

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

**ЛШ Школа ПИЯФ  
по физике конденсированного состояния**

ФКС-2019  
11–16 марта 2019 г., Санкт-Петербург

**Сборник тезисов  
и список участников**

Гатчина – 2019

УДК 529.171.018

В данном выпуске представлены аннотации докладов и состав участников ЛШ Школы ПИЯФ по физике конденсированного состояния (ФКС-2019), 11–16 марта 2019 г., Санкт-Петербург.

This edition presents abstracts of the reports and the contact information of the participants of the LШ PNPI School on condensed state physics (CSP-2019). (11–16 of March, 2019, Saint Petersburg.)

*Проведению Школы ФКС-2019 оказали поддержку:*

**Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»**

**Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»**

**Мероприятие проводится при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-02-20108 «ЛШ Школа ПИЯФ по физике конденсированного состояния».**

Сборник подготовили А. И. Васильев, Н. Н. Губанова, Д. О. Сканченко,  
О. В. Усманов, М. А. Швалева

*Примечание:* материалы напечатаны в авторской редакции.

© НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ, 2019

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекции. Клубы любителей .....	4
Секция «Нейтронное рассеяние» .....	13
Секция «Рассеяние синхротронного излучения» .....	43
Секция «Материалы и минералы» .....	70
Секция «Биофизика и наука о жизни» .....	169
Секция «Теория физики твердого тела» .....	182
Секция «Методика моделирования и приборы» .....	212
Список участников .....	233

### French contribution to the ESS instrumentation suite

*X. Fabrèges, S. Longeville, S. Désert, F. Porcher, P. Bourges*

*Laboratoire Leon Brillouin, CEA Saclay, Gif-sur-Yvette Cedex, France*

The European Spallation Source (ESS [1]) is the next generation neutron source based on a linear protons accelerator. Currently in construction in Lund (Sweden), the source will be opened to external users in 2023. The initial instrument suite will be composed of 15 instruments covering most of the European scientific community needs in neutron scattering. Most of these instruments are built by European partners through an in-kind contribution.

In this context, France is involved in the construction of 6 instruments:

- 1) 3 diffractometers: MAGiC, DREAM and NMX
- 2) 2 spectrometers: CSPEC and BIFROST
- 3) 1 SANS: SKADI

An additional work package, covering the ESS needs for state of the art sample environment in low temperature, magnetic fields and high pressure is also under advanced discussions.

After an introduction on the facility and its specificities, an overview of the French contribution will be presented with an emphasis on the new instrumental and scientific opportunities that will emerge from the source's high brilliance.

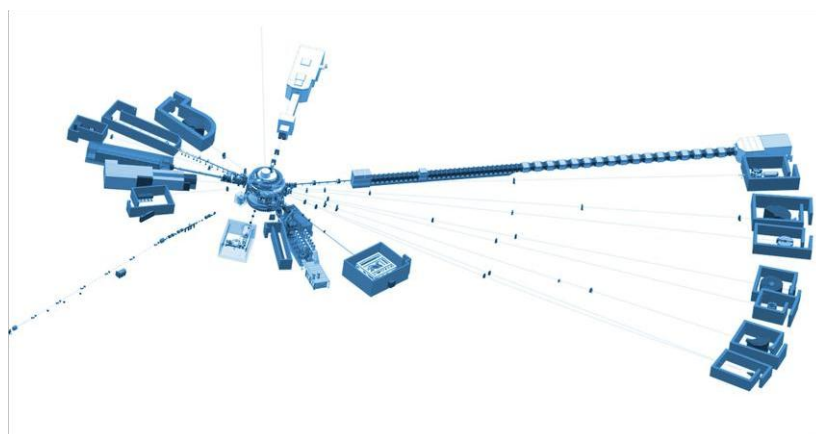


Fig. Artist's view of the ESS initial instrument suite at the horizon 2030

1. <https://europeanspallationsource.se/science-instruments>

## Aubry-type transition by breaking analyticity in $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$

A. Gukasov

*Laboratoire Leon Brillouin, CEA Saclay, Gif-sur-Yvette Cedex, France*

Spin-ladder compound  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$  belongs to the class of aperiodic composite crystals displaying a diverse set of fascinating physical phenomena. Its crystal structure contains layers of ladders and layers of chains, separated by strings of Sr atoms. The layers are oriented in the crystallographic *ac* plane and stacked in alternating manner along the perpendicular *b*-axis. An incommensurability between the chains and ladders creates distortions, which lead to additional modulations of the crystallographic positions. Intriguing lattice dynamics have been predicted for aperiodic crystals that contain incommensurate substructures. In the case of weak interaction between subsystems, due to their incommensurability, they can slide past each other along the incommensurate direction with no energy cost.

However, this “phason” excitations remains gapless only in the case when the interaction between incommensurate subsystems is weak and when the displacement field can be described in terms of analytic functions of space. Hence this regime is expected to hold in a temperature range, when the modulation wave are weak and are not too far from sinusoidal in shape. This condition is satisfied in the composite compounds where the host lattice doesn't experience deformation from the guest one.

As has been shown by Aubry increasing of mutual interactions strength between subsystems or deviation from analyticity of interaction potential give rise to a transition by breaking analyticity (TBA) [1, 2]. He has shown that above a certain threshold of the interaction potential the corresponding incommensurate structure becomes locked at commensurate values and acquire the following features; phase defectability, a finite phason gap; coherence length and depinning field. In the talk I shall present our recent results of neutron scattering experiment demonstrating that the charge ordering process in  $\text{Sr}_{14}\text{Cu}_{24}\text{O}_{41}$  has a number of features of the transition by breaking analyticity.

1. S. Aubry. *Pysica* 7D, 240 (1983).
2. S. Aubry, P. Quemerai. *Breaking of Analyticity in Charge Density Wave Systems. Physics and Chemistry of Materials with Low Dimensional Structures*, vol. 11. Springer, Dordrecht (1989).

# **Неравновесная динамика стеклующихся спиновых систем**

*М. Г. Васин*

*Институт физики высоких давлений им. Л. Ф. Верещагина РАН, Москва, Россия*

В своем докладе я попытаюсь в доступной форме изложить современные подходы статистической физики, применяемые при теоретическом описании динамики стеклующихся спиновых систем. Многие из этих методов развивались С. Л. Гинзбургом [1], или были предложены позднее под влиянием его работ. В докладе обсуждаются фундаментальные проблемы описания неравновесных неэргодических систем. Рассматриваются основные идеи келдышевской техники описания динамики неравновесных процессов в конденсированных системах, а также ее приложение к теоретическому описанию перехода спиновых систем в стекольное состояние.

1. С. Л. Гинзбург. Необратимые явления в спиновых стеклах, М.: Наука, 1989. – 152 с.

## **Каталитические биметаллические Pt/Pd наночастицы в кремнеземной матрице: тонкие пленки и композиты**

*Н. Н. Губанова<sup>1, 2</sup>, В. А. Матвеев<sup>1</sup>, О. А. Шилова<sup>2, 3</sup>*

<sup>1</sup> *Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

<sup>2</sup> *Институт химии силикатов им. И. В. Гребениčkова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия*

В последнее время наблюдается все возрастающий интерес к изучению структуры биметаллических наночастиц, в том числе Pt/Pd наночастиц, особенно в свете создания нового поколения топливных элементов. Свойства биметаллических Pt/Pd наночастиц определяются размерами и структурой, и могут заметно отличаться от свойств составляющих их металлов.

Целью данного исследования было получение биметаллических наночастиц Pt/Pd, равномерно распределенных в кремнеземной матрице, получаемых золь-гель методом и обладающих каталитическими свойствами. В ходе работы из кремнезольей, содержащих соли платины и палладия были сформированы тонкие пленки и композиты, содержащие каталитические биметаллические наночастицы Pt/Pd.

С помощью взаимодополняющих методов, таких как рентгенофазовый анализ, оптическая спектроскопия, рентгеновская рефлектометрия, сканирующая и просвечивающая микроскопия и др. была изучена структура пленок и композитов, а также были определены размеры наночастиц и их строение. Каталитическую активность наночастиц Pt/Pd оценивали с помощью вольтамперометрических характеристик.

## Микробиологические топливные элементы

*А. Г. Иванова<sup>1</sup>, М. С. Масалович<sup>1, 2</sup>, Н. Н. Губанова<sup>1, 3</sup>, О. А. Загребельный<sup>1</sup>,  
А. С. Галушко<sup>1, 4, 5</sup>, Г. Г. Панова<sup>4</sup>, О. А. Шилова<sup>1, 2, 6</sup>, И. Ю. Кручинина<sup>1, 6</sup>*

<sup>1</sup> *Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

<sup>4</sup> *Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>5</sup> *Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия*

<sup>6</sup> *Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»  
им. В. И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия*

На сегодняшний момент разработкой биоэлектрохимических систем, а именно микробиологических топливных элементов (МТЭ), занимаются многие отечественные и зарубежные научные группы [1–4].

В целом по принципу работы МТЭ можно отнести к химическому топливному элементу, за исключением микроорганизмов – биокатализаторов, с помощью которых происходит превращение химической энергии топлива в электрическую.

