

## Оптика и электрооптика двуосных жидких кристаллов

Е. П. Пожидаев

Физический институт им. П.Н. Лебедева, Ленинский пр., 53, 119991 Москва, Россия  
e-mail: [epozhidaev@mail.ru](mailto:epozhidaev@mail.ru)

Оптические и электрооптические эффекты, обусловленные двуосностью нематических и смектических жидких кристаллов (ЖК), рассматриваются в контексте взаимодействия двуосных сред с анизотропными пограничными поверхностями. Двуосность рассматриваемых электрооптических сред в теоретическом аспекте анализируется в рамках концепций двуосного поверхностного потенциала нематиков и ахиральных смектиков с изогнутыми молекулярными сердечниками (bent core molecules) [1] и поверхностно-стабилизированных сегнетоэлектрических жидких кристаллов (SSFLC) [2]. В докладе также анализируются экспериментальные результаты исследований двуосных жидкокристаллических сред, полученные пироэлектрическими, диэлектрическими, оптическими и электрооптическими методами.

Показано, что электрооптический отклик двуосных нематиков чувствителен к знаку приложенного электрического поля (как и электрооптический отклик сегнетоэлектрических ЖК), а время электрооптического отклика может достигать десятков микросекунд. При этом характерной особенностью двуосных нематиков в электрооптических ячейках является наличие устойчивой двухдоменной структуры, которая приводит к появлению специфических эффектов электроуправляемого светорассеяния.

Рассматривается ключевая роль двуосности сегнетоэлектрических ЖК в эффектах би- и мультистабильности состояний оптического пропускания электрооптических ячеек, а также в электроуправляемом рассеянии света. Электрооптика спиральных наноструктур сегнетоэлектрических смектиков  $C^*$  анализируется с позиций динамики электроуправляемой двуосности спиральных структур жидкокристаллических сегнетоэлектриков [3].

### Литература

1. J. E. Maclennan, N. A. Clark, and D. M. Walba, Biaxial model of the surface anchoring of bent-core smectic liquid crystals, *Phys. Rev. E* **64**, 031706 (2001).
2. A. Kaznacheev, E. Pozhidaev, V. Rudyak, A. V. Emelyanenko, and A. Khokhlov, Biaxial potential of surface-stabilized ferroelectric liquid crystals, *Phys. Rev. E* **97**, 042703 (2018).

## **Изотопически чистые примесные кристаллы как перспективные материалы для квантовой памяти**

А.А. Калачев

*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского, ФИЦ КазНЦ РАН*

В настоящее время много внимания уделяется развитию квантовых технологий. Одной из актуальных задач в этой области является разработка устройств оптической квантовой памяти, которые необходимы для реализации полномасштабных квантовых вычислений и квантовых повторителей. В качестве носителей квантовой информации наиболее перспективными материалами являются диэлектрические кристаллы, активированные редкоземельными ионами [1]. Именно в них достигаются рекордные значения времени фазовой когерентности как на оптических, так и на спиновых переходах.

В настоящем докладе обсуждаются результаты недавних теоретических и экспериментальных работ, посвящённых исследованию изотопически чистых примесных кристаллов с целью реализации в них перспективных схем квантовой памяти [2-10]. Речь идёт о кристаллах, в которых благодаря моноизотопному составу кристаллической матрицы существенно уменьшается неоднородное уширение оптических переходов (до 10 МГц), что открывает возможность реализации нерезонансных рамановских схем оптической квантовой памяти. Особое внимание уделяется результатам, связанным с анализом подходящих лямбда-схем оптических переходов, исследованием полных часовых переходов, на которых могут достигаться наибольшие времена фазовой релаксации, а также исследованием фазовой релаксации на оптических переходах при температурах ниже 1 К.

- [1] C.W. Thiel, T. Böttger, R.L. Cone // *J. Lumin.* 131, 353 (2011)
- [2] X. Zhang, A. Kalachev, O. Kocharovskaya // *Phys. Rev. A* 87, 013811 (2013)
- [3] A. Kalachev, O. Kocharovskaya // *Phys. Rev. A* 88, 033846 (2013)
- [4] X. Zhang, A. Kalachev, O. Kocharovskaya // *Phys. Rev. A* 90, 052322 (2014)
- [5] R.A. Akhmedzhanov, et al. // *Laser Physics Letters* 13, 015202 (2016)
- [6] R.A. Akhmedzhanov, et al. // *Laser Physics Letters* 13, 115203 (2016)
- [7] A. D. Bereznoi, A.A. Kalachev // *Quantum Electronics* 47, 790 (2017)
- [8] R.A. Akhmedzhanov, et al. // *arXiv: 1711.05720*
- [9] N. Kukharchyk, et al. // *New Journal of Physics*, 20, 023044 (2018)
- [10] N. Kukharchyk, et al. // *Optics Letters*, 43, 935 (2018)

## Стохастические уравнения в квантовой оптике

В.В. Сёмин

*Самарский национальный исследовательский университет имени С.П. Королева*

Стохастическое исчисление является теорией, позволяющей строго описывать случайные процессы. При этом математический аппарат, лежащий в основе теории, имеет ряд интересных особенностей, позволяющих непосредственно изучать многие физические явления, например, броуновское движение. Интересным является факт, что стохастическое исчисление естественным образом появляется во многих моделях квантовой оптики и, зачастую, дают более глубокое понимание экспериментальных данных. В частности, результаты, получаемые в некоторых квантово-оптических экспериментах, представляют типичные реализации стохастических процессов, которые легко симулировать на компьютере. С другой стороны, не вдаваясь в физическую суть вопроса, стохастическое исчисление позволяет значительно упростить изучение операторно-кинетических уравнений, сводя их к стохастическим уравнениям с более низкой размерностью. Такие переходы, носящие название распутывание (unraveling), прекрасно зарекомендовавшие себя в марковском случае, а в последнее время обобщаются и на немарковский случай, делая изучение немарковских систем более простым. Более того, стохастическое исчисление иногда позволяет продвинуться даже глубже в изучении квантово-оптических моделей, приводя к точным математическим результатам, что совсем невозможно сделать, пользуясь аппаратом операторно-кинетических уравнений. Таким образом, ясно, что изучение и понимание аппарата стохастических уравнений может быть полезно в контексте квантовой оптики. В лекции будет дан вводный обзор некоторых понятий стохастического исчисления и введено понятие стохастического уравнения Ито. Будут изложены основные формулы и теоремы стохастического исчисления. Основной упор при этом планируется сделать на методах компьютерной симуляции решения стохастических уравнений. Далее на примерах некоторых простых моделей квантовой оптики, будет продемонстрированы идеи, позволяющие переходить от операторно-кинетических уравнений к стохастическим уравнениям Ито и результаты прямого компьютерного моделирования полученных стохастических уравнений.

## Наночастицы для медицины: мифы и реальность

И.Н. Завестовская

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»*

В докладе представлен обзор существующих технологий производства наночастиц (НЧ) для биомедицинских применений и описание технологий *нанотераностики* с их использованием.

В настоящее время существует целая индустрия производства наночастиц (НЧ) различных размеров, из разных материалов, с различной структурой. Это обуславливает огромное многообразие НЧ, и как следствие многообразие их физических свойств, позволяющих использовать их в фармакологии и диагностике заболеваний.

Методы нано-биоинженерии позволяют связать квантовые точки с молекулами, распознающими и связывающими вирусы, бактерии или молекулы, появляющиеся в организме при заболевании. Таким образом, квантовые точки позволяют «увидеть» заболевание.

НЧ, обладающие биосовместимостью и биodeградированными свойствами, особенно ценны для биомедицинских применений. Перспективным является применение НЧ для адресной доставки лекарств в больные клетки. В качестве почтового контейнера используются НЧ, адресом служат специальные белковые молекулы, которые прикрепляются только к больным клеткам, а почтовым транспортом служит кровеносная система. Для более точного нацеливания магнитных частиц используют также магнитное поле. Если наноконтейнер сам не разрушается внутри клетки, то можно помочь ему ультразвуком, лазером или радиочастотным полем.

Уникальным является развиваемое в НИЯУ МИФИ совместно с Росатомом, ФМБА и НМИЦ радиологии МЗ РФ направление на основе синергии высоких бионанотехнологий и ядерной медицины - адресная доставка радионуклидов к опухоли с использованием наночастиц в качестве векторов доставки и создание на их основе РФП нового поколения. Их можно использовать как в диагностике, так и в терапии.

Использование наночастиц-нановекторов позволяет совместить во времени и пространстве на субклеточном уровне диагностику и щадящее лечение (терапию), что обеспечит прорыв в решении задач раннего выявления и своевременного лечения широкого класса злокачественных опухолей. Сочетание диагностики и терапии с использованием НЧ принято называть *нанотераностикой*.

## Флуоресцентная наноскопия квантовых точек

И.Ю. Ерёмчев

*Институт спектроскопии РАН*

Полупроводниковые коллоидные нанокристаллы (квантовые точки) являются искусственными люминофорами, спектральные свойства которых зависят от размеров кристаллов. Квантовые точки являются перспективным материалом для создания эффективных светодиодов, солнечных батарей, для использования в качестве активных лазерных сред, источников неклассического излучения, флуоресцентных маркеров. Оптическим исследованиям квантовых точек на уровне одиночных излучателей, а также в масштабе макроскопических ансамблей, посвящено большое число работ (смотрите, например, обзор [1] и ссылки там). Люминесцентная микроскопия сверхвысокого разрешения (флуоресцентная наноскопия) является набором специфических техник, позволяющих преодолевать дифракционный предел в десятки и сотни раз с использованием обычной оптической микроскопии дальнего поля и наблюдать явления, которые проявляются на нанометровой шкале (вплоть до уровня одиночных излучателей). Использование флуоресцентной наноскопии для исследования одиночных квантовых точек и их небольших кластеров открывает новые возможности для изучения процессов, отвечающих за их люминесцентные и спектральные свойства. В докладе планируется рассказать об экспериментах с использованием флуоресцентной наноскопии с пространственным разрешением в сотни раз превышающим дифракционный предел, позволяющим детектировать и исследовать перемещения центра излучения внутри одиночной квантовой точки, а также определять размеры и, в некоторых случаях, пространственное расположение излучателей в кластере, характерные размеры которого меньше длины волны флуоресценции.

[1] M. J. Fernee, P. Tamarat, B. Lounis, Spectroscopy of single nanocrystals, Chem. Soc. Rev., 43, 1311 (2014).

## **Поляризационные системы: теория и применения.**

Н.Д. Кундикова

*Южно-Уральский государственный университет, Челябинск*

*Институт электрофизики УрО РАН, Екатеринбург*

Изменение состояния поляризации при взаимодействии излучения с веществом позволяет получать информацию, как о свойствах материалов, так и процессах, в этих материалах протекающих. Задача определения состояния поляризации приводит к необходимости создания методов и устройств, позволяющих генерировать излучение с заданными поляризационными характеристиками. Наиболее распространенные поляризационные элементы, это поляризаторы и компенсаторы, среди которых следует выделить четвертьволновые и полуволновые пластинки. Эти поляризационные элементы позволяют решать большинство проблем поляризационной оптики.

Составные поляризационные системы, состоящие из нескольких двулучепреломляющих пластин, не только позволяют создать перестраиваемые по длине волны четвертьволновые и полуволновые пластинки, перестраиваемые по фазовому сдвигу компенсаторы, но и создать поляризационные устройства с новыми свойствами.

Влияние многолучевой интерференции когерентного излучения можно использовать для создания устройств, с помощью которых можно определить с большой точностью изменение длины волны излучения в заданном диапазоне длин волн.

Поляризационная система, состоящая из четырех двулучепреломляющих пластин, позволяет независимо управлять состоянием поляризации излучения, состоящего из двух лазерных пучков с разными длинами волн.

Составные поляризационные системы также позволяют определить возникновение эллиптического излучения с очень слабой эллиптичностью, практически не отличающегося от линейной поляризации или же создать линейно поляризованное излучение высокого качества.

## **Фоторефрактивные, дифракционные и термоиндуцированные эффекты в фоточувствительных и сегнетоэлектрических кристаллах и структурах: физические явления и приложения**

С.М. Шандаров<sup>1</sup>, М.Г. Кистенева<sup>1</sup>, В.В. Шепелевич<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники  
Томск 634050, Россия*

[stanislavshandarov@gmail.com](mailto:stanislavshandarov@gmail.com)

<sup>2</sup>*Мозырский государственный педагогический университет имени И.П. Шамякина  
Мозырь 247760, Беларусь*

Предметом лекции являются основные физические явления, связанные с оптической засветкой и термическим воздействием, приводящие к формированию электрического поля пространственного заряда и возмущению оптических свойств фоточувствительных и сегнетоэлектрических кристаллов, а также к взаимодействию и дифракции световых волн на фоторефрактивных голограммах и периодических доменных структурах.

Представлены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований возмущений оптических свойств фоторефрактивных кристаллов распространяющимися в них лазерными пучками и формируемыми при двухпучковом взаимодействии динамическими голограммами, а также периодическими доменными структурами в сегнетоэлектрических кристаллах, принимающие во внимание, наряду с традиционным электрооптическим вкладом, дополнительный вклад, связанный с пьезоэлектрическим и флексоэлектрическим эффектами и фотоупругостью.

Рассмотрен подход к разделению традиционного электрооптического и дополнительного флексоэлектрического вкладов в эффекты взаимодействия света на отражательных и пропускающих голограммах в кристаллах различной симметрии и его экспериментальная реализация методами голографической интерферометрии. Обсуждаются характеристики адаптивных голографических интерферометров, предназначенных для измерения спектра механических колебаний отражающих объектов и основанных на встречном и попутном вариантах взаимодействия лазерных пучков на динамических голограммах, формируемых за счет диффузионного механизма в фоточувствительных кристаллах.

Представлены результаты теоретического анализа и экспериментальных исследований фотоиндуцированного поглощения света в фоторефрактивных кристаллах типа силленитов. Анализируются различные виды линейной дифракции света на периодических доменных структурах в ниобате лития, такие как изотропная и анизотропная дифракция Брэгга, в том числе в приложенном синусоидальном электрическом поле; коллинеарное взаимодействие и дифракция со многими максимумами.

Рассмотрено формирование сильных электрических полей в образцах ниобата лития и использование для создания на их основе компактных кристаллических ускорителей для генерации электронных пучков и рентгеновского излучения, а также оптически управляемых манипуляторов микро- и наночастицами (оптических пинцетов). Представлены результаты экспериментальных исследований динамики наносекундной электронной эмиссии, сопровождающейся генерацией рентгеновского излучения, при

нагреве и охлаждении образцов Z-среза ниобата лития в диапазоне температур от 20 °С до 100 °С при давлении от 10<sup>-2</sup> Торр до атмосферного.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Госзадания на 2017-2019 годы (проекты № 3.1110.2017/4.6 и № 3.8898.2017/8.9) и РФФИ (грант 16-29-14046-офи\_м), а также Министерства образования Республики Беларусь (задание 1.2.01 Государственной программы научных исследований «Фотоника, опто- и микроэлектроника»).

### **Геометрические фазы смешанных состояний в электрооптике сегнетоэлектрических жидких кристаллов**

А.Д. Киселёв

*НИУ ИТМО*

Для общего случая неунитарной эволюции поляризационной матрицы плотности, мы определяем интерферометрическую топологическую фазу и сравниваем ее с фазой Ульмана (Uhlmann phase).

Результаты используются для интерпретации экспериментальных данных по модуляции частично поляризованного света сегнетоэлектрическими жидкими кристаллами.



## Современные методы моделирования структуры и свойств твердых тел

В.А. Блатов

*Международный научно-исследовательский центр по теоретическому материаловедению, Самарский университет, Самарский государственный технический университет*

Создание новых материалов – ключевой вопрос развития науки и технологий. Национальная программа США по созданию новых материалов Materials Genome Initiative (2011, <https://www.mgi.gov>). Основная цель программы – сокращение цикла создания нового материала с 10-12 лет до 2-3 лет за счет внедрения компьютерных технологий моделирования. Достижения и перспективы России в создании новых материалов. Лидирующая роль России в области компьютерного моделирования новых материалов с заданными свойствами. Программа ToposPro, созданная и развиваемая в Межвузовском научно-исследовательском центре теоретического материаловедения. Реализация в ToposPro новых методов исследования структуры и свойств твердых тел, позволяющих осуществлять поиск корреляций между химическим составом, структурой кристаллических веществ и их физическими свойствами с использованием всего накопленного в настоящее время экспериментального материала, хранящегося в базах данных. Объединение тополого-геометрических и различных квантово-механических методов расчета структуры и свойств материалов. Примеры решения задач по моделированию и синтезу новых типов а) ионных проводников, твердых электролитов, катодных материалов; б) оптических материалов, сенсоров, катализаторов, абсорбентов; в) молекулярных кристаллов, подложек для электроники; г) цеолитов, металло-органических каркасов; д) интерметаллидов и сплавов.

## Гиперспектральные методы

Скиданов Р.В.

*ИСОИ РАН - филиала ФНИЦ "Кристаллография и фотоника РАН"*

В настоящее время одним из важных и приоритетных направлений развития средств и методов дистанционного зондирования Земной поверхности является разработка и применение видеоспектрометров [1-6]. До появления видеоспектрометров спектры отражения и излучения поверхности Земли мало использовались в качестве идентификационных признаков, хотя изучались десятки лет и были хорошо известны. Это было связано с тем, что авиационные спектрометры имели низкое геометрическое разрешение, давали информацию только вдоль линии полета и позволяли судить о спектральных свойствах лишь достаточно протяженных объектов.

В видеоспектрометрах реализуются принципы новой научной дисциплины – изображающей спектроскопии, когда помимо геометрических используются спектральные характеристики объектов. Появление видеоспектрометров связано с развитием новых технологий: с разработкой матричных приемников, а также с появлением полихроматоров обладающих высоким спектральным разрешением. В состав видеоспектрометров входят две системы. Во-первых, оптическая система, которая делит регистрируемую область пространства на набор смежных точек и, во-вторых, изображающий спектрометр, который разлагает состав принятого электромагнитного излучения на набор ограниченных спектральных полос. В результате видеоспектральной съемки формируется многомерное пространственно-спектральное изображение, в котором каждый элементарный участок изображения, «пиксел», характеризуется собственным спектром. Такое изображение носит название «куба» информации, два измерения которого соответствуют пространственному изображению местности на плоскости, а третье – характеризует спектральные свойства изображения. Спектральное разрешение современных видеоспектрометров достигает 1,8 – 2,0 нм и обеспечивает построение спектральных характеристик подстилающей поверхности определяемой мгновенным полем зрения прибора (для авиационных видеоспектрометров около 1 мрад). Для решения конкретных задач используются гиперспектрометры различных типов – дисперсионные [1], фильтровые [6] и интерференционные. Большое количество задач может быть решено с помощью достаточно стандартных дисперсионных гиперспектрометров, В качестве диспергирующего элемента в спектрометре может использоваться как призма, так и дифракционная решетка. Изображающие спектрометры, содержащие в качестве диспергирующего элемента дифракционную решетку, как правило, основаны на конфигурации Оффнера [5] или конфигурации Дайсона. Особое значение приобретают методики определения значимых параметров поверхности Земли по спектрам малого разрешения [7-10].

