

SSN: 2782-5515



# Перст

Информационный бюллетень

перспективные технологии  
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 30, выпуск 2

февраль 2023 г.



Черноголовка

## ФОТОНИКА

### *Эндоскоп без видеокамеры: визуализация объектов на основе корреляции*

Эндоскопические методы, позволяющие заглянуть внутрь человеческого организма, произвели революцию в медицине. В начале своего пути эндоскопы представляли собой громоздкие трубки, использовавшие для освещения свечи и лампы, и говорить о неинвазивных исследованиях не приходилось. С появлением оптоволоконной и миниатюрных видеокамер эндоскопия смогла получить широкое применение. Дальнейшая миниатюризация устройств позволит расширить возможности методики. Но с уменьшением размеров объекта падает и светосила, изображение становится темным, с трудом различимым, и возможности миниатюризации камер уже практически на пределе.

Можно ли отказаться от камеры и применить иной подход для получения изображения? В недавней статье [1] исследователи из МГУ предложили методику получения изображения в волоконном эндоскопе, основанную на получении информации из рассеянного объектом оптического поля.

Схема методики представлена на рис. 1а. Объект 1 освещается излучением, исходящим из торца волоконного жгута 2. Жгут представляет собой систему одномодовых и многомодовых волокон (рис. 1б). Тонкие одномодовые волокна передают излучение подсветки, толстые многомодовые собирают рассеянный свет. Излучение, подаваемое на волокна, представляет собой последовательность фемтосекундных импульсов. С помощью пространственной модуляции добиваются хаотической пространственной структуры света, чтобы не было взаимной корреляции между волокнами (радиус корреляции меньше диаметра волокна).

Рассеянное излучение из многомодовых волокон попадает на нелинейный кристалл, выделяющий суммарную частоту, и “смешивается” с исходным сигналом, но задержанным по времени на определенную величину, задаваемую глубиной того слоя объекта, от которого должен отразиться сигнал. Построение автокорреляционной функции позволяет определить, в какой точке пространства произошло отражение на заданной глубине, а значит, меняя задержку опорного сигнала, можно восстановить трехмерную картину неоднородности, переходя от слоя к слою.

## И далее ...

### СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ

- 3 “Ферроны” – сегнетоэлектрические кузены магнетитов

### ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 5 XXIII Международная конференция по постоянным магнитам

### ТОРЖЕСТВО

- 6 ИФТТ РАН отметил 60-летний юбилей

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 7 Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, 10 – 15 сентября 2023 г., г. Махачкала, Республика Дагестан

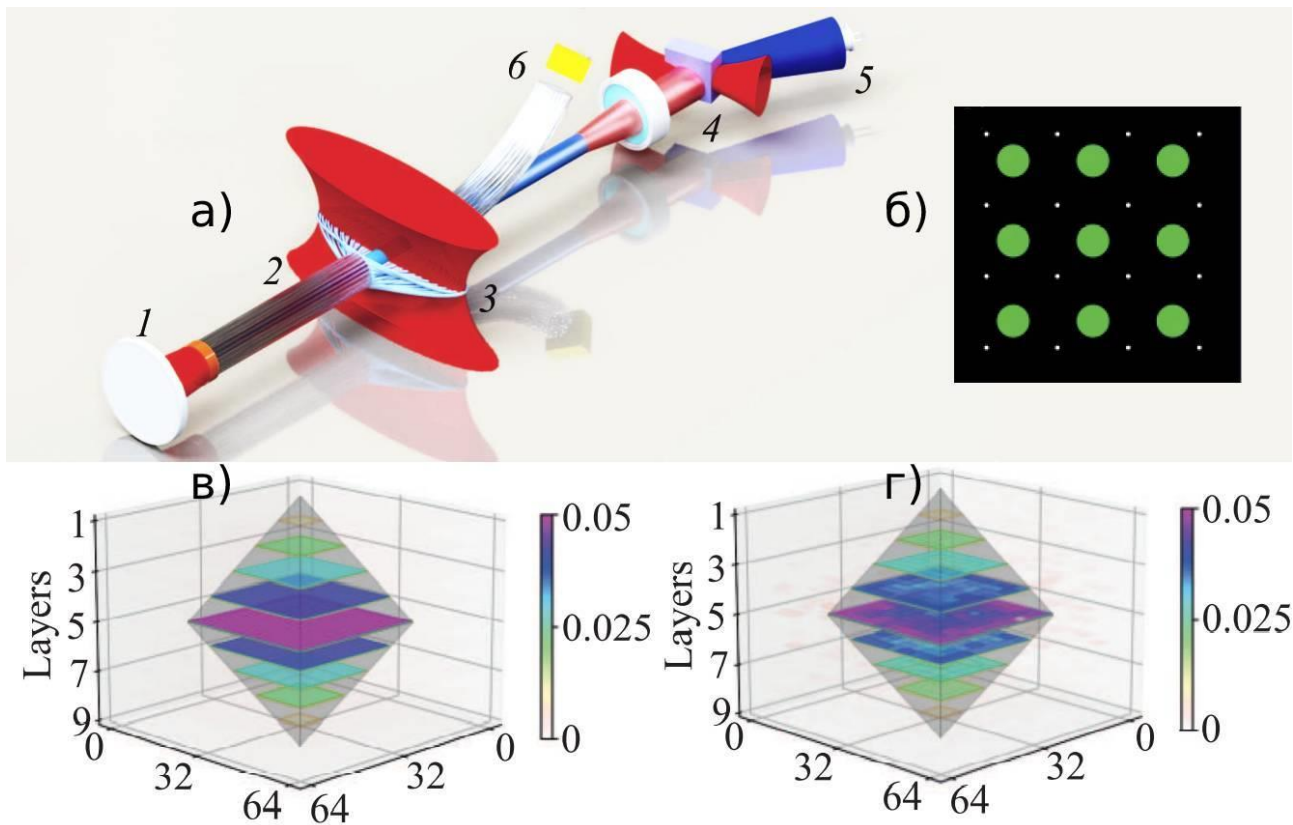


Рис. 1. **а** – Схема эндоскопа: 1 – объект, 2 – жгут волокон, 3 – линза, вводящая излучение в волокна, 4 – нелинейный кристалл, выделяющий суммарную частоту, 5 – детектор рассеянного излучения, 6 – камера, регистрирующая излучение, выходящее из одномодовых волокон; **б** – структура жгута волокон: белые точки – одномодовые волокна, зеленые круги – многомодовые; **в** – моделируемый объект – октаэдр из 9 параллельных плоскостей; **г** – результат восстановления изображения.

Авторы разработали алгоритм, позволяющий рассчитывать коэффициенты отражения на каждом слое прозрачного рассеивающего объекта с заданным разрешением, и провели численный эксперимент. В качестве тестового объекта использовали октаэдр, состоящий из 9 слоев - параллельных плоскостей с заданными коэффициентами отражения (рис. 1в). Результат восстановления изображения представлен на рисунке 1г.

Важной особенностью методики является то, что все объемные элементы можно объединить в один модуль, расположенный вне пациента, а внутрь пациента вводить только оптический зонд, толщина которого может составлять менее миллиметра, что делает эндоскопию ещё менее инвазивной. Кроме того, возможны модификации методики с применением очень малых засветок, даже в режиме счетчика фотонов, что позволяет работать с тканями, чувствительными к свету. В настоящее время методика еще не применена на практике, но, возможно, в ближайшее время трудности технического пла-

на будут преодолены, и в распоряжении врачей появится ещё один мощный и эффективный инструмент для проведения исследований.

З. Пятакова

1. В.Белинский и др., Письма в ЖЭТФ 117, 207 (2023).

## СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКИ

### “Ферроны” – сегнетоэлектрические кузены магнонов

С середины прошлого века квазичастицы стали весьма удобным способом описания процессов, в которых участвует несметное число взаимодействующих частиц. Так, в магнетизме для объяснения динамических явлений привлекают элементарные возбуждения в магнитной подсистеме – магноны. Активно развивается и специальная область электроники – магنونика. По аналогии с магнонами, ученые из Tohoku Univ. (Япония) ввели элементарные возбуждения в сегнетоэлектриках, которые они назвали ферронами, теоретически обосновав их суще-

ствование для обоих типов сегнетоэлектрического упорядочения: порядок-беспорядок и типа смещения [1]. (Авторы работы [1], по-видимому, не в курсе, что термин феррон был введён Э.Л. Нагаевым ещё в конце 60-х годов прошлого века для совершенно другого объекта – ферромагнитной капельки в антиферромагнитной матрице, который теперь чаще называется магнитным поляроном). В недавней, уже экспериментальной, статье [2] той же команды, объединившей усилия с группой из Ohio State Univ. (США), приводятся свидетельства в пользу существования ферронов в классическом сегнетоэлектрике цирконате-титанате свинца (ЦТС).

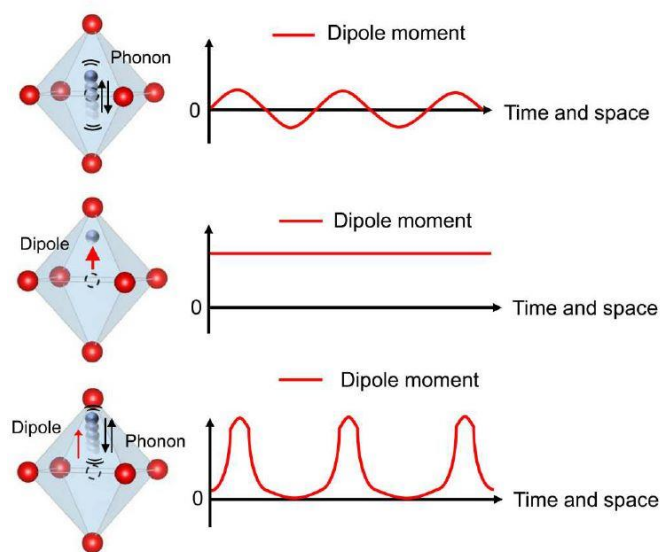


Рис. 1. Схематическое изображение сегнетоэлектрического “феррона” на примере перовскитного сегнетоэлектрика с фазовым переходом типа смещения: сверху – колебания центрального атома в октаэдрическом окружении, соответствующие оптическому фонону выше температуры Кюри; в середине – смещение положения центрального атома при сегнетоэлектрическом упорядочении ниже точки Кюри; внизу – ангармонический полярный фонон (феррон): среднее положение при нелинейных колебаниях смещается, что эквивалентно уменьшению поляризации. В иллюстративных целях ферроны показаны на примере ВаТiО<sub>3</sub>, поскольку моды в ЦТС изобразить сложнее [2].

Всякий раз, когда вводится новый термин, возникают два вопроса. Первый вопрос – не использовался ли этот термин ранее в каком-то другом значении (и здесь выбор авторов [1,2] никак нельзя назвать удачным, поскольку ферронами называют также магнитные поляроны в антиферромагнетиках). А второй, даже более важный вопрос, а так ли необходимо вводить новые сущности – принцип, известный как

“бритва Оккама”. Чем это элементарное возбуждение, как его ни называть, отличается, скажем, от полярного фонона?

Согласно самим авторам термина, феррон и есть полярный фонон, но с двумя важными оговорками: он соответствует ангармоническим колебаниям в среде с сегнетоэлектрической поляризацией. По мнению авторов термина, именно эти две особенности и требуют выделения специального класса фононов, отвечающих за перенос сегнетоэлектрической поляризации.

Действительно, ангармоничность фонона на классическом языке соответствует нелинейным колебаниям ионов и эффективному уменьшению полярных смещений за счет смещения положения равновесия с ростом амплитуды (рис. 1). Так, даже известное всем явление уменьшения поляризации с увеличением температуры, в интерпретации авторов [2], выглядит как поток ферронов, уносящих поляризацию от горячих участков тела вследствие наличия неизбежного в таких случаях градиента температур.

