и применялся с успехом, пока получение Эйлером знаменитой формулы

$$e^{i\phi} = \cos \phi + i \sin \phi$$

не открыло комплексным числам дорогу в самые различные области математики и ее приложений.

Математика

В волновой квантовой механике состояния системы описываются волновой функцией, которая является **комплексной** величиной. При этом комплексный характер волновой функции является **решающим** фактором: на самом деле, в то время, как модуль представляет собой квадратный корень из плотности вероятности, фаза также несет **физическую информацию**. Например, она связана со средним значением оператора импульса и порождает эффекты интерференции. Оперирование с матрицей плотности, более общим объектом по сравнению с волновой функцией, также не может обойтись без **комплексных** чисел.



Рекомбинация Шокли-Рида-Холла

$$c_n N_1 n = G, \quad c_p N_2 p = G$$

$$N_1 + N_2 = N_c, \quad p = n + N_2$$

Математика и физика

$$c_n n N_1 = G, \quad c_p p N_2 = G, \quad N_1 + N_2 = N_c, \quad p = n + N_2$$

$$X = \frac{N_2}{N_c} = \frac{N_c - N_1}{N_c}, \quad Y = \frac{n}{N_c}, \quad g = \frac{G}{c_p N_c^2}, \quad \bar{X} = X - \frac{1}{3}$$

$$\bar{X}^3 = k\bar{X} + b$$

$$b = \frac{2}{27} - \frac{2-a}{3}g, \quad k = \frac{1}{3} + (1+a)g, \quad a = \frac{c_p}{c_n}$$

$$\Phi = \left(\frac{b}{2}\right)^2 - \left(\frac{k}{3}\right)^3 \rightarrow \Phi = \frac{1}{4} \left(\frac{2}{27} - \frac{2-a}{3}g\right)^2 - \frac{1}{27} \left[\frac{1}{3} + (1+a)g\right]^3$$

Математика и физика

$$\bar{X}_1 = \alpha + \beta, \quad \bar{X}_{2,3} = -\frac{\alpha + \beta}{2} \pm i\frac{\alpha - \beta}{2}\sqrt{3}$$

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{b}{2} + \sqrt{\Phi}}, \quad \beta = \sqrt[3]{\frac{b}{2} - \sqrt{\Phi}}, \quad \beta = \frac{k}{3\alpha}$$

При очень малой мощности накачки $N_2, p \propto \sqrt{g}$:

$$\alpha \approx \frac{1}{3} + iC\sqrt{g}, \quad \beta \approx \frac{1}{3} - iC\sqrt{g} \rightarrow \bar{X}_3 = -\frac{1}{3} + C\sqrt{3g}$$

$$X = \frac{N_2}{N_c} = \frac{1}{3} + \bar{X}$$

60
80

Три вещественных корня уравнения $x^3 = 15x + 4$: $x_1 = 4, x_{2,3} = -2 \mp \sqrt{3}$.

Математика и физика

Различие между математиком и физиком-теоретиком

Сформулировать ощущение сильного различия между нами помогло знакомство со школой Пифагора так, как это изложено в книге Р. Брамбо “Философы древней Греции”. Он пишет: “Специфические для пифагорейцев философские идеи можно свести к двум фразам:

«Числа – это вещи» и «Вещи – это числа».”

математик

физик-теоретик

Первая из этих заповедей говорит о том, что пифагорейская школа открыла **чистую** математику. Вторая заповедь выражает открытие пифагорейцев о том, что математические формулы можно использовать для объяснения **физического мира**.

Философия

Многие физики считают постановку **метафизических вопросов** излишним и стараются избежать их обсуждения, а если нельзя избежать, то по возможности побыстрее свернуть разговор на эту тему. Да, не стоит преувеличивать значение метафизических вопросов о физике: очевидно, физика может вполне устойчиво развиваться и без вопрошания сверх сущего. Известна шутливая фраза Блеза Паскаля, математика, физика и философа:

“Философия не стоит и часа труда.”

Метафизика – это вопрошание сверх сущего, за его пределы. Выступление за пределы сущего называется **трансценденцией**.

Философия

Различие между философом и физиком

Постмодернистская философия опирается на принципы плюрализма и релятивизма, согласно которым в реальной действительности постулируется «множественность порядков», между которыми невозможно установление какой-либо **иерархии**. Данный подход распространяется на теории, парадигмы, концепции или интерпретации того или иного «порядка». Каждая из них является **одной** из возможных и допустимых, их познавательные достоинства **в равной мере** являются относительными.

Постмодернизм весьма скептически относится к понятию истины, пересматривает прежнее понимание знания и познания.

В отличие от постмодернистской философии в физике иерархия и истина признаются.

Физика

В отличие от постмодернистской философии в физике иерархия и истина признаются.

“Наука есть теория действительного” (М. Хайдеггер)

“Действительно то, что поддается измерению
(Only measurable things exist).” (Макс Планк).

Теория

Теория в старом, греческом, смысле (*θεωρία*, феория) есть почтительное внимание к **не**потаенности присутствующего (оберегающее внимание к истине). Богиня Алетея (*Ἀλήθεια*) – древнегреческая богиня истины, символ **не**потаенности (Веритас у древних римлян).

Греческая “феория” в современной науке оказывается рассмотрением (прослеживанием, обозреванием) действительного в его причинно-следственных взаимосвязях.

Познаваемость физического мира (!?)

“...но редкий физик задумывается над вопросом: почему эти свойства и законы вообще познаваемы!”

Удивляет и воодушевляет:

познаваемость физического мира,

*возможность теоретического описания
физических явлений,*

простота теоретического описания

При исследовании физику не надо решать, являет ли природа полноту своего **потаянного** существа или ускользает. Вместо этого он решает физическую задачу.

Проблемы в физике

Сверхпроводимость при комнатной температуре♪

Квантовый (спиновый) компьютер

Управляемый ядерный синтез

3D наностроительство по плану

Темная материя и темная энергия

Проблемы в физике

1. “Наука не знает, например, можно ли получить сверхпроводимость при комнатной температуре, а теория не дает ответа на этот вопрос. Когда-нибудь даст.”
(В.Л. Гинзбург, интервью от 26.11.2000)
2. Проблема потери квантовой когерентности – одна из главных проблем на пути построения практически полезного квантового компьютера.
3. Управляемый термоядерный синтез – синтез более тяжелых ядер из более легких с целью получения энергии, который носит управляемый характер, в отличие от взрывного термоядерного синтеза.
4. “...to fabricate by design the three-dimensional complicated nanoobjects by using atoms, molecules, clusters, nanoparticles, superlattices, quantum wells, wires, dots, rings, nanotubes, nanomagnets etc. as building blocks.”
(E.L. Ivchenko, Optical spectroscopy of semiconductor nanostructures)
5. “Темная энергия – пожалуй, главная загадка современного естествознания.”
(В. Рубаков, Квант, 2010) “Темную материю видят пока только по ее гравитационному взаимодействию, никаких других “твердых” проявлений нет.” (проф. Александр Долгов, интервью от 29.12.2015)

Темная материя (аксионная гипотеза)

A.B. Balakin, V.A. Popov, Spin-**axion** coupling, Phys. Rev. D **92**, 105025 (2015)

A.V. Balakin, N.N. Dolbilova, Electrodynamic phenomena induced by a **dark fluid**: Analogs of pyromagnetic, piezoelectric, and striction effects, Phys. Rev. D **89**, 104012 (2014).

A.B. Balakin, V.V. Bochkarev, Archimedean-type force in a cosmic **dark fluid**. III. Big rip, little rip, and cyclic solutions, Phys. Rev. D **87**, 024006 (2013)

A.B. Balakin, N.O. Tarasova, Extended **axion** electrodynamics: Optical activity induced by nonstationary **dark matter**, Gravitation Cosmol. **18**, 54 (2012)

A.B. Balakin, V.V. Bochkarev, Archimedean-type force in a cosmic **dark fluid**. II. Qualitative and numerical study of a multistage universe expansion, Phys. Rev. D **83**, 024036 (2011)

A.B. Balakin, V.V. Bochkarev, Archimedean-type force in a cosmic **dark fluid**. I. Exact solutions for the late-time accelerated expansion, Phys. Rev. D **83**, 024035 (2011)

Spin-axion coupling

Alexander B. Balakin^{*} and Vladimir A. Popov[†]

*Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University,
Kremlevskaya Street 18, Kazan 420008, Russia*

(Received 20 August 2015; published 18 November 2015)

$$S_{(\text{EM})} = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{1}{4} F_{mn} F^{mn} + \frac{1}{4} \phi F_{mn}^* F^{mn} \right)$$

$$F^{*kl} = \frac{1}{2} \epsilon^{klmn} F_{mn} \quad \epsilon^{klmn} \equiv \frac{E^{klmn}}{\sqrt{-g}} \quad F_{mn} = \nabla_m A_n - \nabla_n A_m$$

$$A_m = a_m e^{i\Psi} \quad a^j = a \xi^j, \quad \xi^j \xi_j = -1$$

$$k_j \equiv \nabla_j \Psi \quad \text{the unit spacelike polarization four-vector } \xi^j$$

$$\frac{Dk^j}{D\tau} = 0, \quad \frac{D\xi^j}{D\tau} = \frac{1}{2} \epsilon^{jl}_{pg} \nabla_l \phi \xi^p \frac{dx^q}{d\tau}$$

$$A_i = g_{ik} A^k$$

$$\frac{D}{D\tau} \equiv \frac{dx^m}{d\tau} \nabla_m$$

Spin-axion coupling

Alexander B. Balakin^{*} and Vladimir A. Popov[†]

*Department of General Relativity and Gravitation, Institute of Physics, Kazan Federal University,
Kremlevskaya Street 18, Kazan 420008, Russia*

(Received 20 August 2015; published 18 November 2015)

$$S_{(\text{EM})} = \int d^4x \sqrt{-g} \left(\frac{1}{4} F_{mn} F^{mn} + \frac{1}{4} \phi F_{mn}^* F^{mn} \right)$$

Поле ϕ индуцирует поворот плоскости поляризации света, распространяющегося в этом поле.

По аналогии в работе Балакина и Попова рассмотрено движение в аксионном поле поляризованного по спину электрона и рассчитано, как меняется электронный спин при таком движении. В качестве примера проведен расчет для сферически симметричной, статической аксионной звезды с метрикой

$$ds^2 = B(r)dt^2 - A(r)dr^2 - r^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2)$$

Язык теоретической физики

Человек живет не в стране, он живет внутри языка.

Эмиль Мишель Чóран (*Emil Michel Cioran*)

Настоящая родина – это язык.

В. Гумбольдт

Моя родина французский язык.

А. Камю

Язык теоретической физики

$$E = \hbar\omega$$

$$W_{f \leftarrow i} = \frac{2\pi}{\hbar} |V_{fi}|^2 \delta(E_f - E_i)$$

$$E_{\pm} = \frac{E_1 + E_2}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{E_1 - E_2}{2}\right)^2 + |V_{21}|^2}$$

Язык теоретической физики - 2

$$j_{\lambda} = I \gamma_{\lambda\mu} i (e \times e^*)_{\mu}$$

$$\mathbf{j} = -eN_e\tau_p\nabla_{\mathbf{k}}\left(\boldsymbol{\Omega}_k^{(1)}\cdot\dot{\mathbf{S}}\right)$$

$$r_N = \frac{iN\Gamma_0}{\omega_0 - \omega - i(\Gamma + N\Gamma_0)} \qquad \frac{1}{\tau_s(B_{\parallel})} = \left(\frac{\beta}{\hbar}\right)^2 \left\langle \frac{k^2\tau_p}{1 + (\Omega_c\tau_p)^2} \right\rangle$$

$$\varphi_j^A=\varphi_j^B\;, \; \nabla_z^j\varphi_j^A=\nabla_z^j\varphi_j^B+\frac{2}{\sqrt{3}}t_{l-h}\{J_xJ_y\}_{jj'}\varphi_{j'}^B$$

$$R_{n'n} = -(\nabla_{\mathbf{k}} + \nabla_{\mathbf{k}'}) \Phi_{n'n} + \Omega_{n'} - \Omega_n \qquad \Omega_n = i \int u_n^* \nabla_{\mathbf{k}} u_n \, d\mathbf{r}$$

$$g_{\perp}-g_{\parallel}=\frac{2|p_{cv}|^2}{m_0}\left(\frac{1}{E_g+E_{e1}+E_{hh1}}-\frac{1}{E_g+E_{e1}+E_{lh1}}\right)$$

60
80

Работы 2016 года

60
80

PHYSICAL REVIEW B 93, 075422 (2016)



