



ФИАН



ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ
НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

2024

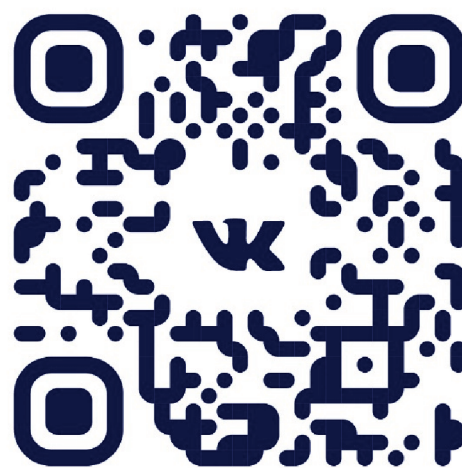




Пётр Николаевич ЛЕБЕДЕВ
<https://www.lebedev.ru>



Телеграм-канал ФИАН



Группа ФИАН ВКонтакте

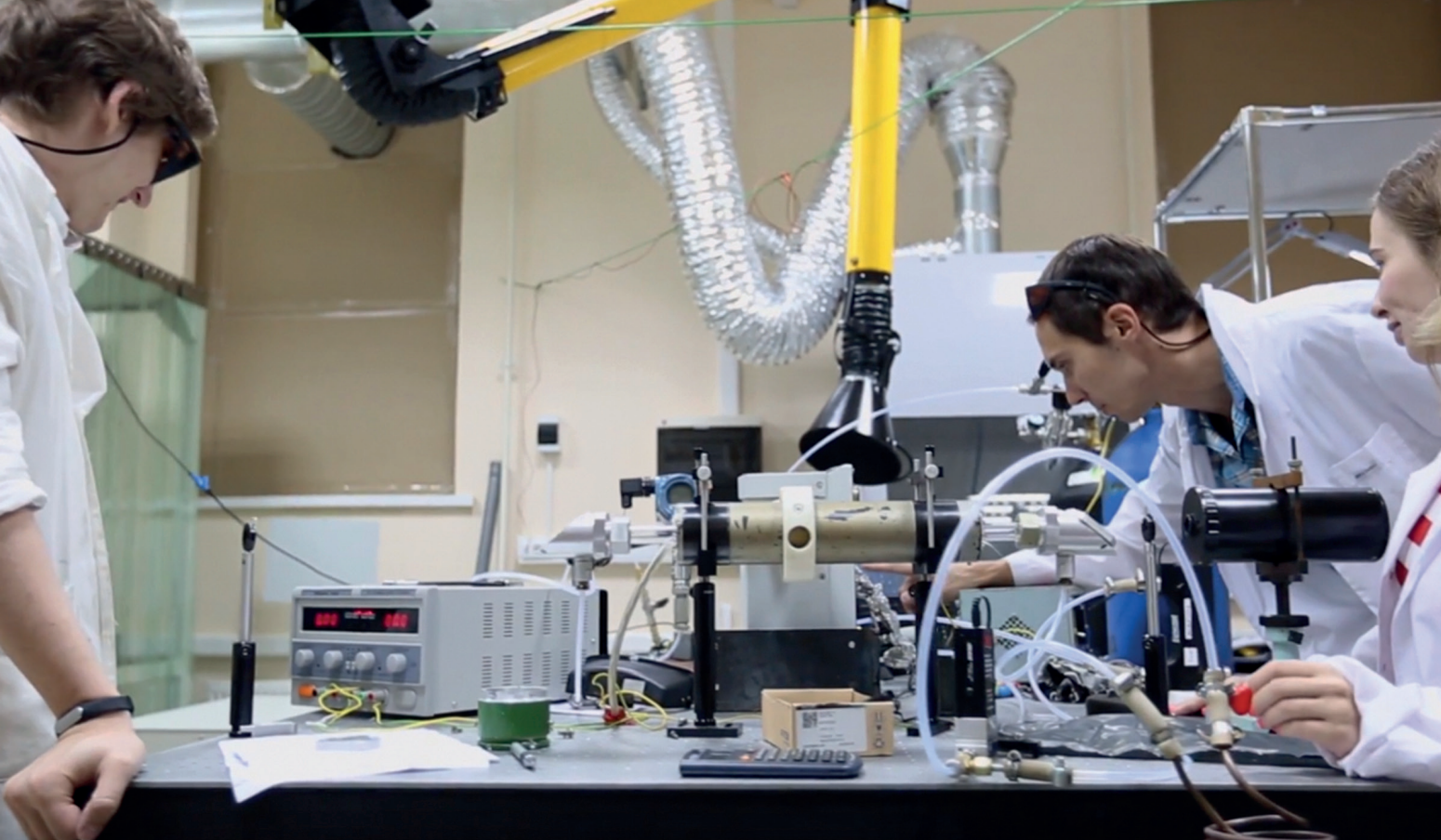


2024 год стал для ФИАН особенным – мы торжественно отпраздновали 90-летие Института и уверенно смотрим вперед. В этом юбилейном году ученые Физического института им. П. Н. Лебедева Российской академии наук продолжили активную работу по всему спектру фундаментальных и прикладных исследований. Научные успехи и достижения фиановцев, ряд которых был отмечен различными наградами, позволили укрепить статус нашего Института как ведущей научной организации России.

Одним из знаковых событий стало участие Физического института в форуме «Микроэлектроника» в Сириусе, где был презентован разработанный в Институте 50-кубитный квантовый компьютер на ионной платформе. Стенд ФИАН, на котором были представлены основные элементы квантового

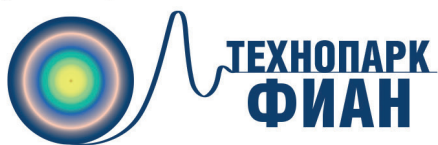
вычислителя, а также прототипы оптических литографов и инфракрасных сенсоров, посетил Председатель Правительства Российской Федерации Михаил Мишустин.

Делегация успешно нашего института приняла участие в 18-й Международной выставке «Фотоника. Мир лазеров и оптики», проходившей в Москве в конце марта. На стенде ФИАН были представлены научно-технологические разработки Института в области оптики, лазерных технологий, фотоники и сенсорики, оптической голографии и литографии, микроэлектроники, образцы прецизионных оптических изделий, лазерных кристаллов и микроструктур. Позитивной тенденцией является рост числа представленных на выставке успешных совместных исследований и разработок отделений института.



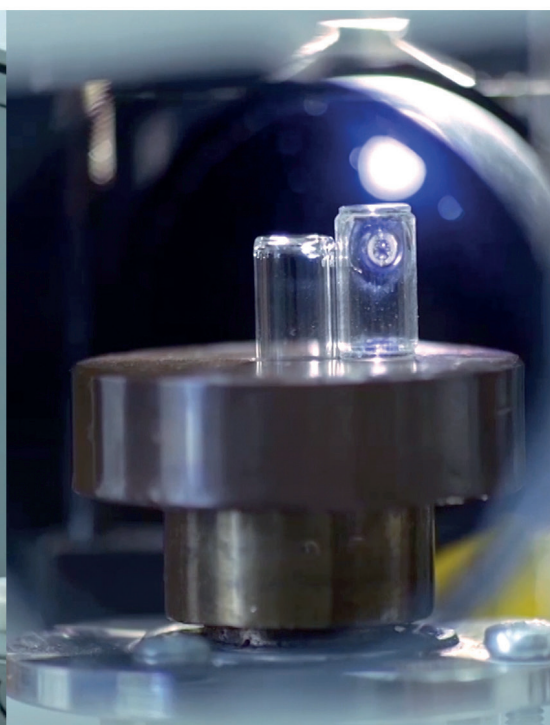
Филиал ФИАН в Самаре

Троицкое обособленное подразделение, включающее



«Троицкий Технопарк ФИАН»

г. Троицк (ТОП ФИАН)



Влияние исходного структурного состояния термически неупрочняемых алюминиевых сплавов на формирование структуры и остаточных напряжений при лазерной ударной обработке

И. А. Бакулин, С. И. Кузнецов, А. С. Панин, Е. Ю. Тарасова, С. И. Ярьско

Рассмотрено влияние лазерной ударной обработки на структуру и напряженное состояние сплава АМгб толщиной 4–14 мм до и после термического отжига. Установлено, что величина, глубина, профиль сжимающих остаточных напряжений (СОН), а также параметры кристаллической структуры зависят от толщины материала и термической обработки. В зоне СОН обнаружены искажения кристаллической решетки по типу гомологических. Зафиксировано образование значительных, до -100 МПа, СОН на необработанной стороне образцов.

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния лазерной ударной обработки без покрытия (ЛУОБП) импульсами малой энергии на структуру и напряженное состояние деформируемого алюминиевого сплава АМгб толщиной от 4 до 14 мм до и после рекристаллизационного отжига.

Источником импульсов служил YAG: Nd – лазер (длина волны излучения 0.532 мкм; длительность импульса 10 нс; $E_{\text{имп}} = 0.35$ Дж). Плотность мощности $q = 4.4$; 2 и 1.1 ГВт/см², плотность импульсов N составляла 2000 и 400 имп/см². Использовались образцы из стержня поликристаллического промышленного сплава АМгб. Обработка проводилась под слоем воды. Кристаллическая структура и распределение макронапряжений по глубине определялись методом рентгеновской дифрактометрии.

После ЛУОБП изменяется макроструктура поверхности. Увеличение параметров шероховатости R_a и R_z (иногда в 4–5 раз) зависит от плотности мощности, шага обработки и практически не зависит от термической обработки образцов и исходной шероховатости.

Плотность дислокаций и другие структурные характеристики обработанных образцов имеют явную зависимость от плотности мощности, плотности импульсов, толщины сплава и его исходного структурного состояния.

Максимальные значения напряжений наблюдаются на поверхности материала, изменяясь с увеличением его толщины от -170 МПа до -300 МПа. Профиль СОН зависит от исходной кристаллической структуры сплава (рисунок 1).

Такой ход зависимостей остаточных напряжений наблюдается для всех образцов, глубина СОН в которых больше 800 мкм. Кроме того, профиль и максимальная величина СОН зависят от плотности мощности, плотности импульсов и толщины материала. На глубину

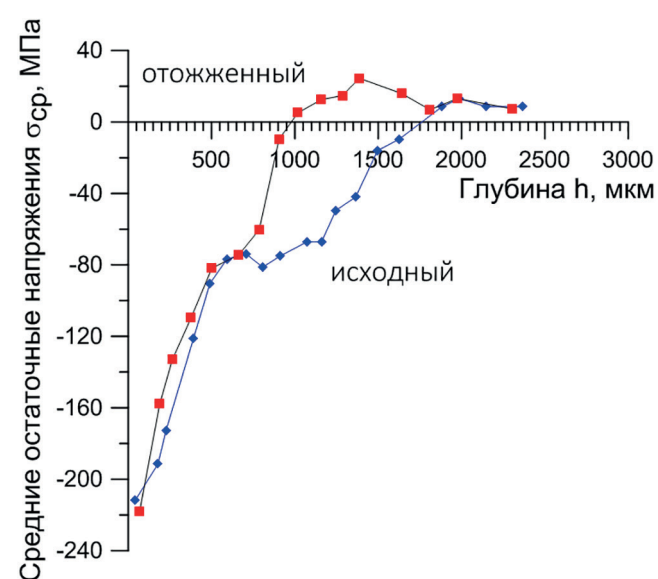


Рисунок 1. Средние остаточные напряжения после ЛУОБП АМгб толщиной 6 мм; $q = 4.4$ ГВт/см², плотность импульсов – 2000 имп/см²

СОН очевидное влияние оказывает толщина обрабатываемого материала. На рисунке 2 показана глубина, на которой сжимающие напряжения по направлению сканирования (σ_x) становятся равны нулю.

Различие в глубине СОН между отожженным и не отожженным материалом определяется, на наш взгляд, различиями в исходной структуре сплава, включая кристаллографическую ориентацию зерен (наличие выраженной текстуры) и плотность дефектов кристаллической решетки (напряжений II и III рода).

При измерении остаточных напряжений установлено, что ширина рентгеновской ли-

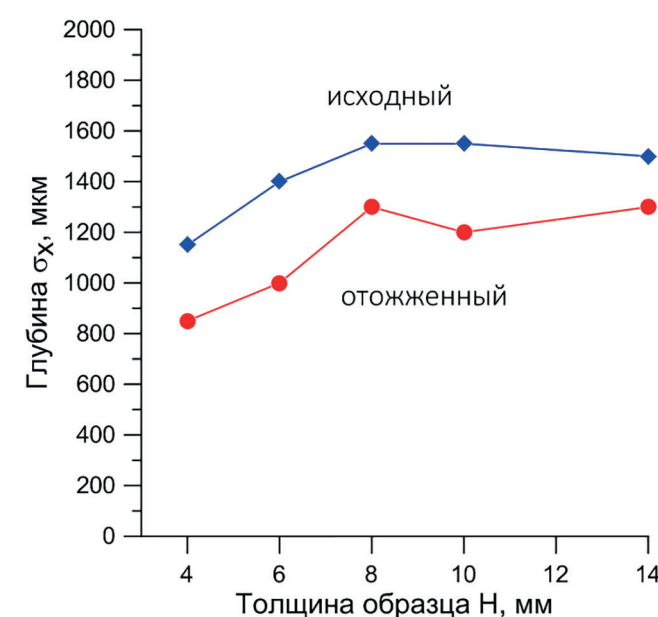


Рисунок 2. Зависимость максимальной глубины сжимающих напряжений от толщины сплава АМгб; $q = 4.4$ ГВт/см², плотность импульсов – 2000 имп/см²

нии (511) с глубиной уменьшается, затем начинает уширяться с искажением профиля. Искажение линии (511) в неотожженных образцах выражается в асимметрии и появлении «горба» со стороны меньших углов, в отожженных образцах может происходить ее расщепление. Такой вид дифракционных линий может быть вызван гомологическими искажениями кристаллической решетки под действием остаточных напряжений, так как максимальные искажения происходят на границе перехода сжимающие – растягивающие напряжения.

В наших экспериментах было зафиксировано образование значительных, до -100 МПа, СОН на обратной стороне образцов. Величина этих напряжений в диапазоне $H = 4–10$ мм практически не зависит от толщины материала, но зависит от его структурного состояния: в отожженных образцах остаточные напряжения в 1.5–2 раза ниже, чем в неотожженных.

Двусторонняя обработка, как и двукратная односторонняя, приводит к увеличению напряжений на 10–25 % в зависимости от направления сканирования.

Наблюдаемые особенности распределения дислокаций и профилей остаточных напряжений при ЛУОБП, кроме параметров лазерного воздействия, могут быть вызваны влиянием уже обработанного материала на пластическую деформацию последующих обрабатываемых участков, различиями в структуре материала, воздействием на структуру отраженных от тыльной стороны образца ударных волн.

Результаты опубликованы:

1. Effect of preliminary heat treatment of the formation of structure and residual stresses in the AMg6 alloy at laser shock peening without coating. / I.A. Bakulin, S.I. Kuznetsov, A.S. Panin, [et al.]. // Journal of Russian Laser Research. – 2024. – Vol. 45. – No. 2. – P. 237–248. – DOI 10.1007/s10946-024-10207-4.

Исследование свойств магнитогазодинамических волн с учетом теплового дисбаланса для задач корональной сейсмологии

Д. С. Рящиков, Е. В. Скопцова, Д. И. Завершинский

Разработан и апробирован новый метод определения параметров функции нагрева солнечной короны, основанный на использовании высотных профилей температуры и концентрации электронов в солнечной атмосфере. Применение данного метода к наблюдательным данным космической обсерватории SDO для нескольких областей солнечной атмосферы показало значительное улучшение точности определения параметров по сравнению с подходами, основанными на предположении об устойчивости магнитогазодинамических (МГД) волн.

Поиск механизма, ответственного за нагрев солнечной короны, представляет особый интерес в связи с появлением большого количества наблюдений высокого качества на базе космических обсерваторий, таких как SOHO, TRACE, STEREO, SDO, Solar Orbiter и др. В данной работе предлагается метод диагностики функции нагрева $H(\rho, T)$ с помощью данных о высотных профилях температуры и плотности плазмы. Предполагается, что стационарное состояние короны определяется балансом нагрева $H(\rho, T)$ и радиационного охлаждения $L(\rho, T)$, зависящих от плотности ρ и температуры T . Уравнения магнитостатики с учетом этих процессов связывают наблюдаемые высотные профили с параметрами нагрева. Предполагается, что функция нагрева имеет степенной вид $H = h\rho^a T^b$, a и b – искомые показатели, а охлаждение аппроксимируется как $L = \psi\rho T^\alpha$, с известным α , определяемым по базе CHIANTI. Алгоритм включает получение высотных профилей температуры и плотности из наблюдений, нахождение эффективного низкочастотного показателя адиабаты $\gamma_Q(z)$ и параметра $\alpha(z)$, а также установление ограничений на степени a и b через связь $\gamma_Q(z) = (a - b + \alpha(z) - 1)/(\alpha(z) - b)$.

Иллюстрация данного метода была проведена на данных из работы [Pascoe et al., 2019], где были найдены высотные профили

температуры и концентрации электронов путем моделирования EUV-излучения, зафиксированного аппаратом SDO 10 марта 2018. Было определено, что для большинства областей из приведенных в работе Pascoe (спокойная корона, корональные дыры 1 и 2, фоновая плазма) показатель γ_Q близок к 1, что указывает на устойчивость плазмы, за исключением корональной дыры 1, где, вероятно, развивается тепловая неустойчивость ($\gamma_Q < 0$), ограничивающая применимость метода (рисунок 1(b)). На рисунке 1 были определены области допустимых значений a и b , при которых могут реализовываться наблюдаемые высотные профили температуры и плотности (выделены зеленым). Для устойчивых областей на рисунке 1 (a), (b) и (d) видно, что рассматриваемый метод позволил сузить область параметров a и b по сравнению с областью устойчивости энтропийных и магнитоакустических мод (желтая область) из работы [Kolotkov et al., 2020]. Кроме того, аналогично работе [Kolotkov et al., 2020] был сделан вывод о том, что часто встречающиеся в литературе механизмы нагрева, такие как омический нагрев, нагрев альфвеновскими волнами и др. из работы [Rosner, 1978] (красные треугольники на рисунке 1), по-видимому, не реализуются в короне по причине развития тепловых неустойчивостей. В то же время функция нагрева с параметрами $a = 0.5$

и $b = -3.5$ (синий треугольник на рисунке 1), предложенная в [Kolotkov et al., 2020], во всех случаях попадает в полученную область значений a и b .

Также были проведены оценки характерных времен теплового дисбаланса, которые варьируются от нескольких часов до нескольких дней, что подтверждает применимость для долгоживущих структур, таких

как корональные дыры, а также в областях спокойного Солнца.

Предложенный подход дополняет методы корональной МГД-сейсмологии и позволяет диагностировать нагрев короны не только с помощью наблюдений МГД-волн, но и с помощью долгоживущих структур в гравитационно-стратифицированной атмосфере.

