

Итоговый семинар
по физике и астрономии
по результатам конкурса грантов
2003 года для молодых ученых
Санкт-Петербурга

26 апреля 2004 г.
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе
Санкт-Петербург

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ



Санкт-Петербург, 2004

Организаторы семинара

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН
Конкурсный центр фундаментального естествознания (КЦФЕ)
Министерства образования и науки РФ
Saint-Petersburg Chapter of Lasers and Electro-Optics Society (LEOS)

Организационный комитет

Соколовский Григорий Семенович (ФТИ), *председатель*
Аверкиев Никита Сергеевич (ФТИ)
Азбель Александр Юльевич (КЦФЕ)
Елюхина Ольга Вячеславовна (ФТИ)
Когновицкая Елена Андреевна (ФТИ)
Кучинский Владимир Ильич (ФТИ, LEOS)
Кучма Анатолий Евдокимович (КЦФЕ)
Попов Алексей Юрьевич (ФТИ)

Семинар является одним из заключительных отчетных мероприятий конкурса на соискание персональных грантов для студентов, аспирантов и молодых специалистов Санкт-Петербурга, организованного Администрацией Санкт-Петербурга, Министерством образования и науки РФ и Российской академией наук. Конкурс получил также финансовую поддержку со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 2002–2006 годы». Для участия в семинаре были приглашены победители конкурса 2003 года в области физики и астрономии, набравшие высший рейтинг по результатам экспертизы.

Предисловие

26 апреля 2004 года в Научно-образовательном центре Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук прошел Итоговый семинар по физике и астрономии по результатам конкурса грантов 2003 года для молодых ученых Санкт-Петербурга. Такие семинары проводятся в седьмой раз, начиная с 1997 года. Они посвящены подведению итогов конкурсов работ студентов, аспирантов и молодых ученых, проводящихся в рамках программы, организованной администрацией Санкт-Петербурга, Конкурсным центром фундаментального естествознания (КЦФЕ) Министерства образования РФ и Российской академией наук. Задачей конкурса является выявление перспективных научных идей молодежи и финансовая поддержка лучших работ. Конкурс проводится для двух групп участников. В первой группе, называемой «Дипломные проекты», участвуют студенты старших курсов, а в группе «Кандидатские проекты» — аспиранты и стажеры-исследователи. Подобная структура конкурса, с одной стороны, обеспечивает максимальный охват научной молодежи, а, с другой, позволяет достаточно гибко осуществлять поддержку наиболее перспективных направлений исследований. Молодые ученые, недавно защитившие кандидатскую диссертацию, участвовали в специализированном конкурсе для данной категории научной молодежи — Конкурсе грантов для молодых кандидатов наук. Данный конкурс был направлен на поддержку молодых кандидатов наук, проводящих научные исследования в ведущих научно-педагогических коллективах Минобразования России и институтах Российской академии наук, расположенных на территории Санкт-Петербурга.

Благодаря финансовой поддержке со стороны федеральной целевой программы «Государственная поддержка интеграции высшего образования и фундаментальной науки на 2002–2006 годы» (Государственный контракт № Б004/2040) традиционным местом проведения Итоговых семинаров стал Научно-образовательный центр ФТИ им. А. Ф. Иоффе.

Руководством Научно-образовательного центра уделяется огромное внимание организации конкурсов научных работ молодых ученых, проведению молодежных конференций и семинаров, обеспечивающих научный рост молодых сотрудников и способствующих быстрому формированию самостоятельного исследователя из вчерашнего студента. Участие в работе семинара в новом здании Научно-образовательного центра, оборудованном

самой современной техникой, дает возможность молодым ученым — участникам семинара — воочию убедиться в том, что у науки в России есть будущее.

В Итоговом семинаре 2004 года приняло участие около сорока докладчиков из трех университетов и трех академических институтов Северо-Запада России. Следует отметить высокий уровень представленных работ, свидетельствующий о значительных научных успехах вузовской и академической молодежи. В программу включены как экспериментальные, так теоретические работы по оптике, молекулярной физике, физике полимеров, радиофизике, физике плазмы и астрофизике. Как и ранее, в рамках семинара были прочитаны доклады по биофизике. Хорошо известно, что расширение научного кругозора молодых ученых и их знакомство с новыми идеями и научными направлениями в сочетании с применением аналитического подхода и экспериментальных методик, развитых в физике, не только способствует становлению молодых специалистов, но и дает мощный импульс для развития междисциплинарных исследований.

Как и в предыдущие годы, семинар проводился в Физико-техническом институте им. А. Ф. Иоффе при финансовой поддержке КЦФЕ. В организации семинара активнейшее участие приняли молодые сотрудники Физтеха, энергия и энтузиазм которых обеспечили успех семинара.

Заместитель директора по научно-учебной работе
НОЦ ФТИ им. А. Ф. Иоффе
профессор *В. И. Кучинский*

Дипломные проекты

Электрические поля в магнитосфере Земли и динамика дуг полярных сияний во время магнитосферных возмущений

М. И. Пудовкин, В. В. Винников, А. Л. Котиков

Санкт-Петербургский государственный университет

Магнитосферные возмущения характеризуются возрастанием электрического поля в хвосте магнитосферы направленного от утренней стороны Земли к вечерней, в результате взаимодействия с солнечным ветром. Это поле вызывает крупномасштабные динамические процессы в магнитосферной плазме, перестройку и интенсификацию магнитосферных токовых систем. В то же время, даже основные характеристики этого поля исследованы явно недостаточно. В частности неизвестны интенсивность этого поля и зависимость от различных параметров солнечного ветра. Объясняется такое положение, прежде всего тем, что это поле непосредственно не наблюдается. Дело в том, что изменения магнитного поля, имеющие место в ходе геомагнитных возмущений, генерируют в хвосте магнитосферы вихревые электрические поля. Квазистационарные (потенциальные) и индуцированные (вихревые) поля накладываются друг на друга, и наблюдение только лишь суммарного поля не позволяет выяснить закономерности поведения составляющих его компонент.

В работе выполнена обработка и анализ экспериментальных данных (кеограмм полярных сияний камеры всего неба станции Тромсё). Исследована скорость движения дуг полярных сияний на разных фазах магнитосферного возмущения и обнаружено интересное явление, состоящее в том, что в момент перехода возмущения от предварительной к активной фазе суббури, движения дуг в ионосфере Земли и, соответственно, интенсивность вихревой компоненты электрического поля в хвосте магнитосферы резко изменяются. На примере конкретных событий проведена оценка выделившейся энергии во время разных фаз суббури.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант номер М03-2.4Д-476.

Спектр и оптические свойства двумерных гетероструктур в наклонном магнитном поле

А. А. Грешнов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

В рамках настоящей работы теоретически изучено влияние наклонного магнитного поля на электронные состояния в двумерных гетероструктурах и их оптические свойства. Предложен оригинальный вариационный метод расчета спектра и волновых функций для случаев одиночной и двойной квантовых ям, разьединенной гетероструктуры II типа, помещенных в наклонное магнитное поле. Проведено сравнение результатов, полученных в рамках предложенного метода, с точным численным расчетом. Объяснен эффект подавления расщепления линии циклотронного резонанса в разьединенной гетероструктуре типа II: показано, что такой эффект связан с имеющим место в наклонном магнитном поле ослаблением подмешивания электронных и дырочных состояний [1].

Важность задачи о спектре электронных состояний обусловлена необходимостью точного понимания электронной структуры полупроводниковых гетероструктур для правильного анализа магнитооптических и магнито-транспортных экспериментов. В последнее время в экспериментах помимо привычной поперечной ориентации активно используется также и наклонная ориентация магнитного поля относительно плоскости гетероструктуры. При этом величина магнитного поля зачастую такова, что магнитная длина может быть сравнима и даже меньше толщины слоев гетероструктуры. В таких условиях пренебрежение продольной составляющей магнитного поля не является оправданным, в то же время точный учет продольной составляющей существенно усложняет задачу, затрудняя разделение переменных. В настоящей работе предложен аналитический метод, основанный на вариационном принципе. Он позволяет получить простое решение, справедливое в широком диапазоне напряженностей и углов наклона магнитного поля.

Также проанализировано влияние кулоновского взаимодействия на квазидвумерный электронный газ, помещенный в магнитное поле [2]. Квазидвумерность электронного газа означает, что электроны могут заполнять не только основной, но и возбужденные уровни размерного квантования. В этом случае кулоновское взаимодействие электронов приводит к необычному спектру электронных состояний. В случае поперечного магнитного поля уровни энергии, соответствующие разным уровням размерного и магнитного квантования, могут оказаться вырожденными в некотором диапазоне

магнитных полей [3]. Причиной такого вырождения является конкуренция циклотронной и кулоновской энергий. В настоящей работе задача о спектре энергетических уровней квазидвумерного электронного газа впервые решена последовательно, причем как для случая поперечной, так и наклонной ориентации магнитного поля. Обнаружено, что в наклонном магнитном поле вырождение уровней снимается, однако расстояние между ними остается постоянным в том же интервале магнитных полей.

Литература

- [1] A. A. Greshnov, E. N. Kolesnikova, G. G. Zegrya, *Proc. of 11th International Symposium "Nanostructures: Physics and Technology"* p. 83–85;
A. A. Greshnov, E. N. Kolesnikova, G. G. Zegrya, *International Journal of Nanoscience*, in press.
- [2] А. А. Грешнов, *Международная зимняя школа по физике полупроводников (научные сообщения молодых ученых)*, 2004.
- [3] J. Sanchez-Dehesa *et al.*, *Phys. Rev. B* **36**, 5070 (1987).

Подавление спиновой релаксации за счет квантово-интерференционных эффектов

И. С. Любинский, В. Ю. Качоровский

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В работе изучается влияние эффекта слабой локализации на релаксацию спина свободных электронов в двумерных полупроводниковых структурах со спин-орбитальным взаимодействием. Спин-орбитальное взаимодействие приводит к появлению эффективного магнитного поля \mathbf{V}_{eff} , которое пропорционально импульсу электрона \mathbf{p} и меняет направление случайным образом на временах порядка транспортного τ_{tr} . Релаксация спина описывается механизмом Дьяконова-Переля, основанным на классической картине угловой диффузии спина в случайном магнитном поле. Время спиновой релаксации $1/\tau_{\text{SO}} \sim \Omega^2 \tau_{\text{tr}}$, где Ω — характерная частота прецессии спина в поле \mathbf{V}_{eff} . Эффект слабой локализации, связанный с интерференцией двух волн, обходящих замкнутую петлю в противоположных направлениях, приводит к появлению логарифмической поправки к транспортному времени при низких температурах. Можно ожидать аналогичной поправки к τ_{SO} . Такая поправка изучалась ранее с помощью диаграммной техники.

В данной работе динамика спина изучается с помощью уравнения больцмановского типа: $\partial \mathbf{s}(\mathbf{p}) / \partial t = [(\hat{\Omega} \mathbf{p} / p + \Omega_0) \times \mathbf{s}(\mathbf{p})] + \hat{J} \mathbf{s}(\mathbf{p})$, где $\mathbf{s}(\mathbf{p})$ — плотность

спина, $\hat{\Omega}\mathbf{p}/p$ — частота прецессии в поле \mathbf{V}_{eff} , Ω_0 — частота прецессии во внешнем магнитном поле \mathbf{B}_0 , $\hat{J}\mathbf{s}(\mathbf{p})$ — интеграл столкновений. Слабая локализация приводит к появлению локальной по координате поправки к интегралу столкновений, которую мы выражаем через классическую вероятность для электрона оказаться в момент времени t в исходной точке со спином повернутым на угол ϕ вокруг оси ϕ $W(0, \phi, t)$ (здесь $\mathbf{B}_0 = 0$):

$$\delta \hat{J}_{ij} s_j(\mathbf{p}, t) \sim \frac{\lambda l}{\tau} \int \frac{dt'}{\tau} d\phi (\delta_{ij} - 2 \frac{\phi_i \phi_j}{\phi^2} \sin^2 \phi) W(0, \phi, t - t') s_{aj}(-\mathbf{p}, t'), \quad (1)$$

где λ — длина волны электрона, l — длина свободного пробега, $s_a(\mathbf{p})$ — анизотропная часть плотности спина. Полученный результат можно обобщить на случай $\mathbf{B}_0 \neq 0$. В результате, на временах $t \gg \tau_{SO}$:

$$\mathbf{S}(t) \sim \frac{1}{kl} \frac{\gamma}{\sinh \gamma t} e^{-\Omega_0 \hat{\Gamma}^{-1} \Omega_0 t} \hat{\Gamma}^{-1} \mathbf{S}_0. \quad (2)$$

Здесь k — волновой вектор электрона, kl — малый параметр, $\gamma = 2DeB_{0\perp}/\hbar c$, $B_{0\perp}$ — поперечная компонента поля \mathbf{B}_0 , D — коэффициент диффузии, $\Gamma_{ij} = (\delta_{ij} \Omega_{kl}^2 - \Omega_{il} \Omega_{jl}) \tau / 2$. Для сравнения, основной вклад: $\mathbf{S}(t) = \exp(-\hat{\Gamma}t) \mathbf{S}_0$.