Terahertz ratchet effects in graphene with a lateral superlattice

P. Olbrich,¹ J. Kamann,¹ M. König,¹ J. Munzert,¹ L. Tutsch,¹ J. Eroms,¹ D. Weiss,¹ Ming-Hao Liu (劉明豪),¹ L. E. Golub,² E. L. Ivchenko,² V. V. Popov,^{3,4,5} D. V. Fateev,³ K. V. Mashinsky,⁴ F. Fromm,⁶ Th. Seyller,⁶ and S. D. Ganichev^{1,*}

Спин-зависимая рекомбинация в твердых растворах $\text{GaAs}_{1-x}\text{N}_x$

В НАКЛОННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Е.Л. Ивченко*, Л.А. Бакалейников, М.М. Афанасьев, В.К. Калевич

arXiv:1602.04162

ФТТ, в печати

Magneto-spectroscopy of excited states in charge-tunable GaAs/AlGaAs [111] quantum dots

M. V. Durnev¹, M. Vidal², L. Bouet², T. Amand², M. M. Glazov¹, E. L. Ivchenko¹, P. Zhou², G. Wang², T. Mano³, N. Ha³, T. Kuroda³, X. Marie², K. Sakoda³, and B. Urbaszek²

arXiv:1511.08196

Hyperfine coupling of hole and nuclear spins in symmetric GaAs quantum dots

M. Vidal¹, M. V. Durnev², L. Bouet¹, T. Amand¹, M. M. Glazov², E. L. Ivchenko², P. Zhou¹, G. Wang¹, T. Mano³, T. Kuroda³, X. Marie¹, K. Sakoda³, and B. Urbaszek¹

arXiv:1603.02909

Fundamental properties of 2D excitons bound to single stacking faults in GaAs

Todd Karin,^{1,*} Xiayu Linpeng,^{1,*} M.M. Glazov,² M.V. Durnev,² E.L. Ivchenko,² Sarah Harvey,¹ Ashish K. Rai,³ Arne Ludwig,³ Andreas D. Wieck,³ and Kai-Mei C. Fu^{1,4}

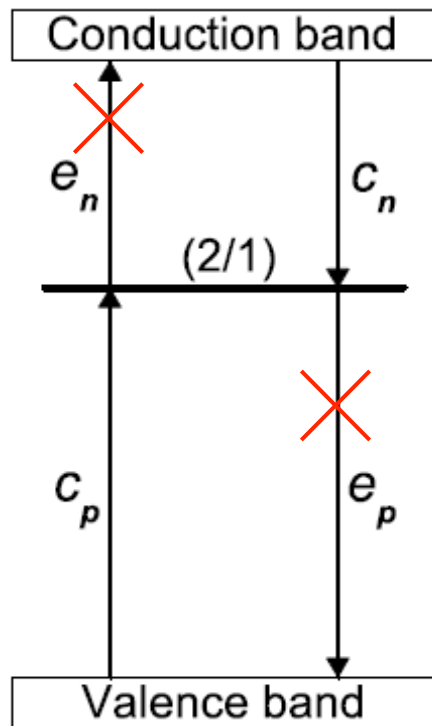
arXiv:1601.03991

Coherent Electron Zitterbewegung

I. Stepanov,¹ M. Ersfeld,¹ A. V. Poshakinskiy,² M. Lepsa,³ E. L. Ivchenko,² S. A. Tarasenko,² and B. Beschoten^{1,*}

Спин-зависимая рекомбинация в режиме накачка – зондирование

Совсем свежее!



- 1) Импульс **циркулярно** поляризованной накачки рождает фотоэлектроны в зоне проводимости и дырки в валентной зоне
- 2) Зондирующий импульс, поляризованный **линейно** или **циркулярно**, приходит с задержкой t_0 .
- 3) Измеряется **проинтегрированная** во времени интенсивность междузонной фотолюминесценции, инициируемой зондирующим импульсом.
- 4) Строится зависимость от t_0 отношения

$$\frac{\int dt I(t; \sigma_+, \sigma_+)}{\int dt I(t; \sigma_+, \text{lin})} \quad \text{к} \quad \frac{\int dt I(t; \text{lin}, \sigma_+)}{\int dt I(t; \text{lin}, \text{lin})}$$

А.Г. Аронов, Е.Л. Ивченко, “Дихроизм и оптическая анизотропия в среде с ориентированными спинами свободных электронов”, ФТТ **15**, 231 (1973)

Этот рисунок предназначен для однократного
показа на Совещании, так как данные пока
не опубликованы

$$\frac{\text{SDR}(+, +)}{\text{SDR}(\times, +)} = 1 + P_i \frac{\delta N}{N_c} \exp \left[-t_0 \left(\frac{1}{\tau_{sc}} + \frac{1}{\tau_{n1}} \right) \right] (f_1 \cos \Omega_1 t_0 + f_2 \cos \Omega_2 t_0)$$

$$\delta N = \frac{5}{8} \left(n_+^{(\text{pump})} - n_-^{(\text{pump})} \right)$$

S. Azaizia, A. Balocchi, T. Amand,
C. Sandoval-Santana, V.G. Ibarra-Sierra, A. Kunold
E.L. Ivchenko, V.K. Kalevich (2016)

А.Г. Аронов, А.М. Данишевский, С.Ф. Кочегаров, М.И. Степанова, В.В. Галаванов, В.Г. Одинг, В.Ф. Водяной, Н.А. Федорович, Е.Ю. Перлин, В.Я. Векуа, Р.И. Джиоев, Б.П. Захарченя, В.Г. Флейшер, Г.Е. Пикус, Е.В. Берегулин, Д.П. Дворников, И.Д. Ярошецкий, С.Б. Арифжанов, Г.Л. Бир, В.И. Земский, Д.Н. Мирлин, И.И. Решина, Е.В. Максимов, В.И. Медведев, В.М. Салманов, Л.В. Такунов, Ф.Я. Рыскин, А.В. Варфоломеев, В.В. Першин, Б.С. Разбирин, А.Н. Старухин, Е.М. Гамарц, М.И. Караман, В.П. Мушинский, И.Г. Ланг, С.Т. Павлов, В.К. Субашиев, С.А. Пермогоров, А.В. Селькин, В.М. Аснин, А.А. Бакун, А.А. Рогачев, Л.Е. Воробьев, И.И. Фарбштейн, В.А. Шалыгин, А.В. Штурбин, Н.Х. Юлдашев, А.В. Андрианов, Р.Я. Расулов, А.Б. Певцов, В.И. Сафаров, В.И. Белиничер, Б.И. Стурман, В.П. Кочерешко, Г.В. Михайлов, И.Н. Уральцев, С.В. Гастев, Н.С. Соколов, Н.Л. Яковлев, С.Д. Ганичев, С.А. Емельянов, Е.Л. Альтшулер, А.Н. Москалев, Р.М. Рындин, Ю.Б. Лянда-Геллер, Н.С. Аверкиев, С.Х. Есаян, В.В. Леманов, А.Ю. Максимов, М.М. Собиров, С.Д. Барановский, Б.И. Шкловский, П.С. Копьев, Д.И. Яковлев, В.А. Кособукин, С.В. Иванов, Б.Я. Мельцер, М.А. Калитеевский, А.Г. Кавецкий, Н.Ф. Гашимадзе, А.Г. Абдукадыров, М.И. Сажин, С.Ю. Вербин, А.Ю. Наумов, А.Н. Резницкий, P. Lavallard, А.В. Кавокин, В.Ф. Сапера, M. Cardona, K. Ploog, И.Л. Алейнер, А.А. Киселев, Б.Я. Авербух, Н.Н. Леденцов, Г.Р. Позина, R.N. Bicknell-Tassius, A. Waag, G. Landwehr, Y. Fu, M. Willander, N. Zou, А.Ю. Каминский, V. Voliotis, R. Grousson, R. Planel, М.В. Белоусов, В.Л. Берковиц, А.О. Гусев, А.И. Несвижский, S. Jorda, T. Ruf, R. Hellmann, E.O. Göbel, Л.Е. Голуб, S.M. Cao, А.А. Торопов, U. Rössler, С.В. Гупалов, Н.М. Gibbs, G. Khitrova, В.Л. Коренев, М.Н. Ткачук, А.А. Сиренко, K. Eberl, Ю.Г. Кусраев, В.М. Устинов, А.Е. Жуков, А.Ф. Цацульников, А.В. Платонов, М.Р. Владимирова, Т.В. Шубина, J.P. Bergman, G.R. Monemar, А.А. Киселев, P. Voisin, F. Fischer, G. Skierbiszewski, W. Knap, D. Dur, W. Huan, B. Ettienne, С.А. Тарасенко, В.И. Перель, X. Marie, T. Amand, P. Le Juene, M. Paillard, P. Renicci, В.Д. Дымников, M. Keim, С.В. Зайцев, А.А. Максимов, И.И. Тартаковский, В.Д. Кулаковский, C. Gourdon, D. Martins, Yun-Lin Zheng, С.Н. Данилов, Д.А. Фирсов, O. Krebs, S. Cortez, J.L. Gentner, H. Ketterl, W. Prettl, J. Eroms, W. Wegscheider, D. Weiss, В.В. Бельков, M. Bichler, A. Dinger, M. Baldauf, C. Klingshirn, H. Kalt, R. Eichmann, P. Thomas, L. Hansen, L.W. Molenkamp, C. Sas, M. Sollinger, R. Neumann, K. Bruner, G. Abstreiter, Б.З. Спивак, М.О. Нестоклон, М.М. Глазов, М.М. Воронов, D. Schowalter, P. Schneider, D. Schuh, B.N. Murdin, P.J. Phillips, C.R. Pidgeon, D.G. Clarke, M. Merrick, P. Murzyn, H. Priller, M. Schmidt, M. Dremel, M. Grün, S. Giglberger, J. De Boeck, G. Borghs, L.I. Deych, M.V. Erementchouk, A.A. Lisiansky, W. Weber, M. Olteanu, H.-P. Tranitz, И.В. Седова, С.В. Сорокин, Я.В. Терентьев, Д.К. Нельсон, В. К. Калевич, М. М. Афанасьев, А. Ю. Ширяев, А.Ю. Егоров, B. Pal, Y. Masumoto, Ch. Hoffmann, C. Gerl, J. Stahl, А.Н. Поддубный, В.В. Чалдышев, R. v. Baltz, E.G. Tsitsishvili, L. Besombes, Y. Léger, L. Maingault, H. Mariette, K. Kowalik, W. Jantsch, F. Schäffler, D. Gruber, W.J.H. Leyland, G.H. John, R.T. Harley, D.A. Ritchie, I. Farrer, A.J. Shields, M. Henini, E.A. Жуков, M. Bayer, G. Karczewski, T. Wojtowicz, J. Kossut, L. Lombez, D. Lagarde, L. Pillozzi, S. Seidl, З.Д. Квон, Hyun-Ick Cho, Jung-Hee Lee, Ю.Е. Лозовик, J.-M. Jancu, M. Ikezawa, J. Karch, C. Reitmaier, B. Wittmann, N.Q. Vinh, A.F.G. van der Meer, J. Hendrickson, B.C. Richards, J. Sweet, M. Wegener, D. Litvinov, D. Gerthsen, B. Myer, S. Pau, D. Sarid, Д.Д. Солнышков, И.А. Шелых, G. Malpuech, M. Werchner, M. Schafer, M. Kira, S.W. Koch, J.D. Olitzky, H. Diehl, E.G. Novik, H. Buhmann, C. Brüne, I.A. Yugova, Ал.Л. Эфрос, P. Olbrich, R. Ravash, T. Feil, J. Allerding, M. Schmalzbauer, C. Zoth, C. Brinsteiner, M. Fehrenbacher, U. Wurstbauer, R. Yakimova, S. Lara-Avila, S. Kubatkin, J. Kamann, M. Utz, B. März, G. Sallen, B. Urbaszek, T. Kuroda, T. Mano, S. Kunz, M. Abbarchi, K. Sakoda, C. Drexler, M. Hirmer, B. Birkner, M. Ostler, T. Seyller, А.В. Налитов, М.В. Дурнев, M. Jo, S. Kunz, L. Bouet, Z. Liu, J.L. Cheng, Ming-Wei Wu, Д.С. Смирнов, С.В. Полтавцев, И.И. Рыжов, Г.Г. Козлов, В.С. Запасский, P.G. Lagoudakis, М.И. Петров, J. Debus, Т.С. Шамирзяев, D. Dunker, M. Vidal, N. Ha, G. Wang, Jun-Wei Luo, A. Zunger, Л.А. Бакалейников, G. Wang, E. Palleau, В.В. Попов, Д.В. Фатеев, B.L. Liu, L. Lanco, M. Köning, J. Munzert, L. Tutsch, Ming-Hao Liu

Спасибо!

