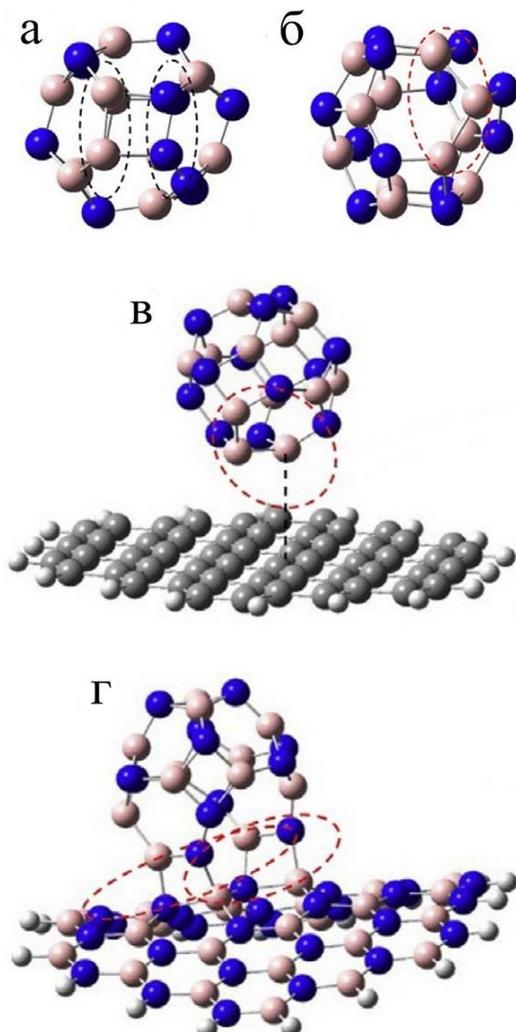


В этом выпуске:

НАНОМАТЕРИАЛЫ

Нитрид-борные наноконпозиты для доставки лекарств

Поиск подходящих материалов для доставки лекарственных средств в конечном итоге привел исследователей из Мексики и Чили [1] к детальному анализу взаимодействия замкнутых клеток (фуллеренов) $B_{12}N_{12}$ с хорошо известными двумерными материалами: графеном и гексагональным нитридом бора. При этом авторы рассмотрели, как традиционные нитрид-борные фуллерены, так и модифицированные, содержащие гомоядерные связи типа бор-бор и азот-азот в четырехугольнике на поверхности клетки или бор-бор-бор – в шестиугольнике (см. рис.).



Оптимизированные молекулярные структуры в газовой фазе: фуллерен $B_{12}N_{12}$ с гомоядерными связями В-В и N-N в четырехугольнике на поверхности клетки (а), фуллерен $B_{12}N_{12}$ с гомоядерными связями В-В-В в шестиугольнике на поверхности клетки (б), наноконпозит графен – фуллерен $B_{12}N_{12}$ (в), наноконпозит гексагональный нитрид бора – фуллерен $B_{12}N_{12}$ (г).

И далее ...

- 2 2D наноматериалы помогут создать портативную искусственную почку

СПИНТРОНИКА

- 5 Обзор по стрейнтронике

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

- 6 Доставка лекарств с помощью борнитридных фуллеренов

- 7 Речные фуллерены

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 8 Научный хит-парад 2018 по версии APS

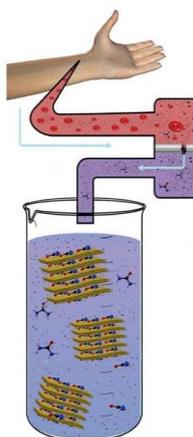
Компьютерное моделирование проводили с помощью теории функционала плотности в газовой фазе и в растворе (учет производили с помощью метода COSMO) на уровне теории HSEh1PBE/6-311G(d,p) в программном пакете Gaussian. Авторы определили ряд квантово-химических дескрипторов, характеризующих эти композитные системы, включая энергии граничных орбиталей и НОМО-LUMO щель, химический потенциал, магнитный момент и молекулярный электростатический потенциал, на основании анализа которых и сделали вывод об их использовании в качестве “фармакурьеров”. Кроме того, они рассчитали величины энергий адсорбции фуллеренов на поверхности моноатомных слоев, которые, как выяснилось, лежат в диапазоне, характерном для процессов физсорбции, обусловленных слабыми ван-дер-ваальсовыми силами. В итоге, исследователи установили, что для нанокompозита, состоящего из модифицированного фуллерена $B_{12}N_{12}$ и гексагонального нитрида бора, комбинация таких дескрипторов, как низкая химическая реактивность, небольшая НОМО-LUMO щель и высокая полярность, свидетельствует о применимости этой системы в качестве носителя лекарств, причем наличие раствора существенно не влияет на характеристики композита, за исключением изменения величины энергии адсорбции. Таким образом, по мнению авторов, эти молекулярные системы являются действительно неплохим вариантом для биологических приложений, что дополнительно подкрепляется независимыми данными о биосовместимости листов нитрида бора в зависимости от их формы, размера и структуры, а также успешными попытками синтеза полых нитрид-борных клеток для доставки лекарственных средств.