Второе обстоятельство, сопровождающее рождение фононов – сегнетоэлектрическая поляризация, предполагает наличие пьезоэлектрического эффекта, который и служит механизмом взаимосвязи потоков тепла и поляризации, иначе говоря, приводит к гибридации акустических фононов с оптическими.

Следовательно, для экспериментального доказательства существования сегнетоэлектрических ферронов необходимо продемонстрировать электрическое управление фононной дисперсией, а также исключить посторонние эффекты, связанные с рассеянием фононов, которое также может зависеть от электрического поля. Проведя соответствующие измерения механического резонанса и теплопроводности в образце коммерчески доступного актуатора Р5-8У на основе ЦТС, авторы [2] показали, что зависимости скорости звука и теплопроводности от электрического поля находятся в согласии с моделью, предполагающей электрическое управление дисперсией фононов. Кроме того, они исключили другие механизмы электрического влияния на теплопроводность, связанные с рассеянием фононов на структуре образца: при температурах измерений, близких к комнатной, длина свободного пробега фонона (<1 нм) намного меньше размера сегнетоэлектрических доменов (~100 нм), таким образом доменные границы не должны существенно

влиять на распространение фононов. Кроме того, “ферронный” механизм намного сильнее: рассеяние на доменных границах и на других типах фазовых границ в сегнетоэлектрике не могут объяснить экспериментально измеренную зависимость теплопроводности от электрического поля – предсказываемые значения наклона зависимости в пять раз меньше наблюдаемых.

Помимо фундаментальной значимости ферронного транспорта, он может в перспективе получить и практическое применение в качестве электрически переключаемого регулятора теплообмена, увеличивающего КПД тепловых машин. В отличие от существующих решений, предполагающих периодическое приведение в контакт рабочего тела с холодильником и нагревателем, твердотельный переключатель не подвержен механическому износу. Однако, чтобы говорить о прикладном использовании, нужно найти материалы с лучшей, чем у ЦТС теплопроводностью и более выраженным эффектом электрического поля (в ЦТС под действием поля 10 кВ/см теплопроводность увеличивалась всего на 2%). Также небезыntenесны перспективы “ферроники”, коль скоро для каждой квазичастицы в наше время полагается заводить свой раздел электроники.

*А. Пятаков*

1. *P.Tang et al., Phys. Rev. B* **106**, L081105 (2022).

2. *Wooten et al., Sci. Adv.* **9**, eadd7194 (2023).

## ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

### **XXIII Международная конференция по постоянным магнитам**

В период с 27 по 30 сентября 2022 г на базе арт-отеля “Николаевский Посад” (г. Суздаль) прошла XXIII Международная конференция по постоянным магнитам.

В конференции приняли участие представители сильнейших научных школ РФ: НИТУ “МИСиС”, НИУ “МЭИ”, МГУ, ТвГУ, УрФУ, УрО РАН, ИМЕТ РАН, УГАТУ, ЮРГПУ(НПИ), ЦНИИ КМ “Прометей” и др. Традиционно конференция является удобной площадкой для обсуждения проблем и заключения контрактов между ведущими производителями и потребителями постоянных магнитов. Прошедшая конференция также не стала исключением. На конференцию прибыли делегации и отдельные представители 20 предприятий, в том числе от ООО “Русатом МеталлТех” (Москва), Группы *Перст*, 2023, том 30, выпуск 2

компаний АМТ&С (Москва), ООО “ПОЗ-Прогресс” (Верхняя Пышма), НПО “ЭРГА” (Калуга), АО “НПП “ФАЗА” (Ростов-на-Дону), АО “Завод “Фиолент” (Симферополь), ОАО “ПЕЛЕНГ” (Минск), АО “Спецмагнит” (Москва).



На конференции обсуждали вопросы, связанные с физикой процессов перемагничивания и магнитных явлений, формирования структуры сплавов для постоянных магнитов, физическими основами технологии изготовления постоянных магнитов, проблемами физики и техники магнитных измерений, метрологии стандартизации, применения постоянных магнитов, а также с расчетами и моделированием магнитных систем.

Большой интерес вызвали доклады представителей ООО “Русатом МеталлТех” о планах по расширению производства магнитов на основе РЗМ.

Лучшие доклады среди молодых ученых были отмечены дипломами и памятным призами.

На основании общего обсуждения было принято “Решение XXIII МКПМ”, в котором отмечены достижения в области производства и исследования постоянных магнитов, сформулированы мероприятия по дальнейшему расширению производства, повышению качества и определены направления исследования материалов и совершенствования их технологий.

Оргкомитет благодарит спонсоров Конференции за оказанную финансовую поддержку.

*А. Лилеев*

## ТОРЖЕСТВО

### *ИФТТ РАН отметил 60-летний юбилей*

15 февраля 2023 года состоялись торжественные мероприятия, посвященные 60-летию Института физики твердого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук (ИФТТ РАН). По этому случаю в наукограде Черноголовка, где расположен Институт, собрались известные ученые, академики и члены-корреспонденты РАН, представители органов власти, коллеги и друзья.

ИФТТ РАН был образован в соответствии с постановлением Президиума Академии наук СССР от 15 февраля 1963 года № 159 как Институт физики твердого тела в составе Отделения физико-математических наук АН СССР. Целью организации Института являлось обеспечение оптимального сочетания фундаментальных исследований в области физики конденсированного состояния и физического материаловедения.

Решающий вклад в формирование задач и принципов организации ИФТТ РАН сделали выдающиеся ученые: академик Г.В. Курдюмов, академик Ю.А. Осипян и член-корреспондент Ч.В. Копецкий. Ю.А. Осипян был не только основателем Института, который сегодня носит его имя, но и его бессменным руководителем на протяжении почти 40 лет. Главным в работе Института на протяжении всей его истории было непрерывное развитие и поддержание творческой атмосферы в коллективе, атмосферы взаимоуважения, порядочности и научного сотрудничества, что является заслугой директоров Института.

Торжественное заседание открыл директор Института, член-корреспондент РАН Александр Алексеевич Левченко. Ученый рассказал об истории создания Института и о новых результатах, полученных его сотрудниками. История ИФТТ РАН неразрывно связана с такими именами, как П.Л. Капица, Н.Н. Семенов, И.М. Халатников, А.И. Шальников, Ю.В. Шарвин и др. Институт физики твердого тела, впитавший в себя лучшие традиции отечественной физической науки, и сегодня считается одним из крупнейших академических учреждений физического профиля в нашей стране.

Идеи основателей Института успешно развивались его сотрудниками. В ИФТТ РАН сформировались всемирно известные научные школы, созданные академиками Ю.А. Осипяном, В.Б. Тимофеевым, В.Ф. Гантмахером. Коллектив

Института постоянно пополняется молодыми кадрами из МФТИ, НИУ ВШЭ, НИТУ МИСиС, МГУ им. Ломоносова и других ведущих вузов России.

В настоящее время ИФТТ РАН – активно развивающийся академический институт, специализирующийся в области физики конденсированного состояния, физического материаловедения и высоких технологий. Методические возможности ИФТТ РАН и квалификация сотрудников позволяют проводить почти все виды исследований в области физики твердого тела на уровне мировых стандартов. Институт является признанным лидером в таких научных направлениях, как магнитооптика полупроводников, поверхностные, двумерные и мезоскопические структуры, твердооксидные топливные элементы, сверхпроводимость, аморфные, нанокристаллические и композитные материалы, жаростойкие материалы, рост кристаллов и др. Результаты фундаментальных исследований представляют интерес для микроэлектронной промышленности, предприятий приборостроения, систем безопасности, авиационной и космической отрасли, медицины и т.д.

