

В этом выпуске:

ГРАФЕН

Графеновые маски выходят на борьбу с Covid 19

Углеродные наноматериалы – графен, нанотрубки, фуллерены и их производные – уже довольно давно зарекомендовали себя в качестве уникальных помощников медикам в диагностике и лечении различных заболеваний. Перст недавно рассказал о синтезе производных фуллерена C_{60} , обладающих анти-ВИЧ активностью [1]. А в период пандемии Covid 19 на борьбу с коронавирусом SARS-CoV-2 выходит графен. Исследования ведутся активно, но впереди еще много работы. К практическому применению ближе всего “графеновые” маски. Китайские исследователи недавно предложили метод функционализации обычных разовых медицинских масок путем нанесения графена [2]. Новые маски супергидрофобные, их можно стерилизовать просто на солнце и многократно использовать.

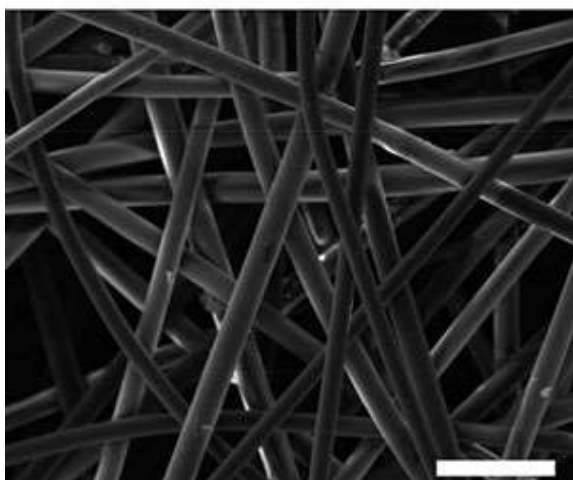


Рис. 1. Иллюстрация капли, содержащей вирус Covid 19 и SEM изображение материала медицинской маски (шкала 100 мкм).

И далее ...

3 Графен губит вирусы

ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

5 Сенсор для
противотуберкулезного
препарата

СПИНТРОНИКА

6 Взаимодействие
Дзялошинского-Мории
и механическая деформация.
Скирмионы займутся
растяжкой?

КОНФЕРЕНЦИИ

7 Quantum Complex Matter
2020 (QCM 2020), Rome -
Frascati National Laboratory,
June 8-12, 2020

Современные медицинские маски производят из трёх-четырёх слоев нетканых материалов (так называемых спанбонда, мелтблауна), сырьем для которых являются полимеры, в основном полипропилен. Поверхности масок гидрофобные, и не пропускают большую часть капель, попавших при чихании или кашле окружающих. Однако нетканое полотно состоит из гладких волокон диаметром около 20 мкм, расположенных случайным образом, и не имеет наноструктуры. Супергидрофобностью поверхность не обладает, и на ней всё же задерживаются капельки влаги, в которых могут находиться вирусы (рис. 1).

В последнее десятилетие разработке материалов с супергидрофобными поверхностями уделяют большое внимание, однако данных об их применении в медицинских масках до опубликования результатов исследований [2] не было. Авторы этой работы синтезировали графен воздействием лазерного излучения на полиимид. Известно, что правильная и точная фокусировка непрерывного инфракрасного лазера позволяет одновременно получить на одной поверхности пленки полимерного прекурсора супергидрофильный графен, а на другой – супергидрофобный (рис. 2). Используя метод лазерно-индуцированного прямого переноса LIFT (*laser induced forward transfer*), супергидрофобную пленку можно перенести на поверхность другой близко расположенной подложки. К сожалению, это не может быть поверхность медицинской маски, т.к. она не выдерживает нагрев выше 130°C. Китайские ученые сумели преодолеть это препятствие. Они использовали ИК-лазер с длиной волны 1064 нм, который может работать в двух режимах – в непрерывном CW (*continuous wave*) и в импульсном. Схема эксперимента показана на рис. 2. Лазерный луч (1064 нм, CW) фокусируют на донорной полиимидной пленке. Под воздействием лазерного излучения образуется графен, супергидрофобные чешуйки которого с поверхности донорной пленки методом LIFT переносят на акцепторную полиимидную пленку (которая находится выше на расстоянии 1 мм). Далее используют этот же лазер в импульсном режиме и методом LIFT осаждают супергидрофобный графен на поверхность маски. При таком щадящем воздействии маска не плавится.

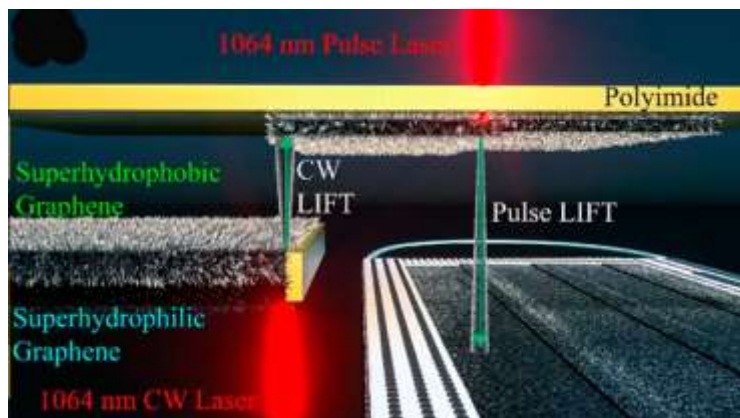


Рис. 2. Образование графена под действием лазерного излучения: перенос графена на верхнюю полиимидную пленку методом CW LIFT и перенос графена методом импульсного LIFT на термочувствительную маску.

Полиимид – доступный прекурсор, метод синтеза простой, недорогой. Его можно применить на производстве масок в промышленных масштабах, используя непрерывную лазерную обработку рулонной пленки и подачу масок на ленте конвейера, как предлагают авторы [2] (рис. 3).



Рис. 3. Иллюстрация непрерывного производства «графеновых» масок методом LIFT при использовании лазерного ИК-излучения в двух режимах.

Поверхность модифицированной маски (рис. 4а) супергидрофобна, как лист лотоса. Это обусловлено наноструктурой, возникшей в результате равномерного распределения чешуек графена на поверхности волокон (рис. 4b). То, что это действительно графен, причем состоящий лишь из нескольких слоев, четко показывают рамановские спектры (рис. 4с). Краевой угол смачивания более 140° (у гидрофобной фабричной маски 110°) (рис. 4d).

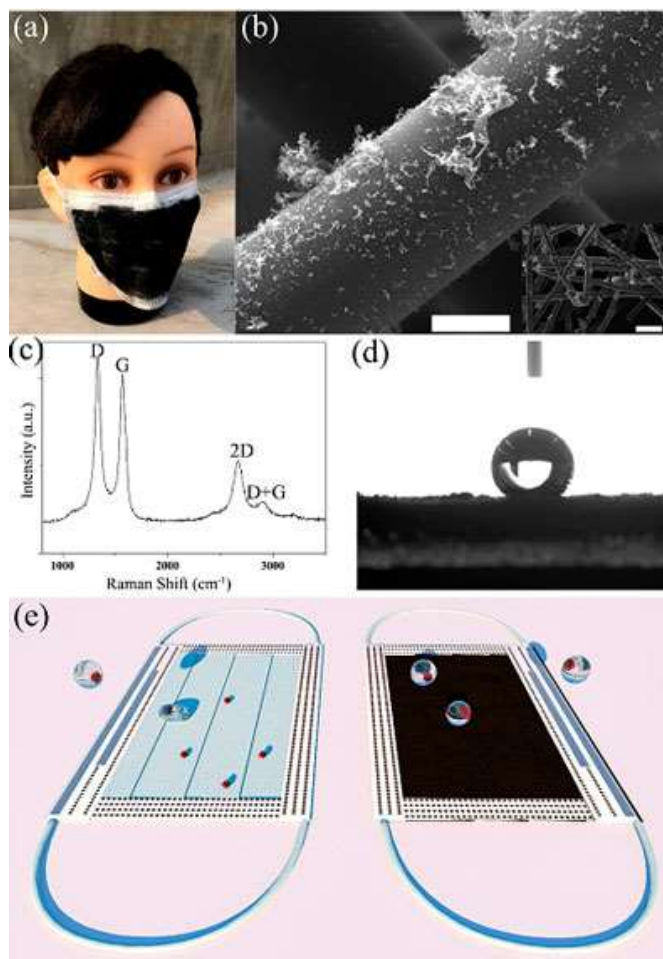


Рис. 4. а - Фотография модифицированной маски; б - SEM изображение поверхности маски с чешуйками графена (размером от 100 нм до нескольких микрон) (шкала 10 мкм; на врезке - 100 мкм); с - рамановский спектр “графеновой” маски; д - угол смачивания для капли воды на поверхности модифицированной маски; е - у чёрной “графеновой” маски (в отличие от фабричной голубой) самоочищающаяся поверхность.

Китайские исследователи дополнительно изучили фототермические свойства новой маски и обнаружили, что уже через 40 с температура под воздействием солнечного света поднимается выше 70 °С, а через ~ 150 с достигает 90 °С. Это происходит благодаря тому, что графен поглощает более 95% падающего света во всем диапазоне спектра от 300 нм до 2500 нм. Температура фабричной маски после 5 минут воздействия остается ниже 45 °С. Таким образом, новые маски можно стерилизовать для дальнейшего использования или безопасно утилизировать, если они повреждены. Конечно, авторам еще предстоит подтвердить антивирусную активность нового покрытия (включая действие на вирус SARS-CoV-2). В предыдущей работе они продемонстрировали, что аналогичное графеновое покрытие способно практически полностью уничтожить колонии бак-

терий *E. Coli* благодаря синергетическому действию супергидрофобности и фототермической активности [3].

После того, как COVID-19 закончится, маски, произведенные в огромных количествах, можно повторно использовать, например, как солнечные парогенераторы в устройствах обессоливания воды.

О. Алексеева

1. [ПерсТ 27, вып. 5/8, с. 7 \(2020\).](#)
2. H.Zhong et al., *ACS Nano* 14, 6213 (2020).
3. N.Jiang et al., *Global Challenges* 4, 1900054 (2020).

Графен губит вирусы

Текущая вспышка пневмонии при коронавирусной болезни (COVID-19) представляет собой без преувеличения глобальный вызов человечеству. Исследователи практически всех стран озабочены поиском и синтезом эффективной вакцины, способной победить инфекцию. Естественным образом возникает вопрос об использовании последних достижений науки, в частности современных материалов в борьбе с коронавирусом. Графен наряду с уникальными электронными и механическими характеристиками также привлекает к себе внимание благодаря антимикробной и противовирусной активности. О возможном использовании графена против COVID-19 на страницах Nano Today высказались исследователи из Италии, страны, наиболее пострадавшей от коронавирусной инфекции [1]. Они постарались обобщить текущие знания о взаимодействии вирусов с графеном и сделали прогнозы относительно наиболее вероятных применений последнего в диагностике, лечении и защите от коронавируса.

Необходимо отметить, что первые подтверждения антивирусной эффективности графена датируются 2012 годом, когда для фотоинактивации бактериофагов при облучении видимым светом использовали тонкие пленки из восстановленного оксида графена и оксида вольфрама. Восстановленный оксид графена (rGO) получают из традиционного оксида графена (GO) посредством удаления атомов кислорода восстанавливающими агентами. По мнению авторов, именно производные графена, в частности, кислородсодержащие, должны стать локомотивом в борьбе с инфекцией. Оксиды графена взаимодействуют с вирусами в основном посредством электростатики, за счет образования

водородных связей и через окислительно-восстановительные реакции. Они обладают способностью адсорбировать заряженные липиды и разрушать мембраны после связывания с графеновой «ароматической» плоскостью. Это свойство объясняет, например, действенность оксидов графена против кошачьего коронавируса. Кроме того, производные графена также успешно использовали в качестве элементов систем доставки противовирусных соединений, таких как ингибиторы обратной транскриптазы, связанные с графеновыми квантовыми точками, для лечения ВИЧ и комплексы гиперин-GO, нацеленные против реовируса. Примечательно, что последние данные компьютерного моделирования указывают на эффективность гиперинина и при лечении COVID-19. Помимо всего графен также является мощным иммуномодулятором, а наноконпози́ты GO с серебром усиливают выработку естественных противовирусных защитных факторов (интерферон-стимулирующих генов). Наконец, графен и его производные могут оказаться полезными при тестировании ингибиторов коронавиральной хеликазы в качестве лекарственных препаратов для антивирусной терапии. Хеликазы – это ферменты, которые способны разматывать двухцепочечные нуклеиновые кислоты в одноцепочечные во время репликации и пролиферации вируса. По этой причине хеликазы рассматривают в качестве элементов противовирусной терапии. Однако традиционный анализ активности хеликазы сложен и зачастую неэффективен из-за длительной подготовки и частого проявления методологических ошибок. Оксид графена обладает возможностью избирательного связывания одноцепочечной ДНК на своей поверхности, что можно использовать для эффективного мониторинга активности хеликазы.

Помимо использования производных графена непосредственно в процессах лечения, возможно их применение и для эпидемиологического контроля распространения заболевания. Графеновые фильтры способны захватывать микрочастицы и бактерии, что позволит уменьшить передачу внутрибольничных инфекций. Бактерии, заблокированные таким фильтром, теряют способность к размножению, а при его нагревании до температур свыше 300 °С микроорганизмы, вызывающие заболевания, погибают. Также GO может оказаться полезным и в качестве сенсора. Например, в 2018 г. был успешно разработан и опробован биосенсор на

основе пленки GO для идентификации вируса гриппа A H1N1. Аналогичным образом, можно создать и датчики SARS-CoV-2 для контроля над распространением вируса сквозь защитную одежду. Пленки GO также могут оказаться полезными для создания вирусных барьеров в тканях, что может быть использовано при производстве лицевых масок. Кроме того, графеновые покрытия могут использоваться в соединении с наночастицами нитрата серебра или диоксида титана для улавливания патогенных микроорганизмов. При этом возможно и повторное их применение после соответствующей термообработки.

В конечном итоге, итальянские исследователи делают выводы о перспективности использования графена в борьбе с COVID-19, делая ставку на его универсальность. Так, кислородсодержащие производные графена с необходимыми антителами позволят быстро и точно идентифицировать целевые вирусные белки и могут оказаться полезными для массового скрининга, а также для разработки датчиков и фильтров окружающей среды. Функционализированный графен обладает способностью к захвату вируса, которая в сочетании с нагреванием или фотоинактивацией может использоваться в качестве дезинфицирующего средства. Массивы графеновых сенсоров можно размещать на спецодежде и индивидуальных средствах защиты, а графеновые покрытия в сочетании с серебром способны обеспечить дополнительный барьер для вируса. В принципе, графен мог бы занять существенную нишу в борьбе с COVID-19. Однако, с другой стороны, оперативное и повсеместное его распространение в сложившихся критических обстоятельствах вряд ли возможно. Скорее всего, все эти разработки окажутся востребованными в более далекой перспективе, как в борьбе с коронавирусом, так и с другими вирусными инфекциями.

М. Маслов

I. V. Palmieri et al., Nano Today 33, 100883 (2020).

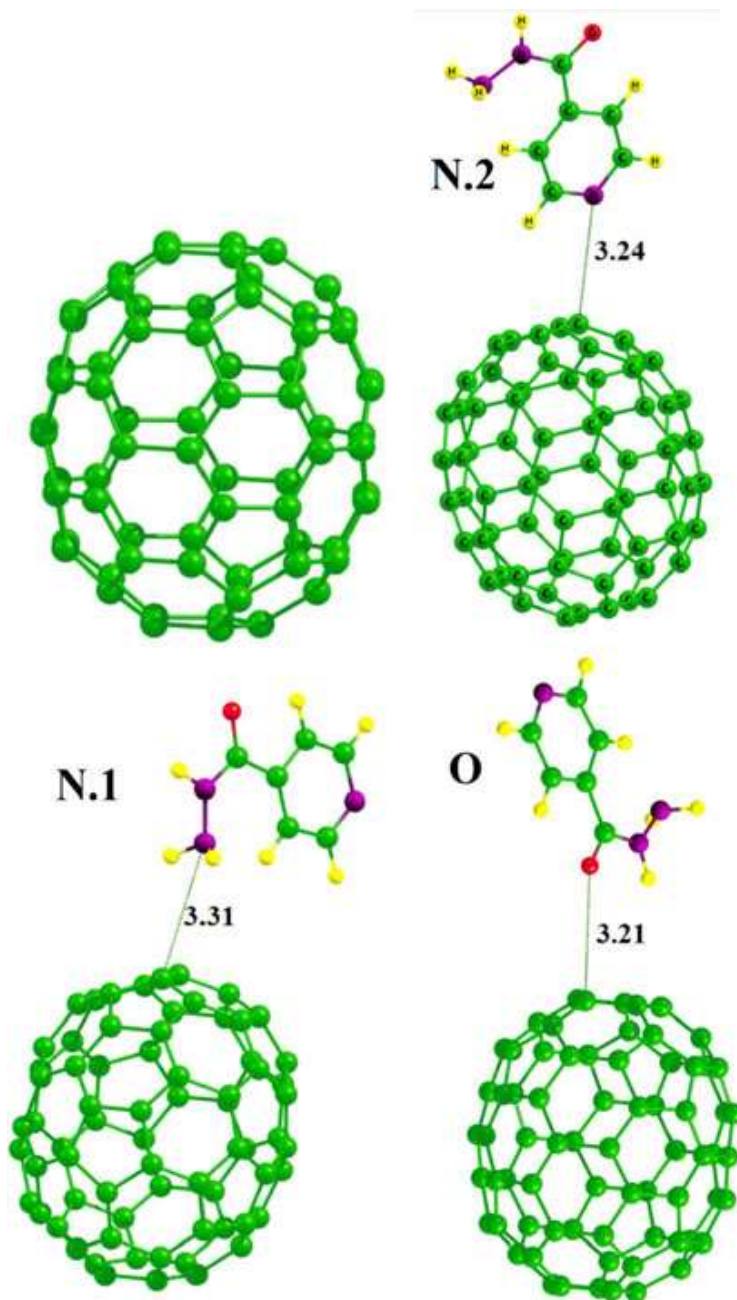
ФУЛЛЕРЕНЫ И НАНОТРУБКИ

Сенсор для противотуберкулезного препарата

В далеком 1912 году впервые была синтезирована молекула изоназида ($C_6H_7N_3O$), которая спустя сорок лет получила широкое клиническое применение в качестве лекарства от туберкулеза. Сегодня изоназид также относится к препаратам первого ряда, то есть наиболее эффективным в лечении этой страшной болезни и включен в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных средств. Однако, несмотря на это, он способен вызывать и серьезные побочные эффекты, такие как гепатотоксичность и периферическую невропатию. Поэтому для идентификации изоназида в фармацевтических препаратах, биологических жидкостях или крови необходим достаточно простой, безопасный, надежный и быстрый датчик. В настоящее время для его обнаружения используют различные методы, в том числе флуоресцентный анализ, спектрофотометрию в УФ и видимой области, хемилюминесценцию, а также газовую и высокоэффективную жидкостную хроматографию. Однако в наш век развития нанотехнологий становится возможным использовать для этих целей и новые материалы. Особая роль в данном случае отведена фуллеренам и их производным благодаря уникальным свойствам, включая сферическую геометрию, незначительные побочные эффекты в биологических средах и возможность загрузки внутрь углеродной клетки лекарственных средств. Чаще всего основой сенсоров выступают материалы на основе C_{60} , однако в работе [1] авторы обратили внимание на более крупный фуллерен C_{70} , как незамещенный (см. рис.), так и допированный атомами алюминия и кремния.

С помощью теории функционала плотности в программе GAMESS на уровне теории B3LYP/6-311++G(d,p) и с учетом слабого вандер-ваальсового взаимодействия, используя поправки Гримме, они рассмотрели процессы адсорбции молекулы изоназида на поверхность наносистем C_{70} , Al- C_{70} и Si- C_{70} . Исследователи определили энергетические и электронные характеристики комплексов фуллерен-изоназид, такие как энергию адсорбции, энергии НОМО и LUMO, плотности электронных состояний. Расчеты показывают, что изоназид физически адсорбируется на поверхности незамещенного фуллерена (см. рис.), не формируя прочных ко-

валентных связей с поверхностью клетки и не изменяя его электропроводность.



Оптимизированные структуры фуллерена C_{70} и молекулярных комплексов фуллерен-изоназид. Межатомные расстояния приведены в ангстремах. Атомы углерода, водорода, азота и кислорода обозначены зеленым, желтым, фиолетовым и красным цветами, соответственно.

При замене одного из атомов углерода на алюминий или кремний реакционная способность фуллерена существенно возрастает, что подтверждается расчетом энергий адсорбции. Однако изоназид и в этом случае не оказывает заметного влияния на электронные характеристики Al- C_{70} , в частности на НОМО-LUMO щель или работу выхода. В то же время из-за изменения энергии НОМО в допированном Si-

C₇₀ в процессе адсорбции препарата величина энергетической щели уменьшается в два раза с 2.24 до 1.12 эВ, увеличивая электрическую проводимость фуллерена, что указывает на возможность генерации электрического сигнала, свидетельствующего о присутствии ионазида в окружающей среде. При этом, энергия Ферми и работа выхода, как и в случае Al-C₇₀, не претерпевают каких-либо изменений. В результате авторы приходят к выводу, что кремнийсодержащая производная фуллерена Si-C₇₀ вполне может оказаться перспективным электронным датчиком такого препарата, как ионазид.

М. Маслов

1. M.Li et al., *Physica E* **118**, 113878 (2020).

СПИНТРОНИКА

Взаимодействие Дзялошинского-Мории и механическая деформация. Скинмионы займутся растяжкой?

В связи с появлением в микромагнетизме новых объектов для изучения – магнитных скирмионов, повысился интерес и к основной причине их образования – взаимодействию Дзялошинского-Мории. Практически важно не только предсказывать величину этого взаимодействия в той или иной структуре (как правило, магнитной пленке на подложке тяжелого металла), но и уметь модулировать величину этого взаимодействия, и как следствие, управлять скирмионами.

Ученые из нижегородского Института физики микроструктур РАН, Саратовского государственного университета и московского ИРЭ РАН им. В.А. Котельникова предложили новый способ изменения величины взаимодействия Дзялошинского-Мории – простой и необычно эффективный: с помощью механической деформации они регулируют взаимное расположение ионов (рис. 1), меняя таким образом, величину и даже знак взаимодействия [1].

Напомним, что взаимодействие Дзялошинского-Мории является релятивистской поправкой к сверхобменному взаимодействию, обусловленной нарушением центральной симметрии в системе двух магнитных ионов и иона-лиганда, посредством, которого осуществляется взаимодействие (рис. 1б). Механическое напряжение, возникающее при изгибе пластины, анизотропно, поэтому соответствующие треугольники

ионов искажаются по-разному. Это должно привести к анизотропии взаимодействия Дзялошинского-Мории, что действительно, было подтверждено путем измерения частот стоксовской и антистоксовской компонент рассеяния Мандельштама-Бриллюэна.

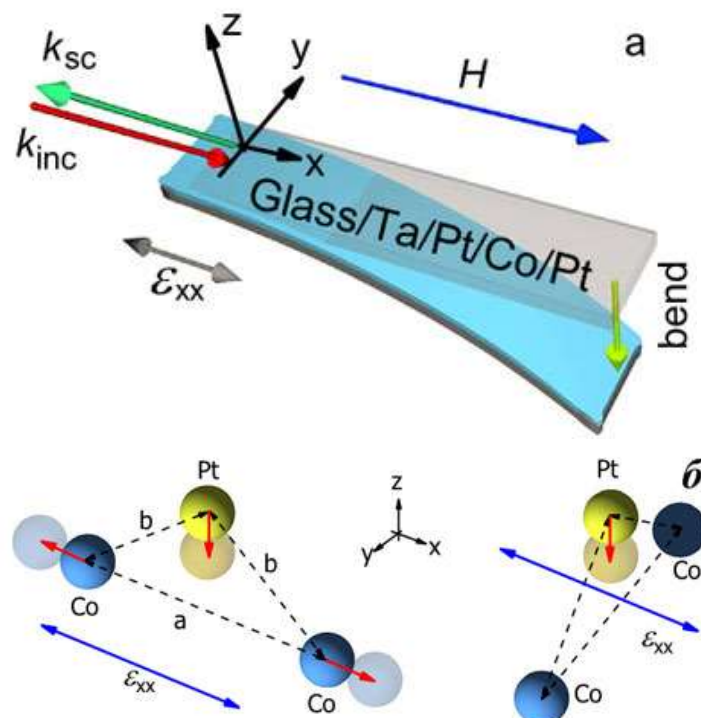


Рис. 1. Управление величиной взаимодействия Дзялошинского-Мории: а - схема эксперимента; б - вызванные деформацией изменения в конфигурации треугольника из двух магнитных ионов (Co) и атома тяжелого металла (Pt) для двух взаимноперпендикулярных направлений [1].

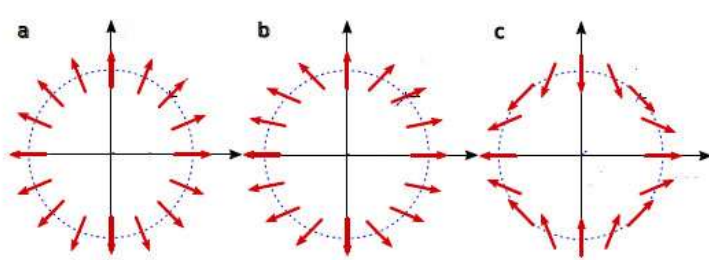


Рис. 2. Изменение микромагнитной конфигурации при нарастании анизотропии взаимодействия Дзялошинского-Мории: а - изотропное взаимодействие; б - константы отличаются в 2.5 раза; с - константы взаимодействий равны по модулю и противоположны по знаку.

Интересно, что при величинах сжатия порядка 0.1% константы взаимодействия Дзялошинского-Мории для направлений O_x и O_y отличаются даже знаком. Ранее подобное наблюдали в раз-

личии знака неоднородного магнитоэлектрического эффекта для двух направлений в одном и том же образце анизотропной пленки феррита-граната (см. [2] и [3]).

Как следует из работы [4], разница в знаках констант взаимодействия Дзялошинского-Мории должна приводить к образованию необычных структур – антискирмионов (рис. 2), что в сочетании с возможностью создавать механические напряжения с помощью пьезоэлектрических приводов, открывает большой простор для манипуляций скирмионами.

А. Пятаков

1. N.S.Gusev et al., *Phys. Rev. Lett.* **124**, 157202 (2020).
2. Д.П.Куликова и др., *Письма в ЖЭТФ* **104**, 196 (2016).
3. D.P.Kulikova, *Physica Status Solidi - RRL*, **12**,1800066 (2018).
4. L.Camosi, *Phys. Rev. B* **95**, 214422 (2017.)

КОНФЕРЕНЦИИ

Quantum Complex Matter 2020 (QCM 2020), Rome - Frascati National Laboratory, June 8-12, 2020

This year Quantum Complex Matter will be mostly **a virtual conference with online talks and webinar talks from Frascati.**

Invited talks will be 20 minutes long with 10 minutes discussion. Each day the program will start at 11:00 to 16:00 Rome time (central Europe time).

QCM2020 will highlight recent advances in all major fields in quantum phenomena in complex condensed matter. This is a multi-purpose meeting of activities based on the Frontiers of Condensed

Matter Physics (FCMP) lecture courses and selected topics of Superstripes conferences. Invited and leading contributed papers will focus on research sub-fields of correlated electron systems (superconductivity and magnetism, Mott transition, quantum criticality, multi-band Hubbard model, Lifshitz transitions), nano science (graphene, TMDC, QHE, topological and 2D materials, Fano resonances), spintronics (skyrmions, itinerant electron magnetism, spin current, magnetic memory), cold atoms (Hubbard model, Feshbach resonances, BEC-BCS crossover), complex systems (nanoscale phase separation), high pressure physics and room temperatures superconductors to promote discussions and collaboration among researchers of different sub-fields.

The QCM 2020 conference is integrated with QCM 2020 School with Educational Courses for students and young researchers. QCM 2020 is expected to attract participants all around the globe with Communications. In the registration you are invited to mention if you want to participate as PhD student or Postdoc at the QCM 2020 school to get credits.

Web: <https://www.superstripes.net/quantum-complex-matter-2020>

За время самоизоляции мы уже привыкли к онлайн семинарам, лекциям и даже мини конференциям. Здесь же речь идет о довольно крупной конференции: по пять часов работы в течение пяти дней. Число докладчиков, уже подтвердивших свое участие, – около 50. Что же, пожелаем этой традиционной представительной конференции успеха в непривычном формате.

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

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

Адрес редакции: 119296 Москва, Ленинский проспект, 64