

# НАУКА **В мире**

Обзор журналов  
Nature, PNAS, Science

Номер 25 (2)  
7 апреля 2015 года

In Advance: Решающая роль Юпитера  
в ранней эволюции внутренней части  
Солнечной системы

стр. 12

Теллурид кремния — пополнение в семействе  
двумерных полупроводниковых материалов

стр. 8

Исследователи обнаружили  
фермент, который вызывает  
остановку сердца

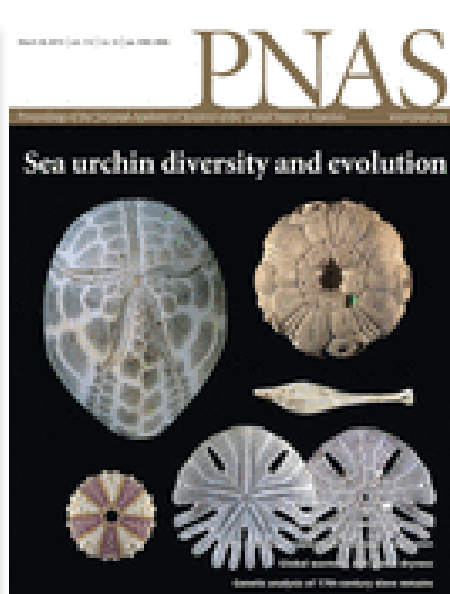
стр. 38

Открыт метод усиления  
синтеза новых белков  
в клетке

стр. 38

Биотехнологи создали  
нано-трансформеры  
из нитей ДНК

стр. 50



ЖУРНАЛ «НАУКА В МИРЕ» № 25 (2)

7 апреля 2015 года

Издается еженедельно

## УЧРЕДИТЕЛЬ

Общероссийская общественная организация  
«Российская ассоциация содействия науке»

Свидетельство о регистрации СМИ:

Эл № ФС77-59570 от 10 октября 2014 года



## ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА РАСН

**Евгений Павлович ВЕЛИХОВ,**

академик РАН, Почетный секретарь  
Общественной палаты РФ,  
президент НИЦ «Курчатовский институт»

## ПЛЕНУМ РАСН

**Виктор Лазаревич АКСЕНОВ,**

директор Петербургского института  
ядерной физики им. Б.П. Константинова

**Жорес Иванович АЛФЕРОВ,**

академик РАН, вице-президент РАН,  
член Комитета Государственной Думы  
по науке и наукоемким технологиям

**Лев Яковлевич БОРКИН,**

член Президиума РАСН, почетный  
председатель Правления  
Санкт-Петербургского союза ученых

**Надежда Дмитриевна ВАВИЛИНА,**

член Президиума РАСН, доктор социологических  
наук, ректор Нового Сибирского университета

**Максим Валерьевич ВИКТОРОВ,**

первый заместитель председателя  
Президиума Российской ассоциации  
содействия науке, председатель  
Совета Фонда инвестиционных программ

**Олег Васильевич ИНШАКОВ,**

президент Волгоградского государственного  
университета

**Александр Николаевич КАНЬШИН,**

председатель Совета Национальной ассоциации  
объединений офицеров запаса  
Вооруженных Сил РФ

**Михаил Валентинович КОВАЛЬЧУК,**

член Президиума РАСН, член-корреспондент РАН,  
директор НИЦ «Курчатовский институт»

**Николай Александрович КОЛЧАНОВ,**

академик РАН, директор Института  
цитологии и генетики СО РАН

**Юрий Николаевич КУЛЬЧИН,**

академик РАН, директор Института автоматизации  
и процессов управления ДВО РАН

**Андрей Викторович ЛОГИНОВ,**

заместитель руководителя Аппарата Правительства РФ

**Георгий Владимирович МАЙЕР,**

Президент Национального исследовательского  
Томского государственного университета,  
член Совета Российского союза ректоров

**Вера Александровна МЫСИНА,**

старший научный сотрудник  
Института общей генетики РАН

**Валерий Александрович ТИШКОВ,**

академик РАН, директор Института этнологии  
и антропологии им. Н.Н. Миклухо-Маклая РАН

**Владимир Михайлович ФИЛИППОВ**

член Президиума РАСН, доктор физико-математических  
наук, академик РАО, ректор Российского университета  
дружбы народов

**Валерий Александрович ЧЕРЕШНЕВ,**

академик РАН, академик РАНН,  
председатель Комитета Государственной Думы  
по науке и наукоемким технологиям,  
член Консультативного совета Фонда «Сколково»

**Татьяна Владимировна ЧЕРНИГОВСКАЯ**

член Президиума РАСН, доктор филологических наук,  
доктор биологических наук, профессор

## ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА

Медиагруппа «Вся Россия» (ООО «ВР Медиа Групп»)

**Генеральный директор, и. о. главного редактора**

Сергей Валерьевич КАЛМЫКОВ,  
руководитель Комиссии по информационной политике РАСН

**Административный директор**

Светлана Александровна ХОЗИНСКАЯ

## РЕДАКЦИЯ

**Старший научный редактор**

Владислав Владимирович СТРЕКОПЫТОВ

**Редакторы**

Ирина Александровна БАННОВА

**Редакторы-референты**

Братцева А. Л., Ваганова А. Н. Галимова Д. Р.,  
Дедков Г. В., Завалишина С. А., Зворыкина С. В.,  
Карпов Н. В., Колесникова Н. Ю., Лещанский И. Ю.,  
Мохосоев И. М., Сварник О. Е., Стрекопытов В. В.,  
Степанова Е. М., Тиунова А. А., Ходосевич А. Э.,  
Якименко А. В.,

**Дизайнер-верстальщик**

Галина Олеговна НЕФЕДОВА

**Адрес редакции (для переписки):**

105066, г. Москва, ул. Спартаковская, 11-1.

e-mail: info@naukavmire.ru

сайт: www.naukavmire.ru

Информационная продукция для детей,  
достигших возраста двенадцати лет.

© ООО «ВР Медиа Групп». Все права защищены.  
Любое использование материалов допускается  
только с письменного разрешения редакции.

# Читайте в этом номере:

## Информационное поле

### 4 От редакции

Самое интересное в рефератах

*Топ-10 статей текущего номера*

### 7 Новости • В России

Получены кристаллы, способные улучшить характеристики инфракрасной оптики

Ученые разработали безопасный для кожи и эффективный УФ-фильтр

### 8 Новости • За рубежом

Планетологи объяснили темный цвет Меркурия

Теллурид кремния – пополнение в семействе двумерных полупроводниковых материалов

### 9 Новости • 1 апреля

Здесь обитают драконы

### 10 Сибирские ученые считают, что обнаружен новый вид кварков

Катапульта в небо

### 11 In Advance

Новый космогенический возраст австралопитека из Стеркфонтейна (Member 2) и из Олдувая (Member 5)

### 12 Решающая роль Юпитера в ранней эволюции внутренней части Солнечной системы

Имперская экспансия, государственные инвестиции и длинный путь истории Китая: первоначальная политическая унификация и ее последствия

### 13 Дендритная противоопухолевая вакцина расширяет разнообразие неоантиген-специфичных Т-клеток меланомы

## Nature • PNAS • Science: рефераты статей

15 Астрономия

38 Медицина

18 Физика

41 Нейронауки и психология

21 Науки о Земле и экология

46 Социальные науки

25 Антропология и история

48 Технологии и материалы

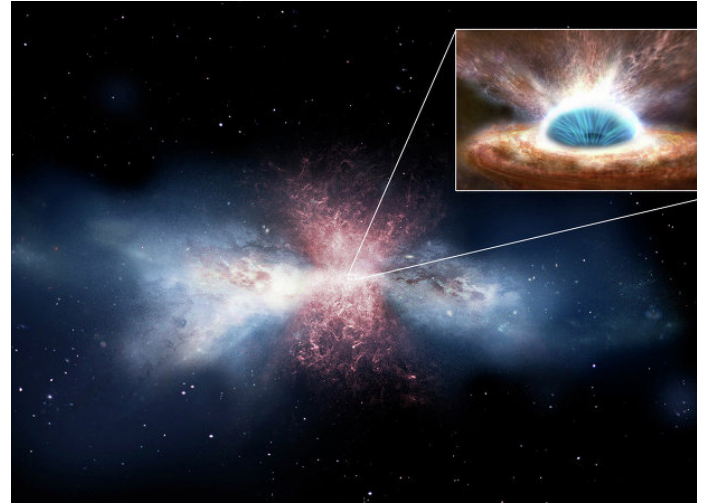
27 Биология



# Самое интересное в рефератах

## Топ-10 статей текущего номера

**1. Ветер из черной дыры вызывает отток вещества из активной галактики.** Достаточно давно считается, что активизация черных дыр приводит к постепенному опустошению галактик и прекращению процессов звездообразования в результате того, что черная дыра разогревает и выбрасывает холодные облака пыли и водорода за пределы галактик. Наблюдая при помощи орбитального рентгеновского телескопа Suzaku и инфракрасной обсерватории Herschel за галактикой IRAS F11119+3257 в созвездии Большой Медведицы, авторам удалось получить первое прямое доказательство того, что сверхмассивные черные дыры действительно выбрасывают весь нейтральный газ из центральной части галактик. Впервые удалось одновременно зафиксировать и ветра, исходящие от ядра галактики, и масштабные потоки нейтрального газа, выбрасываемого за ее пределы. *Реферат на с. 15.*



Галактика IRAS F11119+3257 со сверхмассивной черной дырой в центре / ESA/ATG medialab



Комплекс осадочных отложений / Wikimedia Commons

**2. 1,4 млрд лет назад климат менялся так же, как и сейчас.** Флуктуации климата всегда были характерны для нашей планеты. Но, когда речь идет о древнейших периодах геологической истории, установить причины этих изменений крайне сложно. Авторы, изучив древние осадочные толщи формации Сямалин (Xiamaling) в Китае, обнаружили, что изменение орбиты Земли влияло на климат 1,4 млрд лет назад — в протерозое — так же, как и сейчас. Речь идет о циклах Миланковича. Они проявляются каждые 12-16, 20-30 и 100 тыс. лет. Только в древности они были немного короче, вероятно, из-за более близкого расположения спутника Земли — Луны. *С. 22.*

**3. Земледельцы майя и кочевники строили храмы вместе.** Группа американских, гватемальских и японских археологов под руководством Такеши Иномата (Takeshi Inomata) из университета Аризоны, проводивших раскопки древнего города Сейбаль в Гватемале, пришла к выводу о том, что майя начали строить свои храмы еще до перехода к оседлому образу жизни. Первыми строителями были охотники, рыбаки и собиратели, проводившие на территории Сейбаля коллективные ритуалы. Археологи также выяснили, что Сейбаль был не просто первым крупным городом майя, но и, вероятно, древнейшим церемониальным комплексом во всей Центральной Америке. Первые строения в Сейбале были возведены за 200 лет до Ла Венты, столицы ольмеков. *С. 25.*



Археологическая группа во главе с Такеши Иномата на раскопках Сейбаля / Takeshi Inomata

4. **Инсулиновые рецепторы определяют альтернативную морфологию крыльев у рисовой цикадки.** Китайские ученые расшифровали молекулярный механизм, благодаря которому бурая рисовая цикадка — опаснейший вредитель рисовых плантаций — развивается по одному из двух альтернативных путей, становясь либо длиннокрылой мигрирующей формой, либо короткокрылой, нелетающей и быстро размножающейся. Как выяснилось, ключевую роль в регуляции развития крыльев играет инсулиновый каскад — древняя сигнальная система, которая у многих животных, включая насекомых и млекопитающих, отвечает за адаптацию организма к колебаниям количества доступной пищи. С. 27.



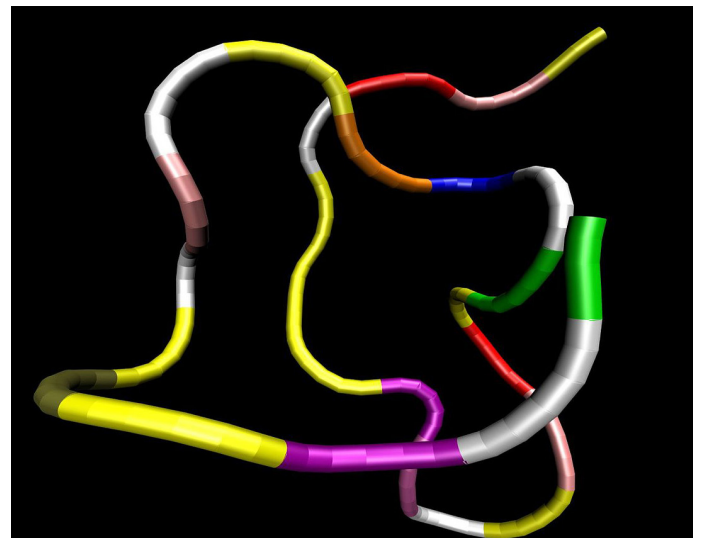
Короткокрылая и длиннокрылая формы бурой рисовой цикадки *Nilaparvata lugens* / Hai-Jun Xu, et. al.



Иллюстрация: clipartlogo.com

5. **Исследователи обнаружили фермент, который вызывает остановку сердца.** Исследователи утверждают, что обнаружили фермент, который вызывает остановку сердца, и лекарство, которое блокирует этот фермент. Прошлые исследования профессора Давида Касса (David Kass) обнаружили, что фермент под названием PDE-5 отвечает за нарушения в проводящих путях сердца. В этом исследовании ученые обнаружили, что фермент PDE-9 отвечает за нарушения в других проводящих путях сердца. Лекарства, которые блокируют деятельность PDE-9, проходят тестирование при болезни Альцгеймера и могут быть использованы для лечения сердечной недостаточности. С. 38.

6. **Врачам удалось снизить риск метастазов после удаления раковой опухоли.** Метастазы являются основной причиной смерти пациентов, у которых была удалена раковая опухоль. Ученые выяснили, что прием предсердного натрийуретического пептида существенно снижает риск возникновения метастазов после операции по удалению раковой опухоли легких. Предсердный натрийуретический пептид (ПНП) — это гормон, который вырабатывается мышечными клетками предсердий в ответ на повышение кровяного давления. Ученые провели эксперименты на мышах, а затем — на 467 пациентах, и выяснили, что прием предсердного натрийуретического пептида в течение трех дней перед операцией значительно снижает риск возникновения метастазов. С. 40.



Структура ПНП / quickiwiki.com



**7. Открыт метод усиления синтеза новых белков в клетке.** Ученые разработали новый подход к усовершенствованию существующего лабораторного метода трансфекции (введения в клетки чужеродной нуклеиновой кислоты), широко используемого для изучения механизмов работы клеток и вирусов. Основная задача ДНК-вакцин — синтез в клетке новых белков, которые способны вызвать иммунный ответ организма и остановить заболевание. Метод, предложенный учеными, «заставляет» клетки синтезировать в 5–20 раз больше новых белков, чем ранее разработанные методы. ДНК-вакцины могут быть более эффективными, менее дорогими и чувствительными к условиям хранения, по сравнению с традиционными вакцинами. С. 38.

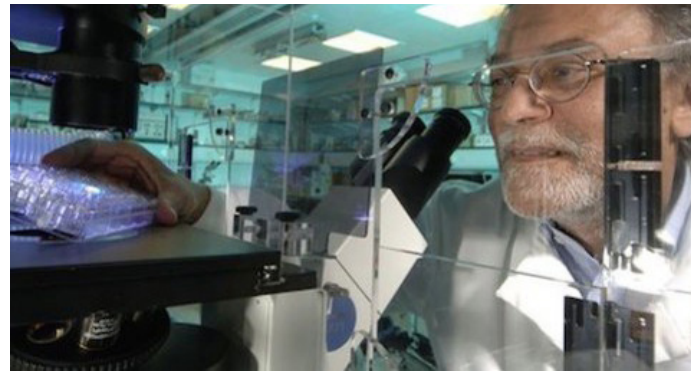


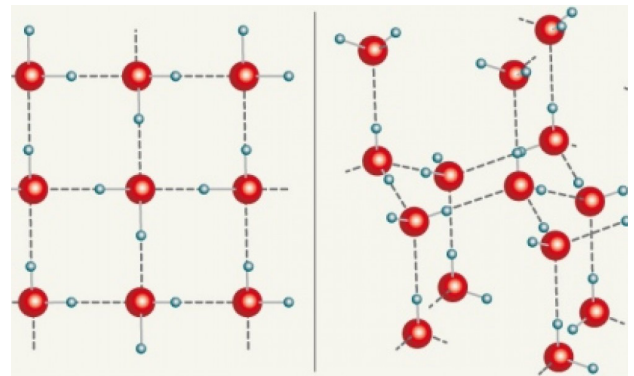
Иллюстрация: Remains/Fotolia



Иллюстрация: feramo.ru

**8. Нейроны головного мозга ведут себя как игроки в казино.** Американские ученые раскрыли биологические причины, лежащие в основе так называемой «ошибки игрока» — уверенности в том, что серия проигрышей неминуемо должна смениться выигрышем. Как оказалось, такое иррациональное поведение определяется сценарием, по которому работают нервные клетки головного мозга. Другими словами, нейроны ведут себя как игроки в казино: когда несколько раз подряд выпадает «орел», они в большей степени склонны ожидать, что в следующий раз будет «решка», чем опять «орел». С. 41.

**9. Ученые создали кубический лед в графеновых наноканалах.** Коллектив физиков под руководством нобелевского лауреата Андрея Гейма создал, используя своеобразные «сэндвичи» из графена, крайне необычные кубические кристаллы льда, изучение которых поможет раскрыть уникальные свойства воды. Вода является, судя по всему, самым изученным веществом на Земле, однако никто никогда не думал, что кристаллы льда могут принимать кубическую форму. Ледяные кристаллы с кубической симметрией удалось получить, охлаждая воду и сдавливая ее между двумя слоями графена. С. 48.



Микроструктура «кубического» льда (слева) резко отличается от обычного — гексагонального (справа) / G. Algara-Siller, et. al.

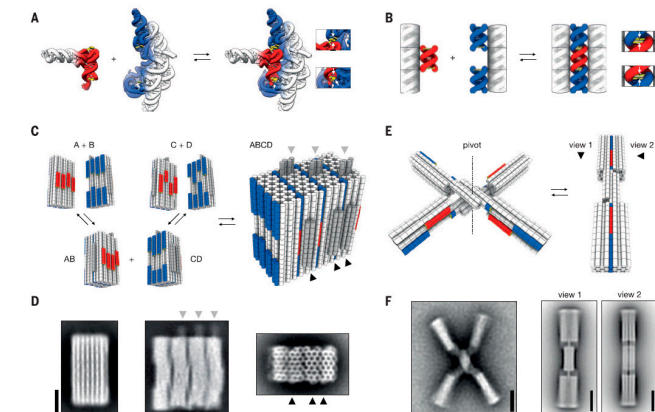


Иллюстрация: Thomas Gerling, et. al.

**10. Биотехнологи создали нано-трансформеры из нитей ДНК.** Международный коллектив ученых создал методику, которая позволяет создавать нано-машины из коротких молекул ДНК, способных самостоятельно пересобираются и менять свою структуру, что позволит инженерам собирать сложных и многофункциональных роботов из уже готовых деталей. Авторы исследования нашли решение, применив тот же подход, которым живые клетки пользуются при сборке и работе сложных белковых молекул и при транспортировке нуклеотидов к месту сборки цепочек ДНК. Ученые использовали в качестве базовых элементов не нуклеотиды или «шпильки» из них, а готовые блоки из молекул ДНК. С. 50.

# Новости • В России

## Получены кристаллы, способные улучшить характеристики инфракрасной оптики

Ученые Тверского государственного университета (ТвГУ) разработали новый способ получения монокристаллов германия с низким уровнем дефектов

Исследование позволит улучшить технические характеристики инфракрасной оптики, а также увеличить КПД устанавливаемых на спутниках солнечных элементов, сообщил СМИ проректор по научной и инновационной деятельности ТвГУ, профессор Иван Александрович Каплунов.

По его словам, на совершенство структуры влияет процесс выращивания монокристаллов. «Для этого кристалл вытягивают из расплава (при температуре плавления германия 937 градусов Цельсия) в специально сформированном температурном поле в вакууме или в среде инертного газа. Разработанная конструкция оснастки, скорость выращивания и ее стабильность, вращение кристалла и другие факторы обеспечивают получение монокристаллов с минимальным количеством дефектов».

Кристаллы германия применяются в разных сферах. «В первую очередь — в инфракрасной оптике, в частности, в приборах ночного видения», — отметил Каплунов. Он уточнил, что современные инфракрасные приборы на основе кристаллов германия способны распознавать излучающее тепло от объектов на дальние расстояния: от человека — на расстоянии до 2-3 км, крупной техники (танки, бронетранспортеры) — 5-7 км, самолетов или вертолетов — 10-20 км.

Инфракрасные приборы используются и в гражданских целях — например, для помощи МЧС при поиске людей или техники во время спасательных операций. Качество изготовления оптики напрямую зависит от качества кристаллов германия. Разработанный российскими учеными способ получения монокристаллов с низкой концентрацией нано- и микроразмерных дефектов (на основе метода Чохральского) позволит значительно улучшить все технические характеристики оптических приборов.

В вузе научились выращивать совершенные монокристаллы германия диаметром до 300 мм. Над проектом, который реализуется в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы», работают более 60 человек — преподаватели, научные сотрудники, студенты и аспиранты.

Источник: ТвГУ

## Ученые разработали безопасный для кожи и эффективный УФ-фильтр

Ученые из Томска, Москвы и Киева разработали технологию защиты кожи от солнечной радиации. Используемое вещество (диоксид церия), в отличие от применяемых сейчас аналогов, является безвредным для человека, сообщают в пресс-службе Томского государственного университета (ТГУ)

По данным ученых, сейчас в качестве УФ-фильтров в солнцезащитной косметике применяются в основном диоксиды титана и цинка. Однако частицы диоксида титана могут вызывать поражение нервных клеток мозга, лимфоцитов крови, лимфобластоидных клеток, а образующиеся свободные радикалы легко разрушают не только компоненты косметических средств, но и клетки кожи.

«Ученые нашли иной и абсолютно безвредный способ защиты кожи от солнечной радиации. В качестве УФ-фильтра они применяют коллоидный раствор оксида церия», — сказа-

ли в вузе. В пресс-службе отметили, что оксид церия используется еще с конца XIX столетия в качестве кожных антисептиков в медицине. В последнее десятилетие это химическое соединение используют в качестве неорганического антиоксиданта.

«В наших исследованиях доказано, что солнцезащитный фактор косметических препаратов, содержащих наночастицы диоксида церия, превосходит показатели для композиций, содержащих традиционные неорганические УФ-фильтры, почти в два раза», — сказал доктор химических наук, один из главных разработчиков новой технологии Владимир Иванов.

Помимо ТГУ, в разработке технологии принимают участие ученые Института общей и неорганической химии (Москва) и Института микробиологии и вирусологии НАН Украины (Киев).

В ТГУ отметили, что в перспективе наночастицы диоксида церия можно будет использовать не только в составе профилактических препаратов, защищающих клетки от УФ-облучения, но и в качестве терапевтических препаратов при лечении ожогов, в том числе солнечных. Сейчас разработка проходит доклинические испытания в одном из медицинских институтов Москвы.

Источник: ТГУ

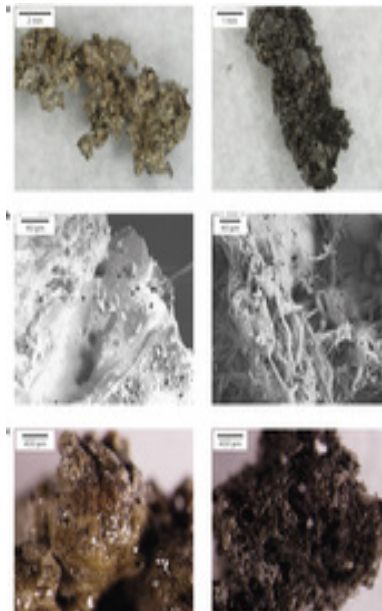


# Новости • За рубежом

## Планетологи объяснили темный цвет Меркурия

Планетологи из США объяснили темный цвет Меркурия высокой долей содержания на его поверхности минералов с углеродом. Результаты своих исследований авторы опубликовали в журнале *Nature Geoscience*, а кратко с ними можно ознакомиться на сайте *Science News*

Ученых интересовал вопрос о том, почему Меркурий отражает света примерно на треть меньше, чем аналогичные площади на Луне. Ранее специалисты объясняли это большим содержанием на планете железа. Однако оно интенсивно поглощает волны в достаточно узком диапазоне, а содержание этого металла



Импактные агглютинаты, собранные со дна кратеров / *Nature Geoscience*

в поверхностном слое планеты оценивается в три процента.

В новом исследовании ученые объяснили низкое отражение света Меркурием содержащимся на его поверхности углеродом. Этот элемент, как полагают ученые, попал на планету от комет и астероидов, которые интенсивно сталкивались с планетой в прошлом. Так, на углерод приходится около 18 процентов массы кометы, а столкновения этих небесных тел с планетой происходили примерно в 50 раз чаще, чем со спутником Земли. Кроме того, такие падения комет приводили к образованию устойчивых форм углерода (графита и наноалмазов) и сажи, которые, несмотря на высокие температуры (из-за близости к Солнцу) на поверхности планеты, сохранились в ее сильно разреженном пространстве.

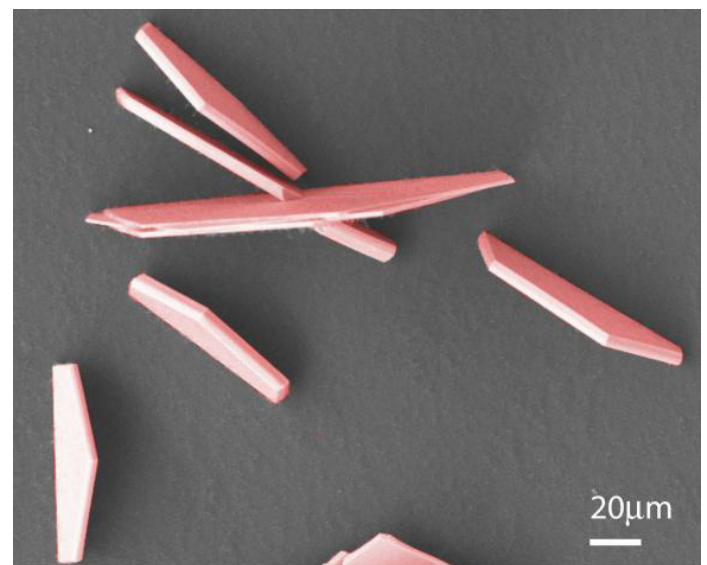
Источник: *Nature Geoscience*. doi:10.1038/ngeo2397, *Science News*. DOI: 10.1126/science.aab0394

## Теллурид кремния — пополнение в семействе двумерных полупроводниковых материалов

Группа исследователей, возглавляемая Кристи Коски, из университета Брауна (*Brown University*) разработала несколько методов управляемого выращивания кристаллов теллурида кремния, обладающих заранее заданными свойствами

Теллурид кремния, полупроводниковый материал, в основе которого находится кремний, самый распространенный элемент на земном шаре, был открыт в 1960-х годах. Чуть позже была опубликована работа, описывающая в общих чертах свойства этого материала, после чего он был забыт практически на 40 лет. Исследователи из университета Брауна провели достаточно подробные исследования его свойств и ввели его в состав семейства двумерных полупроводниковых материалов, которые являются весьма перспективными материалами для изготовления электронных и светоизлучающих устройств, солнечных и аккумуляторных батарей следующего поколения.

«Начиная наши исследования, мы неожиданно обнаружили тот факт, что существует очень мало литературы и научных публикаций, касающихся теллурида кремния» — рассказывает Кристи Коски (*Kristie Koski*), профессор химии из университета Брауна, — «Это объясняется тем, что в момент открытия этого материала в двумерных полупроводниковых материалах попросту не было нужды. И о существовании теллурида кремния попросту забыли».



Кристаллы могут принимать форму нанолент, квадратных структур и крошечных наночастиц. *Koski lab / Brown University*

«Но, теллурид кремния имеет огромный потенциал» — рассказывает Кристи Коски, — «Это двумерный полупроводниковый материал из семейства халькогенидов, в которое входит известный всем молибденит (дисульфид молибдена), которые комбинируют лучшие из свойств кремния и одноатомной структуры наподобие структуры графена».

«Привлекательность теллурида кремния увеличивается тем, что монослои этого материала могут быть отделены от кристаллов, точно также, как слои графена отделяются от



графита» — объясняет Кристи Коски, — «Материал абсолютно прозрачен и имеет красноватый оттенок. Кроме этого, он является естественным полупроводником р-типа, полупроводником, в котором в роли носителей заряда являются электронные дырки. В мире двумерных материалов это большая редкость, подобными свойствами обладает лишь фосфорен — двумерный вариант фосфора».

Теллурид кремния имеет пик фотолюминесценции в области красного цвета, что делает его привлекательным для создания красных светодиодов и полупроводниковых лазеров нового типа, фотодатчиков и высокоэффективных солнечных батарей. «Кроме этого нанопроводники из теллурида кремния могут выступить в роли высокоэффективной замены соединений лития и магния в составе литий-ионных аккумуляторных батарей» — рассказывает Кристи Коски.

Группа исследователей разработала методы управляемого выращивания кристаллов теллурида кремния, обладающих уже заданными свойствами. Эти кристаллы могут принимать форму нанолент, квадратных структур и крошечных наночастиц, каждая из которых обладает своим собственным уникальным набором физических, химических и оптических свойств. А такое разнообразие видов материала было получено всего лишь при помощи изменений температуры в печи, в которой проводится процесс осаждения материала из паровой фазы.

В скором времени исследовательская группа Кристи Коски проведет серию исследований электронных и оптических свойств теллурида кремния, после чего перспективы использования этого материала в самых разных областях науки и техники обретут законченные формы.

Источник: Brown University

## Новости • 1 апреля

На днях в ряде уважаемых научных изданий появились материалы по достаточно неожиданным темам — существование драконов до малого ледникового периода, открытие «умного» кварка и создание суперкатапульты как замены дорогостоящим ракетам-носителям. Несмотря на шуточный подтекст, информация получила широкое распространение.

### Nature Advance • Зоология

#### Здесь обитают драконы

Представители семейства огнедышащих мультиглавых, которых в народе принято называть драконами, в древности действительно существовали, и в скором времени они могут возродиться

Такое заявление сделала группа зоологов из Британии и Австралии, причем не где-нибудь, а в журнале Nature, общепризнанном мировом форпосте борьбы с любыми проявлениями лженауки. Авторы обращают наше внимание на тот факт, что упоминаниями о драконах пронизаны многие мифы и легенды всех континентов. И ученые считают, что, несмотря на анатомические различия описываемых существ (число голов, которое порой сводится до одной, иногда отсутствие крыльев, а иногда даже и отсутствие огненного дыхания), вполне можно говорить о видообразовании.

В ходе поисков в Бодлианской библиотеке Оксфордского университета ученые случайно наткнулись на трактат некоего монаха Годфри Эксмутского, где, в частности, предьявлялись убедительные свидетельства, что на протяжении тысячелетий драконы существовали на самом деле. В ходе дальнейших исследований выяснилось, что настоящим раем для драконов был период Раннего Средневековья. Авторы объясняют это необычно теплым климатом, царившим тогда в Европе, и изобилием рыцарей — любимой пищей огнедышащих тварей.

Хорошее питание и наличие удобных жилищ (хижины и дворцы съеденных) привело к необычайному росту по-



Легендарный дракон / Nature

пуляции драконов. Когда рыцари кончились и вдобавок началось похолодание, известное как малый ледниковый период, длившийся с XIV по XIX век, драконы и, соответственно, письменные свидетельства о них стали встречаться все реже и реже, пока не исчезли совсем. Авторы предполагают, что в силу сложившихся обстоятельств драконы впали в спячку — состояние, часто встречающееся у холоднокровных и называемое «брумация» (аналог гибернации для теплокровных).

Однако, идущее сейчас по всей планете глобальное потепление и расплодившаяся в ходе двадцатого века попу-

ляция рыцарей, по мнению авторов, неизбежно приведут к тому, что период великой спячки уйдет в прошлое, и драконы станут повседневным злом для обитателей сел и мегаполисов.

Авторы не приводят рецептов, как справиться с этим надвигающимся бедствием, но человечеству следует подумать о всевропейской программе защиты от драконов, включая создание поисковых групп для обследования дворцов и хи-

жин на предмет обнаружения мест спячки, а также создания специальных огнетушительных войск. Учитывая, что драконы все же имеют магическое происхождение, следовало бы также учредить подразделения магических наук, которые, кстати, во многих странах уже созданы и, подобно рыцарям, вполне процветают.

Источник: Nature. № 520, P.42–43, 02 апреля 2015 г., doi:10.1038/520042a

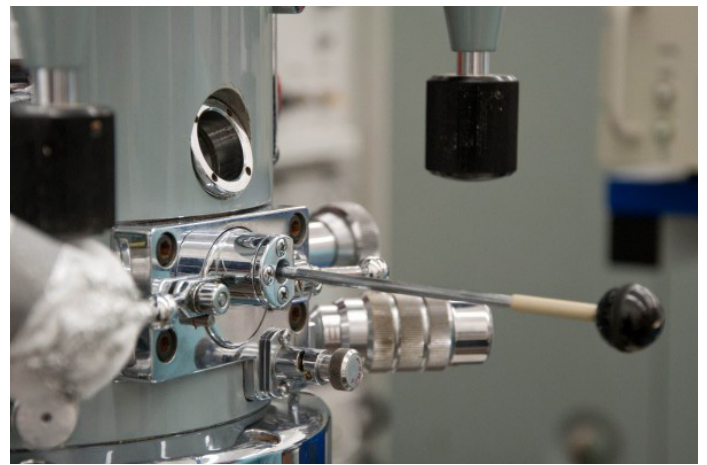
## Наука в Сибири • Физика

### Сибирские ученые считают, что обнаружен новый вид кварков

Физики думают, что неизвестный элемент, который довольно продолжительное время фиксировала аппаратура в ходе экспериментов с пучками атомов, является принципиально новым видом кварков

«В течение нескольких лет мы постоянно видели, что при столкновении двух разогнанных пучков образуется обычный, уже достаточно хорошо известный набор частиц, однако, несколько раз удавалось отметить еще несколько довольно странных “персонажей”, чье поведение казалось нам не совсем привычным, — рассказал один из участников проекта, заведующий лабораторией индукции плазмы Новосибирского государственного университета доктор физико-математических наук Олег Дмитриевич Томилин. — Тогда наши специалисты стали пытаться ухватить эти незнакомые объекты с помощью очень сильной вакуумной магнитной ловушки, однако, нам пришлось перебрать массу условий, чтобы найти те, при которых образование таких частиц стало бы стабильным».

Ученый отмечает, что, отработав метод, сибирские физики совместно со своими немецкими коллегами провели ряд экспериментов в Объединении институтов им. Гельмгольца (Германия). «Сейчас мы подводим промежуточные итоги и готовим статью в международные журналы, где планируем



Суровый сибирский кварк / Наука в Сибири

заявить только о предварительном результате, — комментирует Олег Томилин. — Дело в том, что нужно еще раз все хорошо проверить, соотнести наши результаты с данными по Стандартной модели, полученными на Большом адронном коллайдере. Кроме того, сейчас мы активно переписываемся с ЦЕРНом на предмет совместных исследований. Только после этого можно будет с уверенностью говорить о новом виде кварков», — подчеркивает специалист.

«Мы решили назвать его “умным” — smart, — говорит Олег Томилин. — Разумеется, если существование окончательно подтвердится».

Источник: Наука в Сибири

## The Engineer • Новости науки

### Катапульта в небо

Британские ученые рассказали о гигантской катапульте, с помощью которой можно запустить любой объект в космос прямо с Земли. Таким образом, ученые предложили отказаться от космических аппаратов и сообщили, что успели привлечь £500 млн финансирования

Испытания необычного и инновационного устройства проходили не где-нибудь, а на космодроме Байконур. В ходе испытаний в космос была запущена замороженная курица. Отмечается, что во время вхождения в стратосферу ее скорость превысила 29 тыс. км/ч. В 2016 году исследователи планируют использовать катапульту для того, чтобы отправить на Международную космическую станцию морскую свинку.

Источник: The Engineer

# In Advance

## Nature Advance • Антропология

### Новый космогенический возраст австралопитека из Стеркфонтейна (Member 2) и из Олдувая (Member 5)

New cosmogenic burial ages for Sterkfontein Member 2 Australopithecus and Member 5 Oldowan. Darryl E. Granger, Ryan J. Gibbon, Kathleen Kuman, Ronald J. Clarke, Laurent Bruxelles, Marc W. Caffee. Nature (2015) doi:10.1038/nature14268. Published online 01 April 2015.

Еще в 1990-х годах в системе пещер Стеркфонтейн в Южной Африке был найден почти полный скелет австралопитека, получившего имя «Маленькая нога» (Little Foot). Долгое время ученые не могли точно определить возраст костей, и прекрасно сохранившаяся находка оставалась в тени знаменитой Люси — самки австралопитека, чьи останки были обнаружены в Эфиопии и датированы 3,2 млн лет. Представители этого рода древних гоминид, которые считаются прямыми эволюционными предками человека, обитали на Черном континенте в промежутке между 2 и 4 млн лет назад. Но, если вулканические породы Восточной Африки легко поддаются датировке, то в ЮАР дела обстоят сложнее. А между тем именно здесь было найдено множество ископаемых останков высших приматов, а также самые древние орудия труда возрастом более 2 млн лет. Археолог Рон Кларк (Ron Clarke) из университета Витватерсранда в Йоханнесбурге на протяжении многих лет доказывал, что сам скелет гораздо старше окружающих его мелкозернистых пород, которые сформировались как минимум через миллион лет после смерти австралопитека. В новом исследовании геохимик Дэррил Грейнджер (Darryl Granger) из Университета Пердью и его коллеги использовали для определения возраста «Маленькой Ноги» технику радиоизотопного анализа в сочетании с мощным детектором, который изначально предназначался для исследования солнечного ветра. Метод основан на исследовании изотопов  $^{26}\text{Al}$  и  $^{10}\text{Be}$  в кварцевой породе, окружающей кости. Эти элементы образовались под действием космического излучения, когда порода находилась на поверхности. После того, как частицы породы вымывались водой и попадали на дно пещеры, куда, как по-

лагают ученые, упал австралопитек, изотопы начали распадаться. Зная скорость такого распада, исследователи смогли точно установить возраст «строительного материала», который попал в пещеру примерно в одно время с австралопитеком, и из которого позже сформировалась каменная порода вокруг скелета. Ученые исследовали 11 образцов, собранных в месте обнаружения скелета на протяжении последних 10 лет. В результате они определили, что останки находились в пещере около 3,67 млн лет. А значит, «Маленькая Нога» старше Люси почти на 500 тыс. лет. Между тем, соперничество находок из Эфиопии и ЮАР имеет важное значение для понимания эволюции предков человека. Вид *Australopithecus prometheus*, к которому относится «Маленькая Нога», отличается от своих современников австралопитеков афарских, самым ярким представителем которых является Люси, и имеет много общего с более поздними парантропами. Новые данные говорят о том, что обширные территории в Африке, вероятно, населяли многие виды австралопитеков.



Палеонтолог Рон Кларк держит в руках копию черепа «Литтлфута» / Wits University

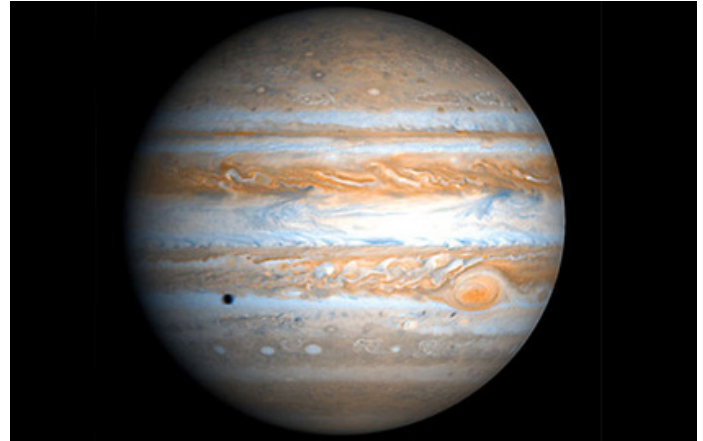


PNAS Early Edition • Планетология

## Решающая роль Юпитера в ранней эволюции внутренней части Солнечной системы

Jupiter's decisive role in the inner Solar System's early evolution. Konstantin Batygin and Greg Laughlin. PNAS 2015; published ahead of print March 23, 2015, doi:10.1073/pnas.1423252112.

Планетологи из Калифорнии пришли к выводу, что на ранних этапах развития Солнечной системы притяжение молодого Юпитера могло изменить движение орбит близких к светилу суперземель (планет до десяти раз тяжелее Земли) и уничтожить их, что объясняет аномально малые массы Земли и других первых четырех планет. Наша Солнечная система могла содержать в себе одну или несколько крупных земледобных планет на ранних этапах своего формирования, которые были в дальнейшем поглощены Солнцем в результате миграций Юпитера. Астрономы давно заметили, что практически во всех планетных семьях, кроме Солнечной системы, ближайшие к светилу планеты обладают гораздо более крупными размерами и массой, чем Меркурий, Венера, Земля и Марс. Кроме того, большая часть планет, судя по косвенным данным, возникли в первые несколько десятков миллионов лет после рождения их звезд, тогда как внутренние регионы Солнечной системы сформировались лишь через 200 млн лет после ее появления. Ученые предположили, что Солнечная система могла быть изначально такой же, как и все остальные семейства планет, однако потом что-то могло резко перестроить ее. Проведя компьютерное моделирование, имитирующее стандартные начальные условия для формирования планет из протопланетных дисков, ученые пришли к выводу, что на ранних этапах развития Солнечной системы Юпитер мог мигрировать в направлении Солнца с расстоя-



Юнумер / NASA/Cassini

ния в 5 астрономических единиц (примерно на таком расстоянии он сейчас находится) до 1,5 астрономических единицы (на таком удалении от Солнца сейчас находится Марс). Это привело к возмущению орбит находившихся в этой зоне суперземель и столкновениям этих молодых планет друг с другом, а также с астероидами и небесными телами. Данные процессы привели к уничтожению молодых суперземель, из материи которых впоследствии сформировались каменные планеты земной группы (Меркурий, Венера, Земля и Марс). Ученые полагают, что гравитация формирующегося Сатурна не позволила более старому Юпитеру продолжить свое разрушающее воздействие на планеты системы и перенесла его вдаль от Солнца. Работа ученых показывает, каким образом могла сформироваться Солнечная система, а также влияние газовых гигантов типа Юпитера и Сатурна на появление Земли и Марса. Если это действительно было так, то наши шансы найти полноценного двойника Земли заметно меньше, чем мы ожидаем, так как подобный процесс «очистки» внутренней части планетарной системы критически важен для формирования типично земной атмосферы.

PNAS Early Edition • Социальные науки

## Имперская экспансия, государственные инвестиции и длинный путь истории Китая: первоначальная политическая унификация и ее последствия

Imperial expansion, public investment, and the long path of history: China's initial political unification and its aftermath. Hui Fang, Gary M. Feinman, and Linda M. Nicholas. PNAS 2015; published ahead of print March 16, 2015, doi:10.1073/pnas.1419157112.

Объединение Китая, происшедшее более 2 тыс. лет назад, не было обусловлено естественными факторами, такими как необходимость в защите страны от внешних врагов, или биогеографическими условиями. Ученые утверждают, что создание единой страны произошло вопреки существовавшим

на тот момент условиям и стало возможным лишь благодаря грамотной и тщательно продуманной долгосрочной политике китайских императоров. Объединение Китая произошло в 221 г. до н.э. под властью императора династии Цинь Ин Чжэна, вошедшего в историю под именем Цинь Шихуана. Он стал правителем своего царства в 246 г. до н.э. и в течение следующей четверти века провел серию успешных войн, объединивших разрозненные государственные образования и положивших конец эпохе Сражающихся царств. За 11 лет правления объединенной страной Цинь Шихуан провел серию реформ, касающихся как управления страной, так и повседневной жизни людей, а также воплотил в жизнь ряд масштабных проектов, таких как строительство Великой Китайской стены, канала Линцюй и создание Терракотовой армии. Спустя всего несколько лет после смерти императора его династия пала, однако Китай больше ни разу не распался на такое количество соперничающих друг с другом царств, как раньше, а все последующие династии унаследовали централизованный бюрократический аппарат управления страной, созданный Цинь Шихуаном. Может показаться невероят-

ным, но философские принципы, на которых была основана внутренняя политика Цинь Шихуана, являются актуальными для Китая и сейчас, спустя более 2 тыс. лет. Этой философией является легизм, известный также под названием «школа законников». Сторонники этой идеологии полагали, что управление страной должно строиться исключительно на законодательстве, наказания даже за самые незначительные преступления должны быть чрезвычайно строгими, а чины и награды следует даровать людям исходя из их реальных заслуг, а не на основе происхождения и богатства. Китайские мыслители обращались к легизму вплоть до конца XX века. К легизму апеллировал Чан Кайши, доказывавший, что легистская доктрина вмешательства государства в экономическую жизнь положит начало экономическому планированию и политике «народного благоденствия». В 1970-х годах Коммунистическая партия Китая в ходе идеологической кампании критики Конфуция оперировала легистскими идеями, доказывая, что легисты являются сторонниками прогресса

и реформ, в то время как поборники традиционной конфуцианской философии — приверженцами древности, которой больше нет места в современном Китае.



Andy Wong/AP

## Science Advances • Медицина

### Дендритная противоопухолевая вакцина расширяет разнообразие неоантиген-специфичных Т-клеток меланомы

A dendritic cell vaccine increases the breadth and diversity of melanoma neoantigen-specific T cells. Beatriz M. Carreno, Vincent Magrini, Michelle Becker-Napak, et. al.. Science Advances. Published Online April 2, 2015. Science DOI: 10.1126/science.aaa3828.

Команда исследователей из Медицинской школы при Вашингтонском университете в Сент-Луисе разработала прототип вакцины от рака из мутировавших белков опухоли. Эта работа стала прорывом в персонализированной медицине, на которую возлагаются большие надежды в вопросах борьбы с онкологическими заболеваниями. Клинические испытания вакцины проходили следующим образом: исследователи брали образец опухоли у пациента, выделяли из него мутировавшие белки, после чего изготавливали лекарственный препарат. Рак представляет собой генетическое заболевание, развитие которого спровоцировано особыми мутациями. Развитие онкологических заболеваний связано с неконтролируемым ростом клеток в различных тканях организма, и именно этот процесс вызван болезнетворными мутациями в генах. Тем не менее, присутствие мутировавших белков в организме является своеобразным сигналом тревоги для иммунной системы. Иммунитет воспринимает этот сигнал как вторжение инородных клеток или тел и пускает все силы на сражение с «захватчиком». К сожалению, естественным образом такой процесс запускается далеко не всегда. Некоторые опухоли подавляют иммунитет, а мутировавшие белки опухолей не могут быть экспрессированы в достаточном количестве. Ученые давно планировали использовать мутировавшие белки опухолей для создания противораковой вакцины. Однако прежде для этого не хватало технологических решений. Ключом к разгадке стали технологии секвенирования генома и понимание функционала иммунной системы. Ранее исследователи продемонстрировали, что вакцина из мутировавших белков

опухоли провоцирует сильную иммунную реакцию у мышей, а теперь Каррено и ее коллеги показывают, что то же возможно и для человека. Ученые секвенировали геном опухоли в образцах, взятых у трех пациентов с меланомой (раком кожи), после чего каталогизировали мутантные белки в каждом образце. Затем биохимики выбрали семь фрагментов белка для каждого пациента и использовали их для изготовления вакцины. У каждого добровольца также были взяты белые клетки крови, которые затем были культивированы в лаборатории для создания особых иммунных клеток — так называемых дендритных клеток. Эти клетки позднее подвергли воздействию белковых фрагментов, после чего всю смесь ввели пациентам. Дендритные клетки связались с фрагментами мутировавшего белка и тем самым иммунные клетки получили прямую наводку на раковые клетки. В результате наблюдалась сильная иммунная реакция уже через две недели после вакцинации. Проблема заключается в том, что исследователям пока неизвестно, хватит ли полученного иммунного ответа для того, чтобы опухоль перестала расти. До сих пор в медицине не установлены нормы проявления иммунной реакции, которая вела бы к ремиссии. Поэтому удостовериться в успехе испытания вакцины можно будет только на практике. В ближайшее время ученые изучат возможность изготовления и использования противораковой вакцины и для других видов рака. К сожалению, все они характеризуются своими мутациями и белками, и потому универсальной методики быть не может. Однако введение персонализированной вакцины является сегодня одним из самых перспективных способов спасения человека от рака.

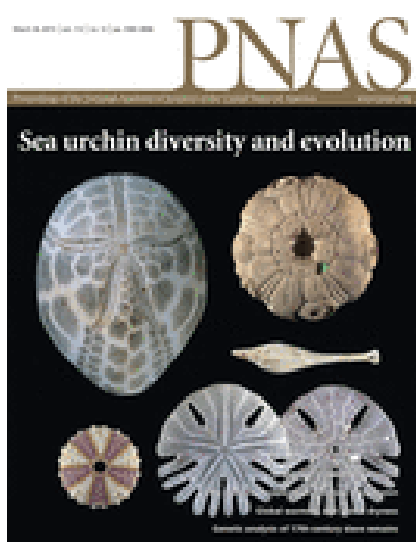


Доктор Каррено и ее коллеги работают над изготовлением противораковой вакцины / Tom Kitchen

Vol. 519. No 7544  
26 марта 2015 года



Vol. 112. No 12  
24 марта 2015 года



Vol. 347. No 6229  
27 марта 2015 года



Nature · PNAS · Science: рефераты статей

15 **Астрономия**

18 **Физика**

21 **Науки о Земле и экология**

25 **Антропология и история**

27 **Биология**

38 **Медицина**

41 **Нейронауки и психология**

46 **Социальные науки**

48 **Технологии и материалы**



# Астрономия

## Ветер из черной дыры аккреционного диска вызывает отток вещества из активной галактики

Wind from the black-hole accretion disk driving a molecular outflow in an active galaxy. F. Tombesi, M. Meléndez, S. Veilleux, J. N. Reeves, E. González-Alfonso, C. S. Reynolds. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 436–438.

В центре Млечного Пути и практически всех галактик присутствует сверхмассивная черная дыра, определяющая процессы круговорота вещества во всей галактике. Огромные количества вещества, притянутого дырой, сближаясь с ней, ускоряются и закручиваются по спирали. Раскаляясь, они начинают активно излучать, к тому же часть вещества выбрасывается за пределы дыры — и черная дыра становится ярчайшим объектом, испускающим мощные потоки материи. Достаточно давно астрономы считают, что активизация черных дыр приводит к постепенному опустошению галактик и прекращению процессов звездообразования в результате того, что черная дыра разогревает и выбрасывает холодные облака пыли и водорода за пределы галактик. Наблюдая при помощи орбитального рентгеновского телескопа Suzaku и инфракрасной обсерватории Herschel за галактикой IRAS F11119+3257 в созвездии Большой Медведицы, авторам удалось получить первое прямое доказательство того, что сверхмассивные черные дыры действительно выбрасывают весь нейтральный газ из центральной части галактик. Впервые удалось одновременно зафиксировать и ветра, исходящие от ядра галактики, и масштабные потоки нейтрального газа, выбрасываемого за ее пределы. Галактика IRAS F11119+3257 не является обычным спиральным или эллиптическим

скоплением звезд, а чрезвычайно активным космическим объектом, возникшим в результате столкновения двух нормальных галактик. Это столкновение и «пробудило» черную дыру IRAS F11119+3257. Мощная аппаратура позволила увидеть, как в окрестностях черной дыры рождаются мощнейшие космические ветра и как они ионизируют и разгоняют запасы холодного газа, формируя его гигантские выбросы из галактики в межгалактическую среду. Наблюдения за этими ветрами и выбросами помогли авторам подтвердить, что современные теории, описывающие поведение квазаров — активных и ярких ядер галактик, в целом верны. Выбрасываемый ветрами газ действительно охлаждается медленно, что препятствует его падению на аккреционный диск галактики и превращению в новые звезды. Скорость галактического ветра, по данным наблюдений, достигает 1/4 световой и чем ближе к дыре, тем она выше. Однако потоки вещества, наоборот, растут с удалением от нее. Если в непосредственной близости от центра дыры ветер уносит материи примерно на одну солнечную массу в год, то вдали от центра эта цифра увеличивается в сотни раз. Использование инфракрасных данных космической обсерватории Herschel Европейского космического агентства позволило исследователям увидеть, что, когда ветер отдаляется от центра дыры примерно на 1000 световых лет, он замедляется до 3,6 млн км/ч. Этот поток фактически опустошает все центральные области галактики, лишая ее способности производить новые звезды. Отток вещества из галактики оценивается в 800 солнечных масс газа в год. В ближайшее время ученые планируют провести серию аналогичных наблюдений за другими активными галактиками, чтобы подтвердить свою теорию.

*В. В. Стрекопытов*

## Поиски признаков жизни на экзопланетах с точки зрения химии и планетологии

The search for signs of life on exoplanets at the interface of chemistry and planetary science. Sara Seager, William Bains. Science Advances. 2015. 1:e1400047. 6 March 2015. P.1–11.

При поисках признаков существования биологической жизни на экзопланетах следует использовать максимум научных возможностей, осуществляя многосторонний подход к проблеме. Ученым, которые анализируют состав атмосфер далеких планет в поисках газов, выделяемых внеземными организмами, следует искать не только кислород, метан и другие, привычные для нас признаки существования биологических жизненных форм, но и другие газы. На сегодняшний день ученые открыли более чем 1800 экзопланет в нашей Вселенной, большинство из которых значительно отличаются по многим параметрам от планет Солнечной системы. Особенно примечательным представляется тот факт, что большинство открытых на сегодняшний день экзопланет являются косми-

ческими телами размерами больше Земли, но меньше Нептуна — то есть, они представляют собой особый класс планет, и их нельзя отнести ни к планетам земного типа, ни к газовым гигантам. Для таких планет до сих пор не выработано единой теории их формирования. Широкое разнообразие экзопланет увеличивает вероятность того, что внеземная жизнь может существенно отличаться от жизненных форм нашей планеты — даже если эта жизнь находится на каменной планете, подобной Земле. Хотя пока ни одной планеты такого типа открыто не было, однако их существование предсказывается теорией. Основываясь на приведенных выше рассуждениях, авторы предлагают осуществить более широкий подход к поиску связанных с жизнедеятельностью организмов газов в атмосферах экзопланет путем проведения систематического исследования, направленного как на выяснение вида веществ, присутствующих в атмосферах экзопланет, так и на подробное изучение условий планетной среды, поиска мест, где могут накапливаться и существовать в течение продолжительного времени молекулы газов-кандидатов на роль индикаторов внеземной жизни.

*В. В. Стрекопытов*

## Определение расстояний до сверхновых типа Ia в молодых областях звездообразования с погрешностью менее 4%

Distances with <4% precision from type Ia supernovae in young star-forming environments. Patrick L. Kelly, Alexei V. Filippenko, David L. Burke, et al. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1459–1462.

Измерение расстояний до сверхновых звезд (СЗ) с высокой точностью имеет большое значение для определения геометрии и масштабов Вселенной, поскольку СЗ являются стандартными световыми источниками с известной абсолютной звездной величиной (АЗВ). СЗ образуются в результате термоядерного взрыва белых карликов на поздней стадии звездной эволюции. Недавно было обнаружено, что более яркие СЗ типа Ia имеют кривые блеска, затухающие более медленно, а также избыток голубого цвета, поскольку расположены в молодых областях интенсивного звездообразования. Это дает возможность определить их светимость с высокой точностью только по цвету и по форме кривой блеска. Сравнение видимой звездной величины и АЗВ сверхновых позволяет найти их расстояние, но точность этого определения зависит от точности калибровки кривой блеска. Из данных прежних наблюдений следует, что имеется 10% средний разброс между калиброванными светимостями СЗ типа Ia в галактиках с большой и малой массой, а также разброс интенсивности излучения в линии  $H_{\alpha}$  из локальных областей вокруг СЗ с радиусом ~1 кпс. Кроме того, было установлено, что цвет СЗ зависит от скорости расширения взрывающейся оболочки вблизи максимума кривой блеска. Учет

эффектов, обусловленных космологическим расширением и расширением взрывающейся оболочки СЗ, позволяет уточнить шкалу космологических расстояний на основе расстояний СЗ. В данной работе, основываясь на данных наблюдений спутника GALEX, проанализирована выборка СЗ типа Ia с избытком голубого цвета и красными смещениями  $0,02 < z < 0,09$ , и определены расстояния до них с погрешностью не более 4%. Выборка СЗ основана на данных фотометрического анализа излучения из областей с радиусом 5 кпс вокруг СЗ, приведенных в обзор (LOSS) Ликской обсерватории, Гарвард-Смитсоновского центра астрофизики (CFa) и проекта Карнеги (CSP). Используя изображения, полученные на спутнике GALEX, измерялась фоновая яркость галактик, в которых находятся выбранные СЗ (в дальней и ближней УФ части спектра), в областях с радиусом 5 кпс вокруг звезд. Соответствующие поправки, а также поправки на космологическое расширение и межзвездное поглощение (покраснение) излучения СЗ при прохождении света в Млечном Пути, вносились в кривую блеска СЗ. Для определения статистической погрешности, обусловленной дисперсией хаббловских скоростей, использовались программы численного моделирования методом Монте-Карло. Кроме того, учитывалась интенсивность звездообразования в соответствующих областях, поскольку для СЗ в областях интенсивного звездообразования статистический разброс АЗВ, обусловленных разбросом хаббловских скоростей, оказывается меньше (вследствие меньшей дисперсии возрастов СЗ). Результирующая калибровка кривых блеска СЗ характеризуется дисперсией 0,065–0,075 звездных величин. В будущем предполагается аналогичным образом уточнить расстояния до СЗ, находящихся в более удаленных галактиках с большими красными смещениями.

Г. В. Дедков

## Негравитационные взаимодействия темной материи при столкновении галактических кластеров

The nongravitational interactions of dark matter in colliding galaxy clusters. David Harvey, Richard Massey, Thomas Kitching, Andy Taylor, Eric Tittle. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1462–1465.

Темная материя представляет собой одну из главных загадок в современном научном знании о Вселенной. Темной материи во Вселенной намного больше, чем обычной материи, однако она практически неувидима: она не отражает, не поглощает и не испускает свет, что делает ее невидимой для наблюдений в любой части электромагнитного спектра. Темную материю можно обнаружить лишь по гравитационным эффектам, оказываемым ею на материю видимой части Вселенной (в частности, с ней связан эффект гравитационного линзирования), что и позволяет астрономам говорить о ее существовании. Темная материя искривляет свет, идущий от далеких звезд по направлению к земному наблюдателю, а также ускоряет движение галактик внутри скоплений. Галактические скопления (кластеры) состоят на 90% из темной материи, что делает их идеальными объектами для изучения этой субстанции. При помощи космических телескопов Hubble и Chandra авторы исследовали 72 столкновения кластеров галактик. Первый позволяет проводить наблюдения в видимой части спектра, а второй – в рентгеновском диапазоне. Кластеры галактик включают в себя три основных компонента: собственно звездные системы, газовые облака и темную материю. При столкновении скоплений газовые облака меняют направления и скорости своего движения. Галактики значительно реже меня-

ют свою структуру из-за больших расстояний между ними и высоких скоростей, с которыми они движутся. Оказалось, что при таких масштабных столкновениях темная материя почти никак не меняет своего движения. Это означает, что она чрезвычайно слабо взаимодействует сама с собой. Авторы проанализировали данные о столкновениях, чтобы измерить изменение импульса темной материи в тот момент, когда два кластера врезаются друг в друга. Ученые исходили из двух возможных вариантов поведения темной материи во время этого процесса, один из которых подразумевал, что ее частицы слабо, но часто взаимодействуют друг с другом, а второй говорил о редких, но достаточно сильных взаимодействиях. В первом случае столкновение галактик приведет к тому, что облака темной материи замедлят свое движение, а во втором – часть их будет разбросана по окружающей межгалактической среде. Неожиданно расчеты показали, что сгустки темной материи попросту проходят сквозь друг друга. Это означает, что либо ее частицы не взаимодействуют между собой и не вызывают торможения, либо что частиц темной материи не существует вовсе. В работе удалось собрать богатую статистику по столкновениям других скоплений, происходящих в разные времена и под разными углами. Результаты исследования увеличивают вероятность того, что две гипотетические частицы темной материи взаимодействуют ниже математической вероятности взаимодействия двух реально существующих протонов. А значит, скорее всего, темных протонов, о которых говорилось ранее, не существует в природе. Авторы отмечают, что их работа позволяет создать новые перспективные теоретические модели для объяснения поведения темной материи и отбросить неактуальные.

В. В. Стрекопытов

## Марсоход обнаруживает сложные органические соединения

Mars rover finds long-chain organic compounds. Eric Hand. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1402–1403.

В течение почти 40 лет, начиная с миссии НАСА Viking, спускаемые аппараты и марсоходы искали в пересохшем грунте Марса органические соединения, которые присущи любой форме жизни. Ученые, работающие с аппаратом Curiosity, заявили об успехе – достоверном обнаружении органических молекул. Найденные молекулы не означают прошлой или нынешней жизни на Марсе. Они могли образоваться при падении астероидов или находиться в породах, исторгнутых из мантии Марса. Но, по крайней мере, хрупкие органические соединения смогли сохраниться в марсианском грунте, содержащем много ядовитых окислителей, например перхлоратов, которые разрушают органические молекулы. Также органику разрушает ультрафиолетовый свет и космиче-

ские лучи. Аппараты Viking смогли обнаружить органику в виде хлорметана, но в микроскопических концентрациях – примерно 15 мг/т. Сейчас объявлено об обнаружении хлорбензола в концентрации 300 мг/т, его молекула содержит бензольное кольцо из 6 атомов углерода. Также обнаружены цепочки из двух, трех и четырех атомов углерода. Обнаружены молекулы, похожие на бензойную кислоту, содержащие 8 атомов углерода; молекулы, похожие на спирты с 11 атомами углерода, и наиболее интересные – молекулы с 10 атомами углерода, которые могут быть алифатической кислотой, входящей в состав стенок клеток живых организмов. Органика найдена в образце, взятом примерно 2 года назад с глубины 6,5 см из осадочных отложений дна древнего озера. Образец похожий на глину, вероятно, оказался подходящим для сохранения органики. В дальнейшем ожидаются находки других интересных органических веществ, поскольку вдоль предполагаемого пути марсохода ожидается много интересных мест.

*И. Ю. Лещанский*

.....



# Физика

## Вычисление разности масс нейтрона и протона с самого начала

Ab initio calculation of the neutron-proton mass difference. Sz. Borsanyi, S. Durr, Z. Fodor, C. Hoelbling, S. D. Katz, S. Krieg, L. Lellouch, T. Lippert, A. Portelli, K. K. Szabo, B. C. Toth. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1452–1455.

Масса видимой Вселенной — это следствие взаимодействия, которое является силой, связывающей кварки между собой в протоны и нейтроны. Чтобы определить эту массу с точностью до процентов, нужны очень точные вычисления, основанные на теориях квантовой хромодинамики и сильного взаимодействия. Занимаясь вычислениями для обнаружения более тонких эффектов порядка промилле, необходимо принимать во внимание разность масс протона и нейтрона, которая измерена экспериментально и составляет примерно 0,14%. Эта разница нужна для объяснения физического мира, каким мы его знаем сегодня. Например, если эта разность станет на одну треть меньше, то атомы водорода претерпят обратный бета-распад, а нейтроны преимущественно останутся прежними. Разница в 0,05% могла бы привести к иному исходу ядерного синтеза во время Большого Взрыва, произведя гораздо больше гелия-4 и гораздо меньше водорода, чем есть во Вселенной. В результате не зажглись бы звезды в том виде, в каком они существуют сейчас. С другой стороны разность масс существенно больше 0,14%, вызвала бы гораздо более активный бета-распад нейтронов. Это привело бы к нехватке нейтронов к концу эпохи Большого Взрыва и сделало бы трудным сгорