

В этом выпуске:

## НАНОСТРУКТУРЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ

**Чтобы лечебные наночастицы проникли в мозг, их достаточно понюхать...**

Обоняние, или восприятие запахов, у человека и других позвоночных осуществляется с помощью обонятельных рецепторов, расположенных в верхней части слизистой оболочки полости носа. Молекулы пахучих веществ, попадая вместе с воздухом в нос, вызывают возбуждение рецепторов, и сигнал по обонятельным нервам поступает в обонятельные центры головного мозга. Но, оказывается, таким путем достигнуть мозга могут не только нервные импульсы, но и наночастицы. Это очень важно для обнаружения и лечения опухолей мозга, инсультов, болезни Альцгеймера и других заболеваний центральной нервной системы. Дело в том, что доставка в мозг многих лекарственных и диагностических препаратов является серьезной проблемой из-за существования перегородки между кровью и мозгом – гематоэнцефалического барьера (ГЭБ), основой которого является плотный слой эндотелиальных клеток. Через этот барьер в ткань мозга из кровеносного русла поступают питательные вещества, а назад выводятся продукты жизнедеятельности. В то же время ГЭБ препятствует проникновению микроорганизмов, токсинов, чужеродных клеток, поэтому доставить в мозг лекарства, не нарушая целостности барьера очень сложно. Правда, недавние исследования *in vitro* и *in vivo* показали, что функционализированные многостенные углеродные нанотрубки способны преодолеть ГЭБ, не повреждая его, однако пока это только первые лабораторные результаты (см. Перст [1]). Неудивительно, что интраназальная (через нос) доставка в мозг лекарственных препаратов вызывает большой интерес. Ученые в разных странах, в том числе и в России, изучают перспективы этого метода диагностики и лечения, а также возможное токсическое воздействие носителей на мозг (e.g. [2,3]). Первые экспериментальные свидетельства доставки наночастиц “из носа в мозг” недавно представили исследователи из США [4]. Эксперименты проводили на саранче, но обонятельная система и ГЭБ человека и насекомых сходны, только рецепторы обоняния последних расположены не в носу, а на усиках-антеннах. Исследователи синтезировали сферические положительно заряженные наночастицы золота размером 5 нм (рис. 1). Наночастицы золота были выбраны потому, что они находят широкое применение в медицине и биологии для диагностики и терапии (см. Перст [5]).



И далее ...

### ГРАФЕН

- 3 Влияние растяжения графена на процессы адсорбции радикалов

### МУЛЬТИФЕРРОИКИ

- 4 Кто нам мешает – тот нам поможет: магнитные наводки в обработке ... изображений

### КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

- 5 Об увеличении мощности генерации РТД в терагерцовом диапазоне

### ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

- 5 Что общего у говора и капли? Поверхностное натяжение!

### ТОРЖЕСТВО

- 7 Институту физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН – 60 лет!

### КОНФЕРЕНЦИИ

- 7 19-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и наноэлектронике, 27 ноября – 1 декабря 2017 г., г. Санкт-Петербург, Россия

XXXVII Международная зимняя школа физиков-теоретиков “Коуровка”, 25 февраля – 3 марта 2018 г., пос. Верхняя Сысерть, Свердловская область, Россия

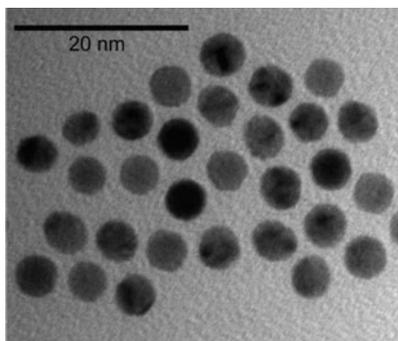


Рис. 1. ТЕМ изображение синтезированных наночастиц золота.

Для воздействия на усики насекомых использовали аэрозольный генератор. Схема эксперимента показана на рис. 2А. Добавление флуоресцентных меток позволило проследить путь наночастиц от рецепторов по обонятельным нервам в мозг (рис. 2В). В течение часа наночастицы золота достигли мозга. Их концентрация росла пропорционально времени воздействия (рис. 3). Аккумуляция наночастиц в мозге подтверждено также данными электронной микроскопии (рис. 2С).

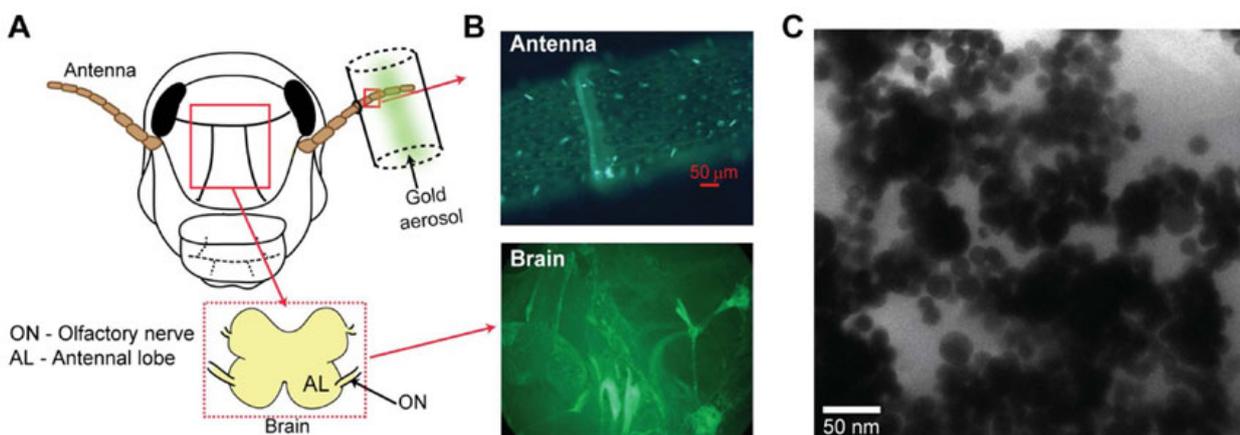


Рис. 2. Транслокация наночастиц золота по обонятельному тракту саранчи. А - Схема эксперимента. ON – обонятельный нерв, AL – обонятельная доля мозга. В - Флуоресцентные изображения: *вверху* – сегмент усика (антенны), *внизу* – сегмент мозга. С - ТЕМ изображение среза мозга, подтверждающее аккумуляцию наночастиц.

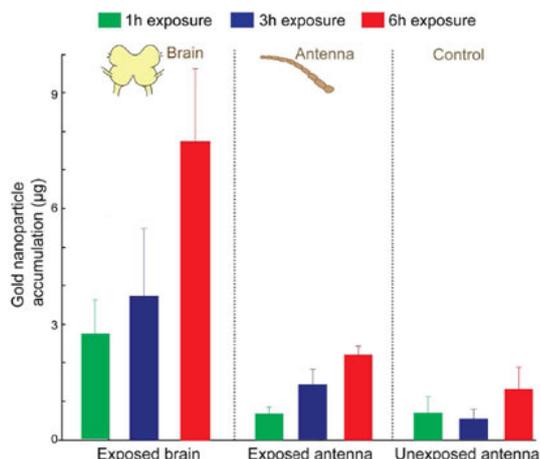


Рис. 3. Аккумуляция наночастиц (мкг Au) в зависимости от времени воздействия (1 ч – зеленый цвет, 3 ч – синий цвет, 6 ч – красный цвет). Слева – аккумуляция в мозге, в центре – в усике-антенне. Справа – контрольные данные (для второго усика, не подвергнутого воздействию). Измерения проведены с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Небольшое количество золота в контрольном усике (без воздействия аэрозоля) авторы объясняют присутствием его в пище саранчи – траве и овсе.

Затем исследователи проверили *in vivo*, не влияет ли воздействие наночастиц золота на электрофизиологические отклики обонятельных нейронов (рис. 4). Заметных изменений в спонтанных сигналах и сигналах, вызванных запахом гексанола, не наблюдали как в начале воздействия, так и через несколько часов.

В целом результаты показывают перспективность аэрозольного способа доставки препаратов для диагностики и терапии заболеваний мозга. В дальнейшем исследователи планируют присоединить к золотым наночастицам различные лекарства, а также обеспечить с помощью ультразвука доставку нужного количества в определенные области мозга, что особенно важно для лечения опухолей.

## ГРАФЕН

### *Влияние растяжения графена на процессы адсорбции радикалов*

Авторы работы [1] с помощью, так называемого QM/QM (quantum mechanics/quantum mechanics) подхода проанализировали процессы хемосорбции атомов водорода и гидроксильных групп на идеальный (недеформированный) и растянутый графен. Используемая QM/QM методика основана на “двухслойной” ONIOM схеме [2], где каждый “слой” описывается с помощью определенного уровня теории. Так, в работе [1] небольшой фрагмент графена с адсорбированными на нем радикалами рассчитывался с помощью теории функционала плотности (B3LYP/6-311G(d)), в то время как остальная часть графенового листа рассматривалась в рамках неортогональной модели сильной связи NTBM (см. рис.).

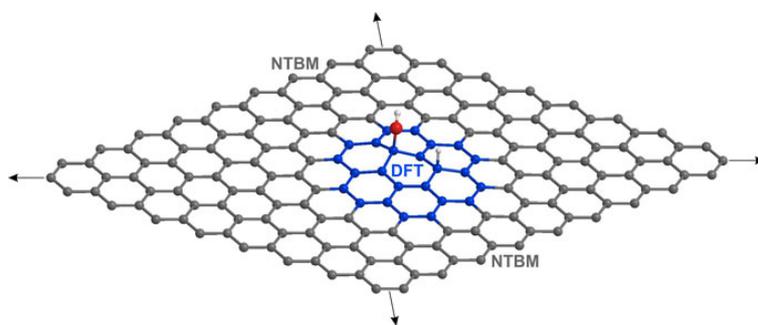


Иллюстрация используемого в работе [1] QM/QM подхода. Синим цветом обозначен фрагмент системы, описываемый с помощью теории функционала плотности, серым – часть графена, описываемая в рамках NTBM методики. Атомы водорода выделены светло-серым цветом, атом кислорода – красным. Направления растяжения графена обозначены стрелками.

Кроме того, при проведении вычислений авторы использовали периодические граничные условия, модель же графена была представлена сверхъячейкой, содержащей около трехсот атомов углерода. Такой комплексный подход, в частности, позволяет обойти влияние размерных эффектов в методе конечных кластеров, который часто используется при моделировании процессов адсорбции на графене. Авторы проанализировали хемосорбцию как отдельных групп H и OH, так и различных пар радикалов в орто-, пара- и мета- положениях. В конечном итоге энергия хемосорбции гидроксильной группы оказывается ниже, чем у атома водорода как в случае недеформированного, так и растянутого графена. Одновременная адсорбция двух радикалов, находящихся в орто- или пара- положениях, энергетически более выгодна, чем в мета- положении при любом растяжении. Кроме того, вытягивание графенового листа приводит к ослаблению взаимного притяжения между радикалами, находящимися как в орто-, так и в пара- положении, и раз-

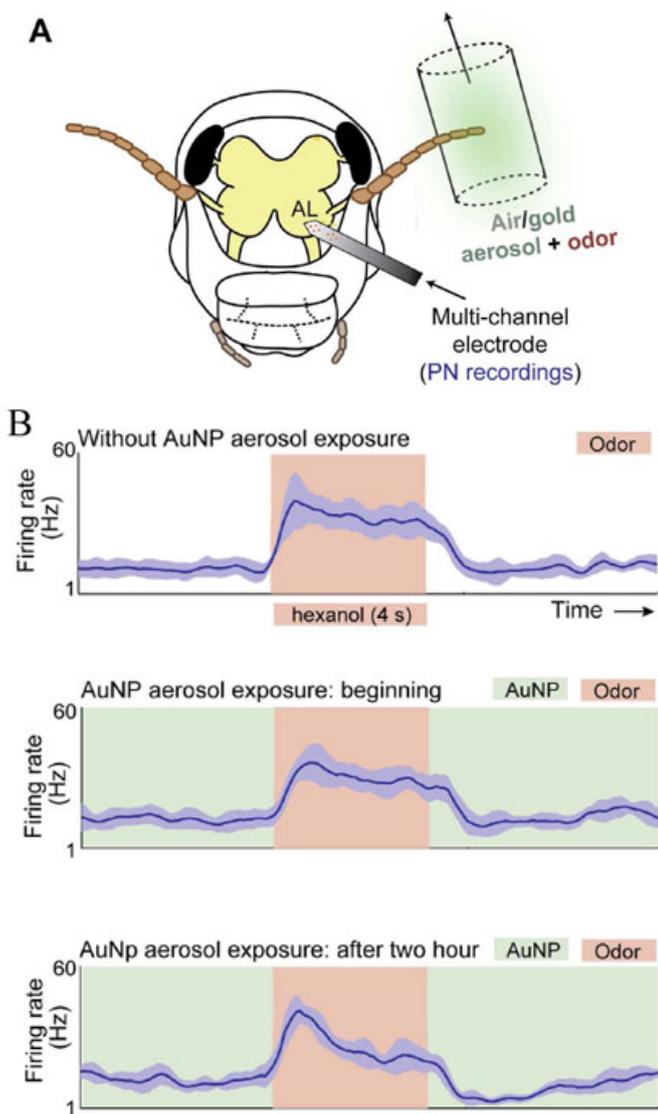


Рис. 4. Электрофизиологические исследования воздействия наночастиц золота. А - схема эксперимента. В - сигналы, записанные от “запаха” гексанола без воздействия Au-аэрозоля (вверху), в начале воздействия (в центре) и через 2 ч после начала воздействия наночастиц Au (внизу).

О. Алексеева

1. ПерсТ 22, вып. 9/10, с.5 (2015).
2. А.М.Привалова и др., *Нейрохимия* 29, 93 (2012).
3. А.В.Ромащенко и др., *Изв. вузов. Физика* 58 (12/2), 90 (2015).
4. R. Raliya et al., *Sci. Rep.* 7, 44718 (2017).
5. ПерсТ 23, вып. 9/10, с.3 (2016).

ница в энергии между орто- и пара- димерами становится незначительной.

Другими словами, растяжение графена приводит к потере предпочтительного взаимного расположения двух адсорбатов на его поверхности. На основе полученных результатов авторы приходят к выводу, что растяжение способно существенно влиять на взаимодействие между радикалами на графене, и это необходимо обязательно учитывать в процессах химической функционализации последнего наряду с другими параметрами синтеза.

*М. Маслов*

1. K.P.Katin et al., *Phys. Lett. A* **381**, 2686 (2017).
2. M.Svensson et al., *J. Phys. Chem.* **100**, 19357 (1996).

## МУЛЬТИФЕРРОИКИ

***Кто нам мешает – тот нам поможет: магнитные наводки в обработке ... изображений***

Стрейнтроника — новое направление в микроэлектронике, использующее в качестве принципа управления механические напряжения (англ. strain). Они вызывают модификацию электронных, магнитных, электрических и других свойств материалов, составляющих стрейнтронные гетероструктуры. Простейшим вариантом такой гетероструктуры является механически связанные пьезоэлектрический и магнитострикционный слои: электрическое напряжение за счет пьезоэлектрического эффекта вызывает деформацию, которая индуцирует изменение магнитной анизотропии в магнитострикционном слое. Это позволяет реализовать в магнитной частице с анизотропией формы переключение между двумя логическими состояниями с минимальным потреблением энергии на уровне аттоджоулей. Если же систему снабдить дополнительным слоем с закрепленной намагниченностью, отделенным от первого магнитомягкого слоя тонкой диэлектрической прослойкой, то получится готовое устройство не только записи, но и считывания информации (рис.1а).

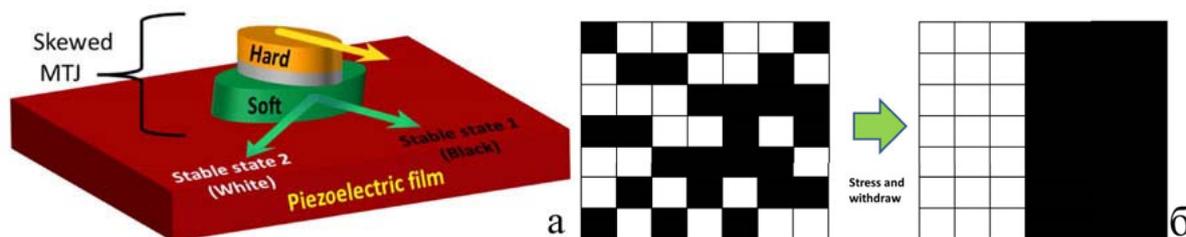


Рис. 1. Обработка изображений средствами стрейнтроники: а - стрейнтронное устройство на основе анизотропной частицы для реализации двоичной логики: анизотропия формы и направленное вдоль короткой оси нижней эллипсоидной частицы магнитное поле (не показано), позволяют осуществить два устойчивых состояния (stable state 1/stable state 2) (верхний магнитожесткий (hard) слой добавлен для создания считывающего модуля на магнитном туннельном контакте (MTJ)); б - выделение края темной полосы в матрице стрейнтронных элементов после приложения и снятия механического напряжения (темные и светлые пиксели соответствуют элементам в противоположных логических состояниях).

Когда такие частицы образуют матрицу, то они магнитоэлектронно взаимодействуют, влияя на логические состояния друг друга. Обычно на такие наводки смотрят как на неизбежное зло. Однако, исследователи из Virginia Commonwealth Univ. (США) [1] решили извлечь из них пользу для решения задач обработки изображений: ведь и в живых организмах соседние зрительные рецепторы влияют друг на друга, и это помогает распознавать образы.

Предположим у нас имеется поле, в левой части которого преобладают элементы изображения белого цвета, а в правой – черного (в реальных изображениях эта ситуация соответствует диффузному краю объекта), и перед нами стоит задача подчеркнуть контраст между двумя этими областями. Здесь могут помочь элементы магнитной стрейнтроники.

Пусть каждому пикселю соответствует свой элемент, а два логических состояния обозначают два цвета. Тогда численное моделирование [1] показывает, что приложение ко всем элементам механического напряжения и последующее его снятие приводит к тому, что система возвращается не в исходное состояние, а в измененное – окружение данного элемента навязывает за счет магнитоэлектронного взаимодействия то состояние, в котором находится большинство элементов.

Конечно, существуют и проблемы, поскольку в силу анизотропной формы частиц их взаимодействие тоже оказывается анизотропным. Так, в приведенном выше примере длинная ось эллиптических частиц направлена вдоль границы раздела областей, но данная схема не работает, если нужно подчеркнуть

границу, проходящую в перпендикулярном направлении. Кроме того, если в одном вертикальном столбце темной области случайно окажется хотя бы три светлых элемента подряд, то после обработки “выпадет” целая белая строка. Впрочем, как говорится в таких случаях, главное — продемонстрировать принцип.

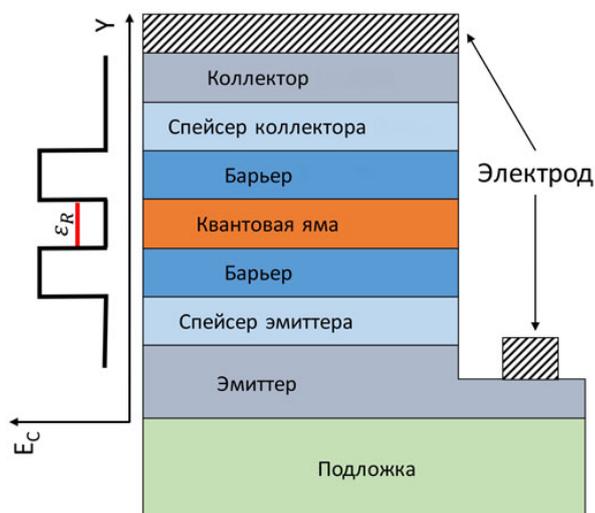
А. Пятаков

*I. M. A. Abeed et al, M.A.Abeed et al., IEEE Trans. Electron Dev. 64, 2417 (2017).*

## КВАНТОВЫЕ СИСТЕМЫ

### Об увеличении мощности генерации РТД в терагерцовом диапазоне

В последние годы особое внимание исследователей привлекает терагерцовое излучение (0.1÷10 ТГц). Интерес к этому диапазону частот вызван перспективами его применения в самых различных сферах человеческой деятельности: медицина, системы безопасности, беспроводные высокоскоростные средства связи, спектроскопия и т.д. Одним из ключевых кандидатов на роль эффективного источника терагерцового излучения является резонансно-туннельный диод (РТД), который можно отнести к классу компактных твердотельных квантовых электронных приборов, функционирующих при комнатной температуре (см. рис.).



Схематическое изображение резонансно-туннельного диода и дна зоны проводимости  $E_c(Y)$ . Красным цветом обозначен резонансный уровень энергии  $\varepsilon_R$ .

В основе работы РТД лежит электронный транспорт через резонансные уровни энергии, образующиеся в квантовой яме за счет интерференции электронов, что в итоге приводит к появлению области отрицательной дифференциальной проводимости на его вольтамперной характеристике. Это свойство и обеспечивает возможность генерации и усиления электромагнитного поля. В настоящее время полученная экспериментально частота генерации на РТД уже достигла ~2 ТГц, однако мощность гене-

рации в терагерцовом диапазоне, к сожалению, пока остается небольшой (~1 мкВт). Ее увеличение становится сейчас одной из приоритетных задач, и эта задача представляется выполнимой. Так, в работе [1] с помощью компьютерного моделирования в рамках когерентной квантово-механической модели, построенной на решении уравнения Шредингера с точными открытыми граничными условиями, рассмотрено поведение активного тока РТД на основе гетеросистемы InGaAs/AlAs в широком интервале частот и амплитуд переменного электрического поля. Величина активного тока как раз и определяет передаваемую электронами полю мощность. Авторы установили, что на высоких частотах  $\omega > \Gamma/\hbar$  ( $\Gamma$  – это ширина резонансного уровня энергии) реализуется так называемый “квантовый” режим генерации РТД [2], который связан с резонансными переходами электронов между квазиэнергетическими уровнями, возникающими в периодически зависящем от времени электрическом поле, и резонансным уровнем. В этом режиме активный ток способен достигать больших величин, сравнимых с максимальной величиной постоянного тока в отсутствие переменного электрического поля. При этом максимум активного тока слабо убывает при увеличении амплитуды поля за счет усиления вклада от высших квазиэнергетических уровней. Полученные результаты позволяют рассчитывать на достижение в терагерцовом диапазоне частот существенных мощностей генерации РТД, по оценкам самих авторов до  $\sim 10^5$  Вт/см<sup>2</sup>. Отдельно стоит отметить, что благодаря существованию “квантового” режима частота генерации РТД не ограничена величиной обратного времени жизни электрона в квантовой яме и может существенно ее превосходить.

М. Маслов

*1. K.S.Grishakov et al., Adv. Mater. Sci. Eng. 2017, 2031631 (2017).*

*2. В.Ф.Елесин, ЖЭТФ 116, 704 (1999).*

## ДЛЯ ПРАЗДНОГО УМА

### Что общего у говора и капли?

#### Поверхностное натяжение!

*Для изучения законов истории мы должны изменить совершенно предмет наблюдения, оставить в покое царей, министров и генералов, а изучать однородные, бесконечно-малые элементы, которые руководят массами.*

Л.Н. Толстой “Война и мир”

В недавней статье, опубликованной в междисциплинарном журнале Physical Review X, профессор Джеймс Бёрридж из университета Портсмута предлагает необычный подход к изучению географии диалектов – рассматривать области с одинаковым

говором как своего рода лужицы, находящиеся под действием сил “поверхностного натяжения”.

Пространственное распределение диалектов изображается с помощью так называемых *изоглосс* – линий, обозначающих границы распространения какого-либо языкового явления. Под таким явлением может пониматься, например, особенность произнесения звуков (“окающие” и “акающие” говоры в России) или использование определенных слов. Так, характерным различием двух основных диалектов в средневековой Франции – лангедойля и лангедока, было произнесение слова “да”: старонормандское “ойль” и окситанское “ок”, соответственно.

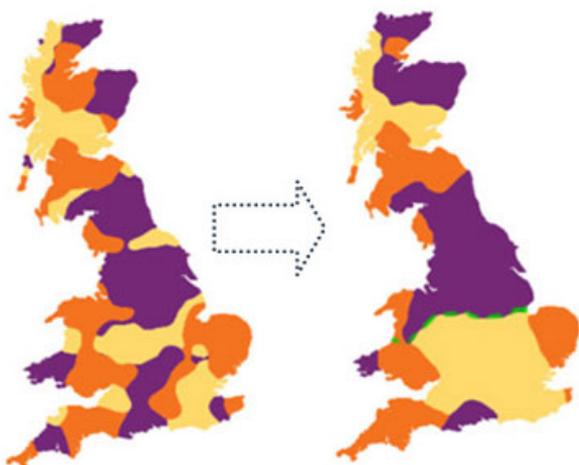


Рис. 1. Модель эволюции границ распространения диалектов под действием сил “поверхностного натяжения” на примере Британии [1]. Зеленая штриховая линия, пересекающая остров от Уэльса до залива Уош, разделяет южно-английский и северо-английский диалекты.

В рамках модели поверхностного натяжения люди подобны атомам, вполне в духе вышеприведенной цитаты Толстого, которую Бёрридж выводит в качестве литературной формулы своего подхода. В процессе повседневного общения люди-атомы внутри ареала своего обитания взаимодействуют друг с другом “короткодействующими” силами, что на глобальном уровне аналогично наличию поверхностного натяжения. Это поверхностное натяжение проявляется в виде тенденции к спрямлению изоглосс и минимизации их длины. Модель позволяет предсказывать границу раздела между южно-английским и северо-английским диалектами (рис.1), равно как границы между вышеупомянутыми лангедок и лангедойль, а также между диалектами немецкого языка.

Любопытно, что эти границы, как правило, упираются в заливы, что теория поверхностного натяжения тоже объясняет (рис.2): если изоглосса подходит под острым углом к берегу, то житель побережья больше взаимодействует с носителями одного, “желтого”, диалекта, чем с носителями другого – “красного”. В результате его речь постепенно “жел-

теет”, а граница смещается к середине залива, устанавливаясь перпендикулярно побережью. Изоглосса, соответствующая другому языковому явлению, также будет улавливаться центром залива, что только усилит разницу между диалектами.

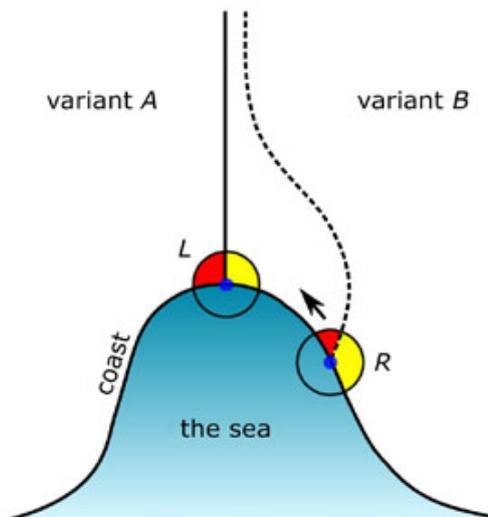


Рис. 2. Эволюция изоглоссы на побережье [1]

Стоит оговориться, что подход, основанный на поверхностном натяжении – не первая попытка привлечь законы физики к анализу языковых явлений. Ранее был предложен “гравитационный” подход [2], в котором изоглоссы проходят по границе раздела зон влияния мощных центров притяжения, в качестве которых выступают города. Для того, чтобы модель учитывала “центры силы”, Бёрридж вводит в модель дополнительный параметр плотности, который позволяет объяснять выступы, образованные диалектами густонаселенных областей [1].

Такой механистический подход к изучению социальных наук многим представляется спорным, но он может быть очень плодотворным, если четко осознавать границы его применения. Явная уязвимость модели – игнорирование наличия социальных сетей (в широком смысле, не только интернет-сетей, но и профессиональных и других сообществ), нарушающих локальность языкового взаимодействия, а также пренебрежение культурными особенностями общества. Здесь можно привести слова Людвиг Витгенштейна, не в меньшей степени, чем историко-философские воззрения Толстого, относящиеся к модели Бёрриджа: “Границы моего языка означают границы моего мира”, только под “миром” здесь следует понимать “мирок”, ограниченный повседневным общением. Тем удивительнее, что даже такое грубое упрощение позволяет модели [1] делать нетривиальные предсказания.

А. Пятаков

1. J.Burridge, *Phys.Rev. X* 7, 031008 (2017).
2. P.Trudgill, *Lang. Soc.* 3, 215 (1974).

## ТОРЖЕСТВО

### *Институту физики им. Х.И. Амирханова ДНЦ РАН – 60 лет!*

В этом году Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского научного центра РАН отмечает свой юбилей!

С самого начала своего существования Институт физики развивал свои исследования по трем основным направлениям: теплофизика, физика полупроводников и геофизика. И в каждом из этих направлений есть результаты, получившие признание во всем мире.

В институте выросли кадры высокой научной квалификации. На базе института сформировалась ведущая научная школа в области физики фазовых переходов и критических явлений. Институт имеет тесные связи и сотрудничает со многими научными учреждениями и вузами страны.

Институт внес огромный вклад в развитие науки и образования в республике, в Дагестанском государственном университете открыта базовая кафедра по магнетизму и фазовым переходам и совместная научная лаборатория.

*Поздравляем коллектив со славной годовщиной!  
Творческих успехов, новых свершений и открытий!*

## КОНФЕРЕНЦИИ

### *19-я Всероссийская молодежная конференция по физике полупроводников и наноструктур, полупроводниковой опто- и нанoeлектронике, 27 ноября – 1 декабря 2017 г., г. Санкт-Петербург, Россия*

Конференция проводится ежегодно и пользуется популярностью: в ней участвуют молодые ученые, аспиранты и студенты из 15–20 городов России. Конференция является одновременно конкурсом работ и докладов. За лучшие доклады присуждаются денежные премии (в 2016 г. присуждено 12 премий студентам и аспирантам). К началу конференции издается сборник тезисов (на русском языке).

Конференция обеспечивает ВОЗМОЖНОСТЬ всем участникам опубликовать статьи (расширенные тезисы) на английском языке в журнале *Journal of Physics: Conference Series*, издаваемом в Великобритании издательством IOP Publishing. Эти публикации включаются в базы данных Scopus и Web of Science.

*Основные даты:*

Срок представления тезисов на русском языке (1 стр.) - **до 12 октября 2017 г.**

Для авторов, желающих опубликовать статьи (расширенные тезисы) на английском языке в журнале *Journal of Physics: Conference Series*, срок представления рукописей (3 - 6 стр.) - **до 12 октября 2017 г.**

Выпуск журнала запланирован на 1-ый квартал 2018 г.

Сборник статей по материалам предыдущих конференций доступен по ссылкам:

<http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/816/1>,

<http://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/690/1>,

Официальный сайт конференции:

[www.semicond.spbstu.ru/conf2017](http://www.semicond.spbstu.ru/conf2017)

E-mail: [conference@semicond.spbstu.ru](mailto:conference@semicond.spbstu.ru)

Тел.: (812) 552-96-71

### *XXXVII Международная зимняя школа физиков-теоретиков “Коуровка”, 25 февраля – 3 марта 2018 г., пос. Верхняя Сысерть, Свердловская область, Россия*

*Научная программа:*

- квантовая теория сверхпроводимости и магнетизма;
- сильно коррелированные и неупорядоченные системы;
- фазовые переходы и низкоразмерные системы.

На заседаниях школы будут заслушаны обзорные лекции ведущих специалистов России и зарубежных стран по указанным темам. Молодым учёным и студентам будет предоставлена возможность выступить с устными докладами (таковые будут отобраны программным комитетом) или сделать сообщение на стендовой секции.

На сайте конференции представлена вся необходимая информация: предварительный список лекторов, состав программного и организационного комитетов. Там же можно ознакомиться с порядком регистрации и правилами оформления тезисов докладов. Информация на сайте обновляется.

*Важные даты:*

Срок подачи заявок – **1 ноября 2017 г.**;

Приём тезисов докладов – до **10 декабря 2017 г.**

Сайт: <http://conf.uran.ru/Default.aspx?cid=kourovka>

E-mail: [kourovka@imp.uran.ru](mailto:kourovka@imp.uran.ru)

Тел.: +7-912-279-74-51;

WhatsApp: +7-922-11-25-732

(Кудряшова Ольга Валерьевна, учёный секретарь оргкомитета)

Экспресс-бюллетень ПерсТ издаётся совместной 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, А.Пятаков

Выпускающий редактор: И.Фурлетова

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