Необходимо отметить, что принцип и механизм взаимодействия микроорганизмов, используемых для генерации электроэнергии в МТЭ, с различными композитными материалами электрода и мембраны в настоящее время недостаточно изучен. Помимо этого, основные методы и подходы для выбора необходимых композитных материалов для электродов и электролитической мембраны МТЭ отсутствуют, не выявлено влияние природы материала на биологическую активность микроорганизмов. В связи с этим актуальной и практически значимой задачей является разработка новых функциональных материалов для электрода и электролитической мембраны МТЭ, которые будут способствовать повышению его производительности.

В устном докладе будут представлены современное состояние и перспективы развития МТЭ, а также результаты исследований авторов доклада.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 17-03-01201 (код конкурса «а»).*

1. С. А. Кусачева, С. И. Черняев, И. И. Сащенко, В. В. Гришакова, Ю. М. Жукова, Д. Н. Морозенко. Современные наукоемкие технологии, № 6, С. 51–54 (2016).
2. G. Reguera, K.P. Nevin, J.S. Nicoll, S.F. Covalla, T.L. Woodard, D.R. Lovley. J. Appl Environ Microbiol, V. 72, P. 7345–7348 (2006).
3. J. Winfielda, I. Gajdaa, J. Greenmana, I. Ieropoulosa. J. Bioresour Technol, V. 215, P. 296–303 (2016).
4. A.S. Galushko, A.G. Ivanova, M.S. Masalovich, O.A. Zagrebelnyy, G.G. Panova, I.Yu. Kruchinina, O.A. Shilova. J. Ceram. Sci. Technol. Vol.8, № 4, P. 1–22 (2017).



# Нейтронная радиография и томография: метод, возможности и результаты

*С. Е. Кичанов, Д. П. Козленко, Е. В. Лукин, Б. Н. Савенко*

*Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка  
Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия*

Метод нейтронной радиографии заключается в получении нейтронных изображений исследуемых объектов. За счет разной степени ослабления интенсивности нейтронного пучка при прохождении через компоненты различного химического состава или плотности получается важная информация о внутреннем строении исследуемых образцов с пространственным разрешением на микронном уровне [1]. Функциональным развитием метода нейтронной радиографии является нейтронная томография. В этом методе выполняется объемная реконструкция внутреннего строения исследуемого объекта из набора отдельных радиографических проекций, полученных при различных угловых положениях образца относительно направления нейтронного пучка.

Широкое практическое применение метода нейтронной радиографии и томографии в мультидисциплинарных исследованиях дало новый импульс в создании специализированных экспериментальных установок в мировых нейтронных центрах [2]. Одной из базовых установок Объединенного института ядерных исследований является высокопоточный реактор ИБР-2, который входит в число наиболее интенсивных импульсных нейтронных источников в мире. В лекции дается детальное описание экспериментальной станции [3] для проведения исследований с помощью метода нейтронной радиографии и томографии на этом реакторе. В качестве иллюстрации возможностей этого метода неразрушающего контроля приводятся несколько интересных результатов из различных областей науки: результаты исследований палеонтологических и геофизических объектов, метеоритов [4], уникальных объектов культурного наследия [5].

1. P. Vontobel, E.H. Lehmann et al., *Physica B: Condensed Matter*, 385–386, 475–480 (2006).
2. E.H. Lehmann, S. Peetermans and B. Betz, *Neutron News*, 26, 6–10 (2015).
3. D.P. Kozlenko, S.E. Kichanov et al., *Physics of Particles and Nuclei Letters*, 13, 346–351 (2016).
4. S.E. Kichanov, D.P. Kozlenko et al., *Meteoritics & Planetary Science*, 53, 10, 2155–2164 (2018).
5. S.E. Kichanov, I.A. Saprykina et al., *Journal of Imaging*, 4, 25 (2018).

# Закрученные электроны: новый инструмент физики твердого тела

*А. В. Майорова*

*Центр перспективных исследований, Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

Около десяти лет назад был теоретически предсказан [1] такой принципиально новый инструмент для исследований физики микромира как закрученные или вихревые электроны. Через несколько лет экспериментальная реализация пучков закрученных электронов была осуществлена в электронных микроскопах [2–4]. Главной особенностью закрученных пучков является то, что они несут большую проекцию орбитального момента, и, как следствие, большой магнитный момент, который пропорционален величине данной проекции. В отличие от обычных плосковолновых состояний, для которых проекция углового орбитального момента  $m$  (ОАМ—orbital angular momentum) на направление распространения равна нулю, у закрученных электронов проекция ОАМ может достигать величин порядка  $\hbar m = 1000\hbar$ . Следовательно, все магнитные эффекты в процессах с участием закрученных электронов будут проявляться очень сильно. Например, вихревые электроны могут быть использованы для сканирования магнитных свойств поверхностей твердых тел и различных наноматериалов [5–7].