Исследование пространственной структуры локальной межзвездной среды на основе данных HIPPARCOS

А. В. Мусеев

Санкт-Петербургский государственный университет

Одной из наиболее важных задач в исследовании свойств межзвездной среды является изучение ее структуры. По современным представлениям, вещество межзвездной среды распределено существенно неоднородно, межзвездная среда обладает фрактальной структурой. В качестве основной характеристики описания распределения вещества используется фрактальная размерность. В подавляющем большинстве случаев при оценке фрактальной размерности используется предположение о самоподобии структуры. Оно позволяет восстановить фрактальную размерность пространственного распределения по данным о распределении вещества в проекции на небесную сферу, получаемым из наблюдений. В то же время данные, позволяющие проверить это предположение, практически отсутствуют. Важную информацию о локальной межзвездной среде удастся получить по точным наблюдениям межзвездного покраснения звезд. Соответствующий метод был предложен в работе Кнуда (1979). Исследуя выборку звезд с известными

значениями избытков цвета, а также расстояниями до них, можно строить предположения о пространственной структуре межзвездной среды. В качестве исходных данных в настоящем исследовании используется каталог звезд, полученный астрометрическим спутником HIPPARCOS. Результаты работы спутника HIPPARCOS представляют собой огромный массив данных. Основной каталог содержит информацию о 118218 звездах. В процессе первичной обработки было отброшено несколько классов звезд, для которых метод Кнуда неприменим. В качестве верхнего предела расстояний было выбрано значение 300 парсек. Для звезд, находящихся на границе сферы с данным радиусом, ошибки определения параллаксов не превышают 30%. Для успешной работы метода Кнуда подобные значения являются допустимыми. В итоге окончательный каталог вошло 63364 звезды. Подобный объем данных позволяет получить гораздо более детальную картину распределения межзвездного вещества, чем представленные в многих работах, основанных на использовании метода Кнуда.

Литература

[1] J. Knude, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 38, 1979.

Сдвиговая вязкость и колебания во внешней коре нейтронной звезды

А. И. Чугунов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Физические свойства вещества внешней коры нейтронной звезды сложны (определяются кулоновским и ядерным взаимодействием частиц), зачастую не могут быть воспроизведены в лаборатории, но могут быть рассчитаны теоретически. Знание этих свойств необходимо для моделирования строения и эволюции нейтронных звезд, а также различных процессов в этих звёздах. Данная работа посвящена исследованию сдвиговой вязкости и колебаний внешней коры нейтронной звезды.

Сдвиговая вязкость в коре нейтронной звезды определяется, в основном, кулоновским рассеянием электронов на атомных ядрах. Для вычисления вязкости необходимо корректно описать рассеяние электронов на фонах в кристалле атомных ядер и учесть квазипорядок в кулоновской жидкости, особенно важный вблизи точки плавления (см., например, [1]). В данной работе сдвиговая вязкость рассчитана в диапазоне плотностей ρ от 10^6 г/см³

до плотности нейтронизации $\rho_d = 4.3 \cdot 10^{11}$ г/см³ и в диапазоне температур T от 10^6 К до 10^9 К. Результаты расчёта аппроксимированы простым аналитическим выражением.

Несмотря на то, что нейтронные звёзды следует описывать уравнениями общей теории относительности, в тонкой коре звезды можно ввести плоскую метрику пространства-времени. Это позволяет решать уравнения колебаний в плоской геометрии. Исследованы собственные частоты и моды (профили скорости, а также возмущений давления и плотности) колебаний, локализованных во внешней коре звезды. В приближении политропного уравнения состояния (давление $P = K\rho^\gamma$, где γ — показатель адиабаты, K — константа) колебания удалось рассчитать аналитически.

Определено характерное время вязкого затухания колебаний τ . Например, для нейтронной звезды с массой $M = 1.4M_\odot$ и радиусом $R = 10$ км мода с орбитальным числом $l = 500$ без узлов по глубине имеет период колебаний $\approx 10^{-5}$ с, а характерное время диссипации τ составляет 15, 160 и 500 суток при температуре внешней коры 10^7 , 10^8 и 10^9 К.

Колебания, проникающие во внутреннюю кору нейтронной звёзды, как и поверхностные колебания белых карликов, могут быть исследованы аналогичным образом.

Литература

- [1] A. Y. Potekhin, D. A. Baiko, P. Haensel, D. G. Yakovlev, *Astron. Astrophys.* **346**, 345, (1999).
- [2] Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, *Гидродинамика*, 2001.

Кандидатские проекты

Квантовоэлектродинамические эффекты в спектрах многозарядных двухэлектронных ионов

А. Н. Артемьев

Санкт-Петербургский государственный университет

За последние 10 лет стало возможным экспериментальное изучение одно- двух- и трех-электронных ионов тяжелых элементов с большой точностью. Для сравнения экспериментальных данных с теоретическими предсказаниями необходим учет всех квантовоэлектродинамических (КЭД) поправок первого и второго порядка в рамках теории возмущения по постоянной тонкой структуре.

В настоящей работе нами произведен расчет уровней энергий двухэлектронных ионов как в основном состоянии $(1s)^2$, так и в конфигурациях $(1s2s)_0$, $(1s2s)_1$, $(1s2p_{1/2})_0$, $(1s2p_{3/2})_2$, а также квазивырожденных уровней $(1s2p_{1/2})_0$ и $(1s2p_{3/2})_2$. Представленные данные являются наиболее точным на сегодняшний день теоретическим предсказанием уровней энергии двухэлектронных многозарядных ионов в широком диапазоне значений заряда ядра (от 14 до 100).

Для достижения высокой точности нами были последовательно, в рамках КЭД, вычислены все поправки первого и второго порядка по постоянной тонкой структуре. Также был учтен вклад диаграмм трехфотонного обмена в энергию данных уровней. Этот вклад был учтен в рамках релятивистской многочастичной теории возмущений. Наибольший интерес при расчетах вызывают квазивырожденные уровни энергии. В этом случае оказываются непригодными стандартные методы КЭД для расчета уровней энергии. Для получения расчетных выражений нами был использован подход, основанный на методе двухвременных функций Грина, разработанный В. М. Шабеевым [1].

Нами было проведено детальное сравнение полученных нами результатов как с экспериментом, так и с расчетами, произведенными ранее. Было найдено, что на сегодняшний день точность теоретического расчета уровней энергии двухэлектронных ионов превышает экспериментальную. Однако, насколько нам известно, работы по повышению точности эксперимента уже ведутся.

Литература

[1] V. M. Shabaev, *Physics Reports* 356, 119, (2002).

Фотоэлектронная спектроскопия границ раздела Yb-Si(100)

Д. В. Бутурович, М. В. Кузьмин, М. А. Митцев

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

С помощью фотоэлектронной спектроскопии в том ее варианте, когда для возбуждения фотоэлектронов используется синхротронное излучение, а также с помощью ряда других методов (дифракция медленных электронов, электронная Оже-спектроскопия, термодесорбционная спектроскопия, метод контактной разности потенциалов) изучены процессы формирования тонкопленочных структур Yb-Si(100) при различных температурах. Показано, что при комнатной температуре образование силицидов не происходит. При этой температуре сверхвысоковакуумное осаждение Yb на реконструированную поверхность Si(100) 2×1 сопровождается вначале образованием тонкого (порядка одного монослоя) переходного слоя, в котором перемешаны атомы Si и атомы Yb. При дальнейшем осаждении образуется неупорядоченная металлическая пленка, в которой растворены атомы Si. Их концентрация убывает в направлении от подложки к поверхности пленки.

При прогреве кристалла кремния вместе с нанесенной на его поверхность пленкой Yb до 800 К вначале при малых дозах осаждаемого металла (около одного монослоя) формируются преимущественно двумерные структуры, разрушающие димеры исходной поверхности кремния. При увеличении дозы на этих двумерных структурах растут трехмерные кристаллиты.

Зарегистрированы фотоэлектронные спектры, как неупорядоченных металлических пленок, так и пленок силицидов Yb. Эти спектры свидетельствуют о том, что формирование пленок сопровождается значительным перетеканием заряда от атомов Yb к атомам Si, сопровождающееся ослаблением связи электронов, заселяющих 2p-уровень атомов Si. Это ослабление достигает в некоторых случаях 1.5 eV. Указанное выше перетекание заряда свидетельствует о том, что связь в кристаллической решетке силицидов носит частично ионный характер. Из фотоэлектронных спектров следует так же, что валентность атомов Yb в силицидах имеет дробную величину, лежащую в интервале 2,0–2,5.

Изучение формирования спектра Доплеровской рефлектометрии на токамаке

А. Д. Гурченко, Е. З. Гусаков

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Доплеровская рефлектометрия, основанная на наклонном микроволновом зондировании и измерении частотного сдвига, рассеянного назад сигнала, в настоящее время часто применяется для диагностики скорости полоидального вращения плазмы в токамаках [1–3]. Улучшенное пространственное разрешение подобной схемы, возникающее из-за подавления компоненты сигнала, приобретенной за счет малоуглового рассеяния, является важным достоинством, по сравнению со случаем стандартной рефлектометрии с нормальным зондированием [4–6]. Подобное подавление эффективно в режиме линейного малоуглового рассеяния, при низком уровне турбулентности или короткой траектории распространяющейся волны. Однако роль плохо локализованного малоуглового рассеяния должна возрастать при переходе к нелинейному режиму многократного рассеяния. На токамаке ФТ-2 ($R = 55$ см, $a = 8$ см, $B_t \simeq 2.2$ Тл, $I_p \simeq 30$ кА, $T_e(0) \simeq 500$ эВ, $n_e(0) \simeq 5(\times 10^{13} \text{ см}^{-3})$) с помощью радарной схемы [7] изучалась динамика формирования спектра Доплеровской и обычной рефлектометрии. Плазма зондировалась со стороны слабого поля СВЧ волной в обыкновенной поляризации (частота: 28 ГГц), модулированной по амплитуде последовательностью импульсов (длительность: 2.5 нс, период: 20 нс). Зондирование и прием осуществлялись через одну антенну, либо расположенную на экваторе нормально по отношению к магнитным поверхностям, либо наклоненную на 15° . Для приема сигнала использовалась стробоскопическая супергетеродинная схема приема с временным разрешением не хуже 1 нс. Из-за малой (2 см) дистанции между стенкой камеры и отсечкой однократное рассеяние было не различимо в данном эксперименте, однако было возможно четко фиксировать рассеяния с номерами выше 7. В результате экспериментов на токамаке ФТ-2 наблюдалось два механизма формирования спектра рефлектометрического сигнала. Первый, основанный на классическом представлении об однопроходном рассеянии в окрестности отсечки, наблюдался для основного сигнала Доплеровской рефлектометрии, сдвинутого по частоте в «синюю» сторону, в соответствии с направлением азимутального вращения плазмы. Поскольку сигнал обладает высокой локальностью (0.5 см), он может быть использован для оценки скорости азимутального вращения плазмы по величине Доплеровского частотного смеще-

ния (5 км/с). Сигнал, сдвинутый в «красную» сторону, оказался аномально большим. Его уровень был на порядок выше, чем тот, который бы можно было ожидать для классического механизма формирования спектра с учетом подавления сигнала реальной диаграммой направленности антенны. Факт задержки «красного» спутника сигнала на 1 нс, позволил говорить о влиянии второго механизма, основанного на нелинейном многократном малоугловом рассеянии. Сигнал рефлектометра, с нормальным экваториальным зондированием, оказался задержан на 2 нс (что в вакууме, соответствовало бы 60 см дополнительной траектории) для всех спектральных компонент сигнала, что является свидетельством нелокальности диагностики в ее обычном применении, из-за высокого уровня многократного малоуглового рассеяния на крупномасштабных флуктуациях плотности.