В своем докладе А.А. Левченко рассказал о новых научных достижениях коллектива ИФТТ РАН. Сотрудниками Института экспериментально получены данные об энергетическом спектре коллективных плазменных возбуждений в двумерных электронных системах. Эти результаты важны не только для более глубокого понимания фундаментальных аспектов физики низкоразмерных структур, но и с точки зрения практического применения для создания и разработки систем терагерцовой электроники (акад. И.В. Кукушкин, д.ф.-м.н. В.М. Муравьев, к.ф.-м.н. И.В. Андреев). Членом-корреспондентом Академии криптографии С.М. Молотковым, заведующим лабораторией в ИФТТ РАН, предложены варианты релятивистских криптографических систем для обмена информацией и доказана их секретность. Разработанная в институте технология производства водорода на базе твердооксидных электролизных элементов является наиболее энергетически эффективной (д.ф.-м.н. С.И. Бредихин). Научным коллективом под руководством члена-корреспондента РАН М.И. Карпова создана новая группа жаропрочных сплавов для применения в области температур выше 1200°C. Структурно новые материалы представляют собой естественные композиты,

в которых роль матрицы выполняют твердые растворы на основе молибдена, а упрочняющих фаз – тугоплавкие карбиды. Опытные партии новых материалов изготавливают на экспериментальной технологической базе ИФТТ РАН. Разработан метод получения керамики на основе карбида кремния, которая может быть использована для создания материалов и изделий, работающих условиях высоких температур и агрессивных сред (к.т.н. С.Л. Шикун, д.т.н. В.Н. Курлов, к.т.н. И.А. Шикун).

В день празднования юбилея директор Института отметил достижения сотрудников ИФТТ РАН, вручив премию им. Ю.А. Осипьяна за выдающийся вклад в физику жидких кристаллов г.н.с. д.ф.-м.н., профессору В.К. Долганову и премию им. Г.В. Курдюмова за выдающийся вклад в металлургию тугоплавких металлов г.н.с., д.т.н., члену-корреспонденту РАН М.И. Карпову. К поздравлениям коллектива присоединились Российская академия наук и Министерство науки и высшего образования РФ: ученым вручили Почетные грамоты РАН и ведомственные награды МИНОБРНАУКИ РФ. Сотрудники ИФТТ РАН также получили почетные грамоты главы городского округа Черноголовка, грамоты от Профсоюза работников РАН и др.



А.А. Левченко вручает премию имени Ю.А. Осипьяна г.н.с., д.ф.-м.н. В.К. Долганову.

Коллектив института продолжает развивать идеи своих основателей, а гарантом их успеха выступает сочетание колоссального опыта старшего поколения с энергией и энтузиазмом молодых ученых.

*О. Камынина*

*Поздравляем коллектив со славной годовщиной! Желаем новых научных открытий, плодотворной и интересной работы!*

## КОНФЕРЕНЦИИ

*Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, 10 – 15 сентября 2023 г., г. Махачкала, Республика Дагестан*



На базе Института физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН будут проведены Международная конференция “Фазовые переходы, критические и нелинейные явления в конденсированных средах”, посвященная 300-летию Российской академии наук, и XV Международный семинар “Магнитные фазовые переходы”.

**Тематика конференции и семинара включает следующие разделы:**

1. Общие вопросы физики фазовых переходов и критических явлений
2. Моделирование фазовых переходов и критических явлений
3. Магнитные фазовые переходы
4. Критические явления в жидкостях
5. Топологические материалы, магнитотранспорт и спинтроника
6. Материалы с памятью формы, магнитокалорические материалы, мультиферроики
7. Нелинейные явления и хаос в физических системах.

В программу конференции и семинара будут включены доклады, представляющие значительный научный и практический интерес и содержащие новые, ранее не опубликованные, результаты. Принятые доклады будут опубликованы в сборнике трудов конференции. Часть докладов, отобранных оргкомитетом, будет опубликована в журнале ФТТ.

**Важные даты**

- **1-31 мая 2023** – прием докладов и регистрационных форм;
- **11-13 сентября 2023** – проведение конференции;
- **14 сентября 2023** – культурная программа.

По всем вопросам, связанным с проведением конференции, обращайтесь в оргкомитет по электронному адресу [dagphys@mail.ru](mailto:dagphys@mail.ru).

Вся информация о конференции приведена на сайте <http://dagphys.ru/conference>

**Информационный бюллетень ПерсТ  
издается информационной группой ИФТТ РАН**

Главный редактор: И.Чугуева, e-mail: [ichugueva@yandex.ru](mailto:ichugueva@yandex.ru)

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О. Камынина, А. Лилеев, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64