1. K.Y. Bliokh et al., Phys. Rev. Lett. 99, 190404 (2007).
2. J. Verbeeck, H. Tian, and P. Schattschneider, Nature (London) 467, 301 (2010).
3. M. Uchida and A. Tonomura, Nature (London) 464, 737 (2010).
4. B.J. McMorran et al., Science 331, 192 (2011).
5. V. Grillo, T.R. Harvey, F. Venturi et al., Nature Communications 8, 689 (2017).
6. K.Y. Bliokh et al., Phys. Rep. 690, 1 (2017).
7. S.M. Lloyd et al., Rev. Mod. Phys. 89, 035004 (2017).

## **Наука о сетях. История и современность**

*Н. Е. Савицкая*

*Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

В последнее десятилетие бурное развитие получила наука о сложных сетях – пространственных системах, представляющих собой совокупность узлов, соединенных связями. Это обусловлено в первую очередь тем, что множество объектов повышенного интереса, такие, как разнообразные связи в социальной сфере, Интернет, комплекс энергоснабжения, совокупность дорожных развязок, торговые, финансовые контакты могут быть представлены именно в виде сети.

Условно можно выделить два тесно связанных между собой направления в исследованиях сложных сетей. Первое из них связано с изучением их структурных свойств, второе – с исследованием особенностей протекания различных динамических процессов на сетях.

В настоящей лекции после того, как будут введены основные характеристики, описывающие сложную сеть, мы коснемся вопросов влияния структуры сети на характеристики развивающихся на ней процессов. Эта проблема будет рассмотрена в максимально доступной форме на примере развития лавины на сетях с различной топологией. Такой выбор продиктован практической значимостью данной задачи, описывающей, например, передачу заболеваний контактным или воздушно-капельным путем, распространение информации в социальных сетях, возникновение техногенных катастроф и многое другое.

## Наночастицы «ядро – оболочка». Синтез, строение, свойства

О. А. Шилова<sup>1, 2</sup>, Т. В. Хамова<sup>1</sup>, А. М. Николаев<sup>1, 3</sup>, А. С. Коваленко<sup>1</sup>,  
Г. П. Копица<sup>1, 3</sup>, Г. Г. Панова<sup>4</sup>, М. М. Сычев<sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup> *Институт химии силикатов им. И. В. Гребенщикова РАН, Санкт-Петербург, Россия*

<sup>2</sup> *Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет), Санкт-Петербург, Россия*

<sup>3</sup> *Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт», Гатчина, Россия*

<sup>4</sup> *Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия*

Наночастицы ‘ядро-оболочка’ можно рассматривать как класс наноструктурированных материалов, который практически неисчерпаем. Поэтому для краткого сообщения обозначим граничные условия, чтобы выделить более узкую область. Речь пойдет только о частицах, у которых ядро не контактирует с внешней средой. Это отличает их от «двуликих» частиц Януса, все составные части которых контактируют с внешней средой (дендримеры, наночастицы в мицеллах и др.). Остановимся преимущественно на частицах, образованных неорганическими соединениями. Например, разрабатываются и изготавливаются коммерческие порошки, ядро и оболочка которых состоят из полупроводников типа II – VI, IV – VI и III – V, что позволяет использовать такие материалы в более широком диапазоне длин волн, защищать их от неблагоприятных воздействий. Биметаллические, оксидные или композитные наночастицы со структурой ‘ядро-оболочка’ играют важную роль в различных каталитических процессах. Особое внимание в последнее время уделяется магнитным частицам со структурой ‘ядро-оболочка’. Таким способом можно получать, например, мультиферроики. Обширна область применения наночастиц ‘ядро-оболочка’ в медицине и фармакологии, агротехнологиях (биовизуализация, контролируемое высвобождение и доставка лекарств, создание полезного бактериального фона). Формирование оболочки позволяет получать устойчивые суспензии, что важно, например, для «электронных чернил». Наночастицы со структурой ‘ядро-оболочка’ можно получать как физическими, так и химическими методами. Можно выделить методы мокрой химии, в частности, золь-гель синтез. Свойства композитов ‘ядро-оболочка’ зависят от материалов, составляющих ядро и оболочку, а также от размеров и морфологии наночастиц. Для установления корреляционных связей между условиями синтеза, структурой и свойствами наночастиц ‘ядро-оболочка’ очень важно применять современные методы исследования, в частности, методы просвечивающей микроскопии высокого разрешения, низкотемпературной адсорбции азота, малоуглового рассеяния рентгеновских лучей, нейтронов и поляризованных нейтронов.