Литература

- [1] X. L. Zou *et al.*, 26 *EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Phys.*, ECA 23J, p. 1041, 1999.
- [2] V. V. Bulanin *et al.*, *Plasma Phys. Rep.* 26, 813 (2000).
- [3] M. Hirsch *et al.*, *Plasma Phys. Control. Fusion* 43, 1641 (2001).
- [4] V. V. Bulanin *et al.*, 29 *EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Phys.*, ECA 26B, P-2.121, 2002.
- [5] E. Z. Gusakov, B. O. Yakovlev, 28 *EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Phys.*, ECA 25A, p. 361, 2001.
- [6] E. Z. Gusakov and A. V. Surkov, 30th *EPS Conf. on Contr. Fusion and Plasma Phys.*, ECA 27B, (2003).
- [7] D. G. Bulygin'skiy, A. D. Gurchenko, E. Z. Gusakov *et al.*, *Phys. of Plasmas* 8, 2224 (2001).

Полупроводниковый лазер с искривлёнными штрихами распределённого брегговского зеркала

В. В. Дюделев, А. Г. Дерягин, В. И. Кучинский, Г. С. Соколовский
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В настоящее время в мире проявляется большой интерес к созданию мощных одночастотных одномодовых источников лазерного излучения, область применения которых варьируется от медицины (например, ядерная магнито-резонансная томография) до связи (накачка эрбиевых волоконных усилителей сигнала в волоконно-оптических линиях связи). Однако предложенные к настоящему времени конструкции не обеспечивают высокой мощности при сохранении возможности частотного и пространственного совер-

шенства выходного излучения. В настоящей работе развивается выдвинутая ранее [1–2] идея фокусировки излучения в лазере, штрихи дифракционной решетки которого представляют собой дуги концентрических окружностей, обеспечивая фокусировку всех мод лазерного излучения в общий фокус в плоскости р-п-перехода. Это является принципиальным отличием геометрии предлагаемого лазера от «обычной» конструкции, где «геометрический источник» излучения любой моды высшего порядка существенно сдвинут по длине резонатора относительно «источника» излучения нулевой моды, что препятствует фокусировке неодномодового излучения. Теоретически исследовано качество фокусировки выходного излучения в зависимости от фокусного расстояния, ширины выходного зеркала и параметра обратной связи дифракционной решётки. Показано, что размер фокусного пятна уменьшается с увеличением апертуры и с улучшением «качества» решётки (т.е. с увеличением параметра обратной связи). На основании полученных данных предложен способ улучшения спектральных свойств излучения и-РБЗ лазера путём его пространственной фильтрации в фокальной плоскости.

Литература

- [1] G. S. Sokolovskii *et al.*, *Optical and Quant. El.* 31(3), 215 (1999).
[2] G. S. Sokolovskii *et al.*, *IEEE Journal of Quant. El.* 36(12), 412, (2000).

Исследование распространения излучения в кристаллах светодиодов на основе InGaAlN и методы увеличения эффективности вывода света

В. А. Забелин

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В последние годы был достигнут значительный прогресс в изготовлении полупроводниковых источников излучения в синем спектральном диапазоне. Светодиоды на базе InGaN/GaN уже получили широкое коммерческое распространение, и актуальным является вопрос улучшения и оптимизации параметров выходящего излучения. Особый интерес вызывает возможность создания источников белого света на основе подобных структур. Одними из основных требований для таких светодиодов является эффективная генерация излучения и вывод его из кристалла с минимальными потерями. Высокие показатели преломления эпитаксиальных нитридных слоев и сапфировой подложки препятствуют выходу света из кристалла вследствие эф-

фекта полного внутреннего отражения. В этом случае эффективность вывода определяется взаимодействием излучения с внутренними и внешними границами раздела в чипе, поглощением света при отражении от металлических контактов и особенностями распространения света, связанными с геометрией кристалла.

В представленной работе описывается трехмерная модель распространения излучения в кристалле светодиода, учитывающая его взаимодействие с различными вариантами внутренних и внешних границ разделов и влияние оптических параметров материалов [1, 2, 3]. Преломление света на гладких внутренних и внешних границах раздела в светодиоде описывается формулами Френеля. Взаимодействие света с тонкопленочными металлическими контактами описывается в рамках волновой оптики и позволяет учесть интерференционные эффекты, влияющие на коэффициенты отражения и пропускания полупрозрачных металлических контактов. Была разработана модель, описывающая диффузное рассеяние света на гранях кристалла, которое позволяет снижать роль эффекта полного внутреннего отражения. Проанализировано влияние степени шероховатости металлического контакта на эффективность рассеяния света и интегральный коэффициент отражения. Изменение геометрической формы кристалла, параметров наносимых металлических контактов, свойств внешних граней чипа способно существенно влиять на эффективность вывода излучения из кристалла и на форму диаграммы направленности выходящего излучения. В рамках представленной работы был проведен детальный анализ влияния различных параметров кристалла светодиода на эффективность вывода излучения. Проанализированы традиционные способы повышения эффективности работы светодиода и их применимость при различных оптических свойствах материалов чипа [4]. Разработаны и предложены несколько новых методов улучшения вывода излучения из кристалла, позволяющие значительно увеличить эффективность работы прибора.

Литература

- [1] В. А. Забелин, С. А. Гуревич, *Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников*, 2002.
- [2] В. А. Забелин, С. А. Гуревич, *2-я Всероссийская конференция «Нитриды галлия, индия и алюминия — структуры и приборы»*, 2003.
- [3] В. А. Забелин, С. А. Гуревич, *Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников*, 2003.
- [4] V. A. Zabelin, D. A. Zakheim and S. A. Gurevich, *IEEE J. Selected topic on quantum electronics*, to be published

Полупроводниковые усилители на квантовых точках: теория и эксперимент

О. В. Елюхина, Г. С. Соколовский, В. И. Кучинский
Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Представлено теоретическое исследование усиления и обострения сигналов в полупроводниковом оптическом усилителе на квантовых точках (КТ ПОУ). Результаты сопоставляются с экспериментальными данными [1], в которых для КТ ПОУ получено значительное усиление до 18 дБ. В литературе [2, 3] динамика носителей в структурах с квантовыми точками описывается с помощью скоростных уравнений. Применение этого метода к расчету характеристик КТ ПОУ, включая форму сигнала и величину усиления, представляет большой практический интерес.

Решение скоростных уравнений позволяет смоделировать работу КТ ПОУ и найти зависимость величины усиления от различных параметров, включая ток накачки и интенсивность оптического сигнала. В нашей работе скоростные уравнения использованы для моделирования усиления коротких (200 фс) и относительно длинных (несколько нс) импульсов. Также исследуется возможность обострения сигнала на фронте импульса и предложено новое устройство — оптический обостритель на квантовых точках. Хорошее согласие между экспериментальными данными и результатами моделирования, подтверждает полученную величину усиления в КТ ПОУ при оптической накачке малой мощности.

В результате моделирования нами продемонстрировано обострение оптического импульса сравнительно большой мощности длительностью 2 нс. Рекомбинация носителей, находящихся на основном уровне квантовых точек играет основную роль в усилении фронта импульса, тогда как «хвост» усиливается в основном за счет насыщенного усиления. Концентрация носителей на основном уровне квантовых точек при усилении «фронта» импульса максимальна и равна удвоенному количеству точек. Усиление «хвоста» импульса происходит при значительно меньшей концентрации носителей на основном уровне и имеет меньшую величину. Параметр обострения (отношение между усилением на фронте и «хвосте» импульса), существенно зависит от коэффициента усиления в материале, уровня накачки и времени жизни фотонов в резонаторе. Также вычислена ширина пика обостренного сигнала при условии постоянной концентрации носителей. Смоделированное новое устройство имеет полуширину импульса, лежащую в пикосекундной области.

Литература

- [1] E. U. Rafailov *et al.*, *IEEE Phot. Tech. Lett.* **15**, 1023 (2003).
- [2] T. W. Berg *et al.*, *IEEE Phot. Tech. Lett.* **13**, 1041 (2001).
- [3] L. V. Asryan *et al.*, *IEEE J. Quantum Elec.* **39**, 404 (2003).

Механизм сверхизлучения Дике в полупроводниковых квантовых ямах

Л. Я. Карачинский

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В последние годы неуклонно растет интерес к резонансному взаимодействию неравновесных носителей заряда в полупроводниковых лазерных структурах через электромагнитное поле их излучения в процессе рекомбинации [1–3]. Такого рода резонансные процессы хорошо изучены для твердотельных и газовых лазеров и называются «сверхизлучение Дике». Этот эффект вызван малым расстоянием между излучающими центрами по сравнению с длиной волны излучения и проявляется в возникновении всплесков когерентного излучения, причем интенсивность излучения пропорциональна квадрату числа излучающих центров, участвующих в процессе. Несмотря на появившиеся в последнее время публикации (см. напр. [2,3]), в которых авторы теоретически пытаются исследовать особенности СИ в полупроводниковых материалах, не существует строгой теоретической модели для описания этих явлений. Целью настоящей работы являлось построение феноменологической модели, описывающей возникновение СИ в активной области лазерных гетероструктур и последующее развитие сверхизлучательных процессов.

Проведенное теоретическое рассмотрение было основано на допущении, что концентрация неравновесных носителей заряда в активной области гетероструктуры на квантовой яме может флуктуировать вокруг некоторого среднего значения в некотором выделенном направлении (лежащем в плоскости ямы). Такие флуктуации могут приводить к образованию доменов с повышенной концентрацией носителей, что, в свою очередь, приводит к локализации электромагнитного поля внутри доменов. При условии, что уровень накачки в системе лежит несколько ниже порогового, можно говорить о том, что внутри флуктуаций усиление будет положительно, а снаружи — отрицательно. Таким образом, для того, чтобы вычислить размер домена, необходимо приравнять нулю выражение для усиления в домене, в котором учтена его зависимость от концентрации неравновесных носителей

заряда. Дополнительными условиями при этом являлись: сильное вырождение электронов и слабое вырождение дырок в домене, а также квазинейтральность носителей заряда. Зависимость концентрации от координаты в выбранном направлении (x) внутри домена была вычислена при решении уравнения непрерывности со следующими граничными условиями: на границе домена концентрация носителей равна некоторому «фоновому» значению, задаваемому током накачки; в центре домена производная концентрации по координате равна нулю. Полученное выражение для концентрации было подставлено в условие равенства нулю усиления в квантовой яме. Численное решение итогового уравнения для случая InGaAs квантовой ямы дало характерный размер домена как 1 мкм, и, следовательно, характеристическое время сверхизлучения, соответствующее данному размеру и рассчитанное с учетом скорости света в материале, составило 10 фс, которое находится в хорошем согласии с полученными ранее из экспериментальных данных значениями.

При таком рассмотрении режим сверхизлучения играет важную роль в работе инжекционного лазера, являясь промежуточным между спонтанной и лазерной генерацией. Режим сверхизлучения возникает из режима спонтанного излучения с образованием доменов (связанных с возникновением сильных флуктуаций электромагнитного поля). Вышеназванные домены являются зародышами фазы лазерной генерации. С ростом тока накачки размер образовавшихся доменов растет и в какой-то момент они должны соприкоснуться. В рамках предлагаемых рассуждений именно в этот момент и возникает лазерная генерация.

Литература

- [1] P. P. Vasil'ev, H. Kan, H. Ohta and T. Hiruma, *Phys. Rev. B* **64**, 95209, (2001).
- [2] A. A. Belyanin, V. V. Kocharovsky, V. V. Kocharovsky and D. S. Pestov, *Proceedings of SPIE Int. Soc. Opt. Eng.*, **4605**, 356 (2001).
- [3] П. П. Васильев, *Квантовая электроника*, **29**, 4, (1999).

Полоидальное и тороидальное вращение плазмы вблизи магнитного острова и формирование транспортного барьера

Е. Г. Кавеева, В. А. Рожанский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

С помощью аналитической модели исследована структура потоков плазмы и электрического поля вблизи магнитного острова в токамаке. Показано,

что радиальное электрическое поле снаружи от неподвижного магнитного острова меняется от его значения в основном объеме плазмы, так называемого неоклассического электрического поля, до нуля. В острове электрическое поле отсутствует. Масштаб изменения поля по радиусу d зависит от частоты ион-ионных столкновений в плазме и от аномальной поперечной вязкости. По величине он оказывается того же порядка, что и масштаб изменения поля у внешней сепаратрисы, на границе плазмы. Тороидальное вращение плазмы снаружи от острова не меняется, а внутри уменьшается к центру острова на масштабе Rd/r где R — большой и r — малый радиусы токамака. В случае, если остров вращается, как это часто наблюдают в эксперименте, электрическое поле и тороидальное вращение изменяются не до нуля, а до величины, пропорциональной скорости вращения острова. Аналитические результаты находятся в качественном согласии с экспериментальными данными полученными на токамаке JET и стеллараторе LHD.