М. Маслов

1. J.C.Escobar et al., J. Mol. Graph. Model. 86, 27 (2019).

2D наноматериалы помогут создать портативную искусственную почку

Людам с тяжёлой почечной недостаточностью доступны два варианта лечения: трансплантация почки и диализ (очистка крови специальным аппаратом). Возможности трансплантации ограничены – нужны донорские почки. В России



в год проводится до 1000 таких операций, а в очереди стоят десятки тысяч больных. Диализ – более доступная процедура. Но, к сожалению, больной должен 2-3 раза в неделю ложиться в стационар, чтобы присоединиться к “искусственной почке” – аппарату, очищающему кровь вне организма в течение 4-6 часов. Этого мало – ведь у здоровых людей кровь фильтруется почками 24 часа в сутки. Ученые уже несколько десятилетий разрабатывают портативные устройства, которые могут обеспечить непрерывную очистку крови и, следовательно, повысить выживаемость и качество жизни хронических больных. Такие “мобильные (или носимые) искусственные почки” должны быть компактными, лёгкими, а для этого необходимо значительно уменьшить объем и вес системы регенерации диализата (диализирующей жидкости). Сейчас для очистки отработанного диализирующего раствора чаще всего применяют активированный уголь. Однако он практически не сорбирует мочевину, и ее приходится удалять путем разложения на NH_3 и CO_2 (с помощью фермента уреазы). Для поглощения аммиака используют гидрофосфат циркония, а CO_2 выпускают в атмосферу, что серьезно усложняет создание “носимой искусственной почки”. И, конечно, сорбента требуется намного больше, чем допустимо для портативного устройства.

Ученые из США, Китая, Великобритании в своей совместной работе [1] сделали важный шаг на пути преодоления этих трудностей. Они обратили внимание на новый класс наноматериалов – максены (MXenes), открытые в 2011 году [2]. Это 2D карбиды и нитриды переходных металлов $M_{n+1}X_nT_x$, где M – металл (e.g. Ti, V, Nb, Mo), X – C и/или N ($n = 1-3$), а T_x – поверхностные группы ($-OH$, $-O-$ и $-F$). Нанопластины максенов толщиной порядка 1 нм состоят из 2-4 атомных слоев переходного металла с прослойками углерода или азота и поверхностных функциональных групп, связанных с внешними металлическими слоями. К настоящему времени синтезировано более 20 максенов, но теоретически предсказано существование гораздо большего количества [3]. Получают эти 2D наноматериалы селективным вытравливанием слоев металла из так называемых MAX-фаз – слоистых тройных карбидов и нитридов $M_{n+1}AX_n$, где M – переходный металл, A – p элемент (e.g. Si, Ge, Al, S, Sn), X – C и/или N ($n = 1-3$). Так, например, порошок $Ti_3C_2T_x$ образуется при вытравливании в кисло-

те слоев алюминия из Ti_3AlC_2 . Микронные частицы порошка состоят из нескольких 2D MXene пластинок толщиной 1 нм (рис. 1a,b). В каждой пластинке 3 слоя атомов титана разделены атомами углерода, а на внешних Ti слоях имеются функциональные группы $-OH$, $-O$ или $-F$ (рис. 1c). Такие слоистые системы можно интеркалировать (и деинтеркалировать)

атомами и даже большими органическими молекулами. Максены имеют отличные электронные, оптические, термоэлектрические и др. свойства и особенно перспективны для создания устройств, аккумулирующих энергию. Однако авторы [1] нашли им еще одно применение – в качестве сорбентов мочевины.

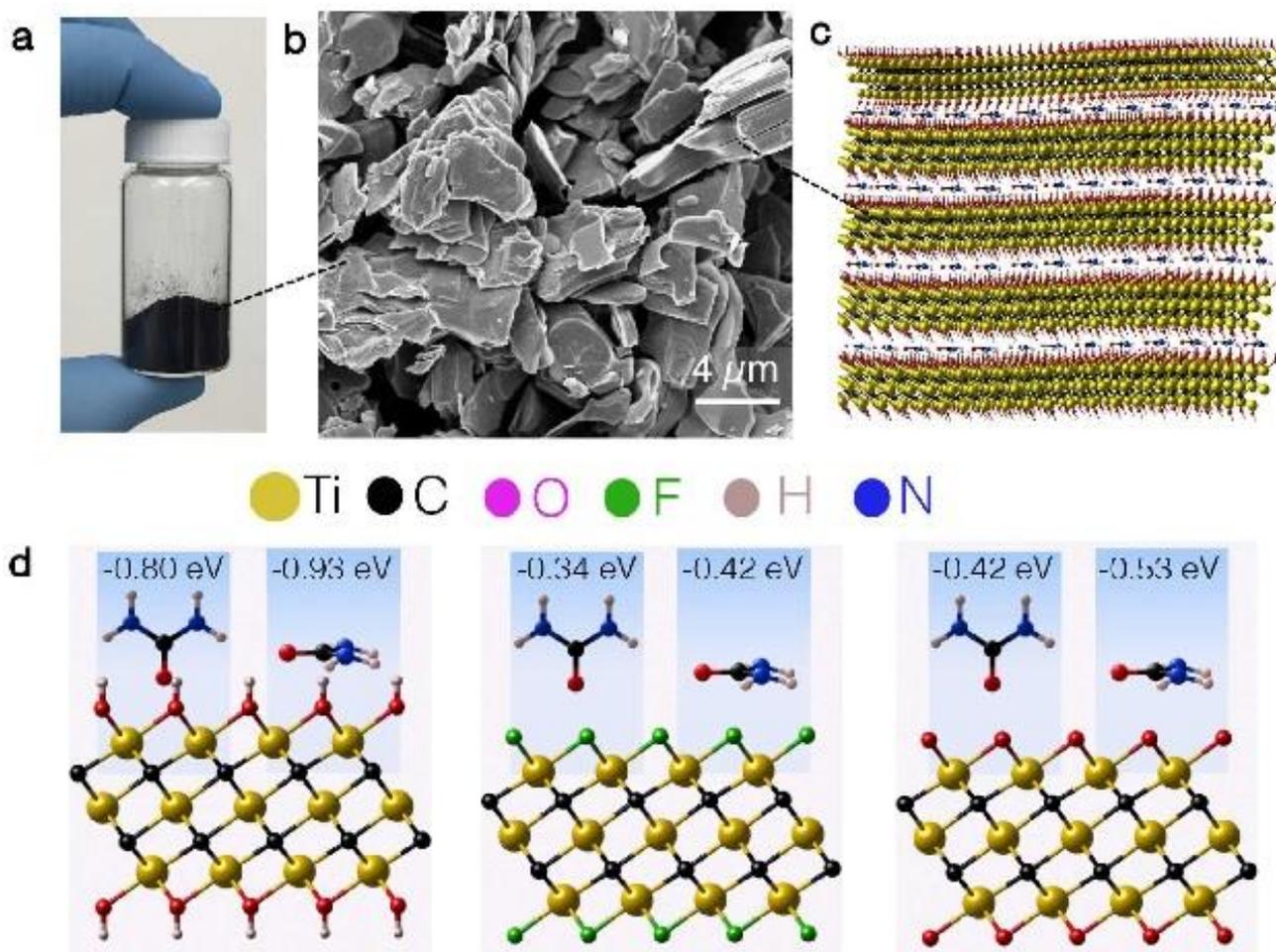


Рис. 1. Взаимодействие мочевины с $Ti_3C_2T_x$. а - Фотография ~ 7 г порошка $Ti_3C_2T_x$ в 20-мл пузырьке. б - SEM изображение порошка. с - Схема $Ti_3C_2T_x$ с интеркалированными молекулами мочевины. d - Энергии связи молекул мочевины на поверхности $Ti_3C_2T_x$ для двух ориентаций молекул и трёх функциональных групп.

Исследователи представили результаты экспериментов по адсорбции мочевины из водного раствора и отработанного диализата, взятого из аппарата для диализа. Для исследований выбрали наиболее изученный максен $Ti_3C_2T_x$. Сначала провели расчеты из первых принципов энергии связи молекул мочевины на поверхности $Ti_3C_2T_x$ для разных ориентаций молекул и трёх функциональных групп (рис. 1d). Наиболее стабильной оказалась адсорбция на поверхности с $-OH$ группами (энергии связи -0.93 и -0.80 эВ для горизонтальной и вертикальной ориентаций молекул, соответственно). Для всех функциональных групп предпочтительной яв-

ляется ориентация молекул параллельно поверхности, что говорит о возможности интеркаляции. Действительно, расчеты показали, что при адсорбции мочевины межслоевое расстояние увеличивается с 1.3 до 1.6 нм для $-OH$ групп на поверхности и с 1.0 до 1.5 нм для $-O$ и $-F$ групп.

В экспериментах использовали 6 мл водного раствора, содержащего 30 мг/дл мочевины (что соответствует обычной концентрации мочевины в отработанном диализате из аппарата для диализа). Добавление сорбента (от 0.155 до 5 г) привело к снижению ее концентрации, и эффективность сорбции росла при увеличении

количества сорбента (рис. 2). В присутствии 2 или 5 г сорбента за 4 мин удаляется более 98% мочевины. Даже при минимальном количестве (0.155 г) эффективность сорбции составляет ~ 80%.

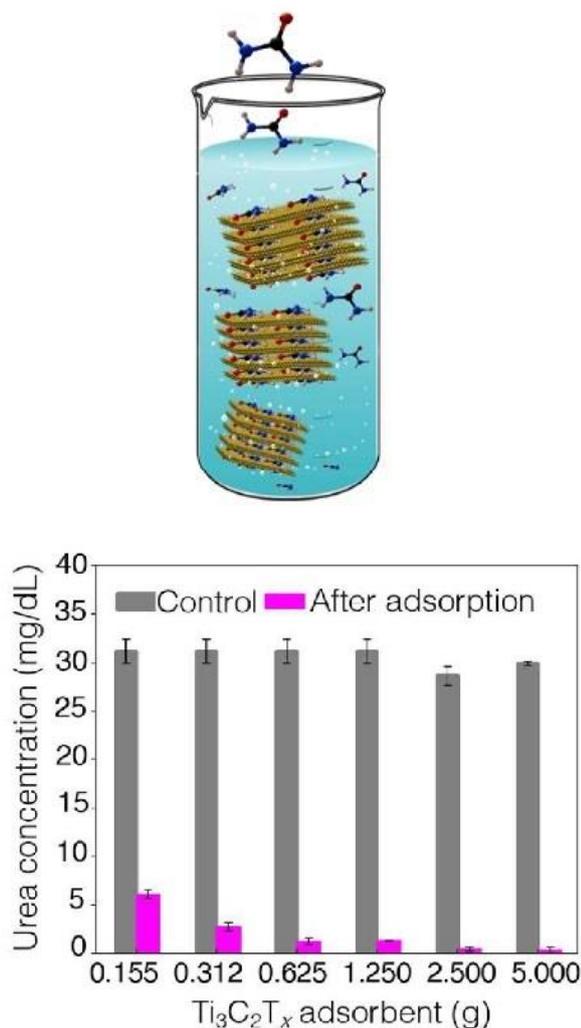


Рис. 2. Сорбция максенами мочевины из водного раствора. Вверху – схема эксперимента (не в масштабе). Внизу – изменение концентрации мочевины при разном содержании $Ti_3C_2T_x$ (пурпурный цвет) в сравнении с контрольным образцом (серый цвет). Для каждого образца использовали 6 мл раствора с концентрацией 30 мг мочевины на децилитр.

Для изучения влияния слоистой структуры и состава провели эксперименты, используя сорбенты Ti_2CT_x (с 2 слоями титана вместо 3) и $Mo_2TiC_2T_x$ (в котором внешние слои титана заменены на слои молибдена). Максимальная сорбционная емкость получена для образца $Ti_3C_2T_x$ (9.7 мг/г при комнатной температуре и 21.7 мг/г при 37°C).

Для того, чтобы оценить возможность практического применения максенов для регенерации диализата, авторы [1] заменили водный раствор с мочевиной на диализат пациентов, страдающих хроническими заболеваниями почек. При небольшом содержании сорбента эффективность удаления оказалась заметно ниже, чем из водного раствора, но при 2.5-5 г составила 94 %, что близко к величине для водного раствора (рис. 3). Сорбционная емкость у $Ti_3C_2T_x$ и в экспериментах с диализатом оказалась намного выше, чем у Ti_2CT_x и $Mo_2TiC_2T_x$.

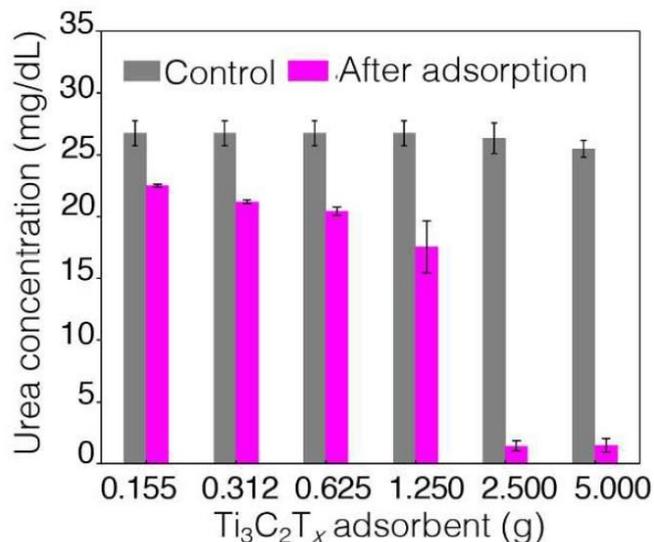


Рис. 3. Изменение концентрации мочевины в диализате при разном содержании $Ti_3C_2T_x$ (пурпурный цвет) в сравнении с контрольным образцом (серый цвет). Для каждого образца использовали 6 мл диализата с начальной концентрацией мочевины ~ 30 мг/дл.

В специальных экспериментах исследователи продемонстрировали биосовместимость $Ti_3C_2T_x$. Незначительное на первый взгляд открытие (некий новый материал может эффективно удалять из крови мочевины) дает надежду на создание миниатюрной системы регенерации диализата для мобильной искусственной почки.

О. Алексеева

1. F.Meng et al., ACS Nano 12, 10518 (2018).
2. M.Naguib et al., Adv. Mater. 23, 4248 (2011).
3. B.Anasori et al., Nature Rev. Mater. 2, 16098 (2017).

СПИНТРОНИКА

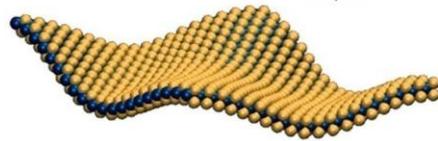
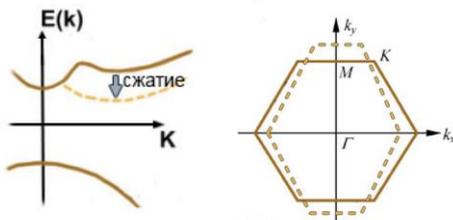
Обзор по стрейнтронике

На страницах ПерсТа уже не раз звучало это странное слово “стрейнтроника”, означающего электронику, использующую для управления электрическими и магнитными свойствами материалов механическую деформацию, которую по-английски называют коротким словом “strain”. Каждый раз, когда возникает новый неуклюжий термин, научная общественность ставит вопрос о том, насколько он оправдан и

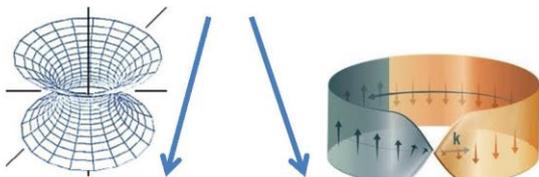
какое новое физическое содержание за ним стоит. В декабрьском выпуске «Успехов физических наук» вышел 40-страничный обзор «Стрейнтроника — новое направление микро- и нанoeлектроники и науки о материалах», в котором рассказывается о физических эффектах, лежащих в основе стрейнтроники, и новых возможностях, которые она открывает [1]. Не меньшее внимание уделено проблемам и фундаментальным ограничениям области.

Стрейнтроника

Стрейнтроника полупроводников и 2D материалов

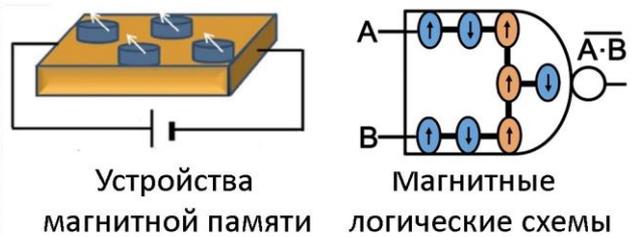


Механическая модификация электронной структуры



Физ. моделирование ОТО Геометрическая фаза, топология

Магнитная стрейнтроника



Гибридная спинтроника-стрейнтроника

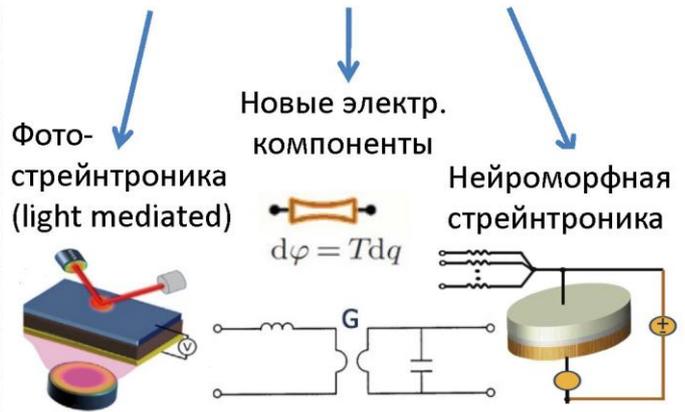


Рис. 1. Две ветви стрейнтроники. В левой части – управление электронной структурой с помощью деформаций [2]. Справа показаны основные устройства магнитной стрейнтроники, в частности магнитная память и логика [3].

Первое, что отмечают авторы обзора [1] – это изначальная двусмысленность термина. Две статьи, в которых впервые прозвучало слово “стрейнтроника” [2,3] (они поступили в печать с разницей в один день, соответственно 12 и 11 января 2011 г.) стали родоначальниками различных ветвей стрейнтроники: “графеновой” и “магнитной” (рис. 1). В первой, ведущей свое начало со статьи “Электронные свойства рифленого графена: принцип Гейзенберга и геометрия кротовых нор в твердом теле” [2] рас-
ПерсТ, 2018, том 25, выпуск 23/24

сматривается влияние деформаций на электронные свойства графена и других двумерных материалов – кремниевого аналога графена – силицена, гексагонального нитрида бора, ZnO, а также ультратонких слоев халькогенидов переходных металлов. Механическое напряжение в таких материалах служит “упругим калибровочным полем” (elastic gauge field), взаимодействующим с фермионами подобно электромагнитному полю, что порождает глубокие анало-

гии между квантовой теорией поля и физикой конденсированного состояния вещества.

Рождение второй ветви – магнитной стрейтронике началось с осознания главного ее преимущества перед существующими технологиями – малой энергии переключения между двумя логическими состояниями, поэтому и первая статья по магнитной стрейтронике называлась соответствующе: “Гибридная спинтроника и стрейтроника: магнитная технология компьютерных вычислений и обработки сигналов со сверхнизким энергопотреблением” [3]. Согласно оценкам [3], энергия переключения запоминающих стрейтронных устройств, представляющих собой гетероструктуры из механически связанных слоев магнитострикционного материала и пьезоэлектрика, будет меньше одного аттоджоуля. Эти величины приближают нас к фундаментальному пределу Ландауэра $kT \ln(2)$ – минимальной энергии, выделяемой при стирании одного бита информации. Большое число работ по магнитной стрейтронике посвящено симметричному запрету на 180-градусное переключение намагниченности с помощью электрического поля и способам его обхода, хотя с практической точки зрения этот вопрос не имеет столь большого значения: схемы с 90-градусным переключением намагниченности также возможны. В то же время, как отмечают авторы обзора [1], мало внимания в литературе уделено очевидному изъяну стрейтронных технологий – относительно большим временам переключения. Даже в теоретических расчетах, призванных иллюстрировать “быстрое 180-градусное переключение”, времена релаксации намагниченности исчисляются единицами наносекунд при отсутствии явно сформулированных ограничений со стороны быстродействия. Пока же наиболее комфортными нишами для стрейтронике остаются приложения, в которых не требуется сверхвысокое быстродействие: сенсоры магнитного поля, устройства сбора энергии (energy harvesting), трансформаторы и автономные маломощные генераторы. Интересные перспективы также открываются в области имплантологии, наномедицины и других медицинских приложений.

Поскольку стрейтроника – область быстро развивающаяся, то за пределами обзора остались некоторые статьи, вышедшие в 2018 году, в частности недавняя статья авторов из ИФМ РАН им. М.Н. Михеева, в которой показана

корреляция между полевыми зависимостями магнитоотражения (относительного изменения коэффициента отражения при наличии магнитного поля и в его отсутствие) и магнитострикции в ферромагнитных шпинелях [4]. Данный результат интересен в контексте фотострейтронике – технологии на стыке стрейтронике и фотоники, которая как раз позволит решить отмеченную ранее проблему относительно низкого быстродействия стрейтронных устройств. Фотоиндуцированная стрижка в сегнетоэлектрических материалах и мультиферроиках выведет скорость переключения стрейтронных элементов в терагерцовый диапазон.

А. Пятаков

1. А.А. Бухараев и др., *УФН* **188**, 1288 (2018).
2. V. Atanasov, A. Saxena, *J. Phys.: Condens. Matter* **23**, 175301 (2011).
3. K. Roy et al., *Appl. Phys. Lett.* **99**, 63108 (2011).
4. Ю.П. Сухоруков и др., *ЖЭТФ* **153**, 127 (2018).

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

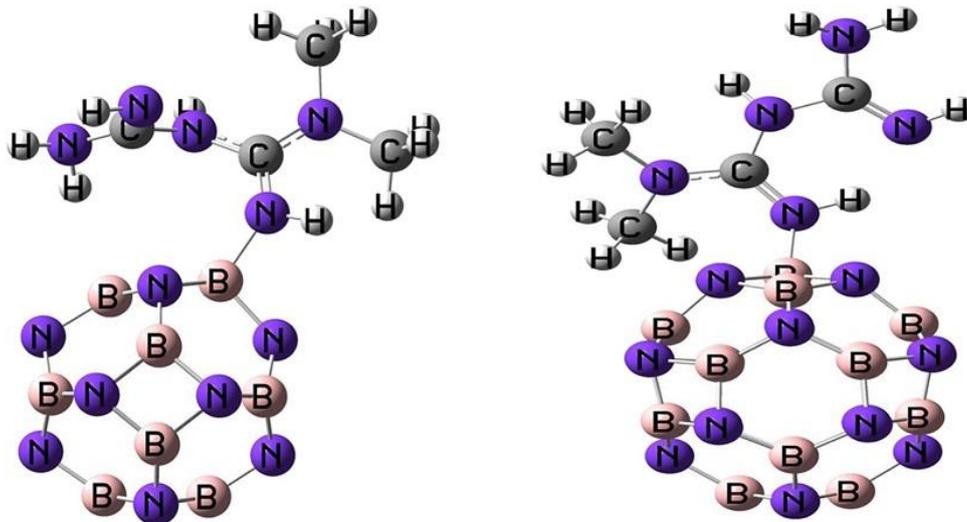
Доставка лекарств с помощью борнитридных фуллеренов

В работе [1] исследователи из Ирана и Австралии задумались о роли борнитридных (BN) фуллеренов в технологии доставки лекарств. Для понимания перспектив их использования они выполнили квантово-химическое компьютерное моделирование ковалентного и нековалентного связывания наносистем $B_{12}N_{12}$ и $B_{16}N_{16}$ с метформином. Метформин – известное сахароснижающее лекарственное средство, которое применяется в основном при лечении сахарного диабета второго типа. Иногда его также относят к противовирусным и противоопухолевым препаратам. Авторы проанализировали взаимодействие метформина как с незамещенными $B_{12}N_{12}$ и $B_{16}N_{16}$ (см. рис.), так и с некоторыми допированными каркасами: $CB_{11}N_{12}$, $GeB_{11}N_{12}$, $SiB_{11}N_{12}$, $GaB_{11}N_{12}$, $AlB_{11}N_{12}$ и $MgB_{11}N_{12}$, сфокусировавшись на влиянии атомов допантов на адсорбционные характеристики фуллеренов и использовании последних в качестве химических сенсоров метформина. Все расчеты авторы выполняли в программе Gaussian09 в рамках теории функционала плотности с учетом дисперсионных поправок Grimme с использованием функционалов PW91 и B3LYP и базисного набора

Перст, 2018, том 25, выпуск 23/24

6-311+G(d,p). В частности, они выполнили оптимизацию геометрии наноструктур, рассчитали плотность электронных состояний (DOS), граничные молекулярные орбитали (HOMO и LUMO), провели анализ натуральных орбита-

лей (NBO-анализ) и определили некоторые квантово-химические дескрипторы: химический потенциал, химическая твердость и мягкость, электроотрицательность и электрофильность.



Адсорбция молекулы метформина на незамещенные борнитридные фуллерены $B_{12}N_{12}$ (слева) и $B_{16}N_{16}$ (справа).

В результате авторы установили, что ковалентное связывание метформина посредством NH-группы с фуллереном $B_{12}N_{12}$ энергетически более выгодно, чем с $B_{16}N_{16}$, а атомы допантов в каркасах вида $XB_{11}N_{12}$ лишь облегчают этот процесс. Анализ плотности состояний (изменение энергетической щели) свидетельствует о том, что наибольшей чувствительностью к присутствию метформина обладает $GeB_{11}N_{12}$. Расчеты в модели поляризуемого континуума (PCM) показали, что этот комплекс остается устойчивым и в водной среде, что в некоторой степени можно считать моделью биологического организма. Таким образом, авторы прогнозируют использование $GeB_{11}N_{12}$ не только в качестве носителя метформина, но и биосенсора для его непосредственного обнаружения.

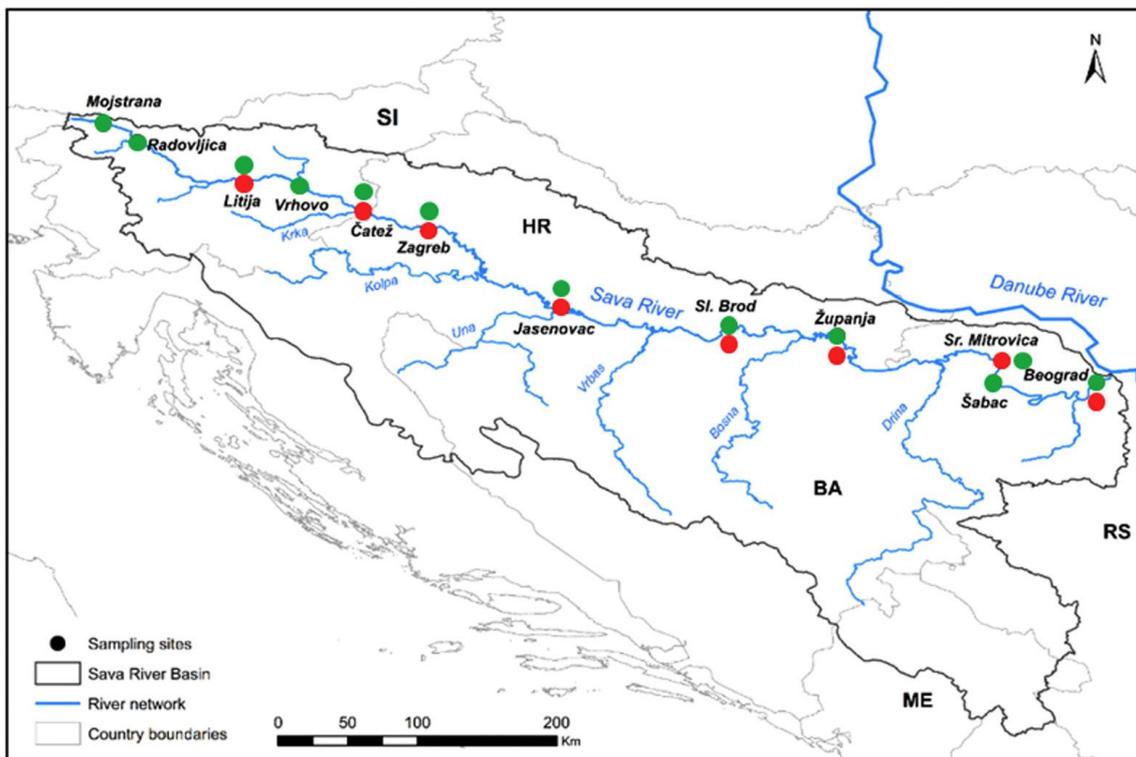
М. Маслов

I. A.S. Ghasemi et al., J. Mol. Liq. 275, 955 (2019).

Речные фуллерены

Вопросы влияния современных нанотехнологий на окружающую среду находятся в настоящее время под пристальным вниманием ученых-экологов. Особое место в этом ряду занимает проблема загрязнения водных систем наноматериалами, что, по мнению многих исследователей, представляет потенциальную опасность для человека и Природы. Однако лишь немногие научные работы посвящены *Перст, 2018, том 25, выпуск 23/24*

экспериментальному определению уровня концентрации наноструктур в естественных водоемах и водотоках, что затрудняет разработку адекватной рискованной модели для общества. В работе [1] авторы из Испании и Словении постарались частично восполнить этот пробел и проанализировали содержание наиболее распространенных фуллеренов и их производных в водах Савы. Река Сава – приток Дуная протяженностью 945 км – протекает по территории Словении, Хорватии, Боснии и Герцеговины и Сербии (см. рис.). По данным Международной комиссии по бассейну реки Савы она получает значительное антропогенное давление, и по ряду оценок до 50 % водных объектов из бассейна реки Савы находятся в рискованной зоне из-за присутствия опасных веществ. Авторы отобрали для анализа десять фуллеренов, включая классические C_{60} , C_{70} , C_{76} , C_{78} , C_{84} и их замещенные и допированные производные, наиболее часто встречающиеся в микроэлектронике и фотовольтаике, такие как метиловый эфир [6,6]-фенил- C_{61} -масляной кислоты ([60]PCBM), *N*-метил-фуллеропирролидин ([60]NMFP) и другие. Они осуществили заборы 27 проб пресной воды и 12 проб донных отложений из двенадцати различных географических точек при различных экстремальных гидрологических условиях: сильных паводков и засухи (см. рис.).



Места забора образцов из реки Савы: красными точками обозначены места забора во время паводков, зелеными – во время засухи.

Наиболее распространенным оказался фуллерен C_{60} . Его концентрации в зависимости от гидрологических условий составили 8 $\mu\text{g/l}$ – 59 $\mu\text{g/l}$ и 108 – 895 $\mu\text{g/g}$ в воде и отложениях, соответственно. Фуллерен C_{70} также присутствует в водах Савы, но в меньшей степени. При этом, другие незамещенные фуллерены обнаружены не были. Что касается сложных производных, то в некоторых образцах авторы зарегистрировали [60]PCBM и [60]NMFP в концентрациях, близких к пределу обнаружения современного оборудования. Хотя столь малые концентрации фуллереновых материалов вряд ли способны вызвать острую экологическую проблему прямо сейчас, авторы подчеркивают, что в долгосрочной перспективе их присутствие способно нарушить обмен веществ водных организмов, что повлечет за собой необратимые последствия. Они уверены, что исследования и разработки в области нанотехнологий ответственны за выброс этих загрязняющих веществ и призывают бережнее относиться к окружающим нас природным богатствам.

М. Маслов

I. J. Sanchis et al., *Sci. Total Environ.* **643**, 1108 (2018).

ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

Научный хит-парад 2018 по версии APS



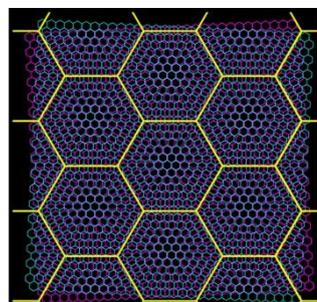
Коллаж из “научных хитов” года [*Physics* **11**, 129 (2018)]

Американское физическое общество в своем электронном журнале *Physics*, популяризирующем статьи семейства журналов *Physical Review*, подвело своеобразный “хит-парад” года. Помимо ожидаемых в таких случаях новостей из серии “про реактор и любимый лунный трактор” (о пресловутом бозоне Хиггса, темной материи и эталоне килограмма) в список попал ряд сюжетов, не столь популярных среди журналистов, но представляющих интерес для аудитории *ПерсТа*, которые мы приводим ниже.

Сверхпроводник из графенового муара

В том, что два листа графена, слегка повернутые относительно друг друга, образуют сверхрешетку с гексагональными ячейками, нет ни-

чего неожиданного. Однако мало кто мог предположить, что при этих “магических” углах такая система будет демонстрировать высокотемпературную сверхпроводимость нового типа, обнаруженную командой американских и японских исследователей. Это сообщение произвело сенсацию на мартовской сессии



Американского физического общества: трансляцию из небольшой комнаты вели на огромную аудиторию фойе Конференц-центра Лос-Анжелеса, публика в которой, в прямом смысле, свисала с балконов ([2018 APS Meeting](#)).

Y. Cao et al., Nature 556, 43 (2018).

Рекорд оборотов

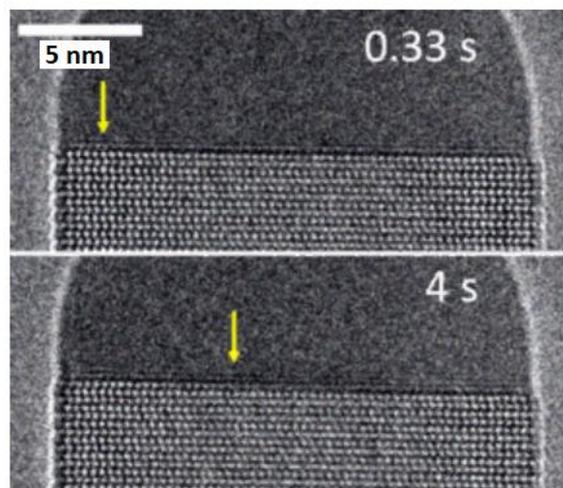
В этом году независимо друг от друга две команды исследователей (из швейцарского ETH и американского Purdue Univ.) получили рекордные скорости вращения твердотельных объектов – на гигагерцовой частоте (для сравнения: турбина двигателя разлетается на фрагменты при угловой скорости в миллион раз меньшей – 1000 оборотов в секунду). Для того чтобы заставить вращаться с такой частотой 100-нанометровую кварцевую частицу, исследователи использовали циркулярно-поляризованное излучение. Помимо прикладного использования (исследования предела прочности материалов), ученые планируют изучать на таких моделях микроволновое излучение межзвездной пыли (предполагается, что заряженные частицы могут вращаться в космосе с такой же частотой), а также ускользящие пока от исследователей квантовые эффекты: спин-орбитальное взаимодействие в оптически левитирующих наночастицах и вращательный эффект Казимира – трение, вызванное взаимодействием с виртуальными частицами физического вакуума.

R.Reimann et al., Phys. Rev. Lett. 121, 033602 (2018).

J.Ahn et al., Phys. Rev. Lett. 121, 033603 (2018).

3D печать в неживой природе

Самым просматриваемым видео, сопровождающим публикации этого года, стала визуализация с помощью электронного микроскопа процесса роста нанопроволоки из арсенида галлия. Этим видео можно полюбоваться на сайте: <https://physics.aps.org/articles/v11/106>

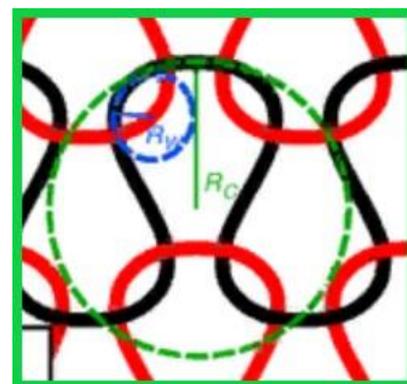


Рост кристалла происходит с образованием одноатомной ступеньки на краю проволоки, где граничат три фазы: жидкость, пары и кристалл. Возникший фронт кристаллизации впоследствии заметает всю поверхность кристалла, создавая впечатление работающего 3D принтера.

J.-C.Harmand et al., Phys. Rev. Lett. 121, 166101 (2018).

Разгадана тайна эластичности колготок

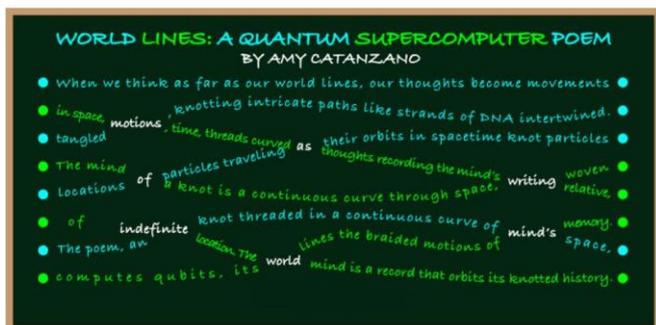
Почему трикотаж – вязанная ткань – так хорошо тянется, а тканые вещи из тех же самых нитей не столь эластичны? Кажется очевидным, что трикотаж так сильно



растягивается за счет скольжения нитей внутри петли, а затем деформации самой петли. Однако научного описания этого механизма до последнего времени не было. Ученые из Парижа и Лиона теоретически и экспериментально исследовали растяжение вязанной ткани. В их работе, опубликованной в *Physical Review X*, смоделирована элементарная ячейка вязанной ткани, приведены уравнения, описывающие движение нитей внутри ячейки. Данная модель может быть применена к различным типам вязки и может быть использована для создания так называемых “умных тканей”, которые могут менять свою форму под внешним воздействием.

S.Poincloux et al., Phys. Rev. X 8, 021075 (2018).

Квантовое стихотворение: множество прочтений в восьми строчках



Мир квантовой механики, не поддающийся законам классической логики, многим кажется непонятным и неприемлемым. Литература и искусство также не готовят нас к жизни в таком мире. Самое время исправить эту недоработку! Поэтесса Эми Катанзано (Amy Catanzano) придумала такое стихотворение, в котором читатель может почувствовать себя квантовым компьютером, параллельно видя множество вариантов прочтения с разными смыслами. Это стихотворение состоит из восьми строчек, которые могут пересекаться друг с другом, сохраняя подобие осмысленности, на развилках находятся отдельные слова. Стихотворение написано на английском языке. Наверняка на русском можно придумать что-то не менее изящное и более осмысленное.

Physics 11, 103 (2018).

З. Пятакова, А. Пятаков

*Дорогие наши читатели!
Поздравляем Вас и ваших близких с наступающим Новым годом и Рождеством!*



*Сверкают снежинки,
искрятся под светом
Весёлых ночных фонарей,
Деревья в пушистые шали
одеты.*

*Походкой неслышной своей
Легко и беспечно к нам праздник шагает,
Включая обратный отсчёт,
Секунды последние в такт отбивая,
Стучится к нам в дверь Новый год.
Пускай принесёт этот гость вам в подарок
Здоровье, любовь и успех,
Пусть счастья навеет волшебные чары,
Добра и удачи для всех!*

Редакция и авторы ПерсТа

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

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

Научные редакторы К.Кугель, Ю.Метлин

В подготовке выпуска принимали участие О.Алексеева, М.Маслов, А.Пятаков, З.Пятакова

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64^а