1. Lee, J.H. A very compact imaging spectrometer for the micro-satellite STSAT3 / Jun Ho Lee, Kyung In Kang, Jong Ho Park // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – Vol. 32, N 14. – P. 3935-3946.
2. Mouroulis, P. Optical design of a compact imaging spectrometer for planetary mineralogy [Text] / P. Mouroulis, R.G. Sellar, D.W. Wilson. // Optical Engineering. – 2007. – V.46, N 6 – P. 063001-1-9.

3. Lobb, D.R. Imaging spectrometer. Patent No. EP 0 961 920 B1 // Pub. Date: 12.05.2004.
4. Oskotsky, M., Russo, M.J. Jr. Airborne hyperspectral imaging system. Patent No. US 7944559 B2 // Pub. Date: 17.05.2011.
5. Prieto-Blanco, X. Off-plane anastigmatic imaging in Offner spectrometers [Text] / X. Prieto-Blanco, H González-Nuñez, R. de la Fuente // J. Opt. Soc. Am. A – 2011. – V. 28 – P. 2332-2339.
6. Tennant, W.E. Graded order-sorting filter for hyperspectral imagers and methods of making the same. Patent No. US 7936528 B2 // Pub. Date: 3.05.2011.
7. H. Genc, L. Genc, H. Turhan. Vegetation indices as indicators of damage by the sunnpest (Hemiptera: Scutelleridae) to field grown wheat // African Journal of Biotechnology. – 18 January, 2008.– Vol. 7 (2).– P. 173-180.
8. Пушкин А.А., Сидельник Н.Я., Ковалевский С.В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // Труды БГТУ. 2015 № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 36–40.
9. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В., Ильючик М. А., Мельник П. Г. Спектральные индексы для оценки пожарной опасности лесов по материалам космической съемки с использованием ГИС-технологий в условиях рационального природопользования // Биоэкономика и экобиополитика. — 2016. — №1. — С. 163-170.
10. Митрофанов Е.В. Шашнев И.В. Бубненко Д.И. Применение узкоспектральных вегетационных индексов для оценки состояния лесной растительности// Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки». № 4 / 2012

## Методы детектирования глюкозы в биологических тканях

Э.А. Генина, А.Н. Башкатов, В.В. Тучин

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени  
Н.Г. Чернышевского*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

Последние достижения в области фотоники привели к возрождению интереса к оптическим методам визуализации и естественному прогрессу в направлении развития неинвазивных клинических функциональных систем визуализации. Применение оптических методов для мониторинга физиологического состояния при диагностике и лечении многих заболеваний, постоянно увеличивается благодаря их простоте, низкой себестоимости и безопасности применения. Разработка неинвазивных методов мониторинга эндогенных (метаболических) веществ в тканях человека очень важна и может сыграть ключевую роль в развитии методов эффективного лечения многих опаснейших заболеваний.

Глюкоза представляет собой моносахаридный сахар с химической формулой  $C_6H_{12}O_6$ . Это один из самых важных углеводных источников питательных веществ и является основой практически всех биологических процессов, необходимых для производства АТФ и других важных клеточных компонентов. Нормальный уровень глюкозы в крови человека составляет от 70 мг/дл до 160 мг/дл (3.9-8.9 мМ, 1 мМ = 18.0 мг/дл) в зависимости от времени последнего приема пищи, степени физической нагрузки и других факторов. Свободно циркулирующие молекулы глюкозы в потоке крови стимулируют выработку инсулина поджелудочной железой. Инсулин (пептидный гормон, состоящий из двух белков, связанных вместе) помогает молекулам глюкозы проникать в клеточную стенку, связываясь со специфическими рецепторами в клеточных мембранах, которые обычно непроницаемы для глюкозы. Диабет - это расстройство, вызванное снижением выработки инсулина или снижением способности клеток использовать инсулин. В результате высокая и потенциально опасная концентрация глюкозы может накапливаться в крови (гипергликемия). Очень важно поддерживать концентрацию глюкозы в крови в пределах нормы, чтобы предотвратить возможные тяжелые осложнения.

Важную роль в диагностике и лечении ряда метаболических заболеваний, таких как сахарный диабет, играет физиологический мониторинг глюкозы. Для мониторинга глюкозы предложено множество инвазивных и неинвазивных методов, однако проблема неинвазивного мониторинга глюкозы в приемлемой для клинического использования форме до сих пор не решена.

В докладе обсуждаются достижения и проблемы при детектировании глюкозы в биологических тканях, основанные на измерении флуоресценции, комбинационного рассеяния, ИК-спектроскопии ближнего и среднего диапазонов, оптической когерентной томографии и других.

## **Методы измерения коэффициентов диффузии лекарственных препаратов и иммерсионных жидкостей в биотканях**

А.Н. Башкатов, Э.А. Генина, В.В. Тучин

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени*

*Н.Г. Чернышевского*

*Национальный исследовательский Томский государственный университет*

Развитие методов диагностики и терапии различных заболеваний требует разработки математических моделей, описывающих транспорт лекарственных препаратов и иммерсионных агентов в биологических тканях, как при поверхностном, так и при внутритканевом их введении. И хотя диффузия многих биологически совместимых жидкостей в водных растворах достаточно хорошо описана, их диффузия в биотканях продолжает оставаться малоизученной областью исследований. В настоящее время существенный прогресс в разработке данных моделей достигнут, например, в области дерматологии, офтальмологии и других областях современной медицины. В то же время анализ литературы показывает, что разработка математических моделей, адекватно описывающих транспорт лекарственных препаратов, еще далека от завершения. Другим направлением, широко развивающимся в последнее время, является техника управления оптическими параметрами биотканей. Несмотря на многочисленные исследования, проблема измерения коэффициентов диффузии биосовместимых гиперосмотических иммерсионных жидкостей в биотканях остается недостаточно изученной до настоящего времени. Вследствие сложного многокомпонентного строения биотканей и нелинейного характера процессов диффузии измерение коэффициентов диффузии гиперосмотических жидкостей в биотканях является достаточно сложной научной задачей. Согласно существующим в настоящее время представлениям диффузия различных веществ в биотканях происходит в несколько этапов. На первом этапе происходит проникновение диффундирующих веществ в межклеточное и межфибрилярное пространство и взаимодействие их с клеточными мембранами и внутритканевым матриксом биотканей. На следующем этапе, по-видимому, имеет место трансмембранная диффузия вещества в клетки, сопровождающаяся изменением внутриклеточного осмотического давления. Нельзя исключать и возможности перестройки самих мембран, связанной с изменением свойств межклеточной жидкости. При достаточном насыщении межфибрилярного пространства соединительной ткани просветляющим веществом, очевидно будет происходить его взаимодействие с материалом фибрилл ткани. Тем не менее, использование достаточно простых оптических и диффузионных моделей позволяет решить данную проблему без значительной потери точности, причем естественный разброс оптических и структурных свойств биотканей делает подобное упрощение допустимым. Полученные в результате исследований значения коэффициентов диффузии могут быть с успехом использованы при построении математических моделей, описывающих процессы взаимодействия гиперосмотических иммерсионных жидкостей и биотканей, что, в частности, весьма актуально при исследовании процессов, связанных с чрезкожным введением лекарственных препаратов и метаболитических агентов. В настоящее время существует целый ряд биофизических методов и методик по определению коэффициентов диффузии различных веществ, но, к сожалению, только небольшая часть существующих методов может быть с успехом использована для оценки

коэффициентов диффузии в биотканях. В основном существующие методы основаны на использовании техники флуоресцентных измерений или использовании для регистрации потока диффундирующего вещества радиоактивных меток. Применение техники флуоресцентных измерений невозможно для определения коэффициентов диффузии нефлуоресцирующих веществ (например, водных растворов глюкозы или глицерина), а использование радиоактивных веществ может быть нежелательно в случае *in vivo* измерений. Кроме того, высокая чувствительность флуоресцентных и радиоактивных методов измерений делает их использование затруднительным еще и в силу естественной метаболической активности организма, что вносит дополнительные погрешности в процесс измерений. Метод, позволяющий выполнять оценку коэффициентов диффузии нефлуоресцирующих гиперосмотических иммерсионных жидкостей в биотканях, был предложен проф. В.В. Тучиным в 1997 г. и впоследствии развит. Данный метод основан на измерении временной зависимости изменения рассеивающих характеристик биотканей под действием гиперосмотических иммерсионных жидкостей и может быть с успехом использован как для *in vitro*, так и для *in vivo* измерений. В докладе обсуждаются существующие методы измерения коэффициентов диффузии лекарственных препаратов и иммерсионных жидкостей в биотканях, основанные на использовании методов флуоресцентной спектроскопии, ИК-спектроскопии ближнего и среднего диапазонов, оптической когерентной томографии и других.

### **Применение оптических методов для исследования биологических тканей при развитии сахарного диабета**

Д.К. Тучина

*Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского*

Из-за широкой распространенности и рисков развития ряда осложнений, сахарный диабет как хроническое заболевание относится к серьезным социально-экономическим проблемам современного общества. Поэтому необходим поиск новых и усовершенствование существующих способов диагностики и лечения диабета, что, в свою очередь, требует детального изучения механизмов развития заболевания, а также разработки простых и надежных методов и критериев обнаружения предвестников осложнений. Для решения этих задач используются различные оптические методы исследования изменений структурных и оптических свойств биологических тканей при развитии сахарного диабета как на *in vitro* моделях гликированных биотканей, *in vivo* экспериментальных моделях диабета у лабораторных животных, так и в клинических исследованиях.

**Динамика спонтанных переключений интенсивности флуоресценции  
кооперативного ансамбля квантовых излучателей в диэлектрической среде**

М.Г. Гладуш<sup>1,2</sup>, Н.А. Лозинг<sup>1,3</sup>, И.Ю. Еремчев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Институт спектроскопии Российской академии наук  
108840, Москва, Троицк, ул. Физическая, д.5*

<sup>2</sup>*Московский педагогический государственный университет  
119991, [Москва, ул. Малая Пироговская, д. 29](#)*

<sup>3</sup>*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
[101000, Москва, ул. Мясницкая, д. 20](#)*

e-mail: [mglad@isan.troitsk.ru](mailto:mglad@isan.troitsk.ru)

Предлагается расчетно-теоретическое описание переключений между различными режимами флуоресценции коллективного ансамбля излучателей в диэлектрической матрице. Описываемая картина переключений соответствует экспериментально наблюдаемым спонтанным переходам между одним «тусклым» и несколькими «яркими» режимами флуоресценции ансамбля центров окраски в микрокристалле алмаза в поле непрерывного лазерного излучения. Переходы характерны ярко выраженной динамикой нарастания и спада интенсивности флуоресцентного сигнала на секундном масштабе. Предложено теоретическое объяснение наблюдавшихся режимов, основанное на возможности формирования коллективного ансамбля излучающих центров внутри микрокристалла, допускающего кооперативную оптическую мультистабильность. Показано, что описывающие такую систему уравнения типа Максвелла-Блоха при наличии значительной неоднородности ансамбля и больших значениях скорости фазовой релаксации сохраняют возможность иметь несколько устойчивых стационарных решений, формирующих бистабильный оптический отклик при определённых комбинациях значений интенсивности накачки и концентрации излучателей.

## Дисперсия времен жизни возбуждённых состояний одиночных молекул террилена в органических матрицах при ультранизких температурах

А. А. Горшелев, М. Г. Гладуш, Т. А. Аникушина  
Т.В. Плахотник, А.В.Наумов

*Институт спектроскопии Российской академии наук  
Московский педагогический государственный университет*

В работе проведен анализ спектров флуоресценции одиночных молекул террилена, измеренных в прозрачных матрицах нафталина и полиэтилена при ультранизких (30 – 100 мК) температурах, когда ширины бесфонных спектральных линий определяются только временем жизни возбужденного электронного состояния  $T_1$ . В обеих примесных системах – макроскопически однородных образцах – обнаружена заметная дисперсия значений  $T_1$  для идентичных примесных одиночных молекул. Выявленная дисперсия  $T_1$  связывается с эффектами локального поля, которые приводят к зависимости  $T_1$  от эффективного значения показателя преломления матрицы  $n$ , характерного для точки локализации каждой молекулы. Показано, что для органических матриц зависимость  $T_1(n)$  объясняется удовлетворительно в рамках развитой квантово-кинетической теории с применением моделей учёта локального поля, известных как «модель виртуальной полости» и «модель замещающего излучателя». Использование данной теории при анализе дисперсии времен  $T_1$  одиночных молекул позволяет определить пространственные флуктуации значения показателя преломления  $n$  в исследуемых образцах.



## Поиск оптического перехода в ядре тория-229

Н.Н. Колачевский

*ФГБУН Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Ленинский проспект 53*

В докладе будет представлен обзор экспериментальных работ, нацеленных на поиск магнитодипольного перехода между изометрическими состояниями ядра тория-229. Уникальность этого перехода заключается в его низкой энергии, лежащей в диапазоне ближнего ультрафиолетового излучения (ориентировочно 7 эВ). Длительное время жизни возбужденного состояния, малая чувствительность к внешним полям позволяет использовать этот переход для создания высокостабильных оптических часов, источника когерентного ВУФ излучения, а также в ряде фундаментальных тестов физических теорий. Существование метастабильного изомерического состояния ядра тория-229 подтверждено в ряде исследований ученых из США и Германии, определен магнитный момент этого состояния. В настоящее время ведутся активные исследования возможности прямого возбуждения ядра тория, что позволит уточнить энергию перехода, а также его время жизни. В совместных экспериментах МИФИ-ФИАН исследуется возможность возбуждения перехода в лазерной плазме по механизму обратной электронной конверсии. Получены первые обнадеживающие результаты, указывающие на существование долгоживущих состояний, при распаде которых возникают вторичные электроны с энергиями несколько эВ [1].

[1] arXiv:1804.00299

## **Лазеры на метастабильных атомах инертных газов с оптической накачкой**

П.А. Михеев

*Самарский филиал ФИАН, Самарский университет.*

В докладе изложено современное состояние исследований нового перспективного лазера с оптической накачкой, в котором активная среда создаётся с помощью метастабильных атомов инертных газов. Кинетика таких сред аналогична кинетике лазеров на парах щелочных металлов, однако газовая среда является химически инертной. Метастабильные атомы можно нарабатывать с помощью электрического разряда. Как и в лазерах на парах щелочных металлов, константы скоростей энергообменных процессов таковы, что при атмосферном давлении удельный энергосъём лазерного излучения может составлять сотни ватт с кубического сантиметра. Длины волн лазерной генерации лежат в ближней ИК области спектра и попадают в окна прозрачности земной атмосферы. Эта новая концепция открывает возможность создания непрерывного лазера замкнутого цикла мегаваттного уровня мощности с высоким качеством излучения.

## Электрон-фононное взаимодействие в спектрах одиночных молекул в твердых матрицах

А.В. Наумов

*Институт спектроскопии Российской академии наук  
Московский педагогический государственный университет*

Одним из наиболее актуальных междисциплинарных научных направлений в последнее время стала Спектроскопия одиночных молекул (СМОМ) в конденсированных средах. Данный метод открывает возможность исследования внутренней динамики среды на микроскопическом уровне и позволяет осуществлять диагностику структуры материала со сверхвысоким пространственным разрешением.

В данной лекции обсуждается возможность экспериментальной реализации метода картирования локальных характеристик низкотемпературной колебательной динамики путем анализа температурных зависимостей спектров и изображений одиночных примесных молекул. Данный подход позволяет контролировать пространственные характеристики низкочастотных колебательных мод (НЧМ) с нанометровой точностью, в т.ч. анализировать флуктуации индивидуальных параметров НЧМ в зависимости от особенностей структуры образца. Так, анализ показал, что в примесном полимере (полиизобутилен) в ряде случаев некоторые приближения теории, удовлетворительно описывающей квадратичное электрон-фононное взаимодействие в объемном образце, оказываются неприменимыми при обсуждении данных процессов для одиночной примесной молекулы, взаимодействующей с локальным окружением в матрице.

1. Naumov A.V. // Physics Uspekhi. 2013. V.183. P.633.

## РЕЖИМЫ ФИЛАМЕНТАЦИИ МОЩНЫХ ФЕМТОСЕКУНДНЫХ ВИХРЕВЫХ ИМПУЛЬСОВ В КЕРРОВСКИХ СРЕДАХ

Г.А. Русецкий, Т.В. Смирнова\*, О.М. Федотова, О.Х. Хасанов

*ГНПО «Научно-практический центр НАНБ по материаловедению»,  
ул. П.Бровки, 19, Минск 220072, Беларусь, e-mail: <olfe@physics.by>*

*\*Международный экологический университет им. Сахарова, БГУ,  
ул. Долгобродская 23, Минск 220070, Беларусь, e-mail: <smirnova@iseu.by>*

Пространственно-временная локализация мощных фемтосекундных импульсов при их распространении в нелинейной среде, получившая название филаментации, сопровождается генерацией плазменных каналов, конической эмиссией и формированием суперконтинуума. Фундаментальным и прикладным аспектам формирования филаментов посвящен целый ряд работ, включая обзоры. При филаментации происходит выделение пространственной моды, близкой к моде Таунса, которая является стационарным решением уравнения самофокусировки пучка. Явление филаментации – формирование устойчивого динамического волновода, в котором распространяется лазерный импульс, является результатом баланса конкурирующих процессов, сопровождающих распространение: керровской самофокусировки, дифракции и дефокусировки. Дефокусирующее воздействие оказывает фотоиндуцированная плазма. Для импульсов с длительностью порядка несколько десятков фемтосекунд большое влияние на режим филаментации может оказывать дисперсия групповой скорости (ДГС), аномальный характер которой может способствовать пространственно-временной локализации излучения в форме световых пульс. Следует отметить, что формирование филаментов может происходить и при дефокусирующем воздействии керровской нелинейности высших порядков, например, пятеричной. Существуют и другие точки зрения, объясняющие филаментацию результатом конкуренции самофокусирующей нелинейности и многофотонного поглощения. Формирование протяженного узкого канала филамента с высокой концентрацией светового поля происходит благодаря окружающему резервуару. В филаменте сконцентрировано до 10% световой энергии, а 90% энергии излучения сосредоточено в периферийной области. Стабильность импульсного пучка при распространении обусловлена компенсацией потери энергии в центральном ядре из бесселеподобной структуры периферийной области.

В настоящей работе рассматриваются возможные сценарии распространения высокоинтенсивных импульсных пучков, несущих орбитальный момент, в керровских средах с нормальной и аномальной ДГС в зависимости от топологического заряда и других входных параметров падающего излучения. Учитывается также влияние керровских эффектов высших порядков. Обсуждаются условия формирования вихревых световых пульс. Проводится сравнение динамик вихревых и безвихревых световых пульс. Изучается устойчивость импульсов к азимутально-модуляционным возмущениям.