Исследование распределения на небесной сфере звезд каталога Tucho-2 методом вейвлет-анализа

Е. Э. Казакевич

Санкт-Петербургский государственный университет

Каталог Tucho-2 содержит 2539913 звезд, 95% которых слабее 9^m . Таким образом, на основе его данных, впервые представилось возможным изучение распределения на небесной сфере слабых звезд. Однако отсутствие в Tucho-2 параллаксов существенно затрудняет возможность выделения скоплений в пространстве. В настоящей работе описан метод выявления скоплений без информации о параллаксах звезд. Апробация метода была проведена на модельном каталоге.

В процессе исследования рассматривается распределение на небесной сфере выборок звезд, принадлежащих различным интервалам значений видимой звездной величины. Исследование распределения звезд на небесной сфере проводится методом вейвлет-анализа с применением МНАТ-вейвлета (Mexican HAT). Этот метод позволяет получить детальное представление о характере сгущения звезд на различных масштабах. Для проведения вычислений небесная сфера была покрыта решеткой с ребром ячеек 1° . В узлах решетки с координатами (i, j) определялись вейвлет-коэффициенты по следующей формуле:

$$W(i, j, \sigma) = \sum_n \left[2 - \frac{(i-l)^2 + (j-b)^2}{\sigma^2} \right] e^{-\frac{(i-l)^2 + (j-b)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

где l_n, b_n — галактические координаты звезды, σ — масштаб вейлета.

В результате с вероятностью 0.997 выявлены группы звезд характерного размера около 3° в полосе на небесной сфере с координатами $b \ln[-30^\circ; 30^\circ]$. Произведено сравнение полученных результатов с имеющимися в каталоге рассеянных скоплений Dias *et al.*, 2002 [1].

Литература

- [1] W. S. Dias, B. S. Alessi, A. Moitinho, J. R. D. Lepine, *Astron. Astrophys.* 389, 871 (2002).

Участие митохондрий в регуляции Ca^{2+} -сигналов в микрофагах

Л. С. Курилова

Санкт-Петербургский государственный университет

В огромном числе процессов роль вторичного посредника (мессенджера), передающего сигнал от мембранных сигнальных комплексов к клеточным органеллам, выполняют ионы Ca^{2+} . Изменения в транспорте и внутриклеточной концентрации ионов Ca^{2+} ($[\text{Ca}^{2+}]_i$), называемые также Ca^{2+} -сигналами, играют ключевую роль в запуске и регуляции общих и специализированных клеточных функций, таких как пролиферация, рост, секреция, сокращение, передача нервного импульса, иммунный ответ и т.д. В то же время длительное повышение $[\text{Ca}^{2+}]_i$ приводит к гибели клеток, поэтому в процессе эволюции клетки выработали механизмы поддержания концентрации Ca^{2+} в цитозоле на низком, не токсичном уровне. В последние годы возобновился интерес исследователей к выяснению роли митохондрий, обладающих огромной емкостью для аккумуляции ионов Ca^{2+} , в процессах Ca^{2+} -сигнализации. Учитывая, что повышение $[\text{Ca}^{2+}]_i$ может стимулировать активность ключевых ферментов митохондрий, предполагают, что обратимый захват Ca^{2+} митохондриями может координировать продукцию энергии в клетке. Целью настоящего исследования являлось выяснение возможной роли митохондрий в регуляции Ca^{2+} -сигналов путем исследования влияния ингибиторов окислительного метаболизма митохондрий на Ca^{2+} -ответы, индуцированные пуриnergическими агонистами АТФ и УТФ, а также ингибиторами эндоплазматических Ca^{2+} -АТФаз тапсигаргином и циклопязониковой кислотой (ЦПК) в перитонеальных макрофагах крысы. Работа проведена на уникальной автоматизированной установке для измерения $[\text{Ca}^{2+}]_i$ с использованием флуоресцентных Ca^{2+} -зондов Fura2AM и Fluo-

3. Исследовано действие разобщителя окислительного фосфорилирования FCCP (карбонилцианид *m*-фторофенилгидразон) и ингибитора АТФ-синтазы олигомицина. Показано, что олигомицин и FCCP практически полностью подавляют фазу плато Ca^{2+} -ответа, вызванного АТФ или УТФ и тапсигарином или ЦПК, и уменьшают $[\text{Ca}^{2+}]_i$ до базального уровня как в нормальном физиологическом растворе, так и при использовании бескальциевой среды с последующим введением 2 мкМ Ca^{2+} . Вход Ca^{2+} в перитонеальные макрофаги, индуцированный пуринаргическими агонистами, подавляется олигомицином и FCCP, т.е. агентами, снижающими внутриклеточную концентрацию АТФ, в то время как фаза мобилизации Ca^{2+} из внутриклеточного депо остается интактной. Следовательно, вход Ca^{2+} , вызываемый АТФ и УТФ, регулируется уровнем энергетического метаболизма макрофагов. Кроме того, показано, что депо-зависимый вход Ca^{2+} в макрофаги, индуцируемый прямым освобождением Ca^{2+} из депо при действии тапсиграгина или ЦПК, блокируется двумя ингибиторами метаболизма митохондрий, снижающими внутриклеточную концентрацию АТФ. Таким образом, депо-зависимый вход Ca^{2+} в макрофагах, модулируется уровнем энергетического метаболизма клеток. В связи с тем, что зависимость входа Ca^{2+} от уровня энергизации обнаружена на разных типах клеток, его можно рассматривать как общий механизм регуляции входа Ca^{2+} в физиологических условиях.

Учет граничных эффектов в квантовой электродинамике

В. Н. Марков

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова РАН

Описание граничных эффектов при помощи формализма квантовой теории поля в течение долгого времени является активной областью исследований. Быстрый прогресс экспериментальной техники и улучшение точности экспериментальных данных, описывающих поля протяженных тел на малых расстояниях, требует построения теоретической базы подобных явлений. Мы моделируем граничные эффекты с помощью статического фонового поля (дефекта), взаимодействующего с квантовым полем. Простейшим фоновым полем является сингулярное поле с носителем сосредоточенным на границе. Мы рассмотрели калибровочно инвариантную, локальную, перенормируемую модель простейшего дефекта в КЭД с положительной пространственной четностью и вычислили квантовые поправки к соответствующим результатам классической теории. А именно мы изучали КЭД с дефектом, сосредоточенном на бесконечной плоскости $x_3 = 0$, который опи-

сывается следующим добавочным функционалом действия

$$S_{def}(\bar{\psi}, \psi, A; q, l) = S_q(\bar{\psi}, \psi) + S_l(A)$$

$$S_q(\bar{\psi}, \psi) \equiv \int \bar{\psi}(\vec{x}, 0) \hat{q} \psi(\vec{x}, 0) d\vec{x}, \quad S_l(A) \equiv \int l A(\vec{x}, 0) d\vec{x}, \quad l = \lambda'(\vec{q}, 0)$$

В рассматриваемой модели, дефект описывается тремя независимыми параметрами $\kappa = |\vec{q}|$, $q_3 = \tau$ и λ' , которые должны быть фиксированы условиями нормировки.

Было показано, что используя главное приближение для $\mathcal{F}_{\mu\nu}$, возможно зафиксировать параметр λ' и простую комбинацию ω или χ параметров κ и τ , которые могут быть выражены в терминах наблюдаемых асимптотик $\mathcal{F}_{\mu\nu}$ при больших и малых x_3 . Важной особенностью асимптотик в случае чисто магнитного или чисто электрического полей, является неоднозначность связи этих асимптотик с набором λ' , ω — одно и тоже значение наблюдаемых может быть получено при различных значениях λ' , ω . Эта неоднозначность может быть проявлением возможности фазовых переходов в нашей системе. Если класс эквивалентности пар ω и λ' зафиксирован, то для полного описания параметров системы необходимо вычислить такие физические наблюдаемые, которые не инвариантны относительно трансформаций κ и τ , оставляющих неизменной ω . Тогда будет возможно выразить κ и τ в терминах этих наблюдаемых.

Предложенная модель описывает в рамках КЭД однородную заряженную плоскость с поверхностными токами. Добавочное действие S_{def} согласуется с принципами локальности, калибровочной инвариантности, и перенормируемости теории. Вычисления эффектов первого порядка показали, что среднее поле, создаваемое S_{def} имеет классическое поведение на больших расстояниях от дефекта. Это позволило зафиксировать два параметра нашей модели. Асимптотика на малых расстояниях сингулярна — $E \sim \text{const}/x^2$, что согласуется с имеющимися экспериментальными данными. Квантовые поправки к постоянному классическому электромагнитному полю становятся заметны на весьма малых расстояниях, которые тем не менее достижимы на эксперименте при существующих технологиях. Полученные формулы предсказывают зависимость сил Казимира–Полдера от заряда, что может быть проверенно на эксперименте.

Молекулярные маркеры опухолеобразующих линий редиса и карельских форм березы

Т. В. Матвеева

Санкт-Петербургский государственный университет

Молекулярные маркеры (ММ) находят широкое применение для построения генетических карт, выяснения степени родства различных организмов, маркирования конкретных признаков или форм (линий, сортов и т.д.). ММ основанные на применении ПЦР являются одними из наиболее активно используемых в силу простоты и дешевизны метода. В наших ранних экспериментах были сравнены методы RAPD и менее распространенный на данный момент метод semi-RAPD(основанный на использовании праймеров, содержащих консервативную и случайную части) на предмет количества генерируемых ими ММ и доле полиморфных маркеров среди них (Матвеева и др., 2003). Для редиса и картофеля 15-членные полуслучайные праймеры показали себя наилучшим образом при молекулярном картировании. Данная работа посвящена молекулярному маркированию: 1) линий редиса, контрастных по проявлению признака «опухолеобразование на корнеплоде»; 2) форм березы, контрастных по признаку «структура древесины» (карельская береза и береза нормального фенотипа). В качестве материала использовано три инбредные опухолеобразующие линии редиса, три безопухолевые линии (из генетической коллекции БиНИИ СПбГУ), четыре клона карельской березы (предоставленных Исаковым Ю.Н., ИЛГиС, Воронеж), четыре формы березы нормального фенотипа. Показано, что тенденция, описанная ранее в отношении различных типов праймеров для маркирования редиса и картофеля, сохранилась при анализе данным методом березы. При анализе форм березы с использованием десяти 15-членных полуслучайных праймеров и их двупраймерных комбинаций описано 32 маркера, из которых два присутствуют во всех карельских формах и отсутствуют в случае берез нормального фенотипа. Данные маркеры будут использованы при дальнейшем анализе с привлечением большего числа карельских форм. Для линий редиса описано 63 молекулярных маркера, которые будут вовлечены в анализ их совместного наследования друг с другом и со способностью к опухолеобразованию. Таким образом, нами описаны маркеры, которые могут быть использованы для идентификации конкретных форм редиса и березы. Среди данных маркеров возможно проводить поиск маркеров, сцепленных с признаками интереса.

Данная работа осуществлена при финансовой поддержке Министерства Образования РФ, грант PD02-1.4-142

Литература

- [1] Т. В. Матвеева, Д. И. Богомаз, Л. А. Лутова, *Материалы 7-ой Пушкинской школы-конференции молодых ученых «Биология — наука XXI века»*, (2003).

Температурные характеристики лазерных гетероструктур с активной областью на основе InAs-GaAs квантовых точек

И. И. Новиков

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

На протяжении последних лет длинноволновые лазеры на подложках GaAs притягивали повышенное внимание, обусловленное перспективой достижения характеристик, улучшенных, по сравнению с существующими коммерческими лазерами на подложках InP, например, более высокой температурной стабильности и меньшей пороговой плотности тока [1]. К настоящему времени для полупроводниковых лазеров на КТ уже продемонстрированы рекордно низкие пороговые плотности тока [2], рекордно высокая температурная стабильность [3] и высокая внешняя квантовая эффективность [4]. В настоящей работе представлены результаты исследований температурных характеристик лазерных гетероструктур с активной областью на основе InAs-GaAs квантовых точек и квантовой ямы на основе твердого раствора InGaAsN, выращенных на подложках GaAs. Впервые показано, что изменение распределения носителей в активной области с неравновесного на равновесный в низкопороговых лазерах на квантовых точках, обладающих малым неоднородным уширением приводит к N-образному характеру температурной зависимости пороговой плотности тока и внешней дифференциальной квантовой эффективности. Продемонстрировано, что увеличение содержания азота в твердом растворе InGaAsN приводит к модификации структуры квантовой ямы, выражающейся в спонтанном формировании нанокластеров InGaAsN, по своим свойствам схожим квантовым точкам. Эти изменения приводят к возникновению N-образной температурной зависимости пороговой плотности тока и дифференциальной ватт-амперной эффективности.

Литература

- [1] N. N. Ledentsov, *IEEE Select. Top. Quantum Electron.* 8(5), 1015–1024 (2002).
[2] O. B. Shchekin, G. Park, D. L. Huffaker, Q. Mo, D. G. Deppe, *IEEE Photon. Technol. Lett.* 12(9), 1120–1122 (2000).
[3] O. B. Shchekin, J. Ahn, D. G. Deppe, *Electron. Lett.* 38(14), 712–713 (2002).

- [4] A. R. Kovsh, N. A. Maleev, A. E. Zhukov, S. S. Mikhryn, A. R. Vasil'ev, Yu. M. She-myakov, M. V. Maximov, D. A. Livshits, V. M. Ustinov, Zh. I. Alferov, N. N. Ledentsov, D. Bimberg, *Electron. Lett.* 38(19), 1104–1106 (2002).

Критическая термодинамика обобщенной кубической модели в пятипетловом приближении

П. Калабрезе¹, Е. В. Орлов², Д. В. Пахнин², А. И. Соколов²

¹ Высшая нормальная школа, Пиза, Италия

² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

В настоящей работе методом ренормализационной группы, хорошо зарекомендовавшим себя в решении подобных задач, в том числе и в двумерном случае [1–6], получены разложения для β -функций и критических индексов двумерной n -векторной кубической модели в рекордно высоком — пятипетловом — приближении. Найденные ряды, как и ожидалось, оказались знакопеременными с растущими по модулю коэффициентами. Поэтому нахождение координат фиксированных точек и численных значений критических индексов потребовало их пересуммирования. Для этой цели применены методы, базирующиеся на преобразовании Бореля-Леруа и использующие для аналитического продолжения борелевских образов конформные преобразования и аппроксиманты Паде. Путем обработки ренормгрупповых рядов найдены фазовые портреты уравнений ренормгруппы при различных значениях n , координаты u^* и v^* фиксированных точек и величины критических индексов в тех случаях, когда среди фиксированных точек есть устойчивые. Сопоставление полученных результатов с их точными аналогами, известными для примесной модели Изинга и для кубической модели с $n > 2$ [7–9], позволило сделать определенные заключения об эффективности метода теоретико-полевой ренормгруппы в задачах данного типа. Установлено, в частности, что неаналитические вклады в ренормгрупповые функции, которые теория возмущений не учитывает, не являются в двух измерениях пренебрежимо малыми. Конкретно, их учет приводит к сдвигу координат фиксированных точек на несколько процентов.

Итак, основными результатами работы являются β -функции двумерной n -векторной кубической модели в пятипетловом приближении, фазовые портреты уравнений РГ при различных n и численные оценки критических индексов.

Литература

- [1] G. A. Baker, B. G. Nickel, D. I. Meiron, *Phys. Rev. B*, **17**, 1365, (1978)
- [2] J. C. Le Guillou, J. Zinn-Justin, *Phys. Rev. B*, **21**, 95, (1980)
- [3] I. O. Mayer, A. I. Sokolov, B. N. Shalayev, *Ferroelectrics*, **95**, 93, (1989)
- [4] A. I. Sokolov, E. V. Orlov, *Phys. Rev. B* **58**, 2395, (1998)
- [5] Е. В. Орлов, А. И. Соколов, *ФТТ*, **42**, 2087, (2000)
- [6] P. Calabrese, E. V. Orlov, P. Parruccini, A. I. Sokolov., *Phys. Rev. B* **67**, 024413, (2003)
- [7] Вик. С. Доценко, Вл. С. Доценко, *ЖЭТФ*, **83**, 727 (1982)
- [8] Б. Н. Шалаев, *ФТТ*, **26**, 3002, (1984).
- [9] Б. Н. Шалаев, *ФТТ*, **31**, 93, (1989)

Процессы в сильноточных разрядах высокого давления, обусловленные электродными плазменными струями

М. Э. Пинчук

Институт проблем электрофизики РАН

Работа посвящена проблеме диагностики физических процессов, связанных с образованием электродных анодной и катодной струй, в мощных импульсных разрядах с вкладываемой энергией 10^4 – 10^6 Дж за импульс при амплитуде разрядного тока 10^5 – 10^6 А со скоростью его нарастания 10^9 – 10^{10} А/с при начальном давлении воздуха или водорода 0.1–4.0 МПа [1]. Создан комплекс оптической диагностики, включающий скоростную фотосъемку, теневой метод, измерение оптического поглощения и яркостной температуры. Ведущая роль при этом отводится теневому методу, позволившему исследовать эволюцию разряда в целом при токах свыше 100 кА. Определены параметры плазмы в областях повышенного энерговыделения. Наибольшее энерговыделение в разрядном промежутке и большая часть падения напряжения приходится на области вблизи электродов, где происходит образование струй, и область взаимодействия струй. Продольный размер этих областей составляет 1–3 миллиметра. Основным механизмом передачи энергии от разряда к газу является турбулентный теплообмен в слое смешения электродных струй. Впервые зарегистрирован симметричный выброс вещества материала электрода в сильноточном импульсном разряде высокого давления в водороде [2]. Вклад эрозии в виде отдельных симметричных выбросов составляет значительную часть эрозии в разрядах таких параметров. Предложен механизм выброса материала электрода, который связан с нарушением баланса между давлением в глубине расплавленного

поверхностного слоя и над ним при равенстве магнитного и газокинетического давлений у основания электрода. В разрядах указанных параметров характер эрозии определяется сложным взаимодействием интенсивных электродных струй с электродами и пинч-эффектом.

Литература

- [1] А. А. Богомаз, А. В. Будин, В. А. Коликов, М. Э. Пинчук, А. А. Позубенков, Ф. Г. Рутберг, *ЖТФ*, 72, 28–35, (2002).
- [2] А. А. Богомаз, А. В. Будин, В. А. Коликов, М. Э. Пинчук, А. А. Позубенков, Ф. Г. Рутберг, *ДАН*, 388, 37–40, (2003).

Нелинейная теория флуктуационной рефлектометрии

Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Одним из распространенных методов исследования микротурбулентности в плазме токамака является флуктуационная рефлектометрия [1]. Интерпретация экспериментальных данных, полученных с помощью этой диагностики, основана на физической концепции, согласно которой рассеяние происходит в окрестности точки отсечки на длинноволновых флуктуациях, доминирующих в спектре. Вместе с тем линейная двумерная [2] и нелинейная одномерная [3] теоретические модели предсказывают, что в этой диагностике доминирует не рассеяние назад в точке, где выполняются резонансные условия Брэгга, а малоугловое рассеяние вдоль всего оптического пути зондирующей волны. В линейном случае, когда уровень турбулентности низок, это ставит под сомнение такие характеристики рефлектометрии, считавшиеся ее бесспорным преимуществом, как локальность и возможность разрешения по радиальным волновым векторам флуктуаций [2]. Однако в сильно нелинейном случае при высоком уровне флуктуаций корреляционные измерения позволяют получать локальную информацию из окрестности точки отсечки [3].

В настоящей работе нами была развита нелинейная трехмерная теория, основанная на тех же предположениях, что и в [3]. Многократное малоугловое рассеяние описывается в рамках ВКБ приближения, как результат случайных изменений фазы зондирующей волны в среде с флуктуациями. Проанализированы различные экспериментальные реализации данной диагностики. Получены аналитические выражения для корреляционной функции двух зондирующих сигналов, имеющих близкую частоту, и их инстинкции

зондирующего сигнала, в случае, когда существенна вторичная дифракция.

Литература

- [1] R. Nazikian, E. Mazzucato. *Rev. Sci. Instrum.* **66**, 392 (1995).
- [2] E. Z. Gusakov, M. A. Tyntarev. *Fusion Engineering and Design* **34-35**, 501 (1995).
- [3] E. Z. Gusakov, A. Yu. Popov, *Plasma Phys. Contr. Fusion* **44**, 2327–2337 (2002).

ЯМР-исследование короткоцепочечных поверхностно-активных веществ в растворах тяжелой воды на границе с твердой фазой кулоновского кристалла

М. В. Попова

Санкт-Петербургский государственный университет

Процессы адсорбции ПАВ на границе твердое тело-раствор, в частности на поверхности гидрофильных окислов (SiO_2 , Al_2O_3 , различные глиноземы) играют важную роль в самых различных отраслях промышленности и технологии, таких как агрохимия, производство моющих средств, флотация, косметическая и пищевая промышленность, чем видимо и обуславливается возросший в последние годы интерес к исследованиям структуры самоассоциатов молекул ПАВ на поверхности твердого тела. Исследованы концентрационные зависимости химических сдвигов и времени спинрешеточной релаксации ядер ^{13}C короткоцепочечных ионогенных ПАВ, адсорбированных из раствора на поверхность аэросила. Эффективное сужение линий ЯМР ^{13}C на основе методики MAS позволяет детально изучать характер подвижности отдельных фрагментов ассоциированных молекул и структуру молекулярных агрегатов на поверхности и в растворе. Показано, что адсорбция короткоцепочечных анионных ПАВ из раствора существенно зависит от величины рН среды. В кислой среде (рН = 2) при малых концентрациях ПАВ, соответствующих начальному участку изотермы адсорбции, амфифильные молекулы располагаются в основном по нормали к поверхности, взаимодействуя с ней гидрофильными частями. При этом наблюдается закономерное изменение химического сдвига ближайших к ионной части метиленовых групп, концентрационная зависимость которого аналогична изотерме адсорбции ионных ПАВ. Отмечено различие в величинах химических сдвигов при низких концентрациях ПАВ, зависящее от длины цепи и связанное, по-видимому, с возможностью образования различных конформеров, что в большей мере свойственно наиболее длинным молекулам и что должно влиять на внутреннюю структуру поверхностных

образований. В среде с $pH = 6$ адсорбционное взаимодействие происходит в основном за счет гидрофобных частей молекул. Процесс адсорбции в этом случае зависит от длины алкильной цепи. Так для самой короткой из изученных молекул процесс адсорбции ограничивается формированием на поверхности монослоя. В области больших концентраций (15–20%) наблюдаемые величины химических сдвигов и времен спин-решеточной релаксации вследствие быстрого обмена определяются в основном структурой и динамикой молекул ПАВ в составе мицеллярных агрегатов в растворе. Двумя независимыми методиками импульсного ЯМР продемонстрирована возможность получения аналогов изотерм адсорбции без привлечения дополнительных методов исследования. При обоих значениях pH максимальное изменение химического сдвига наблюдалось для углеродов первых двух сегментов молекул, тогда как для более длинных молекул, как следует из литературных данных, максимальный химический сдвиг при агрегации наблюдается для средней части гидрофобной цепи. Этот факт, очевидно, является присущим именно короткоцепочечным молекулам ПАВ. Продемонстрирована возможность оценки относительных долей свободной и агрегированной фракций в растворах ПАВ на основе измерений времени спин-спиновой релаксации протонов.

Исследование релаксации электронных возбуждений в $SrAl_{12}O_{19}:Pr$

А. С. Потанов

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Спектр люминесценции $SrAl_{12}O_{19}:Pr$ (SAO:Pr) обладает линиями, соответствующими излучательным переходам с 1S_0 и 3P_0 уровней. Таким образом, SAO является матрицей, в которой наблюдается эффективная каскадная эмиссия фотонов (КЭФ) празеодима. Возбуждение $^1S_0 \rightarrow ^1I_6$ и $^3P_0 \rightarrow ^3H_4$ люминесценции эффективно в области энергий шириной 1 эВ, связанной с межконфигурационными $4f^2 \rightarrow 4f5d$ переходами, при пороге (начале переходов) 6.0 эВ при комнатной температуре и 6.15 эВ при $T = 14$ К. Полоса возбуждения содержит два основных пика при 6.27 и 6.46 эВ и слабый пик при 7.18 эВ, которые хорошо разрешены только при низкой температуре. Следующий порог в спектре возбуждения находится при 7.5 эВ, он соответствует переходам из валентной зоны в зону проводимости. Пик возбуждения перехода $^3H_4 \rightarrow ^1S_0$ расположен при 5.756 эВ. При возбуждении зона-зона ($E > 7.5$ эВ) и низких температурах люминесценция с 3P_0 уров-

ня возбуждается эффективно, в то время как 1S_0 люминесценция отсутствует. Объяснение физической природы этого процесса возможно с привлечением механизма локализации дырок валентной зоны и переноса энергии от экситонных состояний к Pr^{3+} центрам. Для основных линий люминесценции SAO:Pr была измерена кинетика люминесценции. При возбуждении вблизи максимума $4f^2 \rightarrow 4f5d$ переходов (6.4 эВ) $^1S_0 \rightarrow ^1I_6$ люминесценция обладает постоянной спада люминесценции $\tau \approx 330 \pm 10$ нс при $T = 300$ К и $\tau \approx 400 \pm 10$ нс при $T = 14$ К. При предпороговом возбуждении ($E < 6.0$ эВ) преобладает быстрая компонента с $\tau \approx 10$ нс, связанная с экситонной люминесценцией. При высокоэнергетическом (рентгеновском) возбуждении в кинетике перехода $^1S_0 \rightarrow ^1I_6$ обнаруживается быстрая компонента с $\tau \approx 53 \pm 2$ нс, которая по-видимому связана с подмешиванием $4f5d$ уровней к 1S_0 уровню. Переход $^3P_0 \rightarrow ^3H_4$ при возбуждении рентгеновским квантами обладает постоянной спада $\tau \approx 2.5 \pm 0.5$ мкс, характерной для запрещенных f-f переходов.

Состояния глубокого акцепторного центра в квантовой яме

К. С. Романов

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В настоящее время широко исследуется поведение и различные свойства гетероструктур, получение которых стало возможным относительно недавно из-за развития технологий и экспериментальной техники. Не последнюю роль играют и исследование взаимодействия гетероструктур и одиночных примесей, как донорного, так и акцепторного типа.

В данной работе проведено теоретическое исследование уровней дырки, локализованной на $A+$ -центре, помещённом в квантовую яму из полупроводника вида A_3B_5 . Расчёт проводился с использованием метода эффективной массы. Для упрощения вычислений рассматривался случай сферически симметричной сложной валентной зоны, примесь располагалась посередине ямы, притягивающий потенциал $A+$ -центра моделировался с помощью потенциала нулевого радиуса, яма считалась имеющей бесконечные стенки.

Использование модели потенциала нулевого радиуса позволило аналитически получить дисперсионное уравнение для нахождения уровней энергии в зависимости от мощности потенциала, ширины квантовой ямы и параметров валентной зоны полупроводника, образующего квантовую яму. Также был получен аналитический вид волновых функций дырки.

В общем случае найденное дисперсионное уравнение допускает лишь численное решение. При этом единственным подгоночным параметром задачи является мощность потенциала, которая, согласно предложенному методу находится из наилучшего согласия с экспериментальными данными.

В результате проведённой работы были получены зависимости положений уровней от ширины ямы для примесей различных типов. Были рассчитаны характерные размеры локализации волновой функции дырки. Сравнение зависимостей с экспериментальными данными по положению акцепторных уровней и характерных размеров волновых функций показало хорошее совпадение эксперимента и теории.

Развитый метод позволяет легко получить зависимость положения энергетического уровня для данного $A+$ -центра в квантовой яме в зависимости от ширины ямы, определить тип акцепторной примеси, помещённой в квантовую яму, зная энергию связи дырки и ширину квантовой ямы. В работе продемонстрировано, что модель $A+$ системы с потенциалом нулевого радиуса хорошо описывает эксперимент и даёт возможность учесть химическую природу примеси.

Литература

- [1] А. А. Пахомов, К. В. Халипов, И. Н. Ясиевич, *ФТП*, 30, 1387, (1996).
- [2] В. Я. Алешкин, Б. А. Андреев, В. И. Гавриленко, И. В. Ерофеева, Д. В. Козлов, О. А. Кузнецов, *ФТП*, 34, 582, (2000).
- [3] Н. С. Аверкиев, А. Е. Жуков, Ю. Л. Иванов, П. В. Петров, К. С. Романов, А. А. Тонких, В. М. Устинов, Г. Э. Цырлин, *ФТП*, 38, 222, (2004).

Динамическая эволюция неиерархических кратных звезд с учетом звездного ветра, динамического трения и слияний звезд

А. В. Рубинов

Санкт-Петербургский государственный университет

Проведено численное моделирование динамической эволюции малых звездных групп, состоящих из $N = 6$ компонентов, в рамках гравитационной задачи N тел. Исследовано влияние потери массы звездами в виде звездного ветра, динамического трения о межзвездную среду и слияний звезд на динамическую эволюцию групп. Проанализированы распределения по состояниям на момент времени 300 начальных времен пересечения системы. Исследованы характеристики формирующихся двойных и устойчивых

тройных систем, а также уходящих одиночных и двойных звезд.

Эффекты слияний звезд и динамического трения сильнее проявляются в тесных системах, а влияние звездного ветра — в широких. Слияния звезд и звездный ветер замедляют динамическую эволюцию. Действие этих факторов приводит к увеличению средних и медианных значений больших полуосей финальных двойных, а также больших полуосей внутренних и внешних двойных в устойчивых тройных системах. Слияния звезд и динамическое трение в тесных системах приводят к уменьшению доли двойных систем с сильно вытянутыми орбитами, средних значений отношений масс компонентов финальных двойных, а также внутренних и внешних двойных в устойчивых тройных системах. Слияния звезд и динамическое трение в тесных системах увеличивают долю устойчивых тройных с прямыми движениями. Динамическое трение в тесных системах может приводить как к увеличению, так и уменьшению средних значений скоростей уходящих одиночных звезд, результат зависит от плотности межзвездной среды и средних скоростей звезд в системе.

Термодинамическая устойчивость твердых растворов AlInAsSb, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии

А. А. Ивашова¹, А. Н. Семенов²

¹ Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

² Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Твердые растворы AlInAsSb представляются чрезвычайно перспективными с точки зрения их использования их в качестве эмиттерных слоев в светоизлучающих структурах, работающих без охлаждения в инфракрасном спектральном диапазоне (2.0–4.0 мкм) [1].

Один из существенных недостатков рассматриваемой системы твердых растворов, который ограничивает практическое применение этих материалов и затрудняет синтез твердых растворов AlInAsSb, согласованных по периоду решетки с InAs с большим содержанием Al, заключается в существовании достаточно протяженных областей нестабильности и несмешиваемости. Определение положения границ этих областей проводилось расчетным путем, при этом, теоретический анализ фазовой устойчивости многокомпонентных твердых растворов, выполнялся на основе моделей регулярного раствора [2] и «дельта параметра решетки» (DLP) [3], а экспериментальных данных по разрывам растворимости в твердой фазе не опубликовано. Сле-

дует отметить, что результаты расчетов существенно зависят от принятой модели и выбора исходных термодинамических параметров.

В настоящей работе нами сообщается о молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) твердых растворов AlInAsSb и исследований их методами рентгеновской дифрактометрии (РД), фотолюминесценции и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Представлены результаты вычисления спиноподальных и бинодальных изотерм на основе модели регулярного раствора, которая нам представляется наиболее обоснованной в теоретическом плане. Новизна подхода заключается в использовании стандартных термодинамических функций, относящихся к бинарным соединениям, для описания межатомного взаимодействия в многокомпонентном твердом растворе.

Показано, что при синтезе твердых растворов с содержанием Al около 15 процентов, выращенных при достаточно низких (ниже 470°C) температурах роста, наблюдается распад. Приводятся результаты моделирования кривых дифракционного отражения, позволяющие оценить составы образующихся фаз.

В хорошем соответствии с расчетным положением границ областей неустойчивости, твердые растворы с содержанием Al менее 12 процентов, выращенные при более высоких температурах (свыше 500°C), не имеют признаков распада и характеризуются высоким структурным совершенством и зеркальной морфологией.

Литература

- [1] A. A. Toropov, O. G. Lyublinskaya, V. A. Solov'ev, and S. V. Ivanov, in "III-V Semiconductor Heterostructures: Physics and Devices", p. 169–199, 2003.
- [2] K. Onabe, *Nec. Res Dev.* 72, 1 (1984).
- [3] G. B. Stringfellow, *J. Electronic Materials*, 11, 903, (1982); G. B. Stringfellow, *J. Crystal Growth*, 58, 194 (1982).

Распределение вещества после инъекции пеллета в токамак

И. Ю. Сениченков, И. Ю. Веселова, В. А. Рожанский

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Инъекция пеллетов является перспективным методом ввода топлива в термоядерный реактор будущего. Профиль плотности плазмы, возникающий после быстрого испарения пеллета и растекания испарившегося вещества по магнитным поверхностям, определяет мощность реакции синтеза и режим удержания плазмы. В настоящее время этот профиль используется при одномерном моделировании процессов переноса в реакторе.

Эксперименты на современных токамаках показали, что испарившийся материал значительно смещается по отношению к тому месту, где произошло испарение. Это смещение всегда происходит в направлении внешнего обвода тора, и его связывают с поляризацией облака испарившегося материала в неоднородном магнитном поле и дрейфом в скрещенных электрическом и магнитном полях.

В работе предложена аналитическая модель такого движения облака. Рассмотрены несколько механизмов возникновения тока, компенсирующего ток, вызванный неоднородностью магнитного поля. Это инерциальный ток, приводящий к ускорению в направлении внешнего обвода, т.н. Альфвеновская проводимость, связанная с распространением альфвеновской волны в фоновой плазме вдоль магнитного поля, и поперечная вязкость. Аналитическая модель подтверждена численными расчетами в простой геометрии. Показано, что для параметров современных и проектируемых токамаков равноускоренное движение сменяется равномерным в основном за счет Альфвеновской проводимости. Полная остановка облака испарившегося вещества происходит, когда его размеры вдоль магнитного поля становятся сравнимыми с длиной обвода тора. Получено простое выражение для смещения в сторону внешнего обвода. Рассчитанное смещение удовлетворительно согласуется с наблюдавшимся на токамаках ASDEX-Upgrade и DIII-D. Модель может быть использована для предсказания эффективности ввода топлива в термоядерный реактор ИТЕР и для расчета начальных условий для моделирования процессов переноса в токамаке.

Эффект многократного малоуглового рассеяния в Доплеровской рефлектометрии

Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов, А. В. Сурков

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Доплеровская флукуационная рефлектометрия широко используется в настоящее время для изучения полоидального вращения плазмы токамака [1, 2]. При исследованиях этим методом в полоидальном сечении токамака наклонно по отношению к радиальному направлению вводится зондирующая волна, для которой в плазме имеется поверхность отсечки. Регистрируется сигнал, рассеянный назад и имеющий частоту отличную от зондирующей. Полагая, что такой сигнал сформировался в результате однократного обратного рассеяния на флукуациях плотности, или однократного малоуглового рассеяния с последующим отражением от отсечки, по смещению

частоты рассеянной волны можно получить информацию о скорости полоидального вращения плазмы. Однако, при достаточной амплитуде турбулентности (реализующейся в периферийных областях плазмы) значительную роль в формировании спектра регистрируемого сигнала может играть эффект многократного малоуглового рассеяния.

В настоящей работе теоретически исследуется эволюция спектра зондирующей волны при распространении в неоднородной плазме с широм скорости полоидального вращения и турбулентностью достаточной амплитуды, способной развернуть зондирующую волну в направлении приемной антенны посредством многократного малоуглового рассеяния. Описан спектр регистрируемого сигнала в зависимости от профиля плотности плазмы, профиля скорости полоидального вращения плазмы, пространственного распределения турбулентности, полагавшегося неоднородным, ее спектра, диаграммы направленности антенны. Показано, что сдвиг и ширина частотного спектра регистрируемого сигнала в условиях многократного рассеяния и неоднородного профиля скорости определяются всей совокупностью вышеупомянутых параметров. При этом наибольшее влияние на сдвиг спектра может оказывать как область с большей амплитудой турбулентности, так и область с большим значением скорости полоидального вращения, что качественно отличает данную ситуацию от линейного случая [3]. В то же время, в случае однородного полоидального вращения плазмы смещение спектра обусловлено традиционным эффектом Доплера, а ширина спектра определяется амплитудой и частотным спектром рассеивающей турбулентности.

Работа выполнена при содействии программы государственной поддержки научных школ (проект 2159.2003.2), поддержке грантов РФФИ 02-02-17589, ИНТАС 01-2056 и гранта NWO-РФФИ 047.009.009. А.В. Сурков благодарен за поддержку Фонду некоммерческих программ «Династия».

Литература

- [1] В. В. Буланин, С. В. Лебедев, Л. С. Левин и др., *Физика плазмы* 26, 867 (2000).
- [2] M. Hirsch, E. Holzhauser, J. Baldzuhn *et al.*, *Plasma Phys. Control. Fusion* 43, 1641 (2001).
- [3] E. Z. Gusakov, A. V. Surkov, *Plasma Phys. Control. Fusion* to be published

Особенности распространения электронных бернштейновских волн

А. Д. Пилия, А. Ю. Попов, Е. Н. Трегубова

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Циклотронное затухание электронных бернштейновских волн (ЭБВ) с экстремально малыми $N_{||}$ описывается достаточно громоздкими выражениями, учитывающими релятивистский сдвиг электронной частоты [1]. Неизбежное присутствие таких волн в пучках ЭБВ, возбуждаемых для нагрева плазмы и генерации токов увлечения, создает весьма трудные проблемы при использовании метода лучевых траекторий, стандартно применяемого для анализа распространения ЭБВ. В настоящей работе показано, что релятивистские эффекты фактически никогда не играют заметной роли в геометрии токамаков, что находится в противоречии с результатами метода лучевых траекторий. Это заключение следует из решения интегрального волнового уравнения для ЭБВ, полученного в работе. Согласно этому решению вблизи поверхности ЭЦР бернштейновские волны распространяются в виде своего рода волновых мод, у которых спектр $N_{||}$ зависит от соответствующего «квантового числа». Оказывается, что даже для основной моды, имеющей наиболее узкий спектр, его ширина намного превосходит границу релятивистского затухания, вследствие чего затухание моды происходит по нерелятивистскому механизму. В работе анализируется связь описанной картины распространения волн с традиционным лучевым подходом и обсуждается возможность комбинированного применения обоих методов.

Литература

- [1] A. D. Piliya, A. Yu. Popov, E. N. Tregubova, *Plasma Phys. Cont. Fusion* 45, 1309 (2003).

Интегрально-оптические управляемые Брэгговские решетки

А. В. Шамрай, А. С. Козлов, И. В. Ильичев, М. П. Петров

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

Разработано новое интегрально-оптическое устройство на базе электрически управляемых Брэгговских решеток. Продемонстрирован оперативный электрооптический контроль формой спектральной передаточной функции данного устройства. Наиболее перспективной областью применения данного устройства является управление спектральными каналами в оптических

линиях связи, базирующихся на принципах спектрального уплотнения каналов (WDM).

Управляемые спектрально селективные устройства представляют большой интерес с точки зрения практических применений. Среди наиболее перспективных областей применения следует отметить спектроскопию, перестраиваемые лазеры, оптические датчики и в особенности оптические телекоммуникации, использующие для передачи информации принципы спектрального уплотнения каналов (WDM systems). Разработано новое интегрально-оптическое устройство, основанное на новом оригинальном методе электрооптического контроля спектральной передаточной функции Брэгговской решетки в одномодовом канальном оптическом волноводе на кристаллической подложке LiNbO_3 . Высокая спектральная селективность (0.1-0.01 nm), высокочастотное электрооптическое управление (до 20 GHz), относительно невысокое управляющее напряжение вместе с интегрально-оптическим исполнением, дающим возможность массового производства, а также совместимость с другими элементами современных оптических сетей позволяют рассматривать данное устройство в качестве потенциально ключевого элемента для построения сложных оптических систем управления спектральными каналами в современных оптических телекоммуникациях, например, эквалайзеров оптической мощности, селективных оптических модуляторов, адд/дроп-мультиплексоров и других оптических переключателей.

В предлагаемом устройстве Брэгговская решетка была сформирована внутри одномодового канального оптического волновода в LiNbO_3 при помощи голографической записи. Спектр отражения однородной Брэгговской решетки или спектральная передаточная функция имеет вид узкого пика, таким образом, решетка действует как режекторный фильтр или фильтр пробка [1]. Однако вид спектральной передаточной функции может существенно измениться и приобрести сложную форму, например, узкие линии пропускания могут возникнуть внутри спектрального диапазона отражения [2, 3], если в решетки созданы скачки фазы, периода или среднего показателя преломления. В кристалле LiNbO_3 управляемые скачки среднего показателя преломления Брэгговской решетки могут быть созданы путем приложения внешнего электрического поля с заданным пространственным распределением. Для создания внутри оптического волновода электрического поля со строго заданным пространственным распределением в предлагаемом устройстве были разработаны управляющие электроды специальной конфигурации, обеспечивающие работу в геометрии поперечного электрооптического эффекта. Представляемое устройство может функцио-

нирывать в двух режимах. Первый режим работы обеспечивает перестройку центральной длины волны отражения Брэгговкой решетки без изменения формы спектральной передаточной функции при приложении пространственно однородного электрического поля. Сдвиг центральной длины волны на 0.1 nm достигается при приложении внешнего электрического поля напряженностью $7.5 \text{ V}/\mu\text{m}$. Данный режим быстрой электрооптической перестройки может быть весьма полезен для внешней синхронизации и стабилизации длины волны излучения лазеров. Второй режим работы устройства обеспечивает электрооптическое переключение решетки из состояния отражения в состояние пропускания. Экспериментальная демонстрация подтвердила предсказания теории, что приложение внешнего электрического поля одинаковой амплитуды ($7.5 \text{ V}/\mu\text{m}$), но противоположной полярности к двум одинаковым половинам решетки создает скачок среднего показателя преломления, приводящий к появлению максимума пропускания в центре спектрального диапазона отражения однородной решетки. Данный режим работы устройства может быть использован для построения спектрально селективных электрически управляемых оптических аттенюаторов для оптических эквалайзеров, оптических модуляторов, осуществляющих модуляцию одного спектрального канала без воздействия на другие и оптических адд/дроп мультиплексоров.

Литература

- [1] J. Hukriede, D. Kip, E. Kratzig, *J. Opt. A: Pure Appl. Opt.* **2**, 484–487, (2000).
- [2] G. P. Agrawal, S. Radic, *IEEE Photon. Technol. Lett.* **6**, 995–997, (1994).
- [3] V. M. Petrov, C. Karaboue, J. Petter, T. Tschudi, V. V. Bryksin, M. P. Petrov, *Appl. Phys. B* **76**, 41–44, (2003).

Проекты молодых кандидатов наук

Спиновые эффекты в полупроводниковых гетероструктурах

Л. Е. Голуб

Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе РАН

В последние годы спиновые свойства привлекают большое внимание в связи с попытками создания электронных приборов, работающих на основе спина носителей. Очевидными кандидатами для таких приборов являются электроны проводимости, особенно в наноструктурах, где их энергетический спектр и форма волновой функции могут быть эффективно сконструированы в процессе роста, приложением электрических и магнитных полей, или облучением светом. В спинтронике вовлечены различные полупроводниковые материалы, и SiGe квантовые ямы — одни из них. Хотя объёмные Si и Ge имеют центр инверсии, структуры с квантовыми ямами, выращенные из этих материалов, могут его не иметь, что приводит к спиновому расщеплению электронных подзон. Квантовая инженерия спинтронных приборов обычно базируется на эффекте Рашбы. Он состоит в появлении спинового расщепления, обусловленного асимметрией гетероструктуры (так называемая структурно-инверсионная асимметрия, или SIA), и не имеет отношения к объёмным свойствам полупроводника. Принято считать, что спиновое расщепление Дрессельхауза, обусловленное объёмно-инверсионной асимметрией (BIA), отсутствует в структурах, выращенных из centro-симметричных материалов. В данной работе впервые демонстрируется, что спиновое расщепление типа Дрессельхауза возможно в гетероструктурах, сделанных из Si и Ge, являясь альтернативой эффекту Рашбы, и оно появляется из-за анизотропии химических связей на интерфейсах.

Поляризационно-статистические свойства лазерной генерации VCSELs

Т. Ю. Голубева, Ю. М. Голубев, А. А. Трусов

Санкт-Петербургский государственный университет

Основная цель работы состоит в том, чтобы в рамках адекватной теории аналитически описать поляризационно-статистические свойства излучения полупроводникового лазера — викасела (VCSEL — Vertical-Cavity Surface-

Emitting Laser). Поскольку мы предполагаем исследовать квантовые проявления в генерации ви́ксела, то аналитическое построение должно быть по необходимости проведено в рамках квантовой электродинамики.

Построение теории связано с формулированием соответствующих уравнений Ланжевена–Гайзенберга для заселенностей лазерных уровней, оптических поляриза́ций и амплитуд полей. Нами получены аналитические решения этих уравнений для ви́кселов с короткоживущим нижним лазерным уровнем при учете оптической анизотропии, вносимой в систему полупроводниковым кристаллом. Решения найдены в виде спектральных плотностей флуктуаций параметров Стокса и их корреляций. Мы апробируем наши результаты сравнениями там, где это возможно, с численными и экспериментальными результатами других исследователей. Кроме того на основе полученных формул проанализированы различные варианты поляризационных экспериментов по измерению авто- и кросс-корреляций флуктуаций поляризации лазерного излучения и возможности наблюдения поляризационного сжатия и субпуассоновости.

При анализе авто-корреляций параметров Стокса мы зафиксировали поляризационное сжатие, которое согласно его определению имеет место тогда, когда флуктуации хотя бы одного из параметров оказываются ниже квантового предела. В нашем случае это первый параметр Стокса, подавление шумов которого ниже дробового предела (как и субпуассоновость генерации) заранее никак не очевидно, поскольку хотя и предполагается регулярность накачки, тем не менее между верхними лазерными подуровнями «атомы» распределяются случайным образом. Мы полагаем, что это явилось следствием того, что в рассмотренном режиме линейно поляризованной генерации лазерное поле взаимодействует скоррелированным образом с обоими лазерными переходами, и потому для формирования генерации, включая её статистические особенности, существенны не заселенности каждого из верхних подуровней, но именно полная заселенность.

Работа выполнена при частичной поддержке Минобразования России (грант молодых ученых № PD02-1.2-250 и грант по фундаментальным исследованиям в области естественных наук № E02-3.2-239)

Позиционное клонирование локусов количественных признаков у домашней курицы

А. А. Сазанов^{1,2}, В. А. Царева², А. Ф. Смирнов^{1,2}, Б. Вардецка³,
М. Корчак³, К. Ящак³, М. Н. Романов⁴

¹ Санкт-Петербургский государственный университет

² Всероссийский НИИ генетики и разведения животных РАСХН

³ Институт генетики и разведения животных Польской академии наук, Варшава, Волка Косовска, Польша

⁴ Государственный университет штата Мичиган, Ист-Лансинг, США

Большинство хозяйственно ценных признаков домашних животных имеют сложный полигенный тип наследования и контролируются многими генами, расположенными в локусах QTL (quantitative trait loci). Проведен ряд экспериментов по позиционному клонированию двух районов хромосомы 4 домашней курицы, содержащие QTL толщины скорлупы на 53 недели жизни (ST53) и массы белка в яйце на 33 неделе (AW33). Указанные признаки различаются у двух линий кур (польская зеленоногая и род-айленд) на 3,3% и 7,5%, соответственно. Методом гибридологического анализа косегрегации микросателлитных ДНК-маркеров и количественных признаков определены маркеры интервалов генетической карты (районов хромосом), контролирующих QTL AW33 и ST53. С использованием баз данных компьютерной сети Интернет показана локализация количественного признака AW33 в пределах интервала, ограниченного микросателлитными локусами MCW0170 и LEI0081, и QTL ST53 внутри района с границами MCW0114 и ADL0241. Определены координаты двадцати клонов, имеющих гомологию последовательностей ДНК вставки с микросателлитными локусами MCW0170, LEI0081, MCW0114 и ADL0241. Верификация аутентичности клонов методом ПЦР с использованием праймеров для трех микросателлитных локусов (MCW0170, MCW0114 и ADL0241) позволила установить соответствие двух ВАС-клонов локусу MCW0170 (QTL AW33), девяти — локусу MCW0114 (QTL ST53) и четырех ВАС-клонов локусу ADL0241 (QTL ST53). Методом флуоресцентной гибридизации ДНК-ДНК *in situ* (FISH) установлена внутривхромосомная локализация 15-ти ВАС-клонов, содержащих микросателлитные локусы. Исходя из среднего размера вставки — 150 т.п.н. — можно говорить о позиционном клонировании двух участков хромосомы 4 домашней курицы суммарной длиной 300 т.п.н. для QTL AW33 и 1950 т.п.н. для QTL ST53.

Исследование крупномасштабной структуры наблюдаемой Вселенной

А. В. Тихонов

Санкт-Петербургский государственный университет

Методом корреляционной Гамма-функции получена новая информация о характерном масштабе (масштабе излома Гамма-функции), начиная с которого в распределении галактик и скоплений галактик наблюдается переход от режима сильных (фрактальных) флуктуаций плотности галактик к квазирегулярному распределению. Получены общий вид сгущивания, значения показателя, характеризующего ход плотности до излома $\gamma_1 = 0.8 \pm 0.08$ и масштаба излома Гамма-функции $R_0 \sim 22$ Мпк для галактик обзора 2dF. После излома показатель $\gamma_2 = 0.04 \pm 0.03$, что указывает на равномерность распределения галактик на этих масштабах. Эти особенности хорошо согласуются со значениями, найденными автором ранее по другим выборкам галактик. Получены параметры сгущивания и характерные масштабы сгущивания рентгеновских скоплений галактик ROSAT ($\gamma_1 = 2.02 \pm 0.08$, $R_0 \sim 30$ Мпк, $\gamma_2 = 0.42 \pm 0.08$) и искусственных скоплений из серии «Galaxy Clusters in Hubble Volume Simulations» ($\gamma_1 = 1.44 \pm 0.03$, $R_0 \sim 30$ Мпк, $\gamma_2 \sim 0$), полученных в рамках космологии ($\Omega_{\text{tot}} = 1$, $\Omega_{\text{matter}} = 0.3$, $\Omega_{\text{vacuum}} = 0.7$) группой «The Virgo Consortium» и выставленных в Интернет. Основные особенности сгущивания таких скоплений практически совпадают с результатами по богатым скоплениям Эйбелла, полученными ранее.

Построена зависимость показателя γ_1 Гамма-функции (хода плотности с расстоянием) от M_{lim} — предельного значения абсолютной звездной величины (минимального значения светимости), входящих в рабочую выборку галактик обзоров CfA2 и SSRS2. Основная особенность этой зависимости — значительное увеличение значения γ_1 (следовательно, и сгущенности галактик) при ограничении сверху по абсолютной величине для галактик, входящих в выборку, $M < -20.3^m$, что близко к M^* — значению, при котором происходит излом функции светимости. Так в данном исследовании проявляется сегрегация галактик по светимости.

Осуществлена модификация алгоритма Гамма-функции для скоплений посредством подсчета в непересекающихся сферах, и для галактик посредством учета светимостей галактик и предварительной кластеризации методом MST. Результаты анализа получаются статистически более достоверными, так как в первом случае обеспечивается независимость точек интегральной Гамма-функции, а во втором реализуется т.н. «эффективное разбиение»

рабочей области.

Отлажен оригинальный алгоритм поиска пустот в распределении галактик и построена карта пустот Местного Сверхскопления. В результате работы алгоритма было выделено 19 пустот, полностью лежащих внутри сферы радиусом 10 Мпк вокруг нашей Галактики. Получены характеристики этих пустот (форма, объем, вытянутость, ориентация в пространстве и др.) по параметрам аппроксимирующих объемы пустот эллипсоидов.

Частотно-управляемые сегнетокерамические волноведущие структуры для кильватерного ускорения электронных густков

А. Д. Канарейкин, И. Л. Шейнман, А. М. Альтмарк

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

Новый метод кильватерного ускорения заряженных частиц, использующий кильватерные поля за проходящими через диэлектрическую волноведущую структуру электронными густками, в настоящее время является объектом интенсивных экспериментальных и теоретических исследований [1–5]. Комплексное изучение кильватерного метода ускорения в диэлектрических волноводах проводится в СПбГЭТУ совместно с Аргоннской Национальной Лабораторией. Кильватерное ускорение предполагает систему передачи энергии от сильноточного электронного густка к слаботочному густку высоких энергий. Сильноточные электронные густки малых энергий возбуждают в волноводной системе черенковскую электромагнитную волну с продольной компонентой электрического поля до 100 МВ, которая используется для ускорения последующего слаботочного густка. Одним из распространённых типов диэлектрических волноводов [1] является однослойный волновод, представляющий собой диэлектрическую керамическую трубку с внутренним вакуумированным каналом для пролёта густков. Внешняя сторона диэлектрической трубки металлизирована. Удовлетворение фазовым соотношениям (необходимость держать слаботочный густок в ускоряющей фазе волны) требует соблюдения жестких допусков на параметры волноведущей структуры и позиционирование густков. Изменение диэлектрической проницаемости волноведущей системы позволило бы в реальном времени регулировать фазовые соотношения волна–густок и обеспечить оптимальные энергетические условия для ускорения.

Для решения этих проблем предложена управляемая ускорительная система с возможностью перестройки спектра частот излучения Вавилова–

Черенкова в волноводе при помощи тонкого сегнетоэлектрического слоя, нанесенного на внешнюю сторону диэлектрического заполнения волновода [3]. Реализация многослойного управляемого волновода возможна в цилиндрической и прямоугольной геометрии, сравнение применимости которых для кильватерного ускорения произведено в настоящей работе. Использование прямоугольных волноводов для управляемой ускорительной структуры, основанной на двухслойной сегнетоэлектрико-керамической технологии, направлено на цель увеличения заряда электронных сгустков, движущихся в волноводе, а также обеспечивает ряд технологических преимуществ в изготовлении волновода. Однако, в отличие от цилиндрического волновода, в прямоугольном волноводе одномодовый режим возбуждения не может быть достигнут при тех же длинах сгустков, тем самым формируется многомодовое возбуждение кильватерных полей в системе. Кроме того, в прямоугольной схеме высока чувствительность структуры ускоряющих полей к отклонению от оси волновода сгустка. Как в цилиндрической, так и в прямоугольной геометрии, увеличение основной частоты приводит к увеличению диапазона управляемости спектра одновременно с уменьшением толщины сегнетоэлектрика. Однако наряду с продольными полями, в кильватерных волноводах возбуждаются столь же значительные поперечные поля, которые приводят к отклонению пучка от оси волновода и попаданию частиц на стенки [4], тем самым, вызывая потери заряда сгустков. Особая продольная структура электродов, выбранная для управления диэлектрической постоянной сегнетоэлектрика, в сочетании с дополнительной поглощающей ферритовой оболочкой вокруг электродов позволяет обеспечить подавление поперечных отклоняющих мод при сохранении всех преимуществ возможности управления частотным спектром волновода [5]. Следует отметить, что возможность оперативной подстройки частоты волновода (а тем самым фазовой скорости ускоряющей волны) выгодно отличает структуры с керамическим заполнением от стандартных вакуумированных структур и открывает широкие возможности их использования в системах, требующих жесткой синхронизации «волна-пучок».

Литература

- [1] A. D. Kanareykin, I. L. Sheinman, E. A. Nenasheva *et al.*, *Abstracts of the Intern. Conf.*, 57–58, (1998).
- [2] J. G. Power, W. Gai, A. D. Kanareykin, *AIP Conference Proceedings* vol. 569, New York, American Institute of Physics, p. 605–615, 2001.
- [3] Управление частотным спектром в кильватерных волноводящих структурах, *Письма в ЖТФ* Т. 28. Вып. 21. С. 75–81 (2002).

- [4] W. Gai, A. D. Kanareykin, A. Kustov, J. Simpson, *Phys. Rev. E* **55**, 3481–3488 (1997).
- [5] А. М. Альтмарк, А. Д. Канарейкин, И. Л. Шейнман, *Письма в ЖТФ* **29**, 58–63 (2003).
- [6] A. Altmark, A. Kanareykin, I. Sheinman, *Proc. Particle Accelerator Conference (PAC-2003)*, 1891–1893, (2003).
- [7] A. Altmark, A. Kanareykin, I. Sheinman, *Proc. Particle Accelerator Conference (PAC-2003)*, 1897–1899, (2003).
- [8] А. М. Альтмарк, А. Д. Канарейкин, И. Л. Шейнман, *Письма в ЖТФ*, направлено в печать.

Оглавление

Предисловие	3
Дипломные проекты	5
Электрические поля в магнитосфере Земли и динамика дуг полярных сияний во время магнитосферных возмущений М. И. Пудовкин, В. В. Винников, А. Л. Котиков	5
Спектр и оптические свойства двумерных гетероструктур в наклонном магнитном поле А. А. Грешнов	6
Подавление спиновой релаксации за счет квантово-интерференционных эффектов И. С. Любинский, В. Ю. Качоровский	7
Исследование пространственной структуры локальной межзвездной среды на основе данных HIPPARCOS А. В. Моисеев	8
Сдвиговая вязкость и колебания во внешней коре нейтронной звезды А. И. Чугунов	9
Кандидатские проекты	11
Квантовоэлектродинамические эффекты в спектрах многозарядных двухэлектронных ионов А. Н. Артемьев	11
Фотоэлектронная спектроскопия границ раздела Yb-Si(100) Д. В. Бутурович, М. В. Кузьмин, М. А. Митцев	12
Изучение формирования спектра Доплеровской рефлектометрии на токамаке А. Д. Гурченко, Е. З. Гусаков	13
Полупроводниковый лазер с искривлёнными штрихами распределённого брегговского зеркала В. В. Дюделев, А. Г. Дерягин, В. И. Кучинский, Г. С. Соколовский . .	14

Исследование распространения излучения в кристаллах светодиодов на основе InGaAlN и методы увеличения эффективности вывода света <i>В. А. Забелин</i>	15
Полупроводниковые усилители на квантовых точках: теория и эксперимент <i>О. В. Елюхина, Г. С. Соколовский, В. И. Кучинский</i>	17
Механизм сверхизлучения Дике в полупроводниковых квантовых ямах <i>Л. Я. Карачинский</i>	18
Полоидальное и тороидальное вращение плазмы вблизи магнитного острова и формирование транспортного барьера <i>Е. Г. Кавеева, В. А. Рожанский</i>	19
Исследование распределения на небесной сфере звезд каталога Tucho-2 методом вейвлет-анализа <i>Е. Э. Казакевич</i>	20
Участие митохондрий в регуляции Ca^{2+} -сигналов в микрофагах <i>Л. С. Курилова</i>	21
Учет граничных эффектов в квантовой электродинамике <i>В. Н. Марков</i>	22
Молекулярные маркеры олухолеобразующих линий редиса и карельских форм березы <i>Т. В. Матвеева</i>	24
Температурные характеристики лазерных гетероструктур с активной областью на основе InAs-GaAs квантовых точек <i>И. И. Новиков</i>	25
Критическая термодинамика обобщенной кубической модели в пятипетлевом приближении <i>П. Калабрезе, Е. В. Орлов, Д. В. Пахнин, А. И. Соколов</i>	26
Процессы в сильноточных разрядах высокого давления, обусловленные электродными плазменными струями <i>М. Э. Пинчук</i>	27
Нелинейная теория флуктуационной рефлектометрии <i>Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов</i>	28
ЯМР-исследование короткоцепочечных поверхностно-активных веществ в растворах тяжелой воды на границе с твердой фазой <i>М. В. Попова</i>	29

Исследование релаксации электронных возбуждений в $\text{SrAl}_{12}\text{O}_{19}:\text{Pr}$ <i>А. С. Потапов</i>	30
Состояния глубокого акцепторного центра в квантовой яме <i>К. С. Романов</i>	31
Динамическая эволюция неиерархических кратных звезд с учетом звездного ветра, динамического трения и слияний звезд <i>А. В. Рубинов</i>	32
Термодинамическая устойчивость твердых растворов AlInAsSb , выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии <i>А. А. Ивашова, А. Н. Семенов</i>	33
Распределение вещества после инъекции пеллета в токамак <i>И. Ю. Сениченков, И. Ю. Веселова, В. А. Рожанский</i>	34
Эффект многократного малоуглового рассеяния в Доплеровской рефлектометрии <i>Е. З. Гусаков, А. Ю. Попов, А. В. Сурков</i>	35
Особенности распространения электронных бернштейновских волн <i>А. Д. Пилия, А. Ю. Попов, Е. Н. Трегубова</i>	37
Интегрально-оптические управляемые Брэгговские решетки <i>А. В. Шамрай, А. С. Козлов, И. В. Ильичев, М. П. Петров</i>	37
Проекты молодых кандидатов наук	40
Спиновые эффекты в полупроводниковых гетероструктурах <i>Л. Е. Голуб</i>	40
Поляризационно-статистические свойства лазерной генерации VCSELs <i>Т. Ю. Голубева, Ю. М. Голубев, А. А. Трусов</i>	40
Позиционное клонирование локусов количественных признаков у домашней курицы <i>А. А. Сазанов, В. А. Царева, А. Ф. Смирнов, Б. Вардецка, М. Корчак, К. Ящак, М. Н. Романов</i>	42
Исследование крупномасштабной структуры наблюдаемой Вселенной <i>А. В. Тихонов</i>	43
Частотно-управляемые сегнетокерамические волноведущие структуры для кильватерного ускорения электронных сгустков <i>А. Д. Канарейкин, И. Л. Шейнман, А. М. Альтмарк</i>	44

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ПИЯФ РАН
188350, Гатчина Ленинградской обл., Орлова роща
Формат 60×90 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Гарнитура Тайм Роман. Печать офсетная.
Зак. 152, тир. 100, уч.-изд. л. 3.25, 23.04.2004 г.