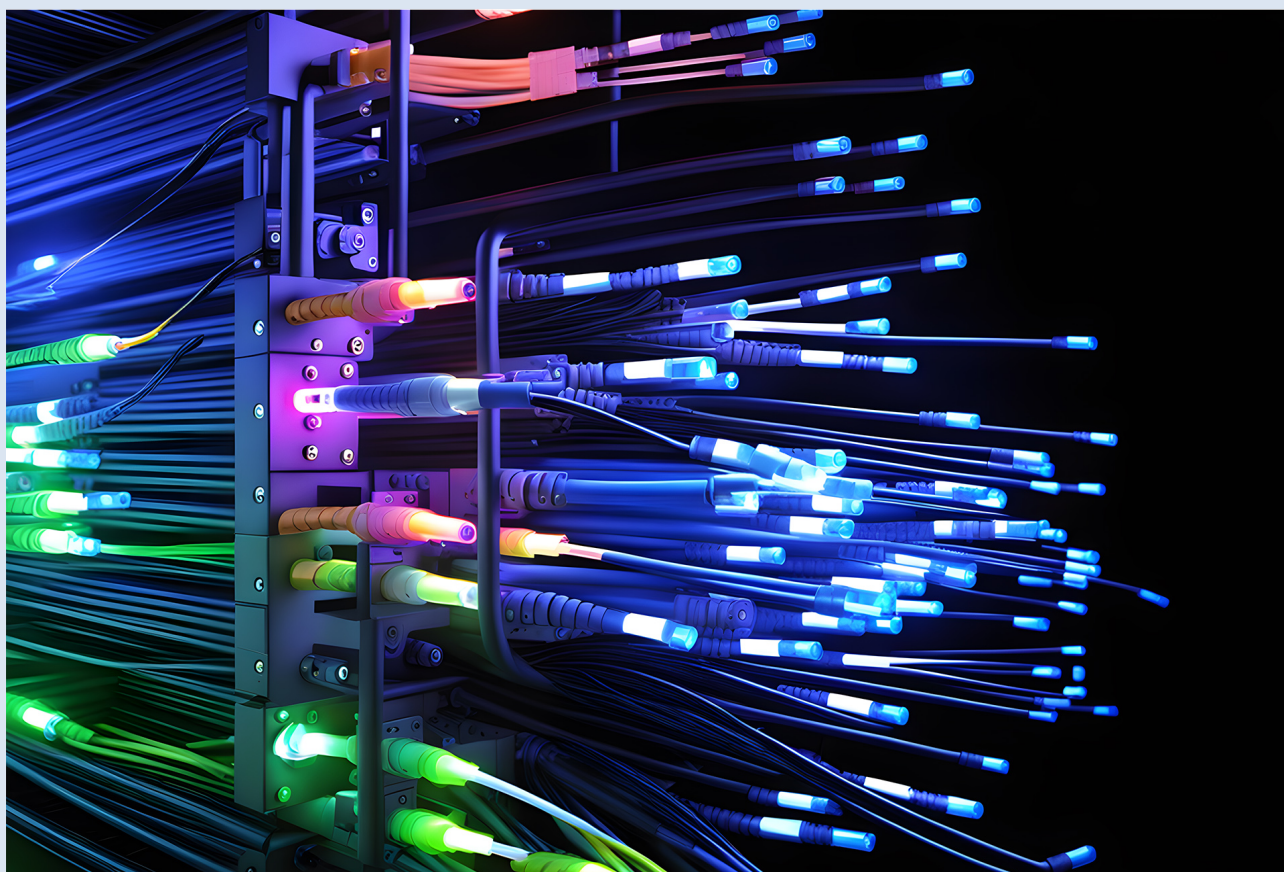


Перст

Информационный бюллетень
перспективные технологии
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 31, выпуск 5

май 2024 г.



Фотоника/<https://happy-laser.ru/wallpaper/img0012185/>

Черноголовка

Том 31, выпуск 5

май 2024 г.

В этом выпуске:

ФОТОНИКА

Терагерцовая спектроскопия без Фурье

Терагерцовая спектроскопия в последнее время развивается очень динамично, применение терагерцовых волн в исследованиях материалов только расширяется. Это связано с более высоким пространственным разрешением, чем в микроволновом диапазоне, но гораздо меньшим поглощением и рассеянием, чем в оптическом диапазоне электромагнитных волн. Стандартная схема метода терагерцовой спектроскопии временного разрешения (THz-TDS) включает в себя сравнение фурье-образов фемтосекундного импульса, разделенного на две части, одна из которых проходит через исследуемый образец, а другая через вакуум [1]. Но если исследуемой средой являются пленки или слоистые структуры, то в преобразовании Фурье появляются паразитные пики, связанные с отражением волны от границ материала или слоев внутри материала (рис. 1а), что ухудшает качество исследования.

Модификацию метода терагерцовой спектроскопии, позволяющую обойти указанные трудности, предложили исследователи из физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [2]. Она основана на том, что сравниваются не фурье-образы, а амплитуды временных зависимостей электромагнитного поля. Чтобы увидеть вклад материальных констант образца, необходим дополнительный световой импульс. Исходный луч фемтосекундного лазера делится не на две, а на три составляющие: генерирующая, детектирующая и фотоиндуцирующая. Генерирующий импульс попадает на нелинейный кристалл, где он преобразуется в терагерцовое излучение, и затем освещает исследуемый образец. Фотоиндуцирующий импульс, прошедший через пространственный модулятор, падает на исследуемый образец, формируя в его области неоднородную засветку в виде дифракционной решетки, период которой обеспечивает дифракцию терагерцового излучения. В результате взаимодействия фотоиндуцирующего импульса с образцом в тех областях материала, куда попадает засветка, изменяется концентрация свободных носителей, или возбуждаются поляритоны, и при прохождении терагерцового импульса образуется импульс-сателлит. Отношение амплитуд детектирующего импульса (не прошедшего через образец, рис. 1б, вставка) и импульса-сателлита (рис. 1б), с учетом известного периода дифракционной решетки, дает возможность определять материальные константы исследуемого образца.

И далее ...

НАНОСТРУКТУРЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 3 Наночастицы TiO_2 с добавками из сухих листьев обеспечивают самоочистку красок

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Дефектные фуллерены для хранения водорода

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

- 5 Всероссийская конференция с международным участием “Электронные, спиновые и квантовые процессы в молекулярных и кристаллических системах”

КОНФЕРЕНЦИИ

- 8 International Symposium Spin Waves (Spin Waves-2024), August 26 to 29, 2024, Saratov, Russia

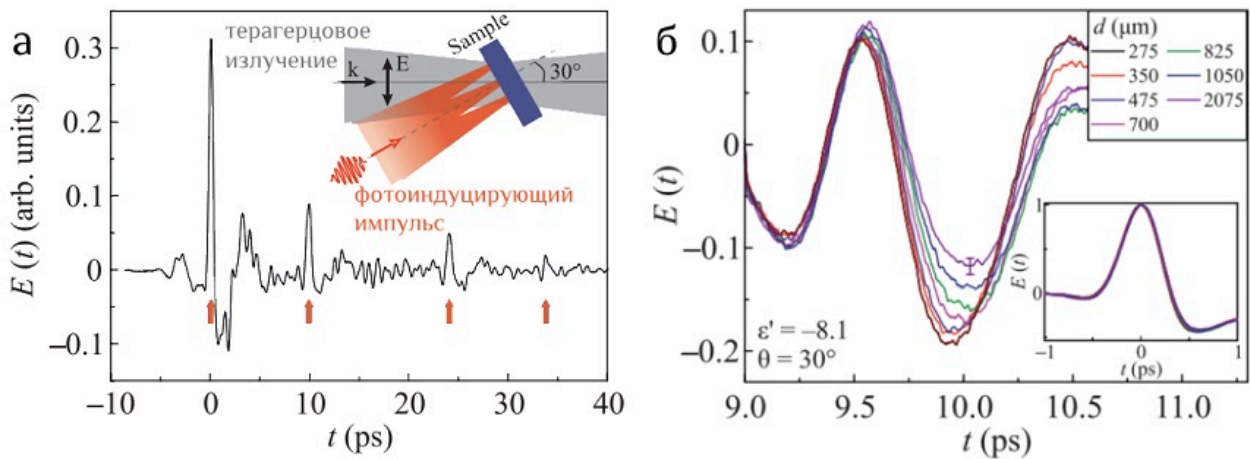


Рис. 1. а – Терагерцовый импульс, прошедший сквозь образец – пластину GaAs без фотоиндуцирующего импульса (видны пики, соответствующие отражениям от границ пластины); б – Электрическое поле импульса-спутника при различных периодах дифракционной решетки, наведенной полем фотоиндуцирующего импульса (на вставке – электрическое поле детектирующего импульса).

Таким образом, можно сказать, что дифракционная решетка, проецируемая на образец, сама дает нужное фурье-преобразование, в котором присутствуют только известные пространственные частоты, и позволяет исследовать материалы без помех, связанных с резонансными отражениями.

З. Пятакова

1. R.Peretti et al, *IEEE Trans. Terahertz Sci. Technol.* **9**, 136 (2019).
2. И.А.Новиков и др., *Письма в ЖЭТФ* **119**, 651 (2024).

НАНОСТРУКТУРЫ И НАНОТЕХНОЛОГИИ

Наночастицы TiO₂ с добавками из сухих листьев обеспечивают самоочистку красок

Фотокаталитические свойства наночастиц диоксида титана дают возможность использовать их для очистки воды и воздуха от токсичных примесей. Большой интерес также вызывает применение добавок нано-TiO₂ в краски для создания самоочищающихся покрытий внешних и внутренних поверхностей зданий. Фотокаталитические процессы обусловлены тем, что под воздействием электромагнитного излучения в объеме наночастиц образуются электрон-дырочные пары. Они перемещаются на поверхность и участвуют в окислительно-восстановительных реакциях, приводящих к разложению адсорбированных молекул многих органических соединений. К сожалению, для образования электрон-дырочных пар необходимо ультрафиолетовое излучение (ширина запрещенной зоны TiO₂ равна 3-3.2 эВ, и спектр поглощения ограничен длинами волн менее 390 нм).

Для эффективного применения фотокаталитической очистки желательно использовать солнечное излучение, т.е. расширить спектр поглощения наночастиц TiO₂ в видимую область. Один из возможных вариантов решения этой проблемы заключается в уменьшении ширины запрещенной зоны путем модифицирования гетероатомами (Pt, Ag, B, C, N и др.), однако предлагаемые до сих пор методы дорогие, не экологичные и довольно сложные. В качестве прекурсоров обычно используют соли металлов. Исследователи из Univ. Politecnica delle March (Италия) и Tech. Univ. Wien (Австрия) недавно разработали оригинальный способ создания наночастиц диоксида титана с добавками фосфора, азота и углерода (PNC-TiO₂) из дешевых органических и металлических отходов [1]. Добавление таких наночастиц в обычные краски не только обеспечивает самоочистку под действием солнечного света, но и приводит практически к полной ликвидации загрязняющих токсичных примесей. Заметим, что применение немодифицированных наночастиц диоксида титана вызывает деградацию полимерных красок и полимера и выделение вредных летучих органических соединений.

Авторы [1] синтезировали PNC-TiO₂ из титановой стружки и опавших листьев оливы (использовали химическую реакцию между экстрактом из сухих листьев и фосфатом титана, полученным из титановой стружки). Прокаливание наночастиц проводили при температурах 300, 500 и 700°C (наночастицы T3, T5 и T7, соответственно). Характеристики наночастиц PNC-TiO₂ изучили с помощью фотоэлектронной спектроскопии, рамановской спектроско-

пии, микроскопии, дифракции, ИК-Фурье микроспектроскопии, а также фотолюминесцентной спектроскопии.

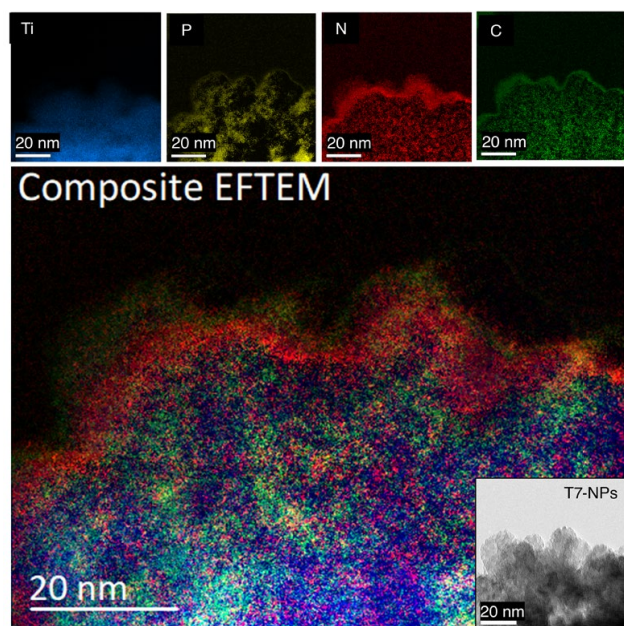


Рис. 1. Анализ EFTEM образца наночастиц Т7.

Результаты анализа Т7, проведенного с помощью просвечивающей электронной микроскопии с энергетическим фильтром (EFTEM) представлены на рис. 1.

Ширина запрещенной зоны синтезированных наночастиц уменьшилась (для образца с оптимальным составом Т7 до 2,86 эВ). Рекомбинация электрон-дырочных пар заметно снизилась по сравнению с коммерческими наночастицами диоксида титана P25 (для Т7 в 7.3 раза). Это существенно для обеспечения высокой эффективности фотокаталитических процессов. Наночастицы PNC-TiO₂ и P25 (2.5 вес. %) добавляли в краску на водной основе. Для сравнения также использовали коммерческую фотокаталитическую краску SOL-65. Краску наносили на деревянные подложки размером 5×5 см, а затем поверхность специально загрязняли раствором органического метилового фиолетового красителя (метилвиолета), чтобы проверить обесцвечивание, то есть фотокаталитическую очистку, под действием естественного солнечного излучения.

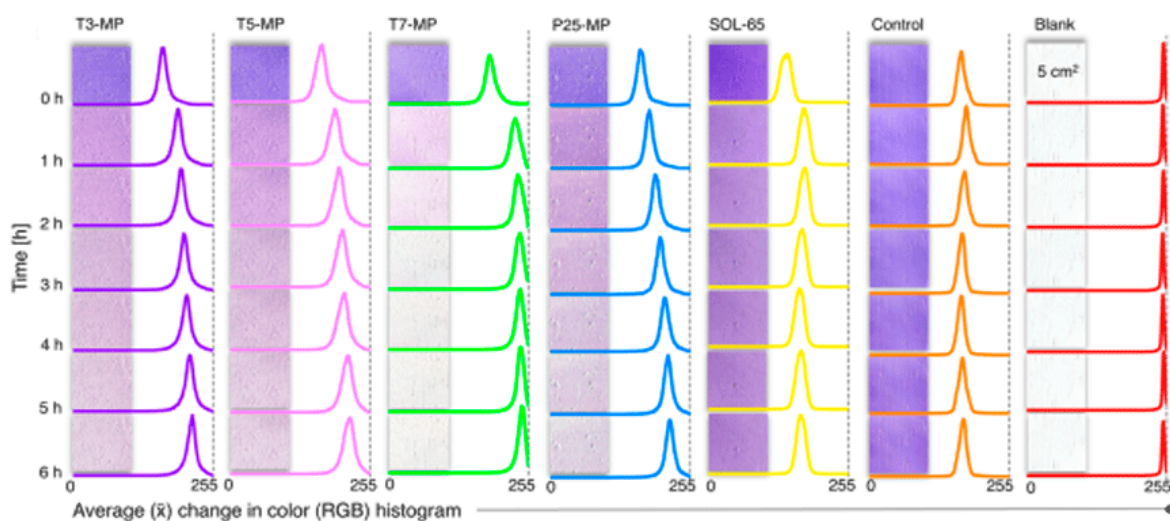


Рис. 2. Фотокаталитическая очистка (степень обесцвечивания) красок, загрязненных метилвиолетом как среднее изменение цветовой (RGB) гистограммы в течение 6 часов. Control – образец без воздействия солнечного излучения, Blank – образец без обработки метилвиолетом. (RGB определяет каждый цвет как комбинацию Red, Green и Blue цветов; значение 0 соответствует чёрному цвету, 255 – белому).

На рис. 2 показано изменение интенсивности цвета окрашенной поверхности в течение 6 часов. Степень удаления вредного красителя для краски с добавками Т3 и Т5 достигала 79% через 3 часа и 85% за 6 часов. Для P25 максимальное удаление красителя (85%) происходило через 6 часов, а для SOL-65 удаление достигало 67% через час но после этого фотокатализ прекратился. Наилучшие результаты у Т7 – удаление 93% в первые 3 часа и 96% через

6 часов. Краски, модифицированные добавками PNC-TiO₂, стабильны, их свойства по данным ИК-Фурье микроспектроскопии не изменялись. В повторных циклах солнечного воздействия фотокаталитическая активность модифицированных красок не изменялась, в отличие от краски SOL-65.

Результаты исследований [1] показали, что из дешевых металлических и органических отходов (титановой стружки и опавших листьев

оливы) возможно создание фотокаталитических наночастиц TiO_2 с добавками P, N и S. Оптимальный состав обеспечивает уменьшение ширины запрещенной зоны и существенное снижение рекомбинации электрон-дырочных пар. Добавление синтезированных наночастиц в обычные краски приводит не только к самоочистке окрашенных поверхностей под действием солнечного света, но и к практически полной ликвидации загрязняющих токсичных примесей (до 96%). Краски, модифицированные добавками, стабильны, их состав не меняется. Исследователи рассчитывают, что полученные ими результаты могут стать основой коммерческих применений.

О. Алексеева

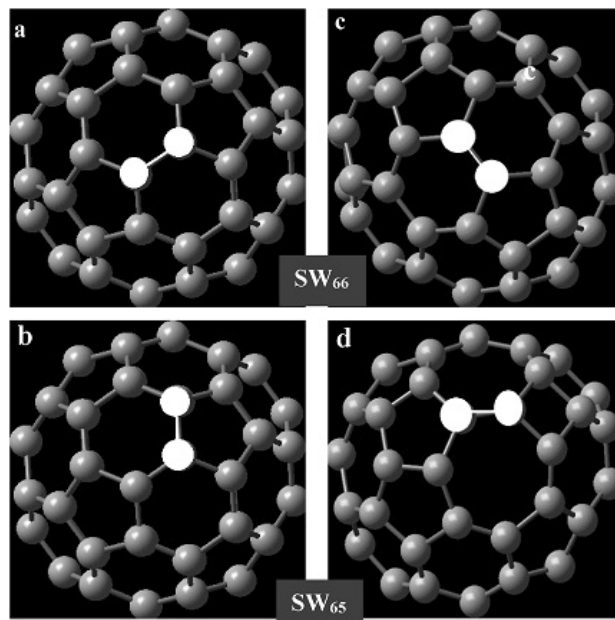
1. Q. Maqbool et al., *ACS Catal.* **14**, 4820 (2024).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Дефектные фуллерены для хранения водорода

Водородная энергетика обоснованно считается перспективным источником энергии. Это экологически чистое и возобновляемое топливо. В работе [1] исследователи из Jazan Univ. (Саудовская Аравия) предлагают в качестве элементов хранения и транспортировки водорода использовать фуллерены C_{60} , но не “идеальные”, подчиняющиеся правилу изолированных пятиугольников, а содержащие дефект Стоуна-Уэльса (SW). Напомним, что он представляет собой дефект в углеродных наноструктурах, образующийся при повороте одной связи C–C относительно ее центра на угол 90° . Исследователи обнаружили, что присутствие такого дефекта способно увеличить весовой процент накопления водорода до 5.3%, что в целом соответствует критериям, устанавливаемым Министерством энергетики США (DOE). Их выводы основываются на результатах компьютерного моделирования с использованием теории функционала плотности (DFT). Авторы использовали реализацию DFT в программном пакете G09W с гибридным обменно-корреляционным функционалом B3LYP и поплоским базисным набором 6-31+g(d,2p). Слабое ван-дер-ваальсово взаимодействие учитывалось с помощью дисперсионной поправки wb97xd. Исследователи рассмотрели C_{60} -SW двух типов (см. рис.): образованные поворотом связи C–C на 90° между двумя гексагональными кольцами (SW_{66}) и между шести- и пяти-

членным кольцами (SW_{65}). Расчет энергетических характеристик показал, что фуллерен C_{60} -SW₆₆ гораздо устойчивее, чем C_{60} -SW₆₅, поэтому, по мнению авторов, максимального гидрирования можно достичь именно на дефектном фуллереновом каркасе SW₆₆. По их оценкам он способен вместить до сорока атомов водорода, сохраняя свою целостность.



Образование дефектов Стоуна-Уэльса C_{60} -SW₆₆ (a, c) и C_{60} -SW₆₅ (b, d) при повороте межузловой ковалентной связи. Соответствующая ковалентная связь выделена на рисунке.

Таким образом, максимальный массовый процент эндодрального гидрирования фуллерена C_{60} -SW₆₆ составит 5.3%, что близко к установленной DOE целевой величине по запасанию водорода для коммерческого использования в 5.5% к 2025 году. В результате авторы успешно продемонстрировали, что дефекты Стоуна-Уэльса способны превратить фуллерены C_{60} в новый многообещающий наноматериал для эффективной и экологичной энергетики будущего.

М. Маслов

1. A.A.EL-Barbary, A.H. Shabi, *Int. J. Hydrog. Energy* **71**, 155 (2024).

ВЕСТИ С КОНФЕРЕНЦИЙ

Всероссийская конференция с международным участием “Электронные, спиновые и квантовые процессы в молекулярных и кристаллических системах”

С 21 по 24 мая 2024 года в Уфе в Институте физики молекул и кристаллов Уфимского Федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИФМК УФИЦ РАН) про-

шла Всероссийская конференция с международным участием “Электронные, спиновые и квантовые процессы в молекулярных и кристаллических системах”, посвященная 300-летию Российской академии наук, 105-летию со дня основания Уфимского физического института и 30-летию ИФМК УФИЦ РАН.

Уфа известна в России и за рубежом своими научными школами по масс-спектрометрии отрицательных ионов и физике магнитных доменных структур, которые были основаны в 50-60-х годах XX века профессором Виктором Ивановичем Хвостенко и профессором Миркаширом Миннигалиевичем Фарздиновым. Эти направления продолжают активно развиваться в ИФМК УФИЦ РАН и в настоящее время. Раз в 5 лет ИФМК УФИЦ РАН проводит тематическую конференцию, организатором которой также выступает Отделение физических наук РАН, при участии профильных институтов УФИЦ РАН и ведущих ВУЗов республики.



Рис. 1. **а** – Выступление академика РАН К.М. Салихова на открытии конференции; **б** – обсуждение доклада “Новые научные инструменты для наномасштабных исследований современных материалов и диагностики наноструктур”, представленного спонсором конференции – компанией “Активная фотоника”.

Научную программу конференции открыл пленарный доклад академика РАН Кева Минулловича Салихова (Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского), посвященный развитию спиновой химии, теоретические основы которой были разработаны автором доклада. Тематика конференции охватывала широкий круг вопросов, посвященных электрон-стимулированным процессам в молекулярных системах; магнетизму и спинтронике; перспективным органическим и наноструктурным материалам; жидким кристаллам, математическим и квантово-химическим методам в физике. Лекции прочитали ведущие ученые России, Италии, Нидерландов, США, Словакии, Узбекистана и Белоруссии. Алексей Кимель (Университет Неймегена, Нидерланды) рассказал о проблемах сверхбыстрого магнетизма в антиферромагнетиках; доклад об основных направлениях развития спинтроники сделал Константин Звездин из РКЦ Сколково. Анатолий Константинович Звездин (Институт общей физики РАН, Москва) в своем выступлении фокусировался на ультрасильных магнитных полях, а Александр Пятаков (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) – на магнитоэлектрических эффектах в ван-дер-ваальсовых материалах. Современные проблемы электронной спектроскопии и актуальные направления исследований топологических изоляторов обсуждались в докладах Алексея Комолова и Александра Шикина (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург); из доклада Ивана Пшеничнюка (Сколковский институт науки и технологий, Сколково) участники конференции узнали о машинах Изинга и использовании оптических нейронов в фотонных чипах. О мультищелочных источниках и полупроводниковых детекторах спинполяризованных электронов в приложении к задачам метода спектроскопии диссоциативного захвата электронов рассказал Олег Терещенко (Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Новосибирск). Исследования фотоиндуцированных радикальных реакций в растворах методом химической поляризации ядер рассматривались в докладе Николая Полякова (Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск). Синтезу полифункциональных материалов с заданными электронными свойствами был посвящен доклад Алексея Горюнова (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва). Фотовозбуждение октупольных молекул, связан-

ное с внутримолекулярным переносом заряда, являлось основной темой доклада Анатолия Иванова (Волгоградский государственный университет, Волгоград). Актуальные вопросы квантовой химии были представлены в докладе Роберта Эварестова (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург).

Доклады по истории развития экспериментальных методов химической физики были представлены Евгением Николаевичем Николаевым (Институт энергетических проблем химической физики им. В.Л. Тальрозе РАН, Москва) и Юрием Владимировичем Чижовым (Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург). Современные достижения учёных ближнего зарубежья в области физических наук были освещены в докладах

Александра Васильевича Кухто (Институт ядерных проблем, Белорусский государственный университет, Минск, Белоруссия) и Уткиржона Баходировича Шаропова (Физико-технический институт АНРУз, Ташкент, Узбекистан). В обзорных докладах зарубежных учёных – И.И. Фабриканта (Университет Небраски, Линкольн, США), Ю.В. Васильева (Корвалис, США), А. Моделли (Болонский университет, Италия) – были резюмированы результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований по тематике резонансного рассеяния электронов изолированными молекулами в газовой фазе. Выступления ведущих ученых чередовались с докладами молодых исследователей, аспирантов и студентов, представленных на устных и стендовых секциях.



а



б

Рис. 2. Экспонаты коллекции “Сарматское золото” музея Института этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева УФИЦ РАН: а – золотые олени, б – первый “термос” из золота (IV в. до н.э.).

Культурная программа конференции включала в себя посещение Южно-Уральского ботанического сада-института УФИЦ РАН и музея Института этнологических исследований им. Р.Г. Кузеева УФИЦ РАН (осмотр экспозиции “Сарматское золото”), а также – обзорную экскурсию по городу с посещением самых знаковых мест Уфы. Активному обсуждению представленных результатов и новых идей, подготовке новых совместных проектов способствовала дружеская, творческая атмосфера, сложившаяся на конференции благодаря сплоченной работе организационного комитета.

*Н. Асфандиаров,
З. Гареева,
С. Пшеничнюк*

КОНФЕРЕНЦИИ

*International Symposium
Spin Waves (Spin Waves-
2024), August 26 to 29,
2024, Saratov, Russia*



В период с 26 по 29 августа в Саратовском государственном университете под председательством академика РАН С.А. Никитова и чл.-корр. РАН А.И. Смирнова планируется проведение Международного симпозиума по спиновым волнам (Spin Waves - 2024). Международный симпозиум "Spin Waves" был организован Р.В. Писаревым с сотрудниками в 2007 году и является продолжением проводившегося на протяжении более 50 лет в ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН семинара "Спиновые волны", возглавлявшегося А.Г. Гуревичем. Работа симпозиума направлена на обсуждение актуальных фундаментальных и прикладных исследований, а также новых тенденций в магнетизме с особым акцентом на динамику спиновых волн. К участию в конференции подано более 90 заявок, 17 приглашенных докладов по следующим основным направлениям:

- Распространение спиновых волн
- Спинтроника и магноника
- Сверхбыстрая магнитная динамика
- Антиферромагнетики и экзотические спиновые структуры
- Терагерцовая спектроскопия спиновых возбуждений
- Низкоразмерные и фрустрированные магнетики
- Магнитофотоника, плазмоника и фофоника
- Магнитные топологические структуры

Организаторами выступают Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Саратовский государственный университет, Научный совет Российской академии наук по физике конденсированного состояния вещества (секция "Магнетизм")

Е-mail: spinwaves2024@gmail.com

Сайт: <https://spinwaves.sgu.ru/>

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

Главный редактор: И. Чугуева, e-mail: ichugueva@yandex.ru

Научные редакторы К. Кугель, Ю. Метлин

В подготовке выпуска принимали участие: О. Алексеева, Н. Асфандиаров, З. Гареева,

М. Маслов, С. Пшеничнюк, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова