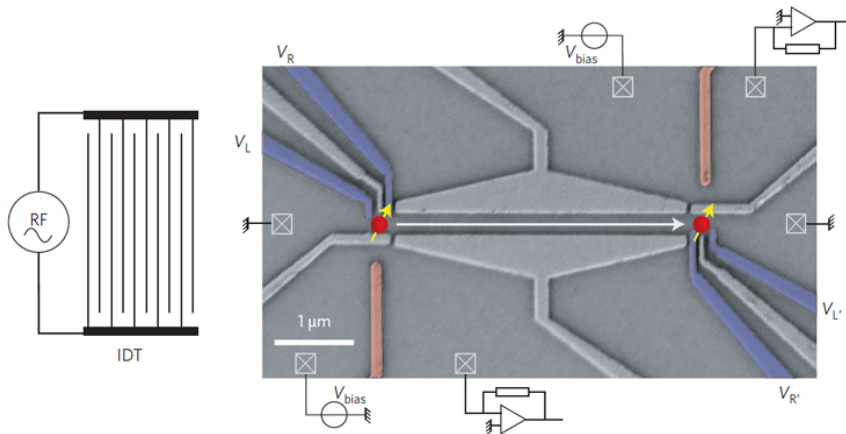


В этом выпуске:

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### *Быстрая передача спиновой информации между удаленными квантовыми точками*

Работа спинтронных устройств основана на поляризации спинов большого числа электронов, перемещении этих спинов на большое расстояние и их регистрации. Для этого обычно используют ферромагнитные контакты или оптические возбуждения. В настоящее время значительное внимание уделяется также одноэлектронным спиновым нанопедам.



Гетероструктура GaAs/AlGaAs с двумя квантовыми точками.

Для передачи информации о спиновом состоянии одного электрона (“вверх” или “вниз”) и двух электронов (параллельные или антипараллельные спины) между отстоящими на 4 мкм квантовыми точками (см. рис.) авторы работы [1] (Франция, Япония, Германия) использовали поверхностные акустические волны, которые создавали в образце “движущуюся квантовую точку”. Попад в эту точку, электрон (или пара электронов) перемещался со скоростью звука из одной “стационарной” точки в другую за время 1.4 нс. Таким образом, спиновая информация передавалась не отдельно от ее носителей, а вместе с ними. Точность передачи составила 65%, будучи ограничена процессами переворота спина до начала переноса электрона (электронов) и после его завершения.

*I. B. Bertrand et al., Nature Nanotech. 11, 672 (2016).*

### *Программируемый квантовый компьютер с атомными кубитами*

Первые квантовые компьютеры уже начинают выходить за пределы физических лабораторий и появляться на рынке. Но каждое из этих сложнейших устройств “заточено” лишь под какую-то одну конкретную задачу. В этом они пока проигрывают обычным компьютерам, допускающим запуск самых различных программ на одном и том же “железе”. В работе [1] продемонстрирован программируемый пятикубитный квантовый компьютер на основе ионов  $^{171}\text{Yb}^+$  в линейной магнитной ловушке (см. рис.).

И далее ...

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

- 2 Десорбция водорода из углеродных нанониток

## СНОВА К ОСНОВАМ

Притяжение из отталкивания

## ГРАФЕН

- 3 Наночастицы оксида графена влияют на передачу нервного импульса нейронами головного мозга

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

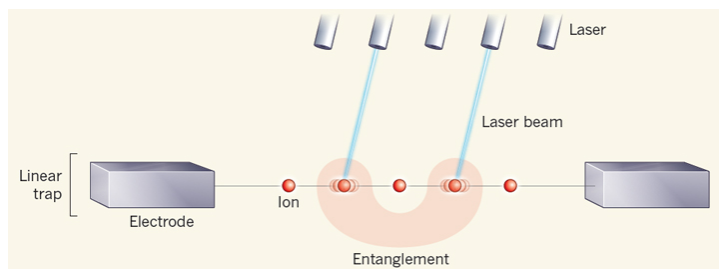
- 4 Электростатическое надувание магнитных пузырей

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 5 Энергетика фуллеренов во внешнем электрическом поле

## КОНФЕРЕНЦИИ

- 6 Девятый научно-практический семинар “Актуальные проблемы физики конденсированных сред” и выездная сессия Научного совета РАН по физике конденсированных сред, 10-14 октября 2016 г., г. Севастополь, Россия
- 7 XVII Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-17), 15-22 ноября 2016 г., г. Екатеринбург, Россия



Схематическое изображение квантового компьютера из работы [1].

Индивидуальная адресация всех кубитов осуществлялась посредством лазерных импульсов. Ошибки при инициализации кубитов, однокубитных операциях, перепутывании пары кубитов и “считывании” итоговых квантовых состояний возникали менее чем в 2% времени работы. В компьютере имеется и “компилятор”, который преобразует квантовую программу (тот или иной квантовый алгоритм) в определенную последовательность лазерных импульсов. Авторы продемонстрировали работу своего детища на примере нескольких алгоритмов, включая алгоритм Дейча и квантовое преобразование Фурье. Для увеличения числа кубитов можно попробовать использовать двумерные ловушки. Более кардинальное решение проблемы масштабируемости заключается в переходе от ионных кубитов к сверхпроводниковым.

Л.Опенев

1. S.Debnath et al., *Nature* **536**, 63 (2016).

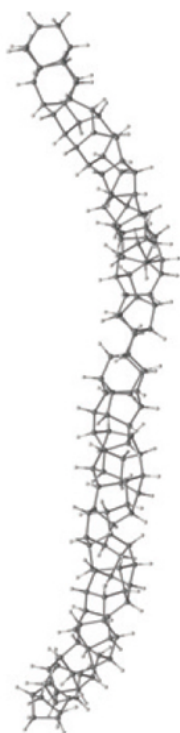
## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

### Десорбция водорода из углеродных нанониток

ПерсТ уже сообщал ([т. 21, вып. 24, 2014](#)) об открытии новых квазиодномерных углеродно-водородных материалов – нанониток с алмазоподобной структурой [1]. Они образуются при сильном сжатии бензола и представляют собой полностью насыщенные водородом нанотрубки (3,0) с хаотически распределенными по их длине дефектными участками, в каждом из которых две связи C–C повернуты (вместе с адсорбированными атомами водорода) на угол  $\approx 90^\circ$  (рис. 1).

Рис. 1. Углеродная нанонитка.

В работе [2] термическая устойчивость нанониток изучена путем компьютерного моделирования с использованием метода молекулярной динамики. Модельным образцом служила короткая нанонит-



ка  $C_{120}H_{120}$  с одним дефектным участком (рис. 2).

Выяснилось, что основной причиной утраты нанонитками их специфической структуры является термоактивированная десорбция водорода, тогда как углеродный каркас при нагревании за редким исключением сохраняет свою целостность. Интересно, что после десорбции нескольких процентов атомов водорода механическая прочность нанониток практически не изменяется.

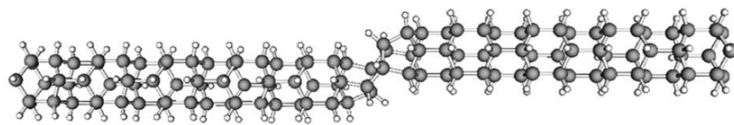


Рис. 2. Нанонитка  $C_{120}H_{120}$  с одним дефектным участком.

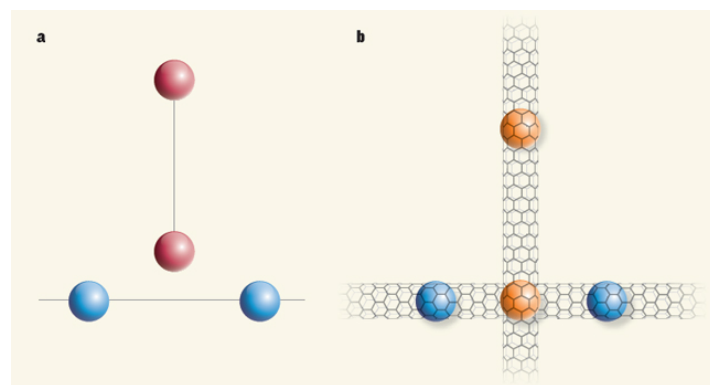
1. T.C.Fitzgibbons et al., *Nature Mater.* **14**, 43 (2015).

2. Л.А.Опенев, А.И.Подливаев, *Письма в ЖЭТФ* **104**, 192 (2016).

## СНОВА К ОСНОВАМ

### Притяжение из отталкивания

Согласно закону Кулона, электроны отталкиваются друг от друга. В твердых телах это отталкивание, однако, может смениться эффективным притяжением. Так, например, в сверхпроводниках электроны притягиваются благодаря их взаимодействию с колебаниями решетки – фононами. Такое притяжение, впрочем, весьма слабое, поэтому для фоновой сверхпроводимости характерны довольно низкие значения критической температуры  $T_c$ . Пятьдесят лет назад Литтл предположил [1], что роль фононов могут играть другие электроны, а именно – электронные возбуждения, именуемые экситонами.



а - Иллюстрация идеи Литтла [1]. Два электрона (синие шарики) образуют связанную пару благодаря тому, что один электрон поляризует двухатомную молекулу (красные шарики), создавая в ней область положительного заряда, а второй электрон притягивается к этой области.

б - В работе [2] роль двухатомной молекулы играла пара потенциальных ям (оранжевые шарики) в углеродной нанотрубке. Взаимодействие с находящимися в этих ямах электронами приводило к взаимному притяжению электронов в другой (перпендикулярной) нанотрубке.

Энергия у экситонов гораздо больше, чем у фононов, поэтому обмен экситонами должен приводить к более прочной связи электронов в парах и, соответственно, к более высоким  $T_c$ . Однако, несмотря на значительные усилия, материалы с экситонным механизмом сверхпроводимости так и не были обнаружены.

В работе [2] (Израиль, Германия) экспериментально показано, что электроны в углеродной нанотрубке притягиваются друг к другу за счет их взаимодействия с электронами другой нанотрубки (см. рис.). Вывод авторов основан на результатах измерения ВАХ и показаниях электрометров, встроенных в нанотрубки. Конечно, об экситонной сверхпроводимости говорить пока рано. И все же сам факт, что кулоновское отталкивание действительно может приводить к притяжению, весьма примечателен.

По материалам заметки  
*"Attractive electrons from nanoengineering",*  
 T.Kontos, *Nature* **535**, 362 (2016)

1. W.A.Little, *Phys. Rev.* **134**, A1416 (1964).
2. A.Hano et al., *Nature* **535**, 395 (2016).

## ГРАФЕН

### Наночастицы оксида графена влияют на передачу нервного импульса нейронами головного мозга

Использование графена и оксидов графена открывает новые возможности для биомедицины, в том числе для нейрохирургии и неврологии [1,2]. На основе этих наноматериалов разрабатывают биосенсоры и системы адресной доставки лекарств, нейрокомпьютерные интерфейсы, системы нейропротезирования, направленные на восстановление зрения, слуха, движений, когнитивных функций. Биосовместимые графеновые субстраты обеспечивают высокую адгезию и пролиферацию нервных клеток, способствуют дифференциации стволовых клеток именно в нейроны, что очень важно для восстановления нарушенных функций мозга. Благодаря электрическим свойствам графен можно использовать для электростимуляции нейронов. Конечно, для успешного применения новых устройств необходимо изучить воздействие графеновых материалов на сложную систему нервных клеток. Речь идет не только о цитотоксичности, но и о влиянии на субклеточном уровне. Исследования ученых из Италии, Великобритании и Испании впервые показали [3], что нанопластинки (чешуйки) оксида графена могут влиять на отклик синапса на нервный сигнал даже при отсутствии цитотоксичности. В синапсе, области функционального контакта между двумя нервными клетками, происходит передача нервного импульса. В большинстве случаев эта передача осуществляется химическим путем с помощью посредников-медиаторов, которые содержатся

в многочисленных везикулах (пузырьках) и под действием нервного импульса выделяются в синаптическую щель (рис. 1) \*. Медиаторы действуют на рецепторы клетки-приемника, вызывая ответный электрический импульс.

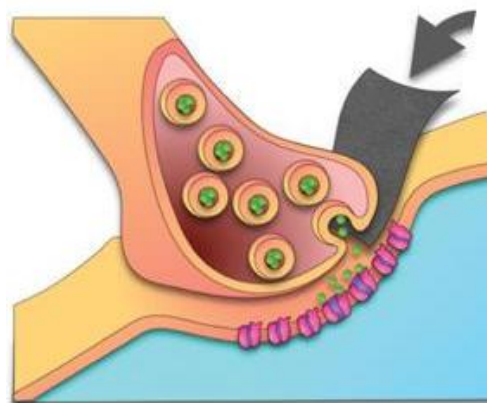


Рис. 1. Условная схема синапса. Под действием нервного импульса медиатор (зеленый цвет) из везикул выделяется в синаптическую щель и действует на рецепторы (розовый цвет) клетки – приемника сигнала. Нанопластинка графенового материала взаимодействует с везикулой.

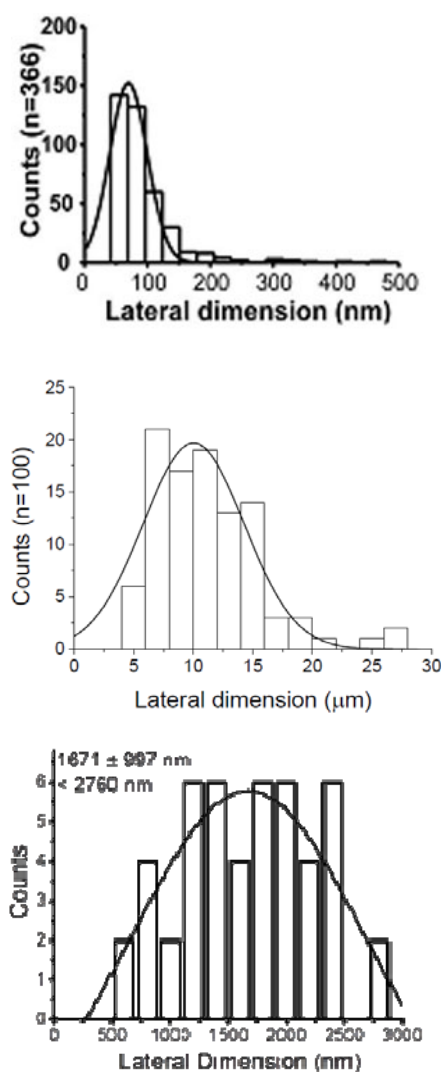


Рис. 2. Распределение частиц по продольным размерам.  
 Сверху вниз: s-GO, l-GO, GR.



Авторы [3] изучили, как влияет на синаптическую передачу нервного импульса присутствие мелких (s-GO) и крупных (l-GO) чешуек оксида графена, а также графена (GR). Использовали дисперсии при концентрациях 1 и 10 мкг/мл. Распределение частиц по размерам показано на рис. 2, толщина чешуек во всех случаях ~ 1 нм. Формирование и активность синапсов изучали после 6-8 дней инкубации нейронов гиппокампа в среде с наночастицами.

Показателем синаптической активности нейронной сети является появление спонтанных постсинаптических токов (PSC). Результаты исследований показали, что присутствие частиц s-GO и GR при концентрации 1 мкг/мл не влияет на синаптическую активность. Однако, значительные отличия (а именно, снижение частоты PSC) видны при использовании s-GO в концентрации 10 мкг/мл (рис. 3). Дополнительные исследования показали, что при этом жизнеспособность нервных клеток не снижается. Крупные чешуйки l-GO оказались токсичными для нейронов, и дальнейшие исследования с ними не проводили.

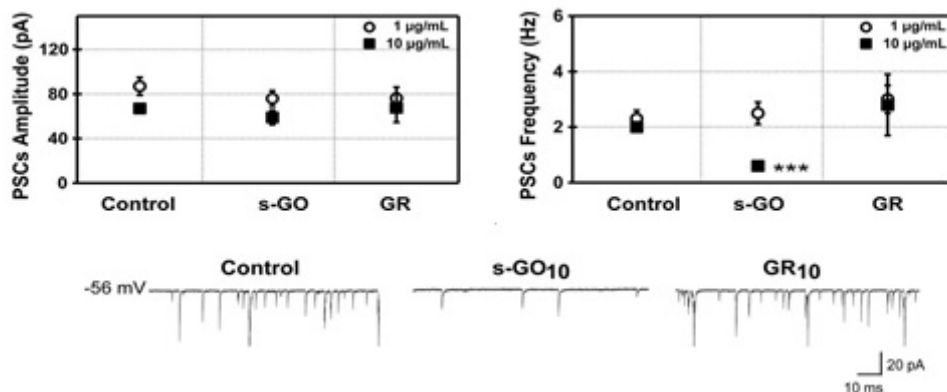


Рис. 3. Воздействие s-GO при концентрации 10 мкг/мл заметно снижает частоту PSC. Спонтанную синаптическую активность регистрировали для культуры нейронов гиппокампа после 6-8 дней инкубации в присутствии s-GO и GR (1 и 10 мкг/мл) и без наночастиц (контрольный образец).

В следующих экспериментах авторы [3] изучили кинетику выхода везикул (пузырьков) из нейронов и обнаружили, что длительное воздействие s-GO мешает рециклированию везикул (снижается количество пузырьков, способных к новому заполнению медиатором).

Интересно, что присутствие графена не влияет на синаптический отклик. Возможно, это связано с тем, что чешуйки графена в среде для культуры клеток образуют слишком крупные агрегаты. В отличие от них, чешуйки s-GO могут проникать в синаптическую щель и захватывать везикулы в открытом состоянии. Механизм воздействия s-GO на синапс требует дальнейшего изучения. Тем не менее, результаты [3] убедительно показали, что графеновые материалы можно использовать для нейромодуляции при лечении некоторых заболеваний, например, эпилепсии: s-GO снижает активность синапсов, не нанося вреда нервным клеткам. С другой стороны нельзя забывать о возможных нежелательных воздействиях на субклеточном уровне.

\* За раскрытие механизмов регуляции везикулярного транспорта – “основной транспортной системы наших клеток” в 2013 г. Рэнди Шекману (Randy W. Schekman), Джеймсу Ротману (James E. Rothman) и Томасу Зюдхофу (Thomas C. Südhof) бы-

ла присуждена Нобелевская премия по физиологии и медицине.

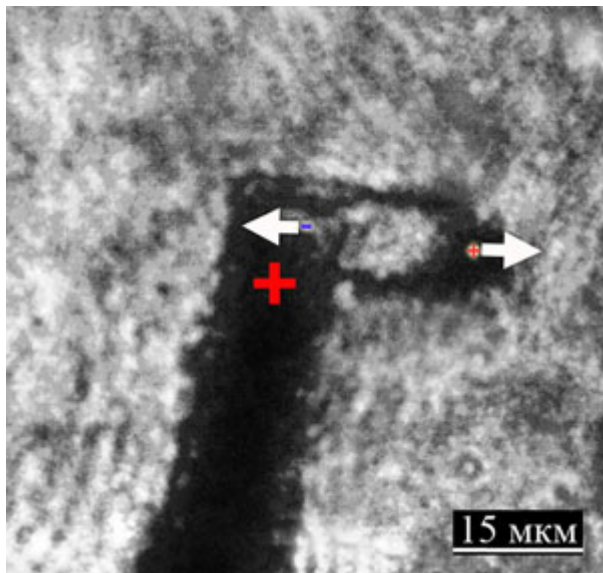
О.Алексеева

1. [ПерсТ 21, вып. 13/14, с. 3 \(2014\).](#)
2. [ПерсТ 20, вып. 7, с. 2 \(2013\).](#)
3. R.Rauti et al., *ACS Nano* **10**, 4459 (2016).

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

### Электростатическое надувание магнитных пузырей

В традиционной теории цилиндрических магнитных доменов (ЦМД) считается, что их образование определяется балансом сил поверхностного натяжения доменных границ (что делает их похожими на мыльные пузыри и объясняет английское название — bubble domains) и магнитостатических сил, включающих как взаимодействие с внешним магнитным полем, так и магнитное диполь-дипольное взаимодействие различных областей образца друг с другом. Однако, как показали в своей экспериментальной работе [1] ученые из МГУ им. М.В. Ломоносова, на процесс зарождения и стабильность ЦМД в присутствии электрического поля или электрической поляризации существенное влияние оказывает третья, магнитоэлектрическая сила, до того в теории ЦМД не рассматриваемая.



Зарождение ЦМД электрическим зондом [1]: магнитооптическая визуализация в фарадеевской геометрии (темная область – изображение иглы-электрода, эллиптический объект справа от точки контакта кончика иглы и поверхности образца – ЦМД).

Эксперименты проводили на образце пленки феррита-граната, в котором ранее наблюдалось сильное магнитоэлектрическое взаимодействие, проявляющееся в смещении магнитных доменных границ в градиентном электрическом поле электрода-иглы [2]. Позже И.Е. Дзялошинский, рассмотрев схожую ситуацию, предсказал, что наряду с движением доменной границы возможен и более сильный эффект – зарождение магнитной доменной границы в электрическом поле [3]. Учитывая малость области под иглой, в которой электрическое поле сильно, зарождение протяженной границы маловероятно, а вот такой локализованный объект, как ЦМД, образоваться может. В поле электрода возникают силы, действующие на противоположные края ЦМД, которые растягивают домен (см. рис.). Как предполагают авторы [1], это связано с различной хиральностью доменных границ на двух краях ЦМД, что согласно теории неоднородного магнитоэлектрического взаимодействия [4] означает их противоположную электрическую поляризацию.

Заметим, что данный электростатический метод зарождения магнитных неоднородностей предпочтительнее описанного ранее способа “надувания” ЦМД и скирмионов спин-поляризованным током [5], поскольку не требует токов высокой плотности.

А. Пятаков

1. Д.П.Куликова и др., *Письма в ЖЭТФ* **104**, 196 (2016).
2. А.С.Логгинов и др., *Письма в ЖЭТФ* **86**, 124 (2007).
3. I.Dzyaloshinskii, *Europhys. Lett.* **83**, 67001 (2008).
4. В.Г.Барьяхтар, В.А.Львов, Д.А.Яблонский, *Письма в ЖЭТФ* **37**, 565 (1983).
5. W.Jiang et al., *Science* **349**, 283 (2015).

## ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

### Энергетика фуллеренов во внешнем электрическом поле

Авторы работы [1] с помощью расчетов из первых принципов проанализировали энергетические характеристики помещенных во внешнее электрическое поле (рис. 1) различных изомеров фуллеренов, подчиняющихся правилу изолированных пятиугольников (от  $C_{60}$  до  $C_{78}$ ). Результаты расчетов предсказывают рост полной энергии фуллерена пропорционально квадрату поля. Авторы приводят следующее выражение:  $E_{tot} = \alpha |E|^2 - \mathbf{d} \cdot \mathbf{E}$ , где  $\mathbf{E}$  – электрическое поле, а  $\mathbf{d}$  – дипольный момент молекулы. При этом, коэффициент пропорциональности  $\alpha$  зависит от эффективных размеров, симметрии и ориентации фуллерена в пространстве (рис. 1). Так, в случае  $C_{60}$  зависимость энергии от электрического поля имеет вид классической параболы (рис. 2).

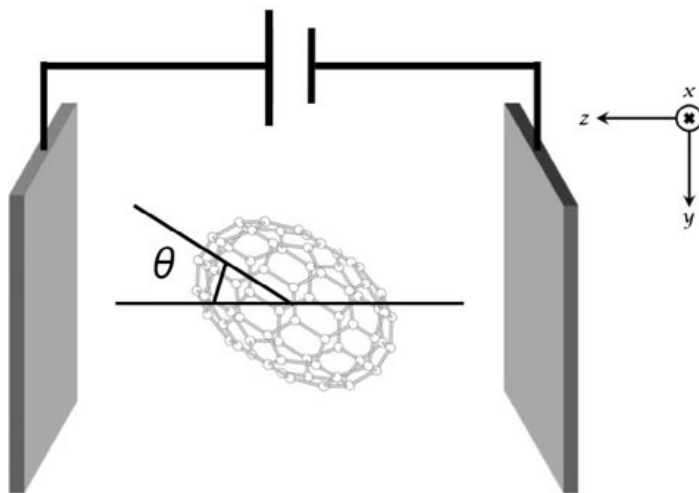


Рис. 1. Модель фуллерена, помещенного во внешнее электрическое поле. Серые пластины представляют собой параллельные электроды. Ориентация фуллерена в пространстве определяется молекулярным углом  $\theta$  по отношению к электрическому полю.

Для больших фуллеренов с высокой симметрией, таких как  $C_{70}$  или  $C_{72}$ ,  $\alpha$  уже не является постоянным, а зависит от взаимной ориентации фуллерена и электрического поля (рис. 2), тем не менее, симметричность графика сохраняется. Фуллерены же с низкой симметрией, например,  $C_{74}$  или  $C_{78}$  вообще обладают аномальным характером зависимости: полная энергия фуллерена при определенной ориентации последнего относительно электрического поля ниже, чем при нулевом поле, что указывает на наличие у фуллерена дипольного момента по направлению электрического поля под определенными молекулярными углами. По мнению авторов, дипольный момент возникает из-за особого расположения углеродных пятичленных колец на поверхности фуллереновой клетки. В частности, для одного из изомеров  $C_{78}$  ( $C'_{2v}$ ) при пространствен-

ной ориентации с  $\theta = 90^\circ$  (см. рис. 2) восемь из двенадцати пятиугольников сосредоточены на верхней полусфере.

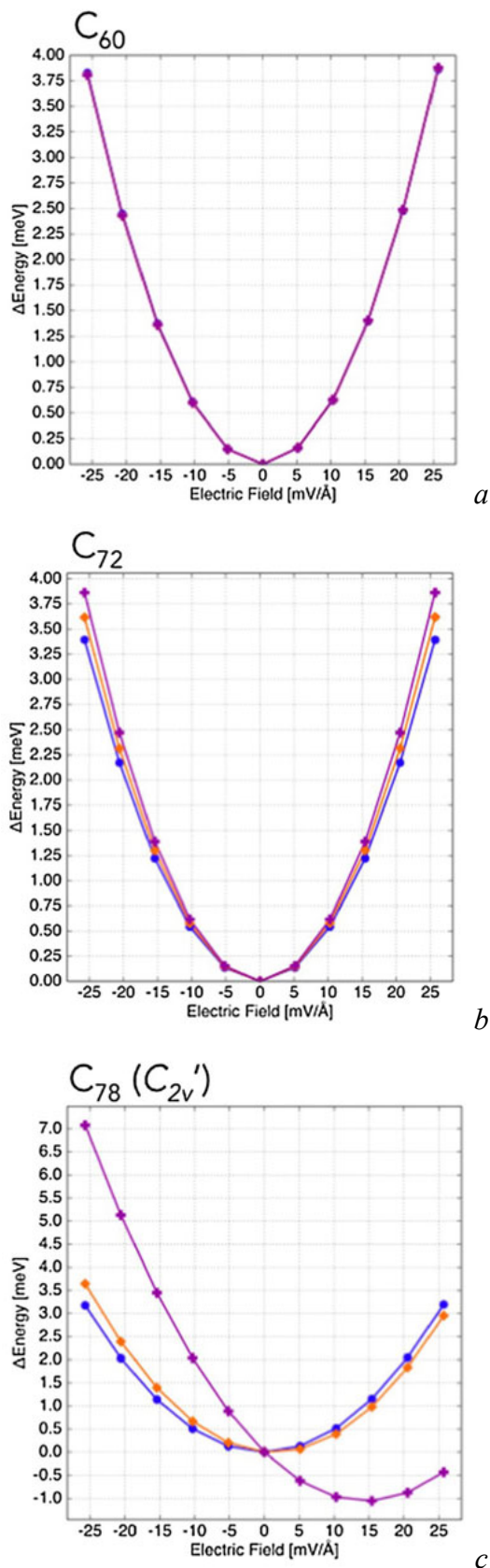


Рис. 2. Относительные энергии фуллеренов  $C_{60}$  (a),  $C_{72}$  (b) и  $C_{78}$  (c) с молекулярными ориентациями  $\theta = 0^\circ$  (синяя линия),  $45^\circ$  (желтая линия) и  $90^\circ$  (фиолетовая линия) как функции электрического поля. Энергии измерены относительно энергий соответствующих фуллеренов в отсутствие электрического поля.

Вследствие природы углерод-углеродных связей в пятиугольнике плотность заряда в верхней полусфере оказывается ниже, чем в оставшейся, что приводит к асимметричному распределению зарядовой плотности между двумя половинками молекулы. Таким образом, именно неоднородным распределением зарядовой плотности по углеродной клетке авторы и объясняют столь необычную энергетику фуллеренов. Будем ждать экспериментального подтверждения и предложений по возможному применению этих свойств.

М. Маслов

I. J.-y. Sorimachi et al., *Chem. Phys. Lett.* **659**, 1 (2016).

## КОНФЕРЕНЦИИ

**Девятый научно-практический семинар “Актуальные проблемы физики конденсированных сред” и выездная сессия Научного совета РАН по физике конденсированных сред, 10-14 октября 2016 г., г. Севастополь, Россия**

На девятом научно-практическом семинаре “Актуальные проблемы физики конденсированных сред” и выездной сессии Научного совета РАН по физике конденсированных сред будут заслушаны доклады по широкому кругу проблем физики конденсированных сред с опорой на научную и организационную деятельность всех секций Научного совета: теории твёрдого тела, нанотехнологий и наноматериалов, физики кристаллов, физики высоких давлений, магнетизма, физики сегнетоэлектриков и диэлектриков, физики поверхности, неразрушающих физических методов контроля, исследований конденсированных сред ядерно-физическими методами и физики прочности и пластичности.

На конференции будут обсуждаться как результаты экспериментов, так и теоретического моделирования, а также новые экспериментальные методы и технологические процессы. Большая часть исследований по представленным проблемам поддерживается РФФИ. Об актуальности перечисленных направлений свидетельствуют большое число ежегодных международных конференций, специализированных научных изданий и международных исследовательских проектов, посвященных этим проблемам.

Научно-практический семинар пройдет на базе Севастопольского государственного университета.

Рабочий язык конференции – русский.

## Публикация статей

К началу конференции авторы-участники конференции имеют возможность подготовить статьи для публикации в рецензируемом журнале “Поверхность” <http://www.issp.ac.ru/journal/surface/>



Журнал "Поверхность" переводится в издательстве Шпрингер, выходит под названием "Journal of Surface Investigation" и имеет импакт-фактор 0.3359 <http://www.springer.com/materials/surfaces+interfaces/journal/11700>

Правила оформления статей можно найти на сайте <http://www.issp.ac.ru/journal/surface/rules.htm>

Контакты:

Александр Алексеевич Левченко  
+7 (49652) 2 46 86 (p)  
[levch@issp.ac.ru](mailto:levch@issp.ac.ru)

Борис Борисович Страумал  
(916) 6768673  
[straumal@issp.ac.ru](mailto:straumal@issp.ac.ru)

Сайт: <http://sovetsfs.issp.ras.ru/>

***XVII Всероссийская школа-семинар по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС-17), 15-22 ноября 2016 г., г. Екатеринбург, Россия***

На протяжении семнадцати лет основным организатором Всероссийской школы-семинара по проблемам физики конденсированного состояния вещества (СПФКС) выступает Институт физики металлов УрО РАН (г. Екатеринбург). Участниками СПФКС являются: молодые ученые, кандидаты и доктора наук, аспиранты и студенты из институтов РАН, высших учебных заведений России и стран СНГ. В программу школы-семинара, помимо устных и стендовых докладов участников, входят приглашенные лекции известных ученых, специализирующихся в различных областях физики конденсированного состояния вещества. На семинаре существует традиция приглашать нескольких докладчиков из смежных областей наук, представителей различных высокотехнологичных отраслей промышленности, а также биологии и медицины. Такая политика способствует расширению кругозора молодых специалистов и представляется полезной в

плане развития междисциплинарного научного сотрудничества.

Основные цели школы-семинара:

Изучение участниками актуальных проблем, основных достижений и перспектив развития физики конденсированного состояния вещества;

Профессиональный рост и расширение научного кругозора участников школы-семинара за счет приглашенных докладов ученых с мировым именем по различным фундаментальным аспектам современной физики твердого тела и актуальным проблемам физики технологического и прикладного характера; Вовлечение молодых специалистов в активную научно-исследовательскую работу и установление научных связей между участниками из разных учреждений и регионов России;

Тематика:

- Магнитные явления
- Фазовые переходы и критические явления
- Проводимость и транспортные явления
- Резонансные явления
- Структурные и механические свойства твердых тел
- Неразрушающий контроль
- Теплофизика
- Электрофизика
- Наноматериалы
- Физика низких температур
- Оптика и спектроскопия
- Теория конденсированного состояния
- Биофизика

Важные даты

Последний срок регистрации и приема тезисов - **30 сентября 2016 г.**

Сайт: [http://smu.imp.uran.ru/?q=spfks\\_main](http://smu.imp.uran.ru/?q=spfks_main)

Экспресс-бюллетень ПерсТ информационной группой  
ИФТТ РАН и НИЦ «Курчатовский институт»

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, М. Маслов, Л. Опенев, А. Пятаков  
Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64<sup>а</sup>