

ISSN: 2782-5515

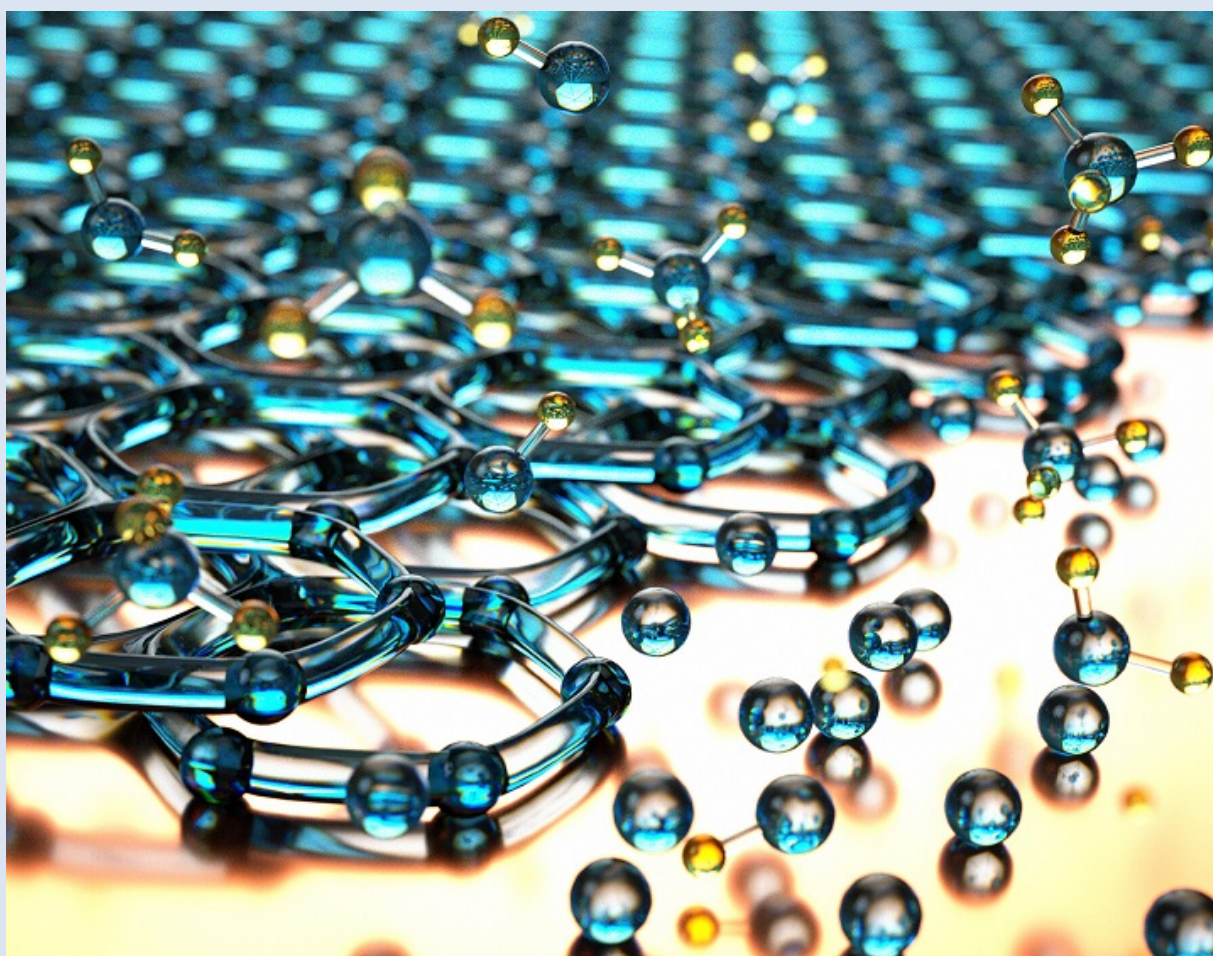


# Перст

Информационный бюллетень  
перспективные технологии  
наноструктуры сверхпроводники фуллерены

Том 32, выпуск 5

май 2025 г.



<https://uchebnik.mos.ru/material/c59516d2-3814-477b-86a9-eff674044320>

Черноголовка

Том 32, выпуск 5

май 2025 г.

В этом выпуске:

**НАНОМАТЕРИАЛЫ****Биогенный нанокompозит из кости каракатицы  
для восстановления костной ткани**

Гидроксиапатит, минерал  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , является основной минеральной частью костной ткани и зубов. Его синтетический аналог используют в медицине для восстановления поврежденной кости и покрытия имплантатов, а также в зубной пасте, солнцезащитных средствах, косметике. Разработаны различные методы синтеза, но все они довольно сложные, дорогие и, что немаловажно, приводят к загрязнению окружающей среды. Большой интерес у исследователей разных стран вызывает биогенный\* (*bios* – жизнь, *genēs* – рождённый, т.е. происходящий от живого организма) гидроксипапатит. В качестве источника кальция для него предлагают использовать биологические отходы – кости коров и свиней, рыбью чешую и кости, ракушки и др. Работы по созданию и производству (пока небольшими партиями) биогенного гидроксипапатита активно ведут и в России [1]. Его применение в биомедицине имеет ряд преимуществ – отличная биосовместимость, хорошие механические свойства, отсутствие токсичности для клеток организма. Он не приводит к отторжению, активирует образование новой костной ткани, регулирует обмен кальция и фосфора в организме, не вызывает отдаленных побочных реакций.



Каракатица (вверху)  
и её “кость” (внизу)

Недавно ученые из Индии и Республики Корея предложили для получения биогенного гидроксипапатита с нужной микроструктурой и пористостью использовать каракатицу [2]. У этого моллюска из класса головоногих есть уникальная кость, а точнее, внутренняя раковина в виде широкой пластины (на фото показана каракатица и её кость). Кость каракатицы пористая и состоит в основном из арагонита (одного из полиморфов  $\text{CaCO}_3$ ). Авторы [2] добавили измельченные кусочки слоистой части кости в раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$  и провели гидротермальный синтез смеси в течение 48 часов при  $180^\circ\text{C}$ , а также последующий отжиг при  $1200^\circ\text{C}$ .

И далее ...

**СПИНТРОНИКА**

- 4 Невзаимный электронный транспорт и конические спиновые структуры

**ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА**

- 4 Цветы из сыра: неоднородная пластическая деформация

**КОНФЕРЕНЦИИ**

- 5 26<sup>th</sup> International Conference “Relaxation phenomena in solids” (RSP-26), September 15-19, 2025, Voronezh, Russia
- 6 11<sup>th</sup> International Seminar on Ferroelastics Physics (ISFP-11), September 15 - 19, 2025, Voronezh, Russia

Результаты исследований методами рентгеновской дифракции, электронной микроскопии, FTIR (инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье) и EDX (энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии) продемонстрировали переход  $\text{CaCO}_3$  в пористый гидроксиапатит (рис. 1а,с). Полученные наночастицы сохранили уникальную иерархическую структуру кости.

Однако успешному применению в биомедицине мешает низкая ударная вязкость биогенного гидроксиапатита. Преодолеть этот недостаток можно путем создания композита с полимерным компонентом. Исследователи [2] выбрали альгинат натрия, природный полисахарид, который широко используют в медицине и в пищевой промышленности. Смесь раствора альгината в дистиллированной воде (2 масс.%) и наночастиц гидроксиапатита (1 масс.%) высушивали на воздухе при  $100^\circ\text{C}$ . На рис. 1b видно, что гидроксиапатит равномерно распределён в полимерной матрице, и полученный нанокомпозит имеет непористую структуру без трещин.

