

Школа-конференция по теоретической физике конденсированного состояния и неравновесных процессов

ПРОГРАММА



Саров 27 - 31 мая 2024 г.

При поддержке:



РФЯЦ-ВНИИЭФ
РОСАТОМ



НЦФМ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР
ФИЗИКИ И МАТЕМАТИКИ



Russian Academy of Sciences
Landau Institute for Theoretical Physics

Программный комитет:

И. С. Бурмистров (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)
С. Г. Гаранин (РФЯЦ-ВНИИЭФ)
Н. В. Завьялов (РФЯЦ-ВНИИЭФ)
И. В. Колоколов (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)
В. В. Лебедев (ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН)
В. П. Незнамов (РФЯЦ-ВНИИЭФ)

27 мая, Пн		
10:00 -10:15	Открытие	
10:15-11:30	Колоколов	Обратный каскад энергии и когерентные вихри в двумерной турбулентности
11:30-12:00	Кофе	
12:00-13:15	Вергелес	Геострофические долго-живущие вихри и их взаимодействие с инерционными волнами
13:15-15:00	Обед	
15:00-16:15	Ерманюк	Захват воздуха на начальном этапе соударения тела с жидкостью
16:15-16:45	Кофе	
16:45-18:00	Подивилов	Нелинейное уширение спектров в оптоволоконных лазерах

28 мая, Вт		
9:30-10:45	Мельников	Сверхпроводящая спинтроника
10:45-11:15	Кофе	
11:15-12:30	Ковалев	Фотоэлектрический транспорт в двумерных сверхпроводниках
12:30-15:00	Обед и постеры	
15:00-16:15	Лебедев	Распространение световых волн в турбулентной атмосфере
16:15-16:45	Кофе	
16:45-18:00	Качоровский	Латеральные плазменные кристаллы

29 мая, Ср		
9:30-10:45	Бабин	Пространственно-спектральная эволюция света в многомодовых и многосердцевинных волоконных лазерах
10:45-11:15	Кофе	
11:15-12:30	Петров	Кооперативные эффекты при взаимодействии света с упорядоченными ансамблями квантовых излучателей
12:30-14:00	Обед	
14:00-18:00	Экскурсия	

30 мая, Чт		
9:30-10:45	Бурмистров	Необычная упругость двумерных гибких материалов
10:45-11:15	Кофе	
11:15-12:30	Глазов	Экситоны в двумерных материалах
12:30-15:00	Обед и постеры	
15:00-16:15	Махлин	Квантовые вычисления со сверхпроводниковыми и топологическими кубитами
16:15-16:45	Кофе	
16:45-18:00	Смирнов	Запутывание спинов в квантовых точках

31 мая, Пт		
9:30-10:45	Фоминов	Джозефсоновская физика и сверхпроводящие диодные явления
10:45-11:15	Кофе	
11:15-12:30	Скворцов	Квантовое проскальзывание фазы
12:30-15:00	Обед и постеры	
15:00-16:15	Апостолов	Нелинейные эффекты при распространении электромагнитных волн в многослойных сверхпроводящих структурах
16:15-16:30	Заккрытие	

Нелинейные эффекты при распространении электромагнитных волн в многослойных сверхпроводящих структурах

С. С. Апостолов
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

В лекции будет представлена теоретическая модель, описывающая распространение электромагнитных волн в многослойных сверхпроводящих структурах, а также некоторые нелинейные эффекты, предсказанные на основании этой модели: самоиндуцированная прозрачность; преобразование поляризации, управляемое магнитным полем; нелинейная фокусировка волнового пучка.

Пространственно-спектральная эволюция света в многомодовых и многосердцевинных волоконных лазерах

С. А. Бабин
ИАиЭ СО РАН, Новосибирск

Приведен обзор недавних экспериментальных результатов исследования пространственных и спектральных характеристик излучения многомодовых и многосердцевинных лазеров. Показано, что линейное и нелинейное взаимодействие поперечных мод в них существенно влияет как на профиль генерируемого пучка, так и на спектр генерации. Проведено сравнение с моделью уширения спектра из-за четырехволнового смешения продольных мод, построенной для одномодовых волоконных лазеров. Показано, что спектр генерации многомодовых волоконных лазеров может быть существенно уже, чем у аналогичных по параметрам одномодовых лазеров. Рассмотрены возможности развития теории для многомодовых волоконных лазеров, а также экспериментальные возможности управления их пространственно-спектральными характеристиками.

Необычная упругость двумерных гибких материалов

И. С Бурмистров
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

С момента экспериментальной реализации графена (материала, представляющего собой один атомный слой атомов углерода) активно развиваются исследования двумерных гибких материалов. В настоящее время существует большое количество таких материалов, в том числе графен, фосфорен, атомарные слои дихалкогенидов и монохалкогенидов металлов и др. Графен и другие моноатомные изгибные кристаллические материалы существуют несмотря на то, что в 30-ые годы прошлого века Ландау и Пайерлс теоретически показали, что двумерные идеальные кристаллы макроскопических размеров могут существовать только строго при нулевой абсолютной температуре. В лекции будет дано введение в макроскопическую теорию упругости. Будет рассказано об упругих свойствах графена, определяемых взаимодействием продольных, поперечных плоскостных, а также и изгибных фононов. Показано, как взаимодействие фононов помогает стабилизировать двумерные кристаллы. Будет рассказано про такие необычные упругие свойства графена как нелинейный закон Гука и отрицательный коэффициент Пуассона. Также будет показано, как упругие свойства двумерных кристаллов меняются при учете прилипания к подложке.

Геострофические долго-живущие вихри и их взаимодействие с инерционными волнами

С.С. Вергелес
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Вращающаяся как целое несжимаемая жидкость способна поддерживать течение, которое представляет собой набор вихрей, оси которых параллельны оси вращения. В таком течении скорость оказывается лежащей в плоскости, ортогональной оси вращения, и не изменяющейся вдоль этой оси. Сила Кориолиса полностью компенсирована давлением жидкости, что называют геострофическим балансом, и потому сами течения – в геострофическими. Их динамика определяется только нелинейным взаимодействием, аналогичным нелинейному взаимодействию течения в плоскости, поскольку сила Кориолиса является исключённой из уравнения течения. Для части течения, существенно зависящего от третьей координаты, сила Кориолиса приводит к его быстрой динамике, представляющей собой осцилляции инерционных волн. На этом разделении времён для указанных двух типов движения основан механизм, который поддерживает структуру, например, торнадо, хотя в силу присутствия в нём восходящих и нисходящих потоков в целом устроено заметно сложнее чем геострофические вихри. Численное моделирование течения в жидком ядре Земли, испытывающее суточное вращение, показывает, что и там существенным является

геострофическое течение – ансамбль вихрей с поперечным размером, значительно меньшим диаметра ядра Земли, и с продольными размерами, сравнимым с ним. Полное турбулентное течение вращающейся как целое жидкости можно представить как суперпозицию геострофического течения и инерционных волн. Геострофическое течение, будучи по свойствам близким к двумерному течению, имеет тенденцию к образованию более крупных вихрей из более мелких и, таким образом, к формированию обратного каскада энергии. Также и инерционные волны могут передавать энергию геострофическому течению. При определенных условиях в течении формируется крупный геострофический вихрь, устойчивый во времени, который подпитывается мелкими турбулентными пульсациями. Мы обсуждаем характерные особенности поглощения инерционных волн геострофическими вихрями и свойства самих таких вихрей. Мы приводим сравнение наших аналитических результатов и экспериментальных данных, полученных в нашей лаборатории “Современная гидродинамика”.

Экситоны в двумерных материалах

М.М. Глазов

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН

Кулоновское взаимодействие играет фундаментальную роль в физике. Фактически именно оно определяет все многообразие конденсированных сред, встречающихся в природе. Кулоновское взаимодействие очень ярко проявляется именно в полупроводниках, где оно приводит к качественному изменению элементарных возбуждений. Напомним, что к полупроводникам относят изоляторы – кристаллы, где имеется энергетическая щель между заполненными при нулевой температуре валентными зонами и свободными зонами проводимости, – с не слишком большой шириной этой щели (запрещенной зоны) $E_g \approx 1 \dots 2$ eV. Простейшими возбужденными состояниями полупроводника являются электрон-дырочные пары, где одно из состояний валентной зоны незанято, а состояние зоны проводимости заполнено. Кулоновское притяжение электрона и дырки качественно перестраивает спектр элементарных возбуждений и приводит к формированию экситонов, связанных состояний электрона и дырки. В последние годы особый интерес привлекают экситоны в атомарно-тонких диалкогенидах переходных металлов, двумерных кристаллах, описываемых химической формулой MX_2 , где $M=Mo$, W – переходный металл, а $X=S, Se, Te$ – халькоген. В таких структурах экситоны наблюдаются даже при комнатной температуре. В лекции будет представлен обзор теоретических подходов к описанию спектра экситонов, их

проявлений в оптических и транспортных эффектах в двумерных кристаллах. Также мы поговорим об эффектах взаимодействия экситонов с морем Ферми свободных носителей. Такая задача оказывается особенно интересной из-за возможности формирования связанных состояний экситона и носителя заряда из ферми-моря.

Литература

- [1] E. I. Rashba and M. D. Sturge, eds. Excitons. North-Holland Publishing Company (1982).
- [2] G. Wang, et al., Colloquium: Excitons in atomically thin transition metal dichalcogenides, *Rev. Mod. Phys.* 90, 021001 (2018).
- [3] М.В. Дурнев, М.М. Глазов, Экситоны и трионы в двумерных полупроводниках на основе дихалькогенидов переходных металлов, *УФН* 188, 913–934 (2018).
- [4] Zakhar Iakovlev and Mikhail M. Glazov, Fermi polaron fine structure in strained van der Waals heterostructures, *2D Mater.* 10, 035034 (2023).

Захват воздуха на начальном этапе соударения тела с жидкостью

Е. В. Ерманюк

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН

Падение твердого тела на свободную поверхность, разделяющую газовую и жидкую среды, сопровождается рядом эффектов, противоречащих интуитивным представлениям. Непосредственно перед соударением в тонком слое газа, разделяющем тело и жидкость, возникает значительное давление, под действием которого происходит локальная деформация свободной поверхности, вследствие чего касание телом жидкости (смачивание) происходит на некотором расстоянии от нижней точки тела. В случае выпуклого тела с вертикальной осью симметрии (например, сферы) смачивание на начальном этапе соударения происходит в кольцевой зоне, окружающей носик тела. Схлопывание кольцевой зоны под действием капиллярных сил приводит к формированию газового пузырька в районе носика тела. Аналогичное явление возникает при падении капли на твердую поверхность и свободную поверхность жидкости, что имеет большое значение в приложениях (нанесение покрытий спреями, печать с помощью струйных принтеров, обледенение самолетов, и т.д.), причем появление газовых микропузырьков как правило является крайне нежелательным явлением. В докладе приведено обсуждение различных подходов к решению задачи о соударении тел с жидкостью, от классических работ Кармана и Вагнера до современных исследований, в которых учитываются процессы в газовой прослойке, причем рассмотрены

как гладкие тела (сфера), так и тела с геометрическими особенностями (конус, клин, пирамида). Интенсивные экспериментальные исследования данного круга задач, проведенные методами скоростной видеосъемки в течение последних двух десятилетий, продемонстрировали чрезвычайно разнообразие наблюдаемых явлений и режимов течений, связанных с тонкими эффектами смачиваемости, капиллярности, шероховатости, термодинамики тонкого слоя сжимаемого газа и т.д. Описание этих эффектов требует развития новых теоретических и численных подходов, пригодных в соответствующих подобластях исходной многопараметрической задачи. В частности, интересная подзадача возникает при рассмотрении соударения двух твердых тел в жидкости, при котором в зоне контакта возникает кавитация.

Латеральные плазменные кристаллы

В.Ю. Качоровский
ФТИ имени А.Ф. Иоффе РАН

Активное исследование плазменных колебаний в двумерных (2D) электронных системах началось несколько десятилетий назад [1,2]. Помимо фундаментальной важности 2D плазменных явлений, они имеют огромный потенциал для различных приложений, в частности, для создания эффективных перестраиваемых плазмонных детекторов и эмиттеров в терагерцовой (ТГц) области частот. Интерес к 2D плазмонике резко возрос после того, как Дьяконов и Шур предсказали [3], что постоянный ток в канале полевого транзистора (т.е. 2D электронного газа, накрытого металлическим затвором) может стать неустойчивым по отношению к возбуждению плазменных колебаний. Частота этих колебаний легко регулируется напряжением на затворе и, за счёт высокой скорости плазменных волн ($> 10^8$ см/с) и малого характерного размера современных транзисторов (100 – 1000 нм), попадает в ТГц диапазон частот.

Самый многообещающий способ улучшения связи плазмонных резонансов с внешним излучением заключается в использовании систем, в которых эта связь искусственно увеличена, например, периодических решёток затворных электродов, которые пространственно модулируют плотность электронов в 2D канале и, как следствие, их плазменную скорость. За счёт периодической модуляции в системе возникает кристалл для 2D плазменных волн. Замечательным свойством такого *латерального плазменного кристалла* (ЛПК) является возможность легко регулировать параметры зонной структуры, в частности, ширину разрешённых и запрещённых зон, напряжением на решётчатом затворе. Возможность наблюдения плазменных резонансов с хорошей добротностью в таком кристалле появилась сравнительно недавно за счёт использования 2D структур с высокой подвижностью, в том числе, на основе новых материалов. Буквально в прошлом году была

экспериментально продемонстрирована возможность управляемого перехода ЛПК из режима сильной связи в режим слабой связи [4].

В докладе будет обсуждаться ряд фундаментальных эффектов, возникающих в ЛПК:

- (а) конверсия падающей электромагнитной волны в постоянный ток за счёт так называемого эффекта храповика;
- (б) возникновение гидродинамического режима течения электронной жидкости;
- (в) расщепление плазменных резонансов на «супер-резонансы» по мере перехода из режима сильной связи в режим слабой связи;
- (г) возбуждение направленных плазмонов падающей электромагнитной волной;
- (д) индуцированное dc током усиление электромагнитной волны, проходящей через ЛПК.

[1] A. V. Chaplik, Sov. Phys. JETP **35**, 395 (1972).

[2] S. J. Allen, D. C. Tsui, and R. A. Logan, Phys. Rev. Lett. **38**, 980 (1977).

[3] M. Dyakonov and M. S. Shur, Phys. Rev. Lett. **71**, 2465 (1993).

[4] P. Sai, V. V. Korotyeyev, M. Dub, M. Slowikowski, M. Filipiak, D. B. But, Y. Ivonyak, M. Sakowicz, Y. M. Lyaschuk, S. M. Kukhtaruk, G. Cywiński, and W. Knap, Phys. Rev. X **13**, 041003 (2023).

Обратный каскад энергии и когерентные вихри в двумерной турбулентности

И.В. Колоколов

ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Лекция посвящена современным представлениям о турбулентности в эффективно двумерных системах, к которым относятся тонкие слои жидкости и атмосфера Земли. Если система ограничена в размерах, то в некотором диапазоне параметров турбулентные флуктуации порождают когерентное вихревое течение. Иными словами, энергия передается от хаотических потоков к регулярным. Оказывается, что структуру возникших вихрей в значительной степени можно описать аналитически. Кроме того, сама возможность возникновения вихрей зависит от соотношения между относительно малыми диссипативными константами.

Фотоэлектрический транспорт в двумерных сверхпроводниках

В.М. Ковалёв

Институт физики полупроводников имени А.В. Ржанова СО РАН
Новосибирский государственный технический университет

Лекция посвящена теоретическому анализу фотоэлектрического транспорта в двумерных сверхпроводниках. В первой части лекции планируется обсудить возможность существования в двумерных сверхпроводниках фотовольтаического эффекта Холла (ФЭХ), заключающегося в возникновении поперечного отклика двумерного сверхпроводника под действием внешнего циркулярно-поляризованного электромагнитного излучения. ФЭХ имеет развитую теорию для случая полупроводниковых двумерных систем, где показано, что ФЭХ описывается феноменологическим выражением вида $\mathbf{j} = a_0 i [\mathbf{F} \times (\mathbf{E}_\omega \times \mathbf{E}_\omega^*)]$, где \mathbf{F} – постоянное в плоскости 2D полупроводника электрическое поле, \mathbf{E}_ω – амплитуда электрического поля циркулярно-поляризованной электромагнитной волны. В случае двумерного сверхпроводника, эффект ожидается при наличии в сверхпроводнике встроенного постоянного сверхтока. Обсуждается теория ФЭХ эффекта i) когда частота внешнего ЭМ излучения меньше величины сверхпроводящей щели при данной температуре и ii) при нулевой температуре, когда частота ЭМ излучения превышает удвоенное значение сверхпроводящей щели.

Вторая часть лекции посвящена обсуждению фотогальванического эффекта (ФГЭ) в 2D-сверхпроводниках на основе монослоев дахалькогенидов переходных металлов выше критической температуры сверхпроводящего перехода T_c . ФГЭ характеризуется стационарным и однородным электрическим током, представляющим собой отклик второго порядка на внешнее ЭМ излучение. Обсуждается флуктуационный вклад в ФГЭ. Показано, что флуктуационный ФГЭ возникает в окрестности T_c вследствие учета i) тригональной гофрировки или ii) членов типа Рашбы в дисперсии куперовских пар. В заключении будет обсужден когерентный флуктуационный ФГЭ ток как отклик третьего порядка на внешнее ЭМ поле в сверхпроводниках с изотропной дисперсией куперовских пар.

Распространение световых волн в турбулентной атмосфере

В.В.Лебедев.

ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Атмосферная турбулентность приводит к флуктуациям показателя преломления атмосферы, на которых дифрагирует световая волна. Эта дифракция носит случайный характер и приводит к искажению волны. Мы обсуждаем статистические свойства этих искажений, которые могут быть как слабыми, так и сильными, в последнем случае волновой фронт разваливается на спеклы, а статистика интенсивности становится Пуассоновой. Отдельно обсуждается вероятность редких событий, когда интенсивность в некоторых точках оказывается значительно больше типичной.

Квантовые вычисления со сверхпроводниковыми и топологическими кубитами

Ю.Г. Махлин

Международная лаборатория физики конденсированного состояния, НИУ ВШЭ

Мы обсудим основные требования к любой физической реализации квантового компьютера, а также как эти требования выполняются для простейших сверхпроводниковых и топологических квантовых битов. В частности, будет обсуждаться возможность устойчивого к внешним шумам топологического вычисления с использованием майорановских нулевых мод в гибридных системах.

Сверхпроводящая спинтроника

А.С. Мельников

Центр теоретической физики им. А.А. Абрикосова, МФТИ

В рамках лекции предполагается дать обзор базовых физических представлений, лежащих в основе современных работ по сверхпроводящей спинтронике. В частности, речь пойдет о физике взаимодействия магнетизма и сверхпроводимости и ее приложениях для сверхпроводниковой криоэлектроники. Будут обсуждены основные современные подходы к управлению сверхпроводящими корреляциями в гибридных структурах с эффектом близости, в том числе, к созданию сверхпроводящих состояний с нетривиальной топологией.

Кооперативные эффекты при взаимодействии света с упорядоченными ансамблями квантовых излучателей

М. И. Петров

ИТМО

В данном докладе рассматриваются кооперативные квантовые эффекты, возникающие при взаимодействии света с ансамблями двухуровневых или многоуровневых излучателей, таких как ультрахолодные атомы, сверхпроводящие кубиты и другие. Будут рассмотрены эффекты резонансного рассеяния и прохождения света, явления сверх- и субизлучения и фотонной блокады в системах упорядоченных квантовых излучателей. Особое внимание будет уделено системам излучателей вблизи волновода, как одной из основных платформ для квантовых симуляций и квантовых вычислений, которая выделилась в отдельное направление, называемое волноводной квантовой электродинамикой. Будут обсуждены как основные теоретические подходы, так и существующие экспериментальные реализации.

Нелинейное уширение спектров в оптоволоконных лазерах

Е. В. Подивилов
ИАиЭ СО РАН

В рамках волнового кинетического уравнения рассматривается четырех волновое смешение в оптических одномодовых волноводах. Обсуждается теория нелинейного уширения спектров генерации для оптоволоконных лазеров различных типов. Показывается, что форма спектров является универсальной, а закон уширения зависит от типа лазерной схемы.

Теоретические результаты сравниваются с экспериментальными зависимостями.

Квантовое проскальзывание фазы

М.А. Скворцов

ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Сверхтоковое состояние в тонких сверхпроводящих проволочках является метастабильным и разрушается флуктуациями — тепловыми при высоких температурах и квантовыми при низких. Мы обсудим теоретические подходы к описанию обоих режимов. При низких температурах одиночные процессы квантового проскальзывания фазы становятся когерентными. В этом режиме возникает дуальность между эффектом Джозефсона и квантовым проскальзыванием фазы: в первом случае когерентно туннелируют куперовские пары, а во втором — кванты потока. Как следствие, при приложении микроволнового излучения в вольтамперной характеристике тонкой проволочки возникают перевернутые ступеньки Шапиро, наблюдаемые экспериментально.

Запутывание спинов в квантовых точках

Д. С. Смирнов
ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Понятие квантовой запутанности возникло ещё на заре квантовой механики и с тех пор продолжает будоражить великие умы физиков-теоретиков. В последние десятилетия фундаментальный интерес к этому явлению дополнительно стимулируется возможной перспективой практических применений для квантовых вычислений, симуляций и криптографии. Одной из наиболее удобных платформ для исследования запутанности являются спины электронов, фотонов и ядер из-за их хорошей изоляции от внешних воздействий. Но эта же изоляция препятствует и прямому управлению спинами, например, приложением электрических полей. В результате наиболее подходящей системой для создания спиновой запутанности являются полупроводниковые квантовые точки — искусственные атомы, в которых происходит многократное усиление взаимодействия фотонов, электронов и ядер.

В рамках лекции будет дано базовое определение запутанности и приведены иллюстративные примеры. Затем будет рассказано о современных методах создания запутанных состояний

- спинов электрона и дырки при поглощении фотона;
- поляризаций фотонов при рекомбинации биекситонов;
- электрон-фотонного запутывания в заряженных квантовых точках;
- долгоживущего запутывания спинов ядер через сверхтонкое взаимодействие.

Помимо обзора классических работ в каждой области будут кратко представлены также и оригинальные результаты, указывающие направления возможных дальнейших теоретических исследований.

Джозефсоновская физика и сверхпроводящие диодные явления

Я. В. Фоминов
ИТФ им. Л.Д. Ландау РАН

Эффектом Джозефсона называют совокупность явлений, имеющих место в контактах двух сверхпроводников через «слабую связь» (изолятор, нормальный металл, ферромагнетик или даже узкую перемычку из того же самого сверхпроводника). Все они связаны с возможностью протекания тока через такие контакты без диссипации. Мы обсудим самые интересные из этих явлений, многие из которых уже давно стали классикой науки. Также обсудим и современные направления в рамках этой тематики. В частности, возможность диодного эффекта, при котором бездиссипативный сверхпроводящий ток течет через джозефсоновский контакт по-разному в зависимости от направления.