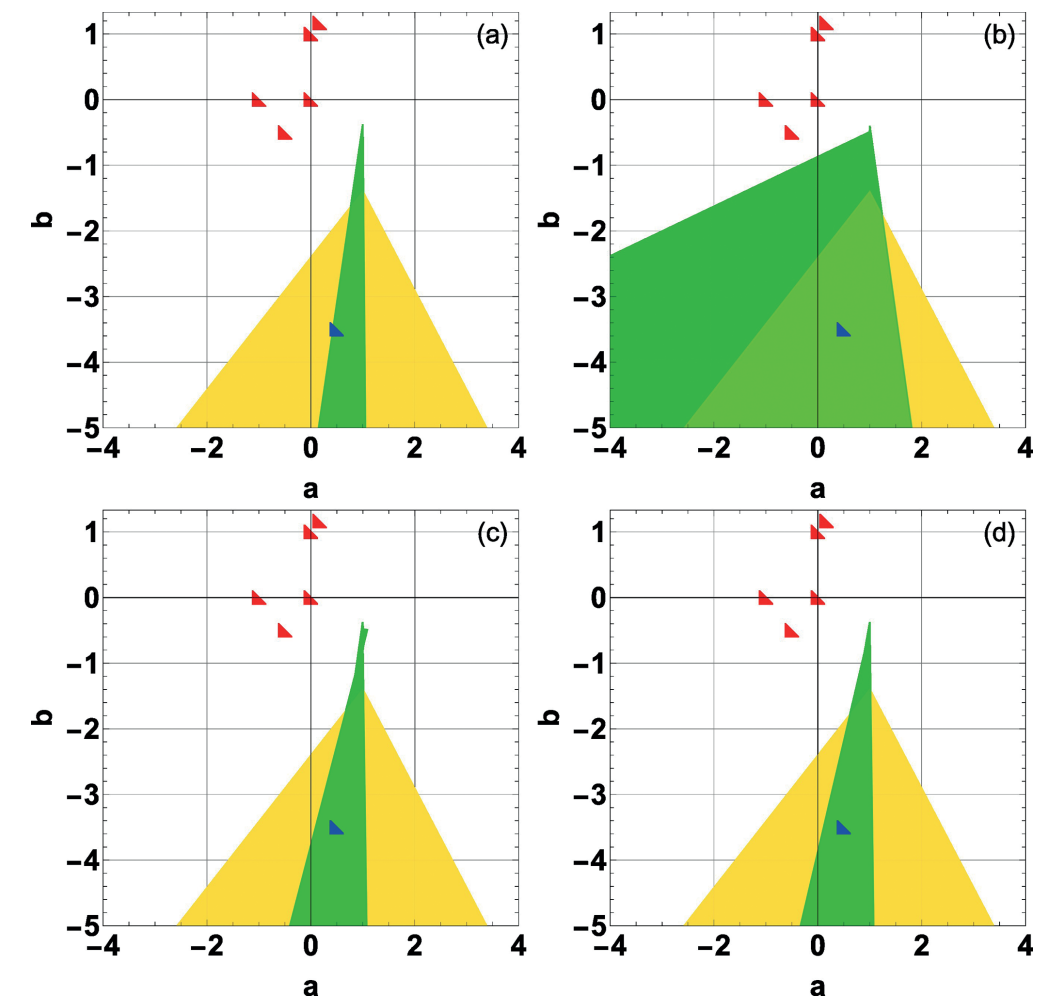


Рисунок 1. Области ограничений a и b для функции нагрева $= h\rho^a T^b$ в различных областях короны: (a) спокойная корона, (b) корональная дыра 1, (c) корональная дыра 2, (d) фоновая плазма. Зеленая область – параметры, соответствующие наблюдаемым профилям; желтая – зона устойчивости МГД-мод [Kolotkov et al., 2020]; синий треугольник – функция нагрева из [Kolotkov et al., 2020]; красные треугольники – механизмы нагрева из [Rosner, 1978]

Результаты опубликованы:

1. Riashchikov, D. S. Diagnostics of solar corona heating parameters using the observed gravitational stratification of the medium. / D. S. Riashchikov, E. V. Scoptsova, D. I. Zavershinskii. // Solar Physics. – 2024. – Vol. 299. – Iss. 9. – Art no. 136. – DOI 10.1007/s11207-024-02383-y.

Влияние магнито­зависимого нагрева на поведение маг­нитоакустических волн в корональной плазме с тепловым дисбалансом

Д. В. Агапова, С. А. Белов, Д. И. Завершинский

В работе изучена взаимосвязь между магнитной природой нагрева солнечной короны и динамикой магнитоакустических (МА) волн. Показано, что диагностика магнитной природы нагрева посредством медленных МА волн наиболее эффективна по колебаниям на фундаментальной гармонике в корональных петлях в «слабом» магнитном поле. Определены условия, при которых наблюдается одновременное усиление быстрых и затухание медленных МА волн, что представляет интерес для объяснения «незатухающих» изгибных волн в короне.

Магнитное поле, пронизывающее плазму солнечной короны, играет одну из ключевых ролей в её структурировании. Оно обеспечивает формирование и длительное существование различных плазменных структур. Плазменные структуры, например, корональные петли являются прекрасными волноводами для различных типов магнитоакустических (МА) волн. Последние в настоящее время регулярно наблюдаются с помощью космических и наземных приборов и могут быть использованы для не­прямой диагностики плазмы. Использование волн в качестве сейсмологического инструмента требует учета наиболее существенных факторов, влияющих на их свойства.

В данной работе изучено совместное влияние неадиабатических процессов и конечных поперечных размеров магнитных структур на дисперсионные свойства МА-волн. С помощью методов теории возмущений было получено дифференциальное уравнение, описывающее динамику двумерных возмущений в магнитном слое. В качестве основных неадиабатических процессов были выбраны, нагрев и радиационное охлаждение, вносящие наиболее существенный вклад в дисперсию фазовой скорости в «теплых» корональных петлях. В

модели нагрева была учтена возможная зависимость его мощности от плотности плазмы, температуры и величины магнитного поля. Полагая, что плазма испытывает жесткую магнитную структуризацию, при которой параметры плазмы однородны внутри и вне волновода и испытывают скачок на границе, были получены трансцендентные дисперсионные соотношения для изгибных и осесимметричных МА-волн. Полученные уравнения решены численно для типичных параметров «теплой» корональной петли.

Показано, что зависимость нагрева от величины магнитного поля выражается в изменении длинноволнового предела фазовой скорости медленных МА-волн. При этом, чем меньше величина магнитного поля (больше плазменная бета), тем изменения, вносимые зависимостью нагрева от величины магнитного поля, более ярко выражены. Подобный эффект может быть использован для диагностики коронального нагрева по наблюдаемым отличиям фазовой скорости от значений, предсказываемых адиабатической теорией. Принимая во внимание вышесказанное, можно сделать вывод, что колебания на основной гармонике в корональных петлях со слабым магнитным полем наиболее подходят для этой цели.

В ходе исследования затухания/усиление быстрых/медленных МА-волн была выявлена принципиальная возможность усиления быстрых МА-волн в структурированной плазме, сопровождающаяся затуханием медленных МА-волн. Этот эффект наблюдается как для осесимметричных, так и для изгибных волн. На рисунке 1 показано, что период затухания быстрых МА-волн сокращается с ростом мощности магнитного поля. При дальнейшем увеличении степени не только происходит компенсирование затухания, но

и наблюдается усиление быстрых МА-волн. Расчеты показывают, что это усиление становится более заметным при уменьшении напряженности магнитного поля.

Усиление быстрых МА-волн на фоне затухающих медленных МА-волн вызывает интерес в контексте наблюдаемых незатухающих изгибных волн. Эта особенность позволяет предположить альтернативную причину возбуждения колебаний, связанную с обратной связью между корональной плазмой и волной.

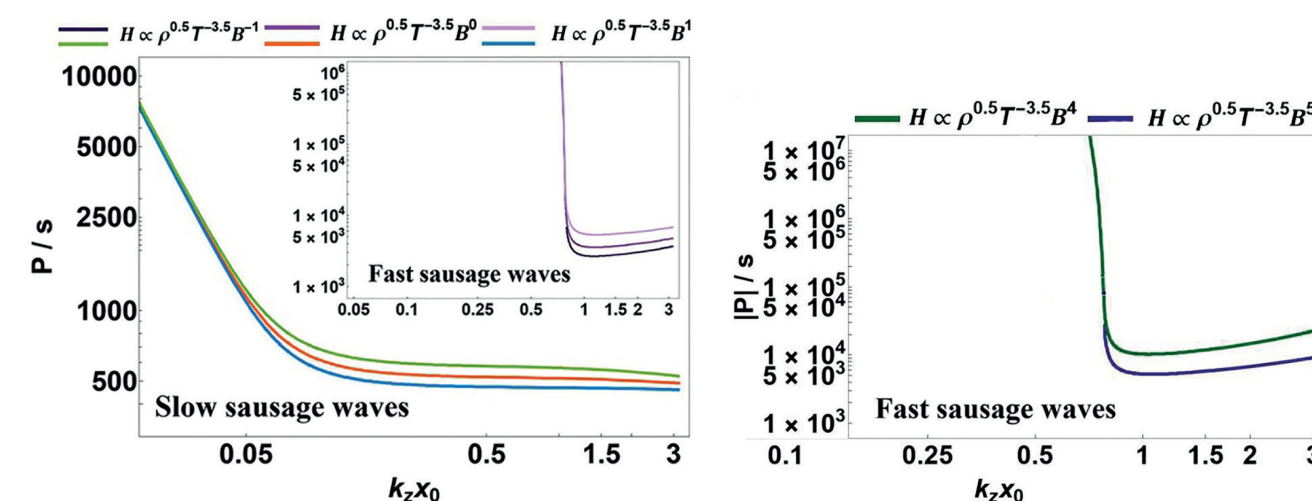


Рисунок 1. Декремент/инкремент $P = 1/\text{Im}(\omega)$ как функции безразмерного волнового числа $k_z x_0$ для осесимметричных волн. Магнитное поле внутри слоя равно 10 Гс. Разные цвета соответствуют разным сценариям нагрева. На левой панели показано одновременное затухание быстрых и медленных волн. На правой панели показаны случаи усиления быстрых волн, сопровождаемого затуханием медленных МА-волн

Результаты опубликованы:

1. Agapova, D.V. Effect of magnetically dependent heating on the behaviour of magnetoacoustic waves in coronal plasma with thermal misbalance. / D.V. Agapova, S.A. Belov, D.I. Zavershinskiy. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2024 — Vol. 528— Iss. 4 — P. 6751–6760. — DOI 10.1093/mnras/stae315.
2. Properties of Magnetoacoustic Waves in Plasma with Heat Release Depending on the Magnetic Field. / N.E. Molevich, S.Yu. Pichugin, D.S. Riashchikov, [et al.]. // Bulletin of the Lebedev Physics Institute. — 2024. — Vol. 51. — No 10. — P. 62–74. — DOI 10.3103/S1068335624601249.

Перестраиваемый диодный лазер с коротким tandemным внешним резонатором

А. К. Чернышов, П. А. Михеев

Разработан короткий внешний резонатор для спектральной перестройки квантово-размерных диодных лазеров. Лазер HL8338MG (Hitachi), снабженный подобным внешним резонатором, обеспечивал непрерывную перестройку оптической частоты в диапазоне 100 ГГц при средней мощности 20 мВт. Продemonстрировано наблюдение линий поглощения Kr с помощью собранного в лаборатории диодно-лазерного источника.

Способ сужения спектра диодного лазера с помощью слабой оптической обратной связи от тонкой стеклянной пластинки, установленной вблизи выходной грани кристалла, хорошо известен. Подобная конфигурация получила название диодный лазер с коротким внешним резонатором (ДЛКВР). Однако применение в ДЛКВР современных диодных лазеров с квантовыми ямами, у которых ширина контура оптического усиления достигает сотен нанометров, затруднено. В этом случае для достижения одночастотной генерации стеклянную пластинку необходимо подводить очень близко к кристаллу, что технически часто невозможно и, кроме того, возникает опасность механического повреждения выходной лазерной грани. Устранить препятствие можно с помощью эффекта, который возникает при прохождении света через два интерферометра с приблизительно равными длинами и заключается в прореживании резонансов. В результате «толстый» tandemный интерферометр оказывается эквивалентен «тонкому» эталону с большим межмодовым интервалом. С учетом сказанного в ДЛКВР вместо одной стеклянной пластинки, практически прижатой к лазерной грани, можно использовать стопку из двух пластинок, размещенную на удалении от кристалла.

Конструкция ДЛКВР, исследованного в работе показана на рисунке 1. В качестве

излучателя использован квантово-размерный диодный лазер HL8338MG (Hitachi). Tandemный внешний отражатель образован двумя тонкими (~100 мкм) покровными стеклянными пластинками от микроскопа, установленными на стандартную L-образную 2-х координатную оправу.

На рисунке 2(а) показаны резонансы двух интерферометров ($FSR = 1.38$ ГГц и 50 ГГц), прописанные с помощью ДЛКВР при температуре излучателя 19.8°C и возрастании лазерного тока от 23 до 75 мА. По картине резонансов видно, что непрерывный интервал перестройки ДЛКВР составляет около 100 ГГц при средней выходной мощности ~20 мВт.

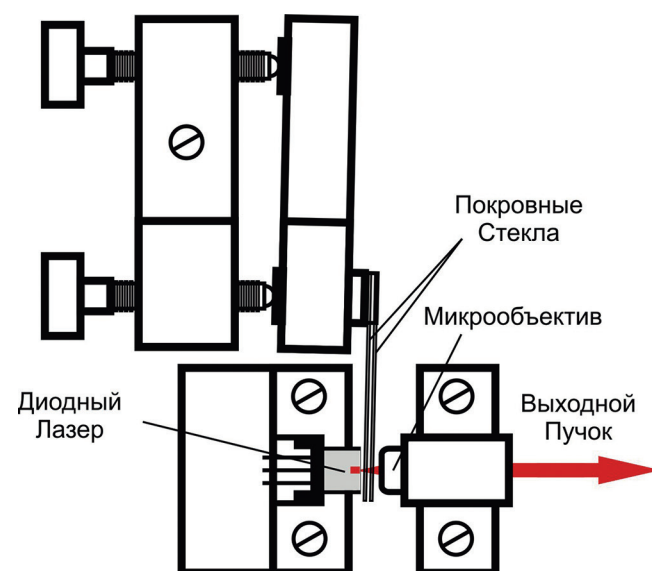


Рисунок 1. Диодный лазер с tandemным внешним резонатором

На рисунке 2(б) внизу представлен эмиссионный спектр Kr, зарегистрированный спектрометром. На спектр Kr наложены пять спектров излучения ДЛКВР, которые были записаны тем же спектрометром при различных температурах и токе накачки 50 мА.

Лазерные спектры в верхней части рисунка 2(б), полученные при минимальной (15°C) и максимальной (60°C) температурах излучателя, демонстрируют доступный

спектральный интервал, равный 12.3 нм. Остальные лазерные спектры на рисунке 2(б) иллюстрируют настройку ДЛКВР на три линии Kr, которые попадают в перекрываемый диапазон.

К достоинствам разработанного лазерного источника следует отнести то, что он не содержит сложных оптических элементов и может быть повторен в обычной исследовательской лаборатории.

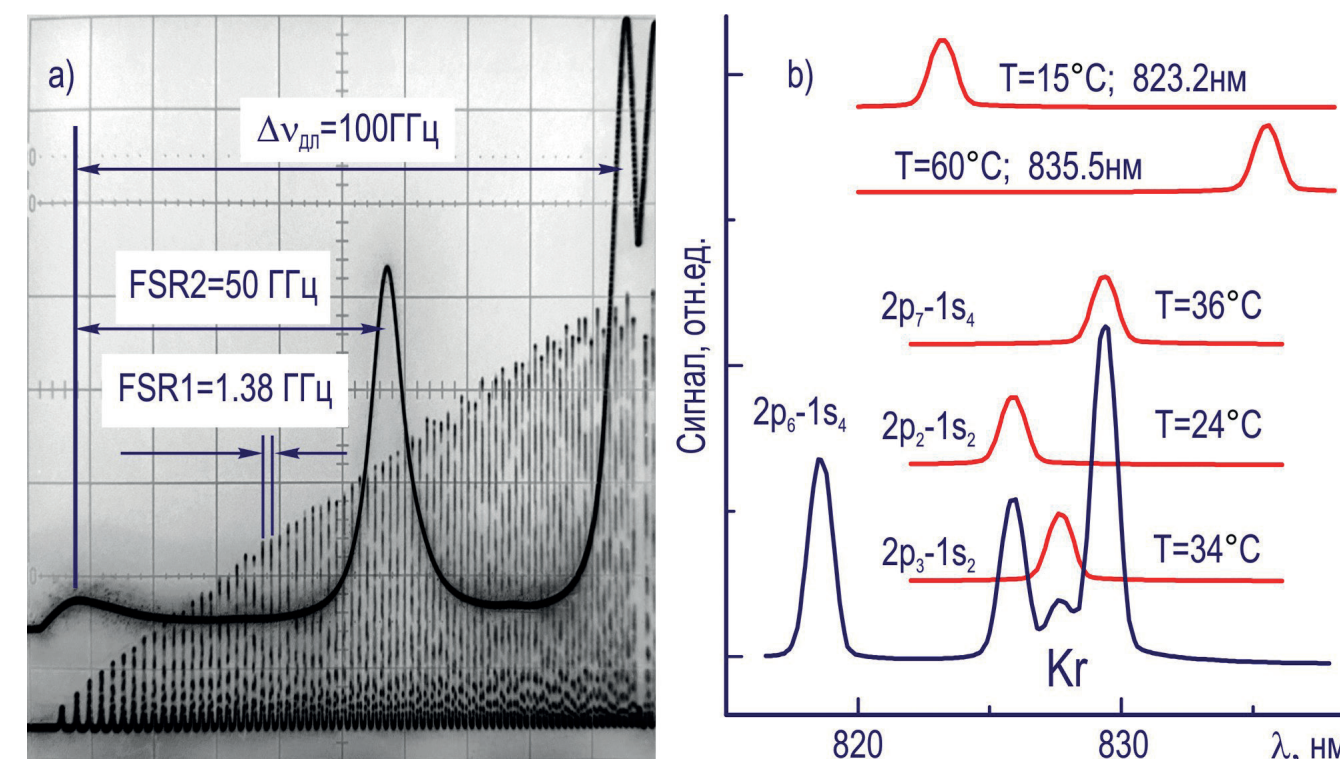


Рисунок 2. а) непрерывная 100 ГГц перестройка лазера HL8338MG. Резонансы интерферометров, прописаны при увеличении тока накачки на ~50 мА и температуре излучателя $T = 19.8^\circ\text{C}$; б) спектры излучения лазера и линии Kr (в обозначениях Пашена). Два верхних спектра определяют доступный спектральный интервал, а три нижних демонстрируют настройку лазера на линии Kr при указанных температурах

Результаты опубликованы:

- Чернышов, А. К. Перестраиваемый диодный лазер с коротким tandemным внешним резонатором. / А. К. Чернышов, П. А. Михеев. // Приборы и техника эксперимента. — 2024. — № 3. — С. 86–90. — DOI 10.31857/S0032816224030112.

Образование и разрушение молекул в межзвездной среде

Л. И. Крикунова, А. А. Кузнецова, Д. П. Порфирьев, И. О. Антонов, В. Н. Аязов

Образование сложных органических молекул (СОМ) в межзвездной среде возможно как в высокотемпературных условиях звездных оболочек, так и при криогенных температурах (~10 K) в ледяных мантиях межзвездной пыли. В ЦЛА проведены расчеты с использованием высокоуровневых методов, исследованы энергии ионизации продуктов реакции этанола с CO, а также поверхности потенциальной энергии (ППЭ) и кинетические константы реакций 1-аценафтила с O₂ и присоединения метинового радикала (CH) к ацетонитрилу (CH₃CN). Результаты показывают возможность образования СОМ, включая азотсодержащие гетероциклы, в условиях межзвездных льдов, а также устойчивость полициклических ароматических молекул в высокотемпературных средах звездных оболочек.

Механизмы образования, роста и разрушения полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) играют ключевую роль в образовании сажи при горении и в звездных оболочках. В работе [1] исследовано разрушение аценафтилена в реакции с O_2 . С помощью квантово-химических расчетов

на уровне G3(MP2) получена ППЭ окисления радикала 1-аценафтила (рисунок 1), предложен механизм реакции и рассчитаны кинетические константы. При высоких температурах и низких давлениях происходит отрыв атома кислорода с образованием циклического кетона, а при низких темпера-

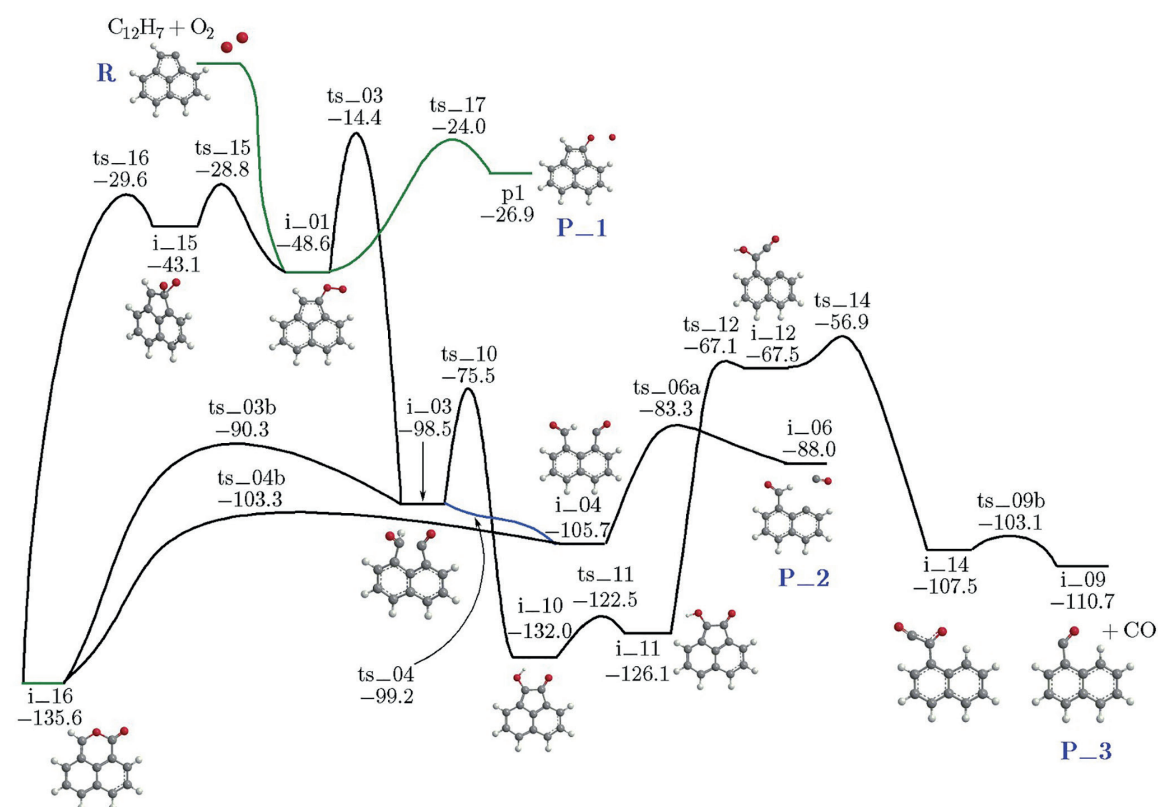


Рисунок 1. Поверхность потенциальной энергии реакции окисления 1-аценафтила молекулярным кислородом

турах — разрушение пятичленного кольца с образованием СО. Эти результаты важны для моделей горения, направленных на снижение выбросов сажи.

Для понимания образования биомолекул в космических условиях исследована [2] реакция ацетонитрила (CH_3CN) с метиновым радикалом (CH). ППЭ реакции (рисунок 2), рассчитанная на уровне CCSD(T)-F12 показала, что реакция протекает через образование циклических структур. В условиях космоса преобладает

образование линейных продуктов, таких как HCN, что важно для химической эволюции межзвездной среды.

Рассчитаны [3] энергии ионизации изомеров $C_3H_6O_2$, образующихся в реакции этанола с CO. Используя метод CBS-QB3, мы показали, что этилформиат — наиболее стабильный продукт с энергией ионизации выше 10.2 эВ, устойчивый к фотоионизации УФ-излучением. Предложена схема для идентификации изомеров с помощью фотоионизационной масс-спектрометрии.

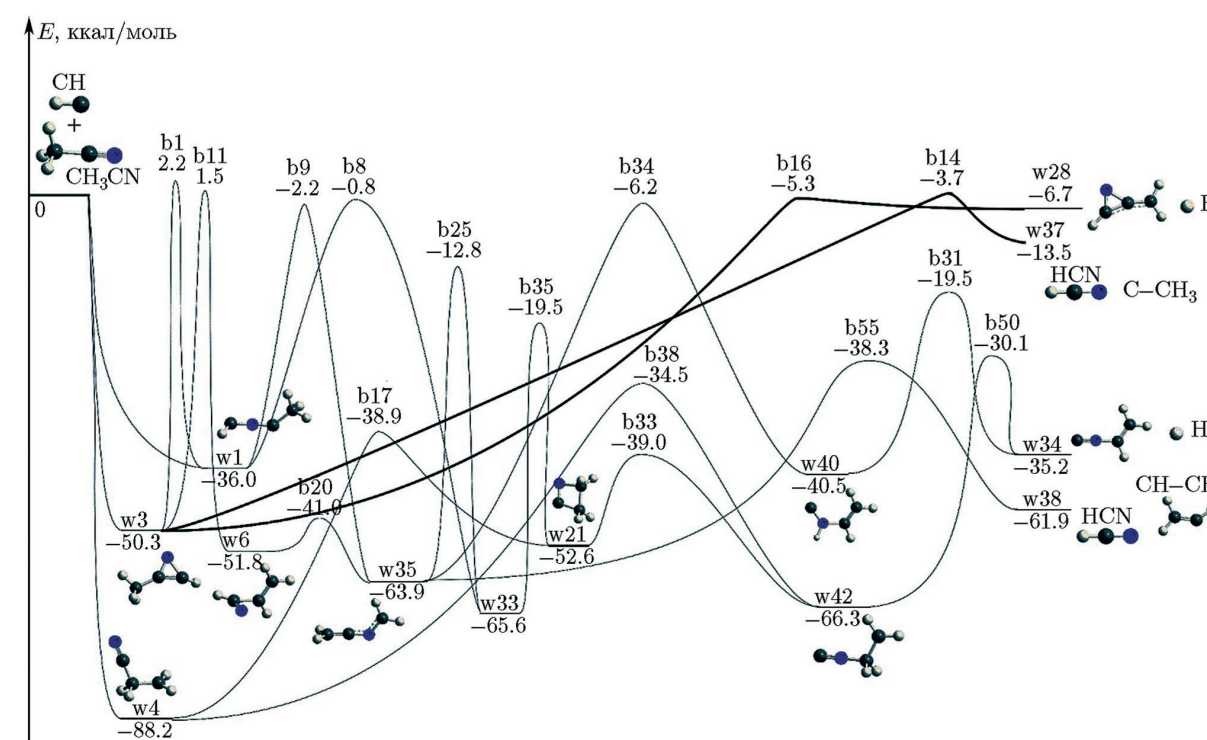


Рисунок 2. Поверхность потенциальной энергии реакции ацетонитрила с метиновым радикалом $\text{CH}_3\text{CN} + \text{CH}$.

Результаты опубликованы:

1. Исследование реакции 1-аценафта и молекулярного кислорода. / А. А. Кузнецова, Л. И. Крикунова, Д. П. Порфирьев [и др.]. // Физика горения и взрыва. – 2024. – Т. 60. – Вып. 4. – С. 12–18. – DOI 10.15372/FGV2024.9455.
2. Теоретическое исследование реакции ацетонитрила с метиновым радикалом. / Л. И. Крикунова, А. А. Кузнецова, Д. П. Порфирьев [и др.]. // Физика горения и взрыва. – 2024. – Т. 60. – Вып. 4. – С. 28–33. – DOI 10.15372/FGV2024.9447.
3. Энергия ионизации продуктов реакций в системе этанол-монооксид углерода в межзвездных льдах / О.В. Кузнецов, М.М. Евсеев, Е.А. Батракова, И.О. Антонов. // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2024. – Т. 51. – № 4. – С. 3–12. – DOI 10.3103/S1068335623601826 (англ.).

Структурно-устойчивые пучки Айнса–Гаусса и их разложение по базисам мод Эрмита–Гаусса и Лагерра–Гаусса

Е. Г. Абрамочкин¹, В. В. Котляр², А. А. Ковалёв²

¹Самарский филиал ФИАН; ²ИСОИ – Самара, НИЦ «Курчатовский институт»

Найдены явные аналитические представления мод Айнса–Гаусса через моды Эрмита–Гаусса и Лагерра–Гаусса. Показано, что существует естественное продолжение мод Айнса–Гаусса на отрицательные значения параметра эллиптичности. Предложен эффективный способ численного нахождения мод Айнса–Гаусса, основанный на использовании аппроксимаций Паде. Полученные результаты могут быть использованы для аналитического исследования трансформаций мод Айнса–Гаусса в оптических системах первого порядка.

Известно, что только для трёх ортогональных систем координат на плоскости возможно построение структурно-устойчивых световых полей (решений параксиального уравнения Гельмгольца), которые разделяются в этих системах координат. Для декартовой системы координат – это семейство мод Эрмита–Гаусса (ЭГ), для полярной – семейство мод Лагерра–Гаусса (ЛГ), для параболической – семейство мод Айнса–Гаусса (АГ). Последнее семейство зависит от вещественного параметра ε (параметра эллиптичности). Оно разделяется на подсемейства чётных и нечётных мод (по традиции, идущей от Эдварда Айнса) и сводится к модам ЛГ и ЭГ, когда $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon = +\infty$:

$$\mathbf{IG}_{p,q}^e(\mathbf{r}, 0) = \sqrt{2} \operatorname{Re} \mathbf{LG}_{(p-q)/2,q}(\mathbf{r}),$$

$$\mathbf{IG}_{p,q}^o(\mathbf{r}, 0) = \sqrt{2} \operatorname{Im} \mathbf{LG}_{(p-q)/2,q}(\mathbf{r}),$$

$$\mathbf{IG}_{p,q}^e(\mathbf{r}, +\infty) = (-1)^{(p-q)/2} \mathbf{HG}_{q,p-q}(\mathbf{r}),$$

$$\mathbf{IG}_{p,q}^o(\mathbf{r}, +\infty) = (-1)^{(p-q)/2} \mathbf{HG}_{q-1,p+1-q}(\mathbf{r}).$$

В данной работе были найдены (при условии разрешимости характеристических уравнений в радикалах) явные аналитические представления мод АГ через моды ЭГ

и ЛГ при любых значениях параметра эллиптичности. Простейшими примерами являются формулы

$$\mathbf{IG}_{2,0}^e(\mathbf{r}, \varepsilon) = -\frac{\mathbf{HG}_{2,0}(\mathbf{r}) + a \cdot \mathbf{HG}_{0,2}(\mathbf{r})}{\sqrt{1+a^2}},$$

$$\mathbf{IG}_{2,2}^e(\mathbf{r}, \varepsilon) = +\frac{a \cdot \mathbf{HG}_{2,0}(\mathbf{r}) - \mathbf{HG}_{0,2}(\mathbf{r})}{\sqrt{1+a^2}},$$

$$\mathbf{IG}_{3,1}^e(\mathbf{r}, \varepsilon) = -\frac{\sqrt{3} \cdot \mathbf{HG}_{3,0}(\mathbf{r}) + b \cdot \mathbf{HG}_{1,2}(\mathbf{r})}{\sqrt{3+b^2}},$$

$$\mathbf{IG}_{3,3}^e(\mathbf{r}, \varepsilon) = +\frac{b \cdot \mathbf{HG}_{3,0}(\mathbf{r}) - \sqrt{3} \cdot \mathbf{HG}_{1,2}(\mathbf{r})}{\sqrt{3+b^2}},$$

$$\mathbf{IG}_{3,1}^o(\mathbf{r}, \varepsilon) = -\frac{\sqrt{3} \cdot \mathbf{HG}_{2,1}(\mathbf{r}) + c \cdot \mathbf{HG}_{0,3}(\mathbf{r})}{\sqrt{3+c^2}},$$

$$\mathbf{IG}_{3,3}^o(\mathbf{r}, \varepsilon) = +\frac{c \cdot \mathbf{HG}_{2,1}(\mathbf{r}) - \sqrt{3} \cdot \mathbf{HG}_{0,3}(\mathbf{r})}{\sqrt{3+c^2}},$$

где

$$a = \varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + 1},$$

$$b = \varepsilon - 1 + \sqrt{(\varepsilon - 1)^2 + 3},$$

$$c = \varepsilon + 1 + \sqrt{(\varepsilon + 1)^2 + 3}.$$

Эти результаты могут быть использованы для теоретического изучения трансформации

ций мод АГ в оптических системах первого порядка (модовый конвертор, двумерный интеграл Коллинза, ABCD-преобразование).

Также показано, что существует естественное продолжение мод АГ на отрицательные значения параметра ε :

$$\mathbf{IG}_{p,q}^e(x, y, -\varepsilon) = (-1)^{q/2} \mathbf{IG}_{p,q}^e(y, x, \varepsilon),$$

$$\mathbf{IG}_{p,q}^o(x, y, -\varepsilon) = (-1)^{q/2+1} \mathbf{IG}_{p,q}^o(y, x, \varepsilon),$$

$$\mathbf{IG}_{p,q}^o(x, y, -\varepsilon) = (-1)^{(q-1)/2} \mathbf{IG}_{p,q}^e(y, x, \varepsilon).$$

Предложен эффективный способ численного нахождения мод АГ, основанный на использовании аппроксимаций Паде. Приведённый в статье пример разложения чётной моды АГ с индексами $(p, q) = (3, 1)$ по модам ЭГ демонстрирует погрешность не более 2% для всех значений ε от $-\infty$ до $+\infty$, если используются кубические дробно-рациональные аппроксимации коэффициентов разложения.

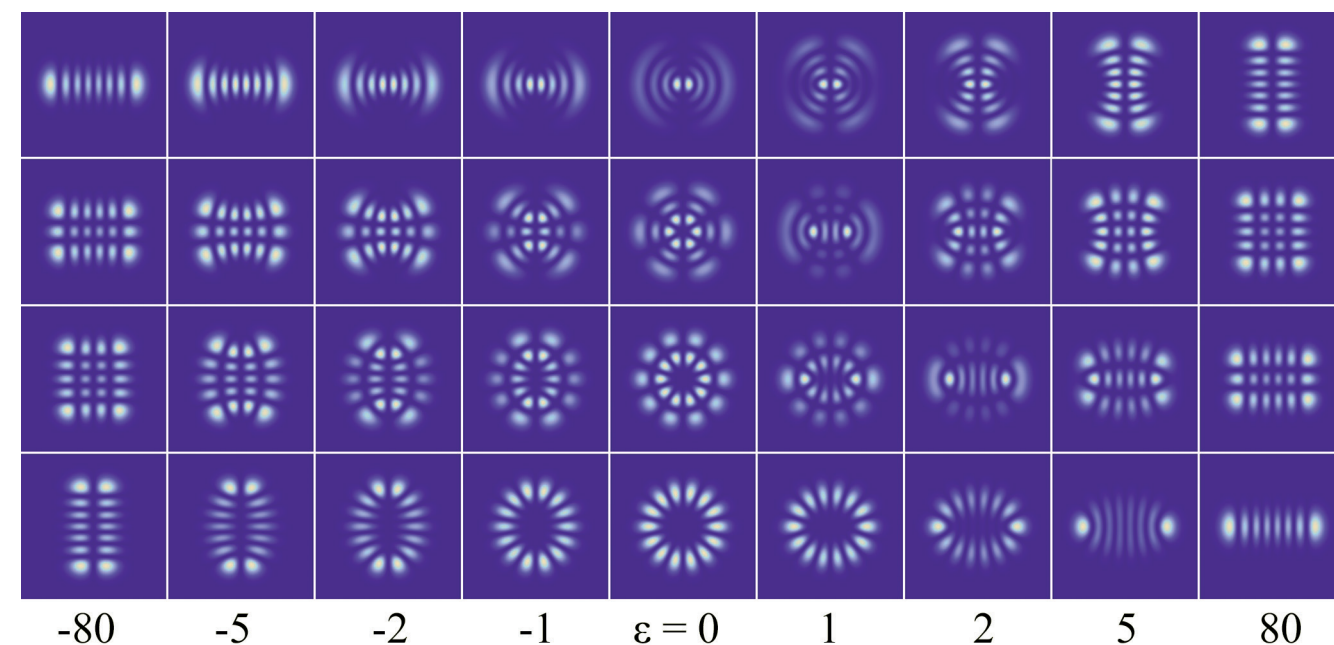


Рисунок 1. Интенсивности чётных мод АГ $\mathbf{IG}_{7,q}^e(\mathbf{r}, \varepsilon)$ при $q = 1, 3, 5, 7$ (сверху вниз) для некоторых значений параметра ε

Результаты опубликованы:

1. Abramochkin, E. G. Structurally invariant higher-order Ince-Gaussian beams and their expansions into Hermite-Gaussian or Laguerre-Gaussian beams. / E. G. Abramochkin, V. V. Kotlyar, A. A. Kovalev. // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – Iss. 5. – Art. no. 1759 – 18 pp. – DOI 10.3390/app14051759

Научные мероприятия в ФИАН

Юбилейные события

Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Е. С. Фрадкина

Время проведения – с 02 по 06 сентября 2024 г.

В Международной конференции по теоретической физике приняли участие более 150 человек из ведущих университетов и научных организаций Российской Федерации, таких как ФИАН (Москва), МФТИ (Москва), МИАН (Москва), ТГУ (Томск), НГУ (Новосибирск), ИТФ им. Ландау (Черноголовка), ВШЭ, Сколково, ИЯИ (Москва), ОИЯИ (Дубна), ИТЭФ (Москва), ИТМО (Санкт-Петербург), ИДСТУ СО РАН (Иркутск) и многих других. Также с докладами выступили приглашенные ученые из Азербайджана, Бразилии, Китая, Кубы, Румынии и Франции. Конференция собрала большинство ведущих экспертов в области теоретической и математической физики, работающих в настоящее время в России.

Основными направлениями Конференции стали:

- квантовая гравитация и космология;
- физика элементарных частиц;
- квантовая теория поля;
- струны, высшие спины, голография.

По словам председателя организационного комитета Конференции М. А. Васильева, заведующего Лабораторией квантовой теории поля Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма ФИАН, сильные результаты в различных областях теоретической физики фундаментальных взаимодействий, доложенные представителями различных научных школ, а также участие талантливых молодых ученых можно по праву назвать одними из главных итогов мероприятия. Боль-



Молодежные конференции и школы

VI Международная молодежная школа «Инновационные ядерно-физические методы высокотехнологичной медицины»

Время проведения – с 24 по 25 октября 2024 г.

Она продолжила цикл школ, проводимых при реализации проекта «Разработка новых технологий диагностики и лучевой терапии социально значимых заболеваний протонными и ионными пучками с использованием методов бинарной ядерной физики» в рамках ФНТП «Развитие синхротронных и нейтронных исследований и исследовательской инфраструктуры на 2019–2027 годы» при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ.

Для каждой Школы определяется своя тематика, в этом году тему определили как «Современные ядерно-физические методы диагностики». Акцент был сделан на методах диагностики заболеваний (онкологических, кардиологических, неврологических и др.), базирующихся на ядерно-физических основах воздействия ионизирующих излучений, потоков заряженных частиц на объекты живой природы: компьютерная томография, позитрон-эмиссионная томография за счет положительного бета-распада, эмиссионная томография электронов отрицательного бета-распада и эмиссионная томография гамма-радиоактивными веществами.

Школу торжественно открыли заместитель директора ФИАН, руководитель Отде-

ления ядерной физики и астрофизики ФИАН **Владимир Алексеевич Рябов** и председатель организационного комитета **Ирина Николаевна Завестовская**.

«Главная задача Молодежной школы – донести новые знания из области ядерной медицины до участников, которые учатся и работают в разных областях науки: физических, биологических, химических, медицинских. Благодаря таким мультидисциплинарным знаниям рождаются новые подходы и новые результаты», – отметил заместитель директора ФИАН В. А. Рябов.

Лекции на Школе представили ведущие специалисты научных, образовательных и медицинских организаций.

В работе Школы приняли участие 107 человек, из которых 92 человека в возрасте до 39 лет. Среди участников мероприятия были именитые и молодые ученые, аспиранты, студенты и школьники. Были представлены 6 институтов РАН и 2 научно-исследовательских организации, 26 университетов, из которых 5 – медицинские, а также 4 медицинских организации, 1 производственное предприятие и 6 общеобразовательных учреждений. Насыщенная программа и представленные лекции вызвали большой интерес у слушателей. Заявки на участие подали более 180 человек из 44 городов России, Казахстана, Киргизии, Молдовы и Узбекистана.



XXII Всероссийская молодежная Самарская конкурс-конференция научных работ по оптике, лазерной физике и физике плазмы

Время проведения – с 12 по 16 ноября 2024 г.

Молодежная конкурс-конференция ежегодно проводится на базе Самарского филиала Физического института им. П. Н. Лебедева РАН и Самарского национального исследовательского университета им. академика С. П. Королева.

В Конференции приняли участие молодые исследователи из Москвы, Санкт-Петербурга, Владимира, Казани, Красноярска, Нижнего Новгорода, Орла, Самары, Томска и Челябинска. Всего на мероприятии было представлено 99 конкурсных докладов (64 устных и 35 стендовых), 6 приглашенных докладов молодых кандидатов наук и 6 приглашенных пленарных лекций ведущих ученых.

Программный комитет и Экспертный совет возглавил директор Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, член-корр. РАН **Н. Н. Колачевский**. В Экспертный совет вошли один академик и три члена-корреспондента Российской академии наук, а также 26 ученых

из ведущих академических институтов и университетов от Москвы до Владивостока.

По мнению организаторов, среди участников Конференции немало тех, кто уже в самое ближайшее время внесет существенный вклад в развитие российской науки.

«Эта конференция продолжает лучшие традиции ФИАНа, которому в этом году исполнилось 90 лет. Не так много времени остается до его 100-летия, и мы сегодня думаем о том, кто нас к этому юбилею приведет. Мы рассчитываем, что к этому моменту вы станете зрелыми, грамотными исследователями, и постараемся мотивировать вас на то, чтобы вы сосредото-



точились на решении задач, которые мы будем обсуждать на этой конференции», – подчеркнул директор ФИАН Николай Колачевский.

Один из ключевых принципов конкурса-конференции – состязательность. Стремление быть лучшим стимулирует молодых ученых развиваться и повышать уровень своих исследований и знаний.

«Главные действующие лица – это наши конкурсанты, им особое внимание. Мы хотим, чтобы вы унесли с собой много хороших эмоций, больше новых знаний, чтобы у вас появилось еще больше желания заниматься наукой», – обратился к молодым

Школа молодых ученых «Быстропротекающие электровзрывные, электронные и электромагнитные процессы в импульсной электронике и оптоэлектронике» (БПИО-2024)

Время проведения – с 18 по 22 ноября 2024 г.

В 2024 году школа БПИО была посвящена 300-летию Российской академии наук

В рамках БПИО-2024 были представлены лекции и доклады по актуальным разделам современной физики, в том числе по современной физике быстропротекающих оптических явлений различной природы. Тематика Школы охватила вопросы оптики и спектроскопии рентгеновского диапазона, импульсных газовых и вакуумных разрядов, физических основ современной и перспективной электронной техники, теплофизики сверхтугоплавких веществ, физики горения, люминесценции наноструктурированных и конденсированных сред, физики процессов в конденсированных средах с неравновесным электронным возбуждением, физики полупроводниковых и металлоорганических наноструктур различной размерности, методов и способов нанесения многослойных покрытий и др.

В мероприятии приняли участие ведущие и молодые ученые из ФИАН, ОИВТ РАН, МГТУ им. Н.Э. Баумана, АО НИИ «НПО «ЛУЧ», МФТИ,

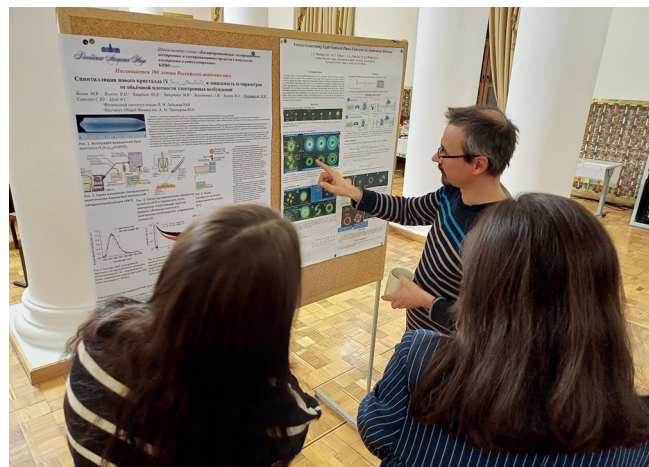
ученым сопредседатель оргкомитета, директор Самарского филиала ФИАН Валерий Азязов.

Экспертная комиссия определила победителей и призеров по следующим номинациям:

- секция «Оптика и лазерная физика» аспиранты;
- секция «Оптика и лазерная физика» студенты;
- секция «Биофотоника»;
- секция «Микрофлюидные системы и нанотехнологии»;
- секция «Физика и химия космоса»;
- стендовая секция.

ИПМ РАН им. М. В. Келдыша, НИУ «МЭИ», МГУ им. М. В. Ломоносова, ИОФ РАН им. А. М. Прохорова, НИУ «МИЭТ», НИЯУ МИФИ, Московского Политехнического Университета, АО «НПО «Орион», а также других ведущих отечественных научных и образовательных центров.

Школа проведена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 19-79-30086).



ФИАН в научных мероприятиях

ФИАН организует научные мероприятия не только в своих стенах, но и в других организациях и даже регионах, а также активно участвует в мероприятиях различного уровня «в гостях». Таких «выходов в свет» у сотрудников ФИАН ежегодно насчитывается до нескольких сотен. И, конечно, рассказать обо всех даже в кратком формате – крайне затруднительно. Поэтому приведем лишь некоторые из них.

Научные конференции

Международная конференция «Физика и химия горения и процессов в экстремальных условиях» (ComPhysChem'24)

Время проведения – с 02 по 06 июля 2024 г.

Место проведения – г. Самара

Организаторами Международной конференции ComPhysChem'24, которая была посвящена 300-летию Российской академии наук, выступили Самарский филиал Физического института им. П. Н. Лебедева РАН и Самарский университет.

Основными направлениями Конференции стали:

- фундаментальные физико-химические процессы в экстремальных условиях;
- кинетика и динамика реакций в экстремальных условиях, включая астрохимию и астробиологию;
- квантово-химические исследования поверхностей потенциальной энергии химических реакций;
- кинетика и динамика элементарных процессов;
- математическое моделирование процессов в экстремальных условиях;
- волны и колебания в солнечной, звездной и межзвездной плазме;
- динамика и структура пламени;
- лазерная и оптическая диагностика процессов горения;
- химическое, плазменное и лазерное инициирование горения;
- формирование и разрушение полициклических ароматических углеводоро-

дов (ПАУ), сажи, графена и углеродистых наночастиц;

- хроматография и методы измерения.

Более 100 человек из ведущих университетов и научных организаций Российской Федерации стали участниками Конференции: ФИАН (Москва), Институт астрономии РАН (Москва), ОИВТ (Москва), МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва), НГУ (Новосибирск), ИХКГ им. В. В. Воеводского СО РАН (Новосибирск), Самарский университет, СамГТУ, СФ ФИАН (Самара), НИУ ИТМО (Санкт-Петербург), Томский государственный университет, Томский политехнический университет, Уральский федеральный университет (Екатеринбург), ФИЦ ПХФ и МХ РАН (Черноголовка) и др. С докладами онлайн выступили приглашенные ученые из Великобритании, Германии, Ирана, Китая, США и Чили.

Самарский филиал ФИАН был представлен докладами И. О. Антонова (Центр лабораторной астрофизики), доклад «Recent progress in the building of the Cryogenic



Surface Processes apparatus: chemistry of interstellar methane ices»; **О. В. Кузнецова** (Центр лабораторной астрофизики), доклад «Experimental investigation of naphthalene growth via HACA mechanism»; **А. П. Шевченко** (Центр лабораторной астрофизики), доклад «Crystallochemical approach to high-throughput screening of potential ionic electrides»; **Д. И. Завершинского** (Теоретический сектор), доклад «Dynamics of slow magnetoacoustic and entropy modes in flaring coronal loops»; **Д. С. Рящикова** (Теоретический сектор), доклад «Propagation features of acoustic-gravity waves in a medium with thermal misbalance»; **А. А. Першина** (Лаборатория физико-химической кинетики), доклад «Inelastic cross sections for Ar*-He complex», а также стендовыми докладами

молодых сотрудников ЦЛА, ЛФХК и Теоретического сектора СФ ФИАН.

На Конференции выступили и представители центральной площадки Физического института Академии наук, сотрудники Лаборатории динамики реагирующих систем Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма ФИАН:

- **В. В. Губернов** «On the role of low temperature reactions in burner stabilized and propagating flames»;
- **А. Д. Морошкина** «Investigation of critical phenomena of the methane-air flames at normal and elevated pressure»;
- **А. А. Пономарева** «Activation energy of lean methane-hydrogen-air mixtures»;
- **Е. В. Серещенко** «Dynamics of sporadic combustion waves and single ball-like flame in straight channels».



III Международная конференция «Нелинейные явления и динамика распространения пламен: теоретические аспекты и приложения»

Время проведения – октябрь 2024 г.

Место проведения – г. Бурабай (Республика Казахстан)

Основным организатором конференции выступил Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН.

Конференция охватила значимые разделы научных исследований:

- проблемы моделирования и численного анализа процессов горения;
- нелинейная динамика процессов горения;
- микрогорение, моделирование, эксперименты и диагностика;
- горение твердых топлив и производство новых материалов;
- редукция кинетических механизмов;
- химическая кинетика горения;
- новые концепции и технологии в горении.

В работе Конференции приняли участие ученые из ведущих университетов и научных организаций Российской Федерации: ФИАН (Москва), СФ ФИАН (Самара), МФТИ (Москва), ОИВТ РАН (Москва), Сколтех (Москва), ИАП РАН (Москва), ИБРАЭ РАН (Москва), ИХКГ им. В. В. Воеводского СО РАН (Новосибирск), НГУ (Новосибирск), ИТПМ им. С. А. Христиановича СО РАН (Новосибирск), НИУ ИТМО (Санкт-Петербург), ДВФУ (Владивосток) и Республики Казахстан: РГП «Институт проблем горения» (Алматы), Назарбаев Университет (Астана), КазНУ им. Аль-Фараби (Алматы), ИМММ (Алматы).

Кроме того, в мероприятии приняли участие ведущие ученые Германии (Karlsruhe

Institute of Technology), Испании (CIEMAT, University Charles III of Madrid, National Institute for Aerospace Technology), Китайской Народной Республики (Harbin Institute of Technology) и Объединенных Арабских Эмиратов (Khalifa University).

Сооснователь Международной конференции, помощник директора ФИАН по работе с молодежью, руководитель лаборатории «Динамика реагирующих систем» ФИАН Владимир Губернов отметил актуальность и значимость прошедшего мероприятия:

«Конференция показала большой интерес исследователей из разных стран к топливным смесям с низким углеродным следом, таким как метан-водород или аммиак-водород, которые в ближайшей перспективе будут находить все более и более широкое применение в экономике этих стран, в энергетике, на транспорте и не только. Отрадно видеть, что, несмотря на сложную внешнеполитическую ситуацию, многие ученые, как из дружественных, так и из недружественных стран, продолжают взаимодействовать с российскими исследователями. Таким образом, наука не потеряет интернациональный характер, а подобное сотрудничество будет развиваться и в будущем».



На заключительном заседании конференции LUMOS-2024 ученый секретарь проф. Уточникова В. В. подвела итоги мероприятия, фактически возобновившего серию успешных Всесоюзных совещаний по люминесценции, организованных Академией наук по инициативе академика Вавилова С.И., начиная с 1944 года, при активном участии профильных организаций: ФИАН им. П.Н. Лебедева, ФТИ им. А. Ф. Иоффе, МГУ им. М. В. Ломоносова, МГПИ им. В. И. Ленина (сейчас МПГУ), ГОИ им. С. И. Вавилова, научных институтов Беларуси и многих других.

Об истории совещаний по люминесценции в своем выступлении рассказал член-корреспондент РАН А. В. Наумов. Он отметил, что всего за период с 1944 по 1991 годы было проведено более 30 таких совещаний, ставших знаковыми в развитии науки и техники. Кроме того, проводятся ежегодные Вавиловские чтения в ФИАН, Международный Феофиловский симпозиум по спектроскопии кристаллов, легированных редкоземельными элементами и ионами переходных металлов, Международная молодежная конференция по

люминесценции и лазерной физике при Иркутском филиале Института лазерной физики Сибирского отделения РАН, а также крупный международный конгресс International Conference on Luminescence. Совещания проводились в самых разных городах СССР (Иркутск, Киев, Кишинев, Ленинград, Львов, Минск, Москва, Рига, Самарканд, Ставрополь, Тарту, Тбилиси, Харьков, Эзэрниеки и другие).

Отметим, что за прошедшие десятилетия многие исторические тезисы, сформулированные отцами-основателями научного направления люминесценция, продолжают оставаться актуальными. В частности, тезис, сформулированный по итогам 2-го Всесоюзного совещания: «Главный и основной урок, который можно вывести из всей многовековой истории люминесценции, состоит, как указал С.И. Вавилов, в необходимости и крайней важности укрепления связи теории и практики. Под этим знаком теснейшего единения теории и практики проходила вся работа Совещания, на котором наряду с глубокими теоретическими исследованиями докладывались работы, имеющие важное прикладное значение».

Научные события

«Фотоника. Мир лазеров и оптики»
Время проведения – с 26 по 29 марта 2024 г.

Место проведения – г. Москва

Делегация Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук приняла участие в 18-й Международной специализированной выставке лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики», проходившей в Москве в конце марта.

Выставка объединила представителей предприятий и фирм-производителей лазерной и оптической продукции, научно-исследовательских институтов и ведущих учебных заведений Российской Федерации, Республики Армения и Республики Беларусь. Основным организатором Выставки стала Лазерная ассоциация, членом которой Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН является, фактически, с момента ее основания.

На стенде ФИАН были представлены научно-технологические разработки Института в области оптики, лазерных технологий, фотоники и сенсорики, оптической голографии и литографии, микроэлектроники, действующие макеты экспериментальных стендов, образцы прецизионных оптических изделий, лазерных кристаллов и микроструктур. В течение всего времени работы выставки последовательно были представ-



лены разработки отделений центральной площадки Физического института имени П. Н. Лебедева, Троицкого обособленного подразделения (ТОП ФИАН) и Самарского филиала (СФ ФИАН), в т. ч. совместные разработки разных отделений.

- **Компактный высококогерентный перестраиваемый диодный лазер с внешним резонатором** для спектроскопии высокого разрешения (Лаборатория стандартов частоты, Отдел лазерных технологий ТОП ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории стандартов частоты ТОП ФИАН к.ф.-м.н. В. Л. Величанским, к.ф.-м.н. М. И. Васьковской, В. В. Васильевым, Д. С. Чучеловым; руководитель Лаборатории – к.ф.-м.н. С. А. Зибров.

- **Демонстрационный стенд – макет индикатора на лобовом стекле на базе большеразмерных планарных голографических перископов для мобильных устройств** (Лаборатория сверхбыстродействующей оптоэлектроники и обработки информации (СООИ), Отделение квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории сверхбыстродействующей оптоэлектроники и обработки информации ОКРФ ФИАН; руководитель лаборатории – к.ф.-м.н. А. Н. Путилин.

- **Технология синтеза монокристаллов A_2B_6** , легированных переходными металлами, и образцы кристаллов для лазерной генерации в среднем инфракрасном диапазоне на длинах волн 2–7 мкм (Лаборатория лазеров с катодно-лучевой накачкой, Отдел лазерных технологий ТОП ФИАН). Экспозиция подготовлена ведущим научным сотрудником Лаборатории лазеров с катодно-лучевой накачкой к.т.н. Ю. В. Коростелиным; руководитель Лаборатории – д.ф.-м.н. В. И. Козловский.

- **Технология эпитаксиального выращивания гетероструктур A_3B_5** , содержащих

сурьму, имеющих барьерно-диодную архитектуру для разработки и создания на их основе матричных фотоприемных устройств для излучения среднего ИК-диапазона (Лаборатория новых материалов для ИК-фотоники, Отделение физики твердого тела ФИАН). Стенд подготовлен сотрудниками Лаборатории новых материалов для ИК-фотоники ФИАН; руководитель Лаборатории – д.ф.-м.н. В. С. Кривобок.

- **Оборудование для лабораторного прототипирования методом фотолитографии и сборки ван-дер-ваальсовых гетероструктур** было представлено двумя установками: первая – для микромасочной контактной фотолитографии и переноса гетероструктур (графен, hBN, MoS_2), а вторая – для проекционной безмасочной литографии (Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга ФИАН; руководитель лаборатории – д.ф.-м.н. А. Ю. Кунцевич.

- **Выставочный макет медицинского лазерного аппарата на парах меди** для микрохирургических операций в области дерматологии, косметологии, гинекологии, онкологии и офтальмологии (Лаборатория медицинской лазерной техники, Отдел Технопарк «Прецизионные оптические технологии» ТОП ФИАН). Макет подготовлен сотрудниками Лаборатории медицинской лазерной техники ТОП ФИАН; руководитель Лаборатории – к.ф.-м.н. И. В. Пономарев.

- **Технология изготовления и выставочные образцы прецизионных оптических компонент:** зеркал, многослойных интерференционных фильтров, просветляющих покрытий (Отдел Технопарк «Прецизионные оптические технологии» ТОП ФИАН). Экспозиция подготовлена сотруд-



никами Отдела Технопарк «Прецизионные оптические технологии» ТОП ФИАН С. В. Кузьмичем и Г. П. Карповым; руководитель Отдела – к.ф.-м.н. А. В. Залыгин.

- **Высокостабильный метановый оптический стандарт частоты** (Лаборатория стандартов частоты, Отдел лазерных технологий ТОП ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории стандартов частоты Отдела лазерных технологий ТОП ФИАН; руководитель Отдела – д.ф.-м.н. М. А. Губин.

- **Техника трехмерной флуоресцентной микроскопии с использованием адаптивной оптики** (Отдел перспективной фотоники и сенсорики ТОП ФИАН и Лаборатория когерентной оптики СФ ФИАН в коллаборации с Институтом спектроскопии РАН и Московским педагогическим государственным университетом). Экспозиция подготовлена сотрудниками Отдела перспективной фотоники и сенсорики ТОП

ФИАН (руководитель Отдела – чл.-корр. РАН А. В. Наумов) и Лаборатории когерентной оптики СФ ФИАН (руководитель Лаборатории – д.ф.-м.н. С. П. Котова).

- **Генератор вихревых световых полей на основе жидкокристаллического сегнетоэлектрика** (Лаборатория когерентной оптики СФ ФИАН и Лаборатория оптоэлектронных процессоров Отделения квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории когерентной оптики СФ ФИАН; руководитель Лаборатории – д.ф.-м.н. С. П. Котова.

- **Технология лазерной термообработки инструментальных, конструкционных сталей и твердых сплавов** (Лаборатория лазерно-индуцированных процессов СФ ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории лазерно-индуцированных процессов СФ ФИАН; руководитель Лаборатории – д.т.н. С. И. Ярьско.

- **Лазерная ударная обработка алюминиевых сплавов** (Лаборатория лазерно-индуцированных процессов СФ ФИАН). Экспозиция подготовлена сотрудниками Лаборатории лазерно-индуцированных процессов СФ ФИАН; руководитель Лаборатории – д.т.н. С. И. Ярьско.

Помимо презентации разработок на стенде сотрудники ФИАН приняли активное участие в мероприятиях научной и деловой программы выставки. На заседании Научно-практической конференции XII Конгресса технологической платформы «Фотоника» в секции «Голографические технологии» с докладом «Направления развития технологий дисплеев дополненной и смешанной реальности» выступил к.ф.-м.н. А. Н. Путилин (СООИ ФИАН). Сотрудники Лаборатории лазерной нанофизики и биомедицины, Центра лазерных и нелинейно-оптических технологий, Отделения квантовой радиофизики им. Н. Г. Басова ФИАН выступили с докладами на секциях «Фотонные интегральные схемы». Одним из ключевых заседаний конференции стала секция «Квантовые технологии», где были представлены наиболее значимые результаты, полученные при определяющем участии сразу нескольких подразделений ФИАН: «Квантовые симуляторы на атомах тулия в оптических ре-

шетках» (к.ф.-м.н. А. В. Акимов, руководитель совместной Лаборатории квантовых симуляторов и интегрированной фотоники ФИАН и RQC) и «Реализация алгоритмов на ионных квантовых компьютерах» (к.ф.-м.н. И. А. Семериков, н.с. лаборатории «Оптика сложных квантовых систем», Отделение оптики ФИАН).

В предпоследний день выставки состоялось расширенное заседание Научного совета по фотонике Отделения физических наук РАН (председатель комиссии – чл.-корр. РАН С. В. Гарнов, заместитель председателя – чл.-корр. РАН Н. Н. Колачевский), организованное при активном участии сотрудников ФИАН. Программа заседания включала обсуждение важнейших результатов в области фотоники, полученных в 2023 году в научных институтах, находящихся под научно-методическим руководством ОФН РАН.

Были заслушаны доклады представителей научных коллективов из разных городов России: Москвы (ФИАН, ИСАН, ФНИЦ ИОФ РАН, ФНИЦ «Кристаллография и фотоника РАН», НИЦ «Курчатовский институт»), Санкт-Петербурга (ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН), Черногловка (ИФТТ РАН), Нижнего Новгорода (ИПФ РАН), Томска (ИОА СО РАН), Новосибирска (ИАиЭ СО РАН, ИЛФ СО РАН). Участники семинара были награждены по-



четными дипломами Отделения физических наук РАН.

Были представлены доклады и сотрудников ФИАН.

- «Новые способы синтеза фазовых элементов для манипулирования ансамблями микрообъектов» – С. П. Котова, Н. Н. Лосевский, А. М. Майорова, С. А. Самагин, Д. В. Прокопова, Д. А. Иконников, С. А. Вьюнышева, А. М. Вьюнышев (Самарский филиал ФИАН, ИФ СО РАН).

- «Широкоапертурный субмегагерцовый жидкокристаллический электрооптический модулятор видимого диапазона излучения» – Е. П. Пожидаев, А. В. Кузнецов, А. В. Казначеев, С. И. Торгова, Т. П. Ткаченко (ФИАН).

- «Новый метод ранней диагностики рака кожи на основе мультиспектральной микроспектроскопии комбинационного рассеяния света» – Е. Н. Римская,

И. Н. Сараева, С. Н. Шелыгина, А. Б. Тимурзиева, К. Г. Кудрин, Е. В. Переведенцева, Н. Н. Мельник, С. И. Кудряшов (ФИАН, НИИ общего здоровья им. Н. А. Семашко, 1-й МГМУ им. И. М. Сеченова).

- «4-х кубитный ионный квантовый вычислитель с оптически адресуемыми кубитами» – А. С. Борисенко, И. В. Заливако, И. А. Семериков, Н. В. Семенин, П. Л. Сидоров, К. Ю. Хабарова, Н. Н. Колачевский (ФИАН).

Участники выставки «Фотоника-2024» получили возможность ознакомиться с основными направлениями подготовки научных кадров в аспирантуре ФИАН. По итогам презентации научных достижений и технологических разработок коллектив ФИАН был награжден дипломом 18-й Международной специализированной выставки лазерной, оптической и оптоэлектронной техники «Фотоника. Мир лазеров и оптики».

20-е заседание Совета Международного сетевого института в сфере противодействия легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма

Время проведения – 19 апреля 2024 г.

Место проведения – г. Москва

Дирекция ФИАН и руководство Центра межолмпиадной подготовки школьников и студентов ФИАН приняли активное участие в заседании Совета Международного сетевого института в сфере противодействия легализации (отмыванию) доходов, полученных преступным путем, и финансированию терроризма (МСИ).

Открыл заседание директор Федеральной службы по финансовому мониторингу, Председатель Совета МСИ, заместитель Председателя организационного комитета по подготовке и проведению Международной олимпиады по финансовой безопасности Юрий Анатольевич Чиханчин. В приветственном слове он отметил, что в 2024 г. отборочные этапы Олимпиады впервые проводятся с использованием платформы

«Содружество», число пользователей которой уже превысило 170 тысяч человек.

Директор Физического института им. П. Н. Лебедева РАН Николай Николаевич Колачевский в своем выступлении рассказал о конкурсе видеороликов по финансовой безопасности «Все в курсе» в 2024 году для наполнения платформы «Содружество» образовательным контентом.

«Первый конкурс был успешный, но надо

Признание научных достижений ФИАН

Орден «За заслуги перед Отечеством» I степени

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации В. В. Путина № 90 от 05.02.2024 г., главный научный сотрудник Отдела физики плазмы ФИАН, академик РАН, профессор, доктор технических наук

Геннадий Андреевич МЕСЯЦ



награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» I степени «за большой вклад в развитие отечественной науки, многолетнюю плодотворную деятельность и в связи с 300-летием со дня основания Российской академии наук».

Орден Дружбы

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации В. В. Путина № 91 от 05.02.2024 г., главный научный сотрудник Отделения физики твердого тела ФИАН, академик РАН, доктор физико-математических наук

Александр Алексеевич ГОРБАЦЕВИЧ

награжден Орденом Дружбы «за большой вклад в развитие отечественной науки, многолетнюю плодотворную деятельность и в связи с 300-летием со дня основания Российской академии наук».



Президент Российской Федерации награждает сотрудников ФИАН Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации В. В. Путина № 91 от 05.02.2024 г. Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени награждены сотрудники Физического института им. П. Н. Лебедева РАН:



главный научный сотрудник Отдела физики плазмы ФИАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук
Виктор Владимирович ИВАНОВ



главный научный сотрудник Отделения теоретической физики им. И. Е. Тамма, академик РАН, доктор физико-математических наук
Евгений Александрович КУЗНЕЦОВ



руководитель Центра высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга ФИАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук
Владимир Моисеевич ПУДАЛОВ



главный научный сотрудник Отделения физики твердого тела ФИАН, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук
Дмитрий Ремович ХОХЛОВ

награждены Медалью ордена «За заслуги перед Отечеством» II степени «за большой вклад в развитие отечественной науки, многолетнюю плодотворную деятельность и в связи с 300-летием со дня основания Российской академии наук».

частоты (малогабаритных атомных часов) и квантовых магнитометров. Малогабаритные атомные часы применяются для синхронизации различных мобильных объектов, систем спутниковой связи, в навигации и других приложениях, а квантовые магнитометры могут использоваться в археологии и геологоразведке, например, для поиска полезных ископаемых. Среди наиболее важных результатов, полученных сотрудниками группы за последние несколько лет, можно отметить разработку новой конструкции диодного лазера с внешним резонатором с интерференционным фильтром в качестве спектрально-селективного элемента. В диапазоне частот 10–10000 Гц разработанный лазер обладает значительно большей виброустойчивостью, чем лазер с дифракционной решеткой. Лазеры с

низкой акустической чувствительностью востребованы в устройствах, используемых на искусственных спутниках Земли, а также в стандартах частоты. На основе методов лазерной сварки и герметизации разработана технология производства газовых ячеек со щелочными металлами и просветляющими покрытиями обеих поверхностей выходных окон. Развита методика, позволяющая управлять спектром излучения диодного лазера с вертикальным резонатором (англ. VCSEL) в режиме СВЧ-модуляции тока накачки. Развита методика позволяет сделать равными мощности первых боковых полос спектра излучения и увеличить тем самым амплитуду резонанса когерентного пленения населенностей, что может найти применение в малогабаритных атомных часах.



Обновление экспозиции на Доске почета в Троицке

Учитывая профессиональные достижения и отмечая большой личный вклад В. Л. Величанского в развитие наукограда, наградная комиссия Администрации городского округа Троицк г. Москвы приняла решение о занесении его портрета на Доску почета. Торжественная церемония открытия обновленной Доски почета с выдачей свидетельств награжденным состоялась 25 мая 2024 года в день города Троицка.

В начале июня 2024 года состоялась первая открытая конференция – финал конкурса научных работ молодых ученых научных организаций городского округа Троицк в городе Москве. Конкурс проводился администрацией городского округа Троицк в городе Москве совместно с научно-техническим советом наукограда с целью поощрения молодых ученых города Троицка, достигших значительных результатов в научно-исследовательской деятельности. Победителями конкурса, обладателями диплома за 1 место

и ценных призов стали молодые научные сотрудники Мария Васьковская, Евгений Цыганков и Дмитрий Чучелов, представившие работу «Малогабаритные атомные часы на эффекте когерентного пленения населенностей». Научный руководитель – заведующий Лабораторией стандартов частоты к.ф.-м.н. С. А. Зибров. Научный консультант – к.ф.-м.н. В. Л. Величанский. Представленная на конкурс работа стала итогом теоретических, экспериментальных и конструкторских разработок в области полупроводниковых диодных лазеров, выполненных коллективом за последние несколько лет, опубликованных в 9 статьях в профильных рейтинговых научных журналах и защищенных 3 патентами на изобретения.

Полученные результаты вошли в диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, успешно защищенных М. И. Васьковской (2023 г.) и Е. А. Цыганковым (2024 г.).

Сотрудники Самарского филиала ФИАН стали лауреатами почетных премий

Сразу несколько научных сотрудников Самарского филиала Физического института им. П. Н. Лебедева РАН стали обладателями наград в области науки.

Так, премия Губернатора Самарской области за выдающиеся результаты в решении естественно-математических проблем присуждена руководителю Лаборатории физико-химической кинетики, главному научному сотруднику, доктору физико-математических наук

Павлу Анатольевичу МИХЕЕВУ.

Также лауреатами Губернской премии в области науки и техники за 2024 год стали:

- старший научный сотрудник Лаборатории когерентной оптики, ученый секретарь СФ ФИАН кандидат физико-математических наук

Александра Михайловна МАЙОРОВА;

- старший научный сотрудник Лаборатории физико-химической кинетики, доцент, доктор физико-математических наук

Александр Константинович ЧЕРНЫШОВ



Молодежь в ФИАН

Со дня основания ФИАН большое значение придает воспитанию новых научных кадров, в связи с чем одной из активно развиваемых областей деятельности Института является работа с молодежью, посвятившей себя научной деятельности.

Это и работа со студентами базовых кафедр ФИАН в МФТИ, МГТУ, МИФИ, и привлечение аспирантов и молодых ученых к участию в крупных международных проектах и грантах, международных и всероссийских конференциях и конкурсах различного уровня.

Такой подход приводит к тому, что ФИАН-«старший» в буквальном смысле растит себе достойную смену: вчерашние выпускники базовых кафедр и аспиранты сегодня становятся кандидатами и докторами наук в подразделениях Института, попутно получая признание своих научных достижений как на региональном, так и на всероссийском и международном уровнях.

Фиановцы – победители конкурса стипендии Президента РФ для аспирантов и адъюнктов

В конце ноября 2023 года Владимир Путин подписал Указ «О стипендии Президента Российской Федерации для аспирантов и адъюнктов, проводящих научные исследования в рамках реализации приоритетов научно-технологического развития Российской Федерации». В 2024 г. были подведены итоги первого конкурсного отбора.

Всего на конкурсный отбор поступило более 4.7 тыс. заявок из 73 субъектов России, в том числе из новых регионов. Согласно требованиям, исследования соискателей стипендии должны были опираться на приоритеты, определенные Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Владимиром Путиным 28 февраля 2024 года. Кандидатов на получение такой поддержки выдвигали их научные руководители.

В результате были объявлены имена 500 победителей, среди которых – пять молодых ученых из ФИАН:

- Кристина Паруйровна ГАЛСТЯН** – младший научный сотрудник лаборатории «Оптика сложных квантовых систем» Отделения оптики ФИАН (научный руководитель Н. Н. Колачевский);
- Татьяна Андреевна КОРЮКОВА** – младший научный сотрудник лаборатории «Астрофизика высокого разрешения» Астрокосмического центра ФИАН (научный руководитель А. Б. Пушкарев);
- Никита Викторович СЕМЕНИН** – младший научный сотрудник лаборатории «Распределенные квантовые технологии для задач машинного обучения» Отделения оптики ФИАН (научный руководитель К. Ю. Хабарова).
- Дарья Вадимовна АГАПОВА** – младший научный сотрудник Самарского филиала ФИАН (научный руководитель Н. Е. Молевич);
- Арслан Анварович ГАЛИУЛЛИН** – младший научный сотрудник Отдела «Центр высокотемпературной сверхпроводимости и квантовых материалов им. В. Л. Гинзбурга» ФИАН (научный руководитель А. Ю. Кунцевич).

Ключевым объектом для изучения вильсоновских гравитационных сетей является $o(d,2)$ -связность A ($d=1,2$), используемая для построения операторов вильсоновских линий и удовлетворяющая условию нулевой кривизны $F(A) = dA + A \wedge A = 0$. Условие нулевой кривизны может быть реализовано динамически при помощи топологических 3d-действия Черна–Саймонса или 2d-действия BF.

В данной работе рассматриваются матричные элементы вильсоновских сетей в comb-канале вида

$$V_{jj}(\rho, z) = \langle a_1 (W_{j_1}[y_1, x_1] I_{j_1 j_2 j_1} W_{j_1}[y_2, y_1] I_{j_1 j_3 j_2} \dots) \times W_{j_{n-3}}[y_{n-2}, y_{n-3}] I_{j_{n-3} j_{n-1} j_n} (W_{j_2}[x_2, y_1] \dots \times W_{j_{n-1}}[x_{n-1}, y_{n-2}] W_{j_n}[x_n, y_{n-2}]) a_2 \rangle \otimes \dots \otimes a_n \rangle,$$

где $W_{j_i}[y_i, x_i]$ — вильсоновский оператор, построенный по $sl(2)$ -связности, $I_{j_1 j_2 j_3}$ — сплетающий оператор, проецирующий тензорное произведение двух представлений на третье. Обкладки a_n выбраны как состояния Ишибаши $sl(2)$ -модуля, что фиксируется требованием инвариантности матричного элемента относительно изометрий пространства AdS_2 . Схематически данный объект можно изобразить в виде графа (рисунок 1), где ребра графа — это вильсоновские линии, соединяющие внешние и внутренние точки.

Показано, что из условия инвариантности вильсоновских матричных элементов относительно симметрий пространства AdS_2 следует соотношение между матричными элементами и корреляционными функциями (и их глобальными конформными блоками) в одномерной конформной теории.

При явном вычислении матричных элементов вильсоновских операторов, а также при использовании явных выражений для

матричных элементов сплетающих операторов, являющихся коэффициентами Клебша–Гордана, были найдены матричные элементы n -точечных вильсоновских сетей в comb-канале с внешними точками на конформной границе пространства AdS_2 . Полученные выражения связаны с n -точечными глобальными конформными блоками в CFT₁ следующим соотношением голографического экстраполяционного словаря

$$\lim_{\rho \rightarrow \infty} e^{\sum_{i=1}^{\infty} -\rho j_i} V_{jj}(\rho, z) = C_{jj} F_{hh}(z),$$

где $F_{hh}(z)$ — глобальный конформный блок с весами $h = -j$, C_{jj} — комбинации структурных констант конформной теории. Таким образом, показано, что вычисление матричных элементов n -точечных гравитационных вильсоновских сетей является одним из способов получения явных выражений для глобальных конформных блоков. В целом, данная конструкция, посредством AdS/CFT соответствия, связывает топологическую теорию гравитации с динамическими (физическими) теориями в малом числе измерений.

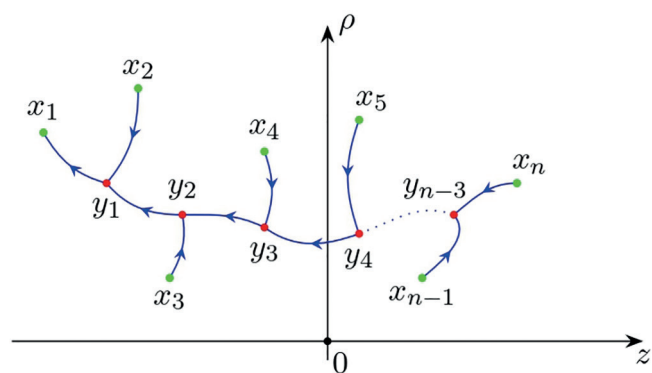


Рисунок 1. Вильсоновский матричный элемент в comb канале в виде графа. Локальные координаты пространства AdS_2 обозначены как ρ и z . Конформная граница пространства соответствует $\rho=0$

По словам победителей, присуждение им медалей РАН было бы невозможно без участия их научного руководителя, доктора физ.-мат. наук, ведущего научного сотрудника Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма ФИАН Константина Борисовича АЛКАЛАЕВА.

Победитель областного конкурса «Молодой ученый»

Молодые ученые Самарского филиала (СФ) ФИАН победили в ежегодном областном конкурсе «Молодой ученый», проводимом Министерством образования и науки Самарской области, по направлению «Естественные науки»

В 2024 году заявки на участие в конкурсе подали 309 молодых ученых из 14 научных организаций и университетов Самарской области; из них по направлению «Естественные науки» — 84 заявки. По каждому из конкурсных направлений рассматриваются 3 номинации: «Кандидат наук», «Аспирант», «Студент». Причем в каждой из номинаций награждение возможно только один раз.



В номинации «Естественные науки. Кандидат наук» победителем стал

Дмитрий Сергеевич РЯЩИКОВ,

кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Теоретического сектора СФ за проект

Особенности распространения МГД-волн в солнечной атмосфере

В цикле работ исследуется влияние различных физических процессов в солнечной атмосфере на МГД-волны. Исследовано воздействие гравитации и теплового дисбаланса на акустико-гравитационные волны, обнаружена нелинейная генерация продольных возмущений крутильными альфвеновскими волнами, изучено влияние неадиабатического нагрева и охлаждения, теплопроводности и частичной ионизации на дисперсионные свойства МГД-волн, получено аналитическое решение, описывающее эволюцию медленных МГД-волн в корональных петлях.

Конкурсная работа Д. С. Рящикова посвящена разработке теоретических моделей, описывающих влияние физических процессов, протекающих в солнечной атмосфере, на наблюдательные свойства МГД-волн.

Во-первых, произведен учет совместного влияния гравитации и эффекта теплового дисбаланса между нагревом и охлаждением

среды на акустико-гравитационные волны в солнечной атмосфере. В результате рассчитаны стационарные высотные профили температуры, давления и плотности в случае нагрева солнечной короны, заданного в виде степенных функций температуры и плотности. С помощью рассчитанных профилей для случая изотермической атмосферы было по-

лучено дисперсионное соотношение, которое показывает изменение скорости распространения и дополнительное затухание из-за теплового дисбаланса, а также уменьшение частоты отсечки акустических волн в $\sqrt{\gamma}$ раз (где γ – показатель адиабаты).

Во-вторых, впервые обнаружена нелинейная генерация продольных возмущений плазмы крутильными альфвеновскими волнами. Показано, что радиальный профиль индуцированного возмущения плотности остается однородным вне зависимости от выбора альфвеновского драйвера в отличие от профилей возмущений остальных параметров (рисунок 1).

В-третьих, в рамках исследования линейных свойств МГД-волн были исследованы различные режимы теплового дисбаланса на основе точного аналитического решения задачи линейной эволюции стоячих медленных магнитоакустических волн в корональных петлях в приближении бесконечно большого магнитного поля с учетом влияния

теплопроводности. Кроме того, было получено дисперсионное соотношение и найдены аналитические выражения для скоростей и декрементов различных волновых мод, распространяющихся в частично ионизованной плазме с учетом эффектов теплового дисбаланса, теплопроводности и ионно-нейтральных столкновений.

Данные результаты позволяют связать характеристики различных физических процессов (нагрев и охлаждение среды, теплопроводность, ионно-нейтральные столкновения) со свойствами волн, либо в случае гравитационной стратификации – с вертикальными профилями термодинамических параметров среды. Таким образом, полученные результаты вместе с данными наблюдений позволяют выдвинуть требования, которым должен удовлетворять неизвестный механизм нагрева солнечной короны. Кроме того, данные связи позволяют проверить рассчитанные с помощью кинетической теории значения коэффициентов теплопроводности.

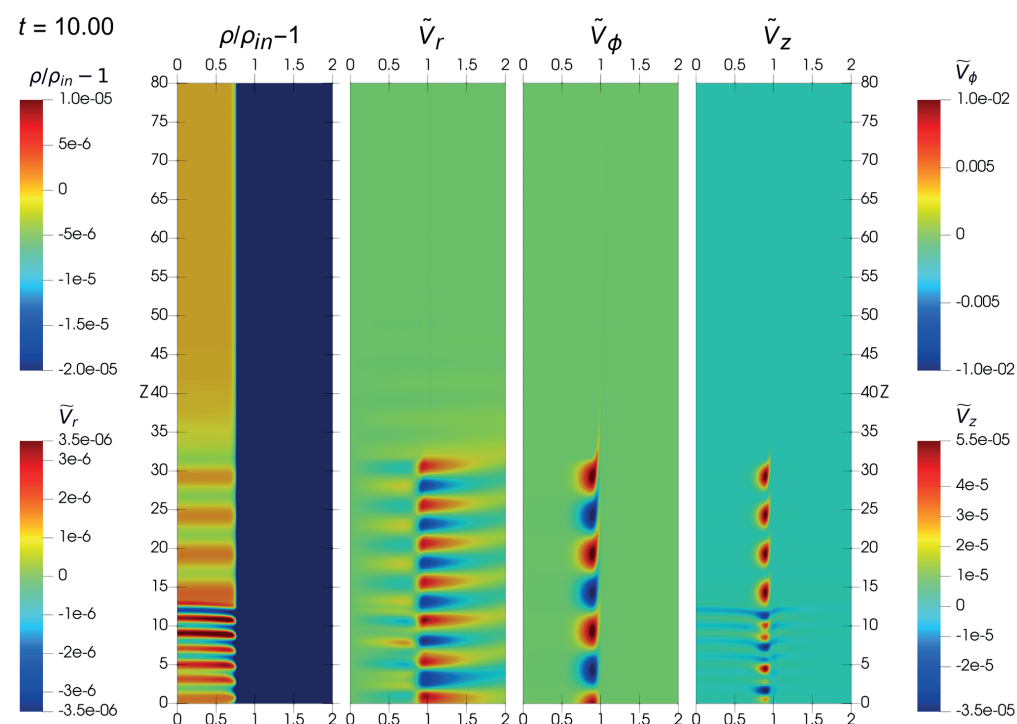


Рисунок 1. Безразмерные возмущения плотности и компонент вектора скорости в осесимметричной магнитной трубке ($R < 1$), создаваемые кольцеобразным периодическим альфвеновским драйвером (см. компоненту V_ϕ), заданным на нижней границе

сти. Также целям поиска механизма нагрева солнечной короны служит и впервые обнаруженный в представленном цикле работ дополнительный наблюдательный признак нелинейных крутильных альфвеновских волн

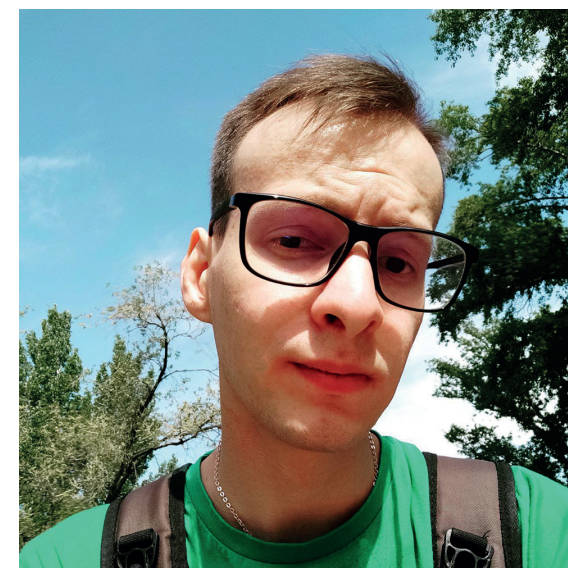
в виде радиально-однородного возмущения плотности в магнитной трубке, распространяющегося с альфвеновской скоростью, так как именно данные волны являются одним из кандидатов на роль такого механизма.

Результаты опубликованы:

1. Molevich, N. E. Magnetoacoustic waves in a partially ionized astrophysical plasma with the thermal misbalance: a two-fluid approach. / N. E. Molevich, S. Yu. Pichugin, D. S. Riashchikov. // Physics of Plasmas. – 2024. – Vol. 31. – № 4. – Art. no. 042115. – 16 pp. – DOI 10.1063/5.0201945.
2. Riashchikov, D. S. Impact of thermal misbalance on acoustic-gravity waves in the solar atmosphere. / D. S. Riashchikov, N. E. Molevich, D. I. Zavershinskii. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2023. – Vol. 522. – Iss. 1. – P. 572–581. – DOI 10.1093/mnras/stad1005.
3. On collective nature of non-linear torsional Alfvén waves. / S. A. Belov, D. S. Riashchikov, D. Y. Kolotkov, [et al.]. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2023. – Vol. 523. – Iss. 1. – P. 1464–1473. – DOI 10.1093/mnras/stad1480.
4. Exact solution to the problem of slow oscillations in coronal loops and its diagnostic applications. / D. I. Zavershinskii, N. E. Molevich, D. S. Riashchikov, S. A. Belov. // Frontiers in Astronomy and Space Sciences. – 2023. – Vol. 10. – Art. no. 1167781. – 10 pp. – DOI 10.3389/fspas.2023.1167781.

В номинации «Естественные науки. Аспирант» победителем стал

Анатолий Александрович НИКОЛАЕВ,
младший научный сотрудник
Центра лабораторной астрофизики
СФ. Анатолий Александрович был
удостоен награды за проект



Квантово-химическое исследование механизмов синтеза сложных циклических и ациклических органических молекул в пламенах горения, атмосфере Земли и межзвездной среде: уникальные научные установки в Самаре

Хотя механизмы роста ПАУ достаточно изучены, их производные остаются малоисследованными. Ксилолы при разрыве слабых C-H связей образуют стабильные радикалы, катализирующие рост ПАУ и сажи через рекомбинацию. Параллельно в атмосферных процессах ключевую роль

играют ортокарбоновые кислоты, выступая промежуточными звеньями в цикле аэрозолей, влияющих на климат. В конденсированной фазе (20 K) формируются пребиотические молекулы, а при нагреве межзвездных льдов (60 K) запускаются реакции с протонным туннелированием, объясняющие изобилие органики в молекулярных облаках.

В условиях, имитирующих межзвездную среду, эксперименты с низкотемпературными льдами метанола и молекулярного кислорода ($\text{CH}_3\text{OH}-\text{O}_2$) при 5 K, облученными энергичными электронами (аналог галактических космических лучей), позволили синтезировать три изомера $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_3$: метантриол (1), гидроксипероксиметан (2) и гидроксипероксиметанол (3). Эти соединения были однозначно идентифицированы при сублимации льдов в ходе температурно-программируемой десорбции [1].

Вычисления подтвердили, что их формирование требует энергетического инициирования, например, фотохимической активации. Однако все три изомера термодинамически нестабильны и склонны к мономолекулярному разложению с образованием метанола (CH_3OH) и O_2 или H_2CO и H_2O_2 . Интересно, что в присутствии кислотного или основного катализатора метантриол (1) может подвергаться дегидратации через перенос протона, что делает его потенциально устойчивым в холодных космических средах.

Параллельно в модельных льдах, содержащих ацетальдегид и аммиак, была обнаружена сложная органическая молекула (COM) — 1-(1-гидроксиэтиламино)этанол [3]. Эта молекула, обладающая хелатирующими свойствами, могла играть роль пребиотического агента, облегчая транспорт ионов металлов через мембраны примитивных клеток. Ключевым фактором здесь стало включение в реакцию трех молекул NH_3 , что снизило входной энергетический барьер в 9 раз, а выходной — в 2.5 раза, де-

лая процесс возможным в условиях космических льдов.

Несмотря на это, максимальные барьеры реакций (до 100 кДж/моль) требуют внешнего энергетического воздействия, например, от космического излучения. Важную роль в таких условиях играет квантовое туннелирование протонов: даже при барьерах ~150 кДж/моль константы скорости туннелирования достигают 10 c^{-1} . Это подтверждается лабораторным синтезом полуацетала (R/S)-1-метоксиэтанола во льдах ацетальдегида и метанола, где реакция шла исключительно за счет туннельного эффекта [4]. Подобные полуацетали, а также их ионные фрагменты, являются перспективными целями для обнаружения радиотелескопами в областях звездообразования. Они могут служить прекурсорами межзвездных сахаров, особенно под воздействием ионизирующего излучения ГКЛ.

Эти процессы напрямую связаны с эволюцией органики в космосе. Во время гравитационного коллапса молекулярных облаков сложные молекулы, сформированные во льдах, включаются в состав планетоидов, комет и астероидов. Анализ метеоритов, таких как Мурчисонский, подтвердил присутствие биологически значимых соединений, включая рибозу, что поддерживает гипотезу об их доставке на раннюю Землю. Например, изопрен, в отличие от изомера 1,3-пентадиена, в реакциях с 1-пропином демонстрирует выход ксилолов до 15% [2], что подчеркивает роль структурных особенностей молекул в пребиотическом синтезе (рисунок 1).

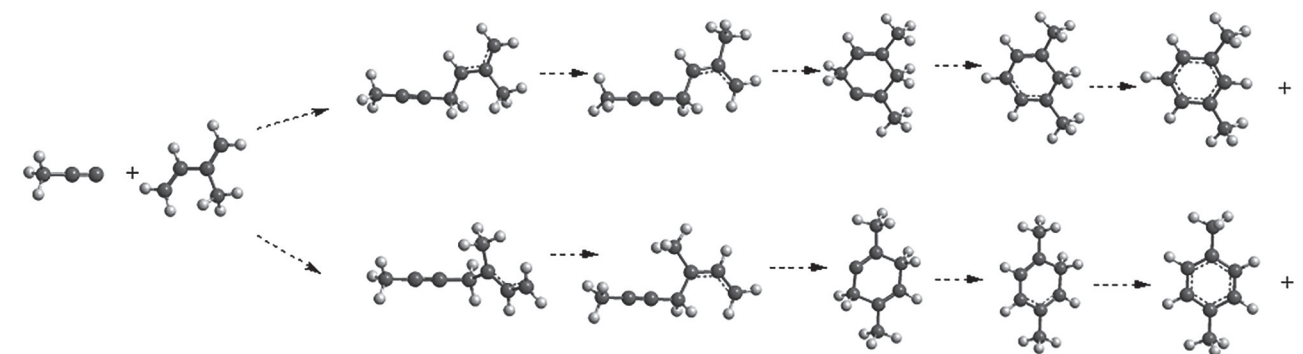


Рисунок 1. Схема формирования мета- и параксилолов в реакции изопрен+1-пропинил

Таким образом, объединение лабораторных экспериментов, квантово-химических расчетов и астрономических наблюдений формирует новую концепцию в изучении возникновения COM. Она предполагает:

1. Многостадийность синтеза: от простых льдов — к сложным молекулам через энергетическое воздействие (ГКЛ, фотохимия) и туннельные эффекты;
2. Роль катализа и среды: кислотно-основные условия и включение дополнительных реагентов (NH_3) радикально снижают энергетические барьеры;
3. Связь с астробиологией: COM, синтезированные в космосе, могли стать экзогенным источником биомолекул на Земле, дополняя аутохтонные пути.

Результаты опубликованы:

1. Methanetriol — Formation of an Impossible Molecule. / J. H. Marks, X. Bai, A. A. Nikolayev, [et al.]. // Journal of the American Chemical Society. — 2024. — Vol. 146. — Iss. 17. — P. 12174–12184. — DOI 10.1021/jacs.4c02637.
2. One Collision — Two Substituents: Gas-Phase Preparation of Xylenes under Single-Collision Conditions. / I. A. Medvedkov, A. A. Nikolayev, C. He, [et al.]. // Angewandte Chemie International Edition. — 2024. — Vol. 136. — Iss. 5. — Art. no. e202315147. — 9 pp. — DOI 10.1002/anie.202315147.
3. Quantum-tunneling-mediated synthesis of prebiotic chelation agents in interstellar analog ices. / J. H. Marks, A. A. Nikolayev, M. M. Evseev, [et al.]. // Chem. — 2023. — Vol. 9. — Iss. 11. — P. 3286–3303. — DOI 10.1016/j.chempr.2023.07.003.
4. Quantum Tunneling Mediated Low-Temperature Synthesis of Interstellar Hemiacetals. / J. Wang, A. A. Nikolayev, J. H. Marks, [et al.]. // The Journal of Physical Chemistry Letters. — 2023. — Vol. 14. — Iss. 26. — P. 6078–6085. — DOI 10.1021/acs.jpcllett.3c01144..

В номинации «Естественные науки. Студент» победителем стал

Руслан Айратович КУРАМШИН,

младший научный сотрудник
Лаборатории физико-химической
кинетики СФ за проект



Измерение констант скорости энергообменных процессов в плазме импульсно-периодического разряда в смеси Ar/He

Лазер на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой (ЛОНИГ) является перспективной лазерной системой, преобразующей излучение лазерных диодов в мощное излучение высокого качества. Для развития ЛОНИГ необходимо знать константы скорости энергообменных процессов, происходящих в смеси газов Ar/He при оптической накачке. В ходе работы создана экспериментальная установка, разработанная модель активной среды лазера и получены температурные зависимости основных констант скорости.

Метастабильные атомы тяжёлых инертных газов (Rg^*) нарабатываются в плазме тлеющего разряда, после чего осуществляется оптическая накачка из нижнего метастабильного состояния $1s_5$ (в дальнейшем используются обозначения Пашена) на уровень $2p_8$ или $2p_9$. В результате столкновений возбужденного атома Rg^* с атомом He заселяется уровень $2p_{10}$, создаётся инверсная населенность между уровнями $2p_{10}$ и $1s_5$ и происходит лазерная генерация [4, 5].

Моделирование произведено в программном пакете COMSOL Multiphysics. В модели для уровней $1s_5$ – $2p_6$ записаны уравнения баланса. Константы скорости прямых и обратных процессов связаны принципом детального равновесия.

Наработка Ar^* проводилась с помощью импульсно-периодического разряда (ИПР). Разряд зажигался между парой титановых электродов. Электроды размещались внутри трёхосевого креста. Крест представляет собой три взаимно-перпендикулярных канала, которые в экспериментах использовались для ввода лазерного излучения накачки, излучения перестраиваемого диодного лазера и подвода питания разряда.

Исследования кинетики Ar^* в смеси Ar/He проводились методом лазерно-индуцированной флуоресценции. Излучение накачки для возбуждения уровней Ar(2p) обеспечивалось перестраиваемым Ti-Sa лазером. Флуоресценция возбужденных лазером переходов регистрировалась по трем

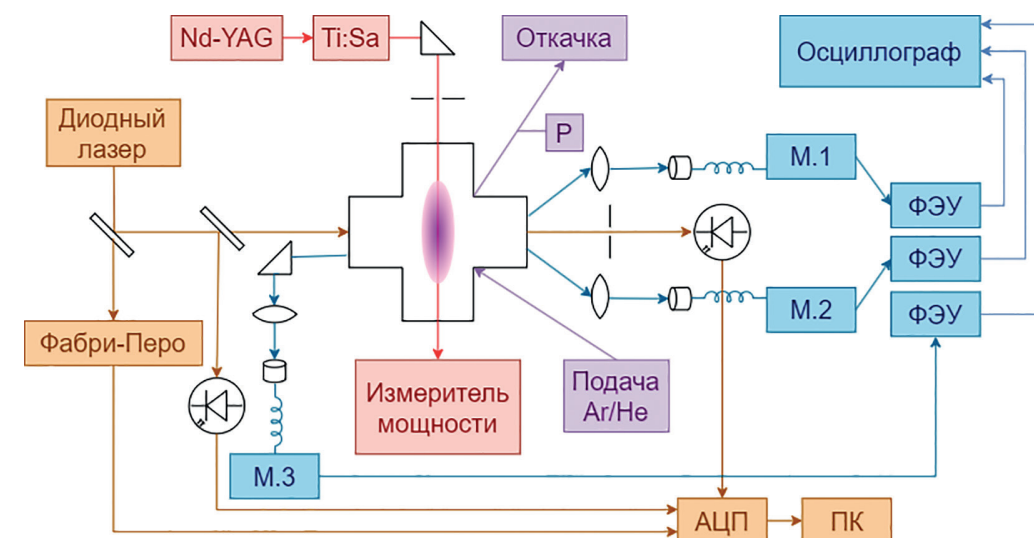


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки

каналам, состоящим из собирающих линз, оптоволоконных жгутов, монохроматоров и скоростного ФЭУ. Сигналы от ФЭУ регистрировались с помощью осциллографа.

Температура газа T и концентрация $[Ar(1s_5)]$ в плазме разряда определялись методом диодно-лазерной абсорбционной спектроскопии в схеме с опорным каналом. Наблюдаемые профили поглощения аргона аппроксимировались функцией Фойгта, позволяя определить температуру газа и концентрацию $[Ar(1s_5)]$ по уширению линии.

В первой серии экспериментов была проведена проверка возможности заселения уровней аргона, лежащих выше уровня накачки. На рисунке 2 представлены типичные временные сигналы флуоресценции метастабильного аргона, которые наглядно демонстрируют, что при накачке состояния $2p_8$ действительно происходит заселение более высоколежащих уровней аргона вплоть до $2p_9$. В более ранних работах по моделированию плазмы Ar/He считалось, что вклад уровней $2p_7$ и $2p_6$ в общую кинетику пренебрежимо мал.

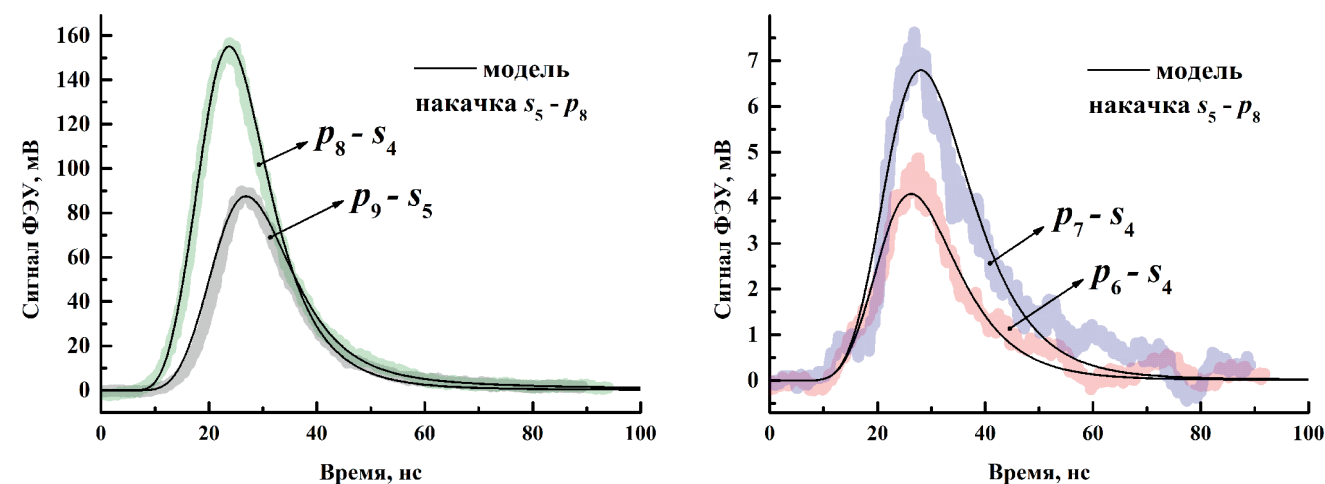


Рисунок 2. Сигналы флуоресценции на переходах между уровнями при давлении в камере $P = 300$ Торр и температуре газа в зоне разряда $T = 400 \pm 10$ К

На рисунке 3 представлены полученные температурные зависимости констант скорости столкновительного тушения состояний $2p_7$, $2p_8$ и $2p_9$ на соседний нижележащий уровень. Путем аппроксимации результатов эксперимента линейной функцией были

определены температурные зависимости в диапазоне $T = 350 - 500$ К:

$$k_{78} = (1,4 \times 10^{-11} - 2,2 \times 10^{-15} \times T) \text{ см}^3 \text{ с}^{-1},$$

$$k_{89} = (7,4 \times 10^{-11} - 2,7 \times 10^{-14} \times T) \text{ см}^3 \text{ с}^{-1},$$

$$k_{910} = (4,2 \times 10^{-13} + 4,0 \times 10^{-14} \times T) \text{ см}^3 \text{ с}^{-1}.$$

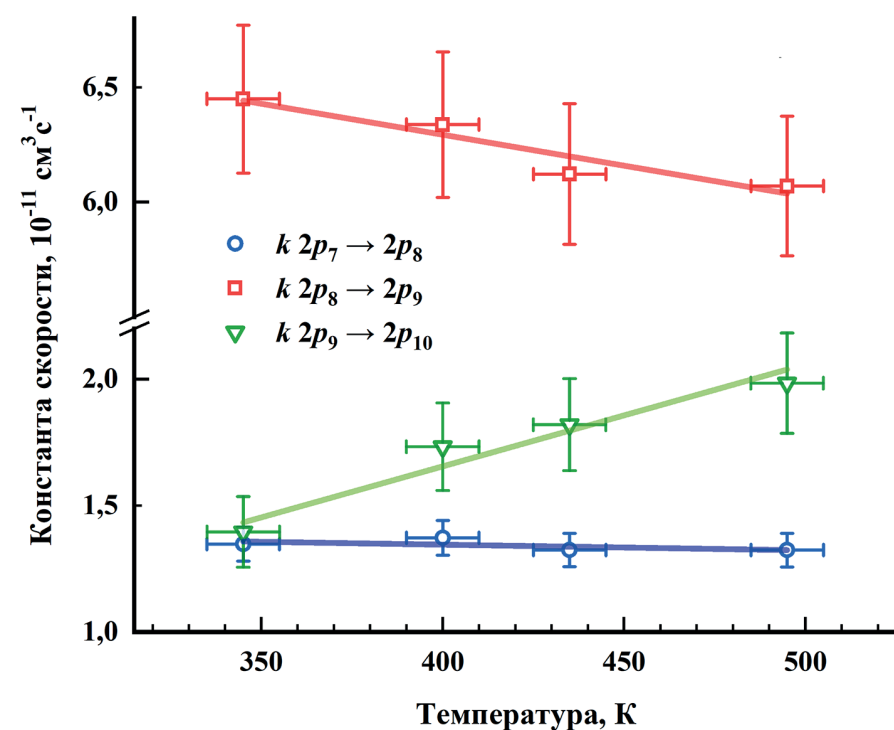


Рисунок 3. Значения констант скорости $\text{Ar}(2p_i) + \text{He}$ в зависимости от температуры газа в плазме

Результаты опубликованы:

1. Курамшин, Р.А. Экспериментальное измерение температурных зависимостей констант скорости энергообменных процессов в плазме Ar/He . / Р.А. Курамшин, А.П. Торбин, П.А. Михеев // Физическое образование в вузах. — 2024. — Т. 30. — № 1. — С. 91–94. — DOI 10.54965/16093143_2024_30_1_91.
2. Измерение констант скорости энергообменных процессов в плазме импульсно-периодического разряда в смеси Ar/He . / Р.А. Курамшин, А.П. Торбин, П.А. Михеев, [и др.] // Краткие сообщения по физике ФИАН. — 2023. — № 6. — С. 3–12. — DOI 10.3103/S1068335623060064.
3. Методика измерения констант скорости энергообменных процессов в плазме Ar/He . / Р.А. Курамшин, А.П. Торбин, П.А. Михеев, [и др.]. // Физическое образование в вузах. — 2023. — Т. 29. — № 1. — С. 107–109. — DOI 10.54965/16093143_2023_29_S1_107.

Конкурс Правительства Самарской области на назначение денежных выплат молодым ученым и конструкторам

В 2024 году победителями ежегодного конкурса Правительства Самарской области по предоставлению денежных выплат молодым ученым и конструкторам, работающим в Самарской области по приоритетным для региона направлениям развития науки, технологий и техники, стали 5 молодых сотрудников СФ ФИАН: старший научный сотрудник Лаборатории физико-химической кинетики к.ф.-м.н. Алексей ТОРБИН, научный сотрудник Лаборатории когерентной оптики, к.ф.-м.н. Дарья ПРОКОПОВА и сотрудники теоретического сектора СФ ФИАН — старший научный сотрудник к.ф.-м.н. Дмитрий РЯЩИКОВ, младший научный сотрудник к.ф.-м.н. Елизавета ЯРУНОВА и младший научный сотрудник Дарья АГАПОВА.

Алексей Торбин стал лауреатом конкурса с научным исследованием «Экспериментальное измерение температурных зависимостей констант скорости энергообменных процессов в активной среде лазера на метастабильных атомах аргона с оптической накачкой».



Работа стала логичным развитием результатов исследований, удостоенных награды в 2023 году. С использованием разработанной ранее методики, основанной на наработке метастабильных атомов аргона в плазме наносекундного импульсно-периодического разряда в смеси $\text{Ar}-\text{He}$, регистрации сигналов лазерно-индуцированной флуоресценции аргона, прямого измерения температуры газа в плазме разряда с помощью перестраиваемой диодно-лазерной спектроскопии и сравнения экспериментальных сигналов с моделью, были измерены температурные зависимости для констант скорости процессов тушения $4p$ состояний аргона в столкновениях с гелием. Ранее подобные измерения проводились без прямого измерения температуры газа в плазме разряда. Температурные зависимости имеют критически важное значение для проектирования и прогнозирования работы лазера на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой (ЛОНИГ) — перспективной лазерной системы, способной суммировать и преобразовывать излучение лазерных диодов в мощное излучение высокого качества. Полученные результаты будут использованы для построения высокоточных плазмохимических моделей ЛОНИГ.

Тема научно-исследовательской работы **Дарьи Прокоповой** «Модернизированный голографический метод для формирования структурированных световых полей». Структурированные световые поля являются чрезвычайно востребованным объектом современной оптики и фотоники, при-



чем интерес представляют как новые типы структурированных световых полей, так и уже изученные – для практических применений. Для успешного решения задачи с использованием структурированного поля его необходимо сформировать. Голографический метод хорошо зарекомендовал себя: он компактен в реализации (для формирования поля потребуется только один элемент – голограмма) и обеспечивает высокое качество сформированных световых полей. В ходе работы были исследованы вопросы повышения энергетических характеристик модифицированного голографического метода с сохранением высокого качества формируемых им полей. После оптимизации параметров голограмм возможно их изготовление в виде отдельных стационарных элементов для формирования структурированных световых полей для применения в различных системах и устройствах. Стационарные элементы могут расширить функциональные возможно-

сти оптических пинцетов или фотолитографических установок.

Работа **Дмитрия Рящикова** «Совместный вклад теплового дисбаланса и теплопроводности в гравитационную стратификацию солнечной атмосферы» посвящена исследованию механизма на-



грева солнечной короны и его влияния на гравитационную стратификацию атмосферы. Разработана математическая модель, описывающая гравитационную стратификацию солнечной атмосферы с учетом баланса нагрева, охлаждения, зависящих от плотности и температуры, и теплопроводности. Создана методика, позволяющая ввести ограничения на вид функциональной зависимости нагрева от температуры и плотности на основе высотных профилей этих параметров. Установлены функциональные зависимости нагрева, при которых указанные высотные профили могут реализовываться. Проведено сравнение с моделями, игнорирующими теплопроводность, что позволило уточнить параметры нагрева. Результаты подтверждают влияние теплопроводности на стратификацию, особенно в горячих и разреженных корональных структурах. Исследование способствует развитию моделей космической погоды и корональной сейсмологии.

В конкурсной работе **Елизаветы Яруновой** «Стабилизация излучения широкоапертурного VCSEL с помощью внешней оптической инжекции с учетом эффектов нелинейного усиления» исследована стабилизация излучения широкоапертурных лазеров с вертикальным резонатором



(VCSEL) методом внешней оптической инжекции с учетом нелинейных эффектов усиления. Численное моделирование на основе дифференциальной системы уравнений Максвелла–Блоха подтвердило, что малая амплитуда дополнительного внешнего оптического излучения эффективно подавляет модуляционные неустойчивости, обеспечивая пространственную однородность пучка. Учет квадратичной зависимости коэффициента нелинейного усиления от плотности носителей не разрушает эффект стабилизации пучка, что делает метод применимым в практических устройствах. Основное внимание уделено анализу влияния формы профиля тока накачки (кольцевой и квадратный со сглаженными краями) на пространственно-временную динамику лазера. Показано, что кольцевой профиль способствует формированию устойчивых структур (шестиугольников), тогда как квадратный ухудшает их качество из-за дифракционных эффектов. Результаты работы важны для разработки

стабильных мощных источников излучения, используемых в телекоммуникациях, сенсорных системах и других областях.

Тема работы **Дарьи Агаповой**: «Исследование дисперсионных свойств МГД-волн в плазме при наличии нагрева, зависящего от магнитного поля». Работа посвяще-



на актуальной проблеме физики Солнца – механизмам нагрева солнечной короны и распространения волновых возмущений в магнитоактивной плазме. Уникальность данной работы заключается в исследовании теоретической модели, учитывающей зависимость функции нагрева от величины магнитного поля и ее влияние на дисперсионные свойства магнитоакустических волн. В рамках исследования получено дисперсионное соотношение для магнитоакустических волн с учетом теплового дисбаланса, зависящего от магнитного поля. Полученное соотношение позволило вывести аналитические выражения как для

фазовых скоростей, так и для затухания/усиления волн, открывая возможности для анализа их поведения в зависимости от параметров плазмы и мощности магнитного поля. Численное моделирование, проведенное для условий солнечной короны, позволило установить зависимости фазовых скоростей магнитоакустических волн от степени влияния магнитного поля и опре-

делить условия, при которых происходит затухание или усиление магнитоакустических волн. Полученные результаты имеют важное значение для интерпретации данных наблюдений солнечной короны и развития более точных методов диагностики параметров плазмы, таких как температура и магнитное поле, на основе анализа волновых процессов.

Начинающий ученый ФИАН – победитель Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ студентов на соискание премии имени Михаила Горюцкого

Всероссийский конкурс научно-исследовательских работ студентов на соискание премии имени Михаила Горюцкого ежегодно проводится Российским квантовым центром, начиная с 2020 г. В конкурсе могут участвовать студенты вузов РФ, а также выпускники года проведения конкурса. Важное условие – в конкурсе принимают участие только опубликованные научные работы.

В 2024 г. одним из победителей конкурса стал младший научный сотрудник лаборатории «Оптика сложных квантовых систем» Отделения оптики ФИАН

Михаил Олегович ЯУШЕВ

за представленную работу



Загрузка магнито-оптической ловушки на узком переходе из потока холодных атомов тулия

М. О. Яушев, Д. А. Мишин, Д. О. Трегубов, Н. Н. Колачевский, А. А. Головизин

Данная работа посвящена созданию импульсного источника холодных атомов тулия и загрузке магнито-оптической ловушки (МОЛ) на узком переходе из потока холодных атомов. В работе представлен новый метод увеличения скорости захвата МОЛ с помощью использования дополнительного аксиального охлаждающего пучка, что позволило достичь 10% эффективности загрузки вторичной МОЛ в основной каме-

ре. Наш подход может быть распространен на другие атомные виды с аналогичными свойствами, такие как Sr, Yb, Dy и Er, и послужит удобной альтернативой традиционным схемам 2Д-МОЛ.

В связи с быстрым прогрессом в области атомной физики большое внимание уделяется экспериментам с лантаноидами с открытой f-оболочкой, например Er, Dy и Tm. Благодаря сложной электронной структуре, они являются интересной платформой для различных исследований, таких как создание оптических часов, проведение квантовых симуляций и исследование систем с дальнедействующим взаимодействием.

За последние 10 лет источники холодных атомов на основе двумерной магнито-оптической ловушки (2Д МОЛ) стали широко использоваться в качестве замены традиционному зеемановскому замедлителю.

Несмотря на широкое распространение установок 2Д-МОЛ для щелочных и щелочно-земельных элементов, загрузка МОЛ, работающей на узком переходе, из холодного атомного пучка для элементов с открытой f-оболочкой была продемонстрирована только для диспрозия. В данной работе

мы сообщаем о разработке импульсного источника холодных атомов тулия, который основан на формировании холодного потока атомов в первичной камере, из которого происходит загрузка МОЛ на узком переходе в основной камере (см. рисунок 1). Для повышения эффективности захвата во вторичную МОЛ мы использовали один из охлаждающих пучков первой стадии охлаждения, который проходит через обе камеры вдоль холодного атомного пучка.

Данная конфигурация позволила достичь 10% эффективности загрузки МОЛ в основной камере. При этом импульсный режим работы требует гораздо меньшей мощности лазерного излучения и позволяет обеспечить более высокую скорость загрузки по сравнению с традиционными 2Д-МОЛ системами, что может быть особенно полезно при создании транспортируемых установок для метрологических задач и квантовых вычислений.

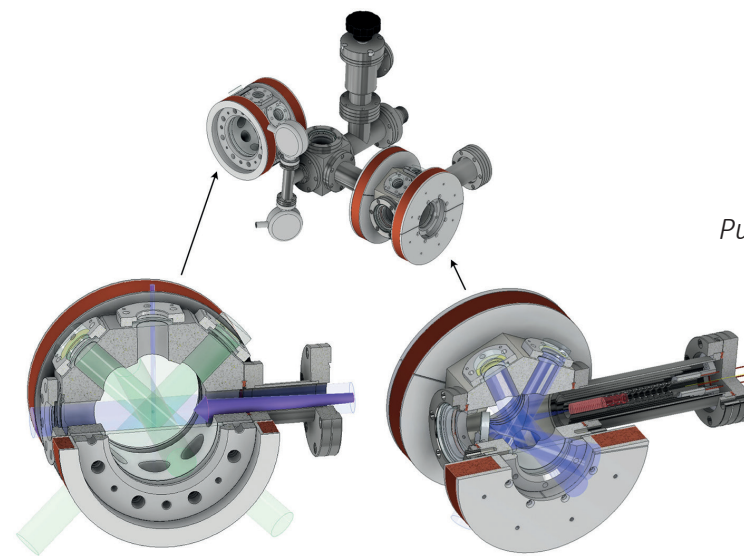


Рисунок 1. 3Д-модель вакуумной камеры

Результаты опубликованы:

1. Loading of the narrow line Tm MOT from a pulsed cold atomic beam. / M. Yaushev; D. Mishin; D. Tregubov; N. Kolachevsky; A. Golovizin. // Review of Scientific Instruments – 2025. – Vol. 96. – Iss. 3. – Art. no. 033202. – 18 pp. – DOI 10.1063/5.0252998.

Конкурс научных работ молодых ученых ФИАН

Еще одной формой поддержки молодых ученых со стороны ФИАН является организация ежегодного Конкурса научных работ молодых ученых.

В 2024 году Конкурс проводился по следующим номинациям:

- Премия имени Н. Г. Басова – за работы по направлениям «Лазерная физика», «Радиофизика», «Физика плазмы»;
- Премия имени С. И. Вавилова присуждается за работы по направлениям «Оптика» и «Атомная физика»;
- Премия имени Л. В. Келдыша – за работы по направлению «Физика конденсированных сред»;
- Премия имени П. Н. Лебедева – за работы по направлению «Техника физического эксперимента»;
- Премия имени Д. В. Скобельцына – за работы по направлениям «Физика высоких энергий», «Ядерная физика», «Астрофизика»;
- Премия имени И. Е. Тамма присуждается за работы в области общей и теоретической физики.

Согласно «Положению о Конкурсе научных работ», участие в конкурсе могут принять сотрудники, аспиранты и студенты организаций-участниц в возрасте не старше 33 лет. К рассмотрению принимаются отдельные работы или циклы оригинальных работ, существенный вклад в выполнение которых внесен конкурсантами.

При проведении Конкурса ставились следующие задачи:

1. Стимулирование творческой инициативы и научной активности молодых ученых ФИАН;
2. Ознакомление научной общественности с достижениями молодых ученых ФИАН.

Для реализации последней задачи работы-победители представляются на всероссийских конференциях молодых ученых, а в дальнейшем публикуются в сборнике, посвященном Конкурсу, и в научных журналах.

Премия имени Н. Г. Басова

Лауреат премии 2024 г.
по решению конкурсной комиссии

Елизавета Андреевна ЯРУНОВА,
младший научный сотрудник
Теоретического сектора
Самарского филиала (СФ) ФИАН

за выполнение цикла работ



Управление оптическим полем миниатюрных широкоапертурных полупроводниковых лазеров с помощью внешнего оптического излучения

Е. А. Ярунова, А. А. Кренц, Н. Е. Молевич

Представленный цикл работ посвящен изучению вопросов стабилизации оптического поля широкоапертурных полупроводниковых лазеров посредством слабого дополнительного внешнего излучения, а также разработке методов контроля и управления пространственно-временными оптическими структурами, возникающими в таких системах.

Миниатюризация оптических систем требует разработки компактных источников излучения. Для этих целей подходят VCSEL-лазеры, широко применяемые в оптоволоконной связи и сенсорах, но существуют ограничения: увеличение апертуры для повышения мощности приводит к пространственным неустойчивостям и хаотическому излучению. Позитивным аспектом в данной ситуации является возможность возникновения таких неустойчивостей, которые способствуют образованию самоорганизующихся пространственных структур (паттернов), применяемых в фотонике и нанотехнологиях. Кроме того, для практического использования компактных лазеров необходима стабилизация пучка. Существующие методы (модуляция тока накачки, изменение формы резонатора и др.) малоэффективны и доста-

точно затратны для массового производства. Предлагаемым решением является использование дополнительного слабого внешнего оптического излучения, например, от другого стабильного генерирующего лазера. Полученный результат показывает, что этот метод эффективно подавляет модуляционные неустойчивости, сохраняя преимущества широкоапертурных VCSEL, и технологически реализуем для массового производства.

В результате теоретического и численного анализа эффективной дифференциальной модели Максвелла–Блоха было обнаружено, что слабая оптическая инжекция (порядка 1% от интенсивности генерируемого излучения) может преобразовывать хаотическую нерегулярную динамику (филаментацию) в регулярные структуры – полосы и гексагоны, либо полностью стабилизировать VCSEL, соз-

давая пространственно-однородный пучок.

Исследование также учитывает влияние ширины пучка внешнего излучения на формирование стационарных структур. Численное моделирование показало, что изменение ширины пучка позволяет управлять типом структур. Например, при увеличении ширины пучка с 263 мкм до 439 мкм происходит переключение между кольцевыми (рисунок 1а) и гексагональными структурами (рисунок 1б). Также получены графические зависимости пороговой амплитуды инжекции от кривизны профиля накачки и ширины пучка, что подтверждает чувствительность стабилизации к форме профиля тока накачки.

В результате исследования получено, что учет реалистичных форм контакта тока накачки и пучка внешнего излучения не разрушает эффект стабилизации, но возникает устойчивое во времени распределение интенсивности, которое в поперечном сечении пучка близко к однородному со слабой

модуляцией (рисунок 1в).

Практическая и теоретическая ценность проведенных исследований заключается в том, что их результаты представляют интерес для применения в современных системах оптической связи и разработке разнообразных устройств типа «On-chip VCSELs», для применения в квантовых технологиях и в новых устройствах передачи обработки и хранения информации. Изучение таких оптических паттернов (рисунок 1а и 1б) помогает разрабатывать новые методы управления светом и создавать инновационные оптические устройства. Полосовые и гексагональные паттерны могут быть использованы для оптической обработки информации в реальном времени, кроме того, применяться в оптических логических элементах и нейронных сетях, где информация кодируется в виде пространственных паттернов. В лазерных системах они помогают улучшить качество излучения, управлять модами и создавать структурированные пучки.

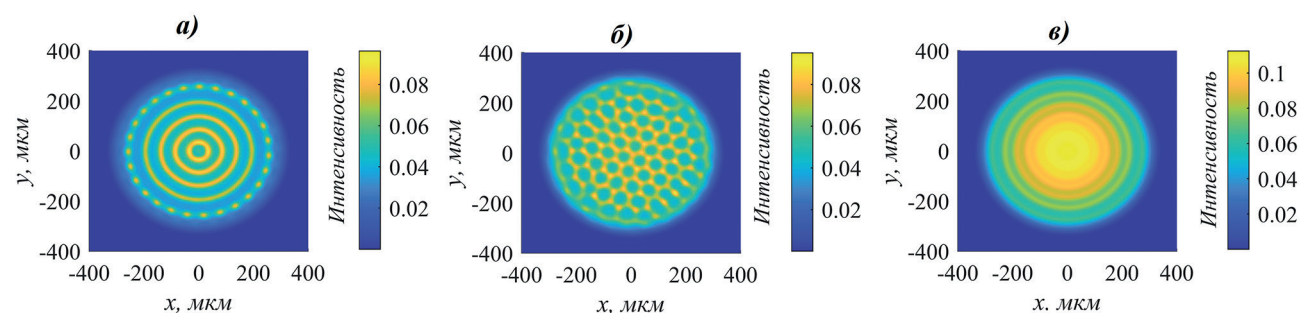


Рисунок 1. Стационарное распределение интенсивности а) в виде 5 колец при наличии внешнего оптического излучения в виде пучка Гаусса с амплитудой 0.02 шириной 263 мкм; б) в виде гексагонов при наличии внешнего оптического излучения в виде пучка Гаусса с амплитудой 0.02 и шириной 439 мкм; в) устойчивое во времени распределение интенсивности, которое в поперечном сечении близко к однородному со слабой модуляцией при наличии внешнего оптического излучения в виде пучка Гаусса с амплитудой 0.05 и шириной 263 мкм

Результаты опубликованы:

1. Ярунова, Е. А. Стабилизация излучения широкоапертурного VCSEL дополнительным внешним оптическим пучком / Е. А. Ярунова, А. А. Кренц, Н. Е. Молевич // Журнал технической физики. – 2024. – Т. 94. – №. 3. – С. 474-481. – DOI 10.61011/JTF.2024.03.57387.15-24.
2. Yarunova, E. A. Suppression of modulation instability in broad-area semiconductor lasers by injection of external optical radiation / E. A. Yarunova, A. A. Krents, N. E. Molevich // Opt. Lett. – 2023. – Vol. 48/ – Iss. 15. – P. 4021–4024. – DOI 10.1364/OL.495570.

Премия имени С. И. Вавилова

Лауреат премии 2024 г.
по решению конкурсной комиссии

Екатерина Александровна ТАРАСЕВИЧ,
младший научный сотрудник
Лаборатории теоретических методов
фотоники Троицкого обособленного
подразделения (ТОП) ФИАН.



за выполнение цикла работ

Кооперативная фотолюминесценция в спектрах пары квантовых излучателей

Созданная квантово-кинетическая теория кооперативной фотолюминесценции описывает возникновение коллективных возбужденных состояний в системе двух неидентичных квантовых излучателей в поле лазерного пучка. Созданные расчетные методы учитывают расположение квантовых излучателей относительно систем возбуждения и детектирования сигнала и обеспечивают возможность моделирования известных на сегодняшний день особенностей кооперативного свечения молекулярных пар. Созданная теория может быть использована для описания имеющихся экспериментальных данных и при планировании экспериментов.

Работа посвящена изучению кооперативной фотолюминесценции двух излучателей с диполь-дипольным взаимодействием в поле непрерывного лазерного пучка. В кооперативном ансамбле возможно формирование многочастичных возбужденных состояний. Особый интерес представляют сверх- и субизлучательные состояния, которые обладают малым и большим временами жизни, соответственно. Такие состояния могут использоваться в алгоритмах квантовых вычислений и в качестве основы устройств оптической и квантовой памяти. Новыми системами излучателей, демонстрирующими формирование коллективных возбуждений, являются примесные органические молекулы в твердотельных матрицах при криогенных температурах. В

первой части цикла работ [1] был предложен метод построения Боголюбовских цепочек для рассмотрения системы двух квантовых излучателей и квантованного электромагнитного поля. Были выведены управляющее уравнение для матрицы плотности пары излучателей и выражения для расчета спектров возбуждения и испускания фотолюминесценции, а также спектров поглощения пробного сигнала. Показано, что рассчитанные спектральные зависимости определяются значениями регулируемых внешних параметров, а также индивидуальными свойствами излучателей. Результаты расчетов согласуются с наблюдаемыми спектрами возбуждения органических молекул. Во второй части цикла работ [2] была решена задача программного символьного

ФИАН для молодёжи

ФИАН на фестивале «Громкий голос российской науки – 2024»

Время проведения – с 10 по 11 февраля 2024 г.

Место проведения – г. Москва

В Москве, в парке «Зарядье» прошел фестиваль «Громкий голос российской науки». Научно-популярный фестиваль для детей и молодежи проводится ежегодно в образовательных целях. В этом году мероприятие было приурочено к празднованию Дня российской науки и 190-летия со дня рождения Дмитрия Ивановича Менделеева. Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН также принял участие в фестивале.

Молодые научные сотрудники лаборатории «Молекулярная спектроскопия люминесцентных материалов» Отделения оптики ФИАН Владислав Коршунов, Трофим Поликовский и Алисия Цориева выступили приглашенными гостями от Российского научного фонда. На фестивале они представили стенд, на котором продемонстрировали явление люминесценции, а также набор люминофоров, которые изучают в своей лаборатории.

При помощи источника УФ-излучения ученые Физического института им. П. Н. Лебедева демонстрировали свечение порошков и растворов как в естественных условиях, так и при температуре жидкого азота. При охлаждении один люминофор меняет цвет свечения с красного на зеленый вследствие блокировки канала переноса энергии между редкоземельными ионами. Юные гости стенда ФИАН смогли собственноручно погрузить жидкие и твердые люминофоры в жидкий азот, чтобы увидеть, как меняются их яркость и цвет свечения.



Таким образом фиановцы в очередной раз наглядно показали, что занятие наукой может быть увлекательно.

ФИАН – один из организаторов V Всероссийской викторины юных физиков ОФН РАН

Время проведения – с 01 по 16 мая 2024 г.

Место проведения – г. Москва

Всероссийская викторина – традиционное весеннее мероприятие, в ходе которого учащиеся школ могли попробовать свои силы в умении находить ответы на нестандартные вопросы от ведущих учёных России.

Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук традиционно принимает активное участие в организации Викторины. Председатель оргкомитета – руководитель ТОП ФИАН, член-корреспондент РАН А. В. Наумов.

Задания Викторины формулируются в необычной форме и могут не иметь однозначного решения, поэтому от участников требуется не только логика, но и творческий подход. За проведённые эксперименты и

неординарные решения школьники могут получить 1 дополнительный балл непосредственно от авторов задач.

В 2024 г. первый открывающий тур Викторины был приурочен к 90-летию юбилею Физического института им. П. Н. Лебедева: вопрос школьникам, интересующимся физикой, задавал директор ФИАН, член Президиума РАН, член-корреспондент РАН Николай Николаевич Колачевский.

По итогам пятой викторины было получено и проверено 3233 ответа, участие приняли 785 человек из 84 населенных пунктов 25 регионов России, представивших 158 школ, из которых 21 школа – это базовые школы РАН.

Летняя практика школьников «Прометеус»

Время проведения – с 22 июля по 02 августа 2024 г.

Место проведения – ФИАН (г. Москва)

Цель практики – получение дополнительных знаний в области физики, популяризация науки и улучшение навыков работы учащихся с научными публикациями. Летняя практика 2024 была посвящена нанотехнологиям для биологии и медицины. В мероприятии приняли участие ученики 8-11 классов из Москвы, Видного, Казани, Калуги, Красногорска и Электростали.

С приветственным словом на открытии Практики выступила руководитель Лаборатории радиационной биофизики и биомедицинских технологий ФИАН И. Н. Завесовская. Она рассказала о Лаборатории, реализуемых проектах, текущих задачах и пожелала школьникам успехов в обучении.

В программу Летней практики вошли 9 лекций, которые прочитали молодые ученые и ведущие специалисты Физического института им. П. Н. Лебедева РАН, Московского государственного универ-

ситета им. М. В. Ломоносова и Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН. Лекции были посвящены базовым понятиям в области нанотехнологий и лазерного излучения, видам и свойствам ионизирующих излучений, механизмам их взаимодействия с наноматериалами, прикладному применению наноматериалов. Также организаторы провели практические занятия и консультационные встречи по подготовке проектных работ.

В ходе практических занятий и консуль-

чл.-корр. РАН Андрея Витальевича Наумова, пригласили ведущих ученых и экспертов для участия в программе. Ключевым лектором проекта выступил чл.-корр. РАН, директор ФИАН Николай Николаевич Колачевский.

Участники ТШПФ-2024 прослушали лекции Н. Н. Колачевского «Квантовые вычисления в России» и А. В. Наумова «Оптика и фотоника: что может свет». Преподаватели побывали на экскурсиях в лабораториях ТОП ФИАН, где изучили электронный синхротрон С-25Р «Пахра» (руководитель Отдела ядерных исследований ТОП ФИАН, к.ф.-м.н. Анатолий Львов), отдел Технопарк «Прецизионные оптические технологии» (к.ф.-м.н. Антон Залыгин) и ознакомились с новыми экспериментальными установками в Лаборатории квантовых излучателей (к.ф.-м.н. Максим Еремчев).

В этом году в мероприятии приняли участие учителя физики из различных регионов России (Москвы и Московской области, Приморского края и Ростовской области, Республики Мордовии, Волгоградской и Новосибирской областей, Пермского и Краснодарского краёв, Кемеровской и Омской



областей и других), представивших 31 базовую школу РАН. В организации и проведении мероприятия приняли активное участие сотрудники ФИАН и студенты Института физики, технологии и информационных систем МПГУ, которые также имели возможность посетить лекции и экскурсии по профильным учебным дисциплинам.

Школьная секция XXII Всероссийской молодежной Самарской конкурс-конференции по оптике, лазерной физике и физике плазмы

Время проведения – 10 ноября 2024 г.

Место проведения – г. Самара

В рамках ежегодной молодежной конкурс-конференции, о которой рассказывалось несколько ранее (с. 199), регулярно проводится и отдельная школьная секция, организаторами которой также выступают Самарский филиал Физического института им. П. Н. Лебедева РАН и Самарский национальный исследовательский университет им. академика С. П. Королёва.

В 2024 г. на школьную секцию конкурса было подано около 20 научных работ, 10 из которых были отобраны для представления в виде устных докладов на итоговом заседании.

Тематика представленных докладов была очень широкой: авторы показали самодельные устройства для демонстрации реактивного движения, повторили экспери-

менты Николы Теслы, доказывающие принципиальную возможность беспроводной передачи энергии, получили натуральный каучук из местных растений и исследовали его свойства, экспериментально исследовали солнечные батареи, усовершенствовали кремниевый датчик.

Оценивала доклады экспертная комиссия под председательством к.ф.-м.н., доцента Самарского университета, ст. научн. сотр. СФ ФИАН Д. И. Завершинского. В состав комиссии от СФ ФИАН также входили к.ф.-м.н., ст. научн. сотр., и.о. ученого секретаря А. М. Майорова и магистранты Самарского университета мл. научн. сотр. В. К. Урюпина и мл. научн. сотр. К. А. Целогородцев.

Победителем конкурса-конференции (школьная секция) стала Белдарова Седа, (10 кл., ГБОУ СО Гимназия № 1 (Базовая школа РАН) г.о. Самара). Работа «Захват и перемещение микрообъектов различной природы с помощью оптического пинцета»

выполнялась на базе СФ ФИАН под руководством научн. сотр., к.ф.-м.н. Прокоповой Дарьи Владимировны.

Иван Олегович Антонов (PhD, ст. научн. сотр., и. о. зав. Центром лабораторной астрофизики СФ ФИАН, доцент кафедры оптики и спектроскопии Самарского университета) прочитал для участников конференции лекцию «Акустическая левитация в физике и химии». Доступно и познавательно он рассказал об устройстве и принципе действия акустического левитатора и его применении при изучении сложных физическо-химических систем. Был продемонстрирован прототип акустического левитатора, собранного в ЦЛА СФ ФИАН. Желающие получили возможность подвесить капельки жидкости в воздухе, что вызвало эмоциональный подъем как у экспериментаторов, так и у зрителей

Победители и призеры были награждены дипломами и памятным сувенирами.