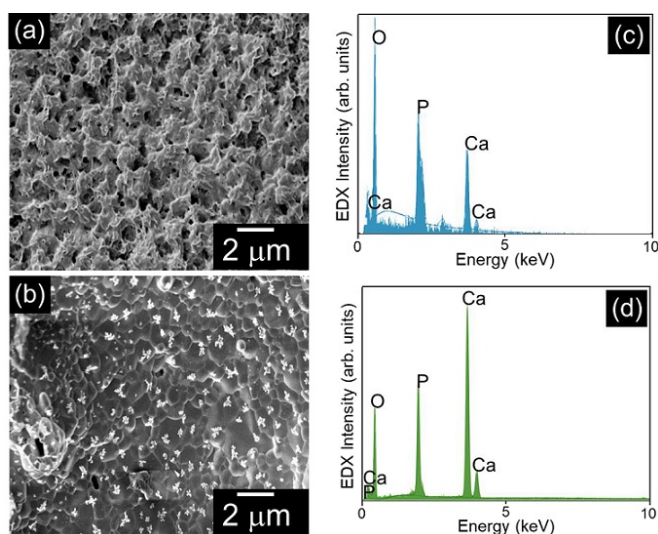


Рис. 1. SEM изображения и EDX данные для полученного гидротермальным методом биогенного гидроксиапатита (а,с) и нанокомпозита гидроксиапатит/альгинат натрия (b,d).

Исследователи измеряли при разных нагрузках твердость и модуль Юнга исходного материала (кости каракатицы), гидроксиапатита и нанокомпозита гидроксиапатит/альгинат натрия. Для нанокомпозита эти параметры оказались заметно выше, и даже при высокой нагрузке разрушения структуры не происходило (в отличие от гидроксиапатита). Механические характеристики показали перспективность использования полученного нанокомпозита для

биомедицины. Конечно, было необходимо проверить антибактериальную активность и воздействие на живые клетки организма.

Основными патогенами, вызывающими инфекции в ранах, являются грамотрицательные *E. coli* и грамположительные *S. aureus* бактерии. Эксперименты показали замечательную антибактериальную активность нанокомпозита в отношении этих бактерий (рис. 2). На диаграмме приведены зоны ингибирования роста бактерий (диаметр чистой области вокруг образцов, помещенных в среду с бактериями). Зоны ингибирования для нанокомпозита практически такие же, как для контрольного образца, в качестве которого использован антибиотик хлорамфеникол.

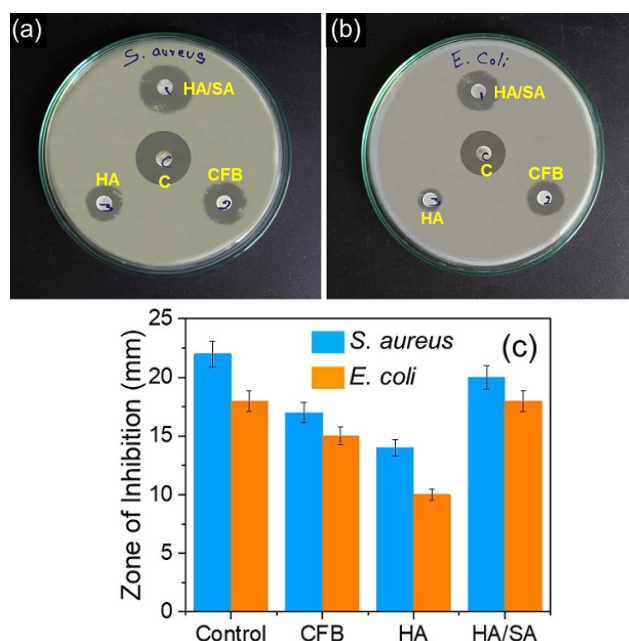


Рис. 2. Антибактериальная активность кости каракатицы (CFB), гидроксиапатита (HA), нанокомпозита (HA/SA) и контрольного образца (C) в отношении (а) *S. aureus*, (b) *E. coli*.

Биосовместимость образцов кости каракатицы, гидроксиапатита и нанокомпозита гидроксиапатит/альгинат натрия с клетками линии MG 63 была изучена *in vitro*. Жизнеспособность клеток для нанокомпозита оказалась самой высокой и составила 97,2% (87,6% для исходного материала и 92,8% для гидроксиапатита).

Результаты авторов [2] показали, что нанокомпозит, полученный из кости каракатицы, является перспективным материалом для восстановления костной ткани.

О. Алексеева

\* Понятие биогенное вещество было введено в начале XX века В.И. Вернадским при создании учения о биосфере.

1. Г.А.Шапкина и др., Медицина экстрем. ситуаций **59** (1), 101 (2017).
2. V.R.Sivaperumal et al., *Nanomaterials* **15**, 196 (2025).

## СПИНТРОНИКА

### Невзаимный электронный транспорт и конические спиновые структуры

Невзаимным электронным транспортом называют эффект выпрямления тока, возникающий при приложении внешнего поля, например, в магнитоупорядоченных веществах величина сопротивления зависит от того, течет ли ток по направлению магнитного поля или против него. Из симметричных соображений такой эффект должен наблюдаться в средах с нарушенной и временной пространственной инверсией, однако механизмы явления часто остаются неясными.

В работе японских и британских ученых [1] на примере вещества с относительно простой электронной структурой  $\alpha$ -EuP<sub>3</sub> показано, как вызванная магнитным полем перестройка спиновой структуры порождает невзаимный электронный транспорт.

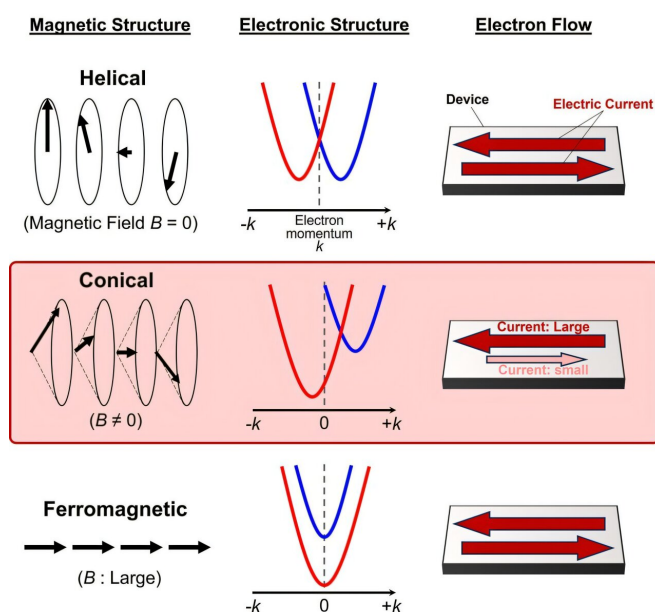


Рис.1. Схематическое изображение магнитной структуры, электронной структуры и величин прямого и обратного токов в  $\alpha$ -EuP<sub>3</sub>.

В данном материале ниже температуры  $\sim 8$  К магнитная подсистема упорядочивается в пространственно модулированную спиновую структуру с синусоидальным профилем намагниченности (волна спиновой плотности). При этом электронная структура не претерпевает качественных изменений по сравнению с пара-

магнитным состоянием. Однако при охлаждении еще на градус возникает спиновая геликоида, и такая хиральная структура приводит к снятию вырождения по спину – электронные состояния для спинов расщепляются, сдвигаясь вдоль оси импульсов в противоположные стороны (рис. 1 верхняя панель).

Если теперь приложить магнитное поля вдоль оси спирали, то спиновая структура переходит в коническое состояние, а в электронной структуре возникает расщепление не только вдоль горизонтальной оси, но и вдоль вертикальной (по энергии). В этом наиболее асимметричном состоянии и наблюдается эффект выпрямления – электрическое сопротивление в направлении по полю и против поля отличается (рис. 1, средняя панель).

Наконец, при еще больших полях происходит переход в “веерообразную” и в конечном итоге в ферромагнитную фазу с однородной намагниченностью. В этих состояниях спектр становится снова симметричным относительно вертикальной оси, а расщепление остается только по энергии, эффект выпрямления также исчезает.

Хотя низкие температуры, при которых данное вещество проявляет свойство невзаимного электронного транспорта, не позволяют говорить о практических применениях в электронике. Выявленные механизмы магнитного управления электрической проводимостью могут оказаться полезными для создания спинтронных устройств и элементов памяти нового поколения.

А. Пятаков

1. A.H.Mayo et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **122**, e2405839122 (2025).

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Цветы из сыра: неоднородная пластическая деформация

В майские дни мы не устаем восхищаться красотой цветов в пробуждающейся природе, и самое время поговорить о красивых структурах, встречающихся вокруг нас. С XII века в Швейцарии производят сыр “Tete de Moine” (“голова монаха” в переводе с французского). В 1982 году изобрели жироль – специальный инструмент для нарезки такого сыра. Вращающийся нож срезает сыр так, что образуются причудливые цветы (рис.1 а), которые не только красивы, но и вкусны за счет большого отношения поверхности к объёму. Но почему так

ПерсТ, 2025, том 32, выпуск 5

происходит? Эта загадка была разрешена только недавно. Механизм образования сырных цветов подробно исследовали ученые из Sorbonne Univ. (Франция) [1].

Для экспериментального исследования этого процесса сыр с ножом (жиролью) помещали на столик, вращающийся с фиксированной угловой скоростью (рис.1, верхняя вставка). Нож ориентирован по отношению к плоскости сыра с небольшим наклоном  $\alpha$  (14 градусов). Контролируемая сила нажатия ножа обеспечивается дополнительными грузами, помещенными на горизонтальную площадку, прикрепленную к ножу сверху. Процесс резки снимается сбоку камерой, позволяющей видеть срез сыра на разных расстояниях от оси вращения.

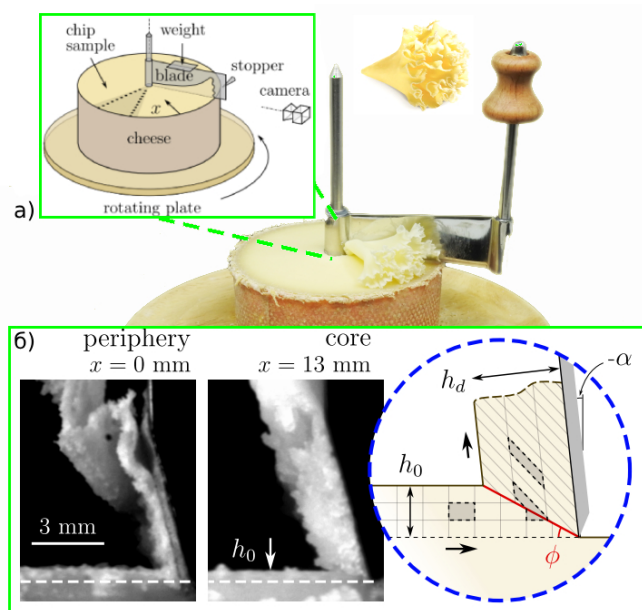


Рис. 1. а – Фото сыра с жиролью и схема экспериментальной установки; б – фото срезов сыра на разных расстояниях от края: на периферии и в центре.

На рис. 1б приведены фотографии срезов сыра на периферии головки и в центре. Из-за ориентации ножа под небольшим углом толщина слоя сыра на периферии будет меньше, чем в центре. Поэтому и пластическая деформация вещества при срезе будет неоднородной, то есть деформация будет увеличиваться по направлению от центра к периферии. Авторы статьи показали, что за формирование волнистой поверхности во многом ответственен различный в радиальном направлении коэффициент трения сыра о нож. Слой на периферии удлиняется сильнее, чем слой в центре, и в определенный момент происходит выход за пределы плоскости, формируя волнистую поверхность. Механизм формирования волнистой

поверхности сыра похож на механизм создания сливной (спиральной) стружки при токарной обработке металла, только, в отличие от стружки, сырная пластина имеет значительную протяженность в радиальном направлении.

Итак, создана теоретическая и экспериментальная модель ещё одного интересного (и вкусного) физического явления.

3. Пятакова

1. J.Zhang et al., *Phys. Rev. Lett.* **134**, 208201 (2025).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**26<sup>th</sup> International Conference “Relaxation phenomena in solids” (RSP-26), September 15-19, 2025, Voronezh, Russia**



The 26<sup>th</sup> International Conference “Relaxation phenomena in solids” will be held in September 15-19, 2025 in Voronezh (Russia). The conference continues a series, which was started in 1958 in Moscow and subsequently held in various cities of Russia (Moscow, Tula, Voronezh) and cities of the former republics of the Soviet Union (Kharkov, Tbilisi).

## Topics

1. **Theory of Relaxation phenomena in solids**
2. **Mechanical Relaxation**
  - 2.1. Mechanical relaxation in crystalline solids
  - 2.2. Mechanical relaxation in Glasses, Ceramics, Polymers and Composites
  - 2.3. Mechanical relaxation in Semiconductors and Superconductors
3. **Dielectric Relaxation**
  - 3.1. Dielectric Relaxation in Crystalline Dielectrics
  - 3.2. Dielectric Relaxation in Glasses
  - 3.3. Dielectric Relaxation in Heterogeneous Materials
  - 3.4. Dielectric Relaxation Caused by Phase Transitions
  - 3.5. Dielectric Relaxation in Polymers
4. **Magnetic Relaxation**
  - 4.1. Magnetic Relaxation in Ferromagnetic Materials
  - 4.2. Magnetic Relaxation in Spin Glasses
  - 4.3. Magnetic Relaxation in Superparamagnetics
  - 4.4. Magnetic Relaxation in Magnetic Composites
5. **Relaxation phenomena in nano- and low-dimensional systems**
  - 5.1. Graphenes, fullerenes and carbon nanotubes
  - 5.2. Amorphous metal alloys

- 5.3. Nanocrystalline solids
- 5.4. Nanocomposites
- 5.5. Thin films and multilayer structures
- 5.6. Heterostructures

## 6. Miscellaneous

- 6.1. Hydrogen in metals and semiconductors
- 6.2. Relaxation in highly non-equilibrium conditions
- 6.3. Relaxation in Biomaterials.
- 6.4. Relaxation processes in devices

## 7. Acoustic spectroscopy and its applications

## 8. Methods and equipments for measuring relaxation phenomena.

### Key Dates

- Submission of registration forms - **Jun 20, 2025**
- Abstract submission - **June 20, 2025**
- Call for papers - **July 05, 2025**
- Preliminary program - **July 10, 2025**
- Conference - September **15 - 19, 2025**

E-mail: [rps@cchgeu.ru](mailto:rps@cchgeu.ru)

Website: <http://rps.cchgeu.ru>

### **11<sup>th</sup> International Seminar on Ferroelastics Physics (ISFP-11), September 15 - 19, 2025, Voronezh, Russia**

The 11<sup>th</sup> International Seminar on Ferroelastics Physics will be held on September 15 - 19, 2025 at the Voronezh State Technical University, Russia. The event will be held in a hybrid (online & offline) mode. In-person participation is **preferred**. This Seminar is designed to bring together the international community of scientists interested in recent developments in all branches of ferroelastics investigations. The scope of the Seminar will be similar to that of the preceding seminar ISFP-10(15) in Voronezh (2022) and will cover all aspects of processing, structure, properties and applications of ferroelastic crystals.

### Topics

1. Phase transitions, lattice dynamics and soft modes
2. Structure and crystal growth
3. Domains, domain boundaries and their dynamics
4. Physical properties
5. Superionic conductivity
6. Ferroelasticity and superconductivity
7. Heterogeneous, glassy and incommensurate systems
8. Nanometer structures and thin films
9. Composites
10. Multiferroics

### Conference Schedule

Deadline for preregistration - **Jun 20, 2025**.

Deadline for submission of abstracts - **Jun 20, 2025**.

Call for papers - **July 05, 2025**.

E-mail: [isfp\\_vstu@bk.ru](mailto:isfp_vstu@bk.ru)

Website: <https://isfp.cchgeu.ru/>

**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. Алексеева, А. Пятаков, З. Пятакова

Выпускающий редактор: И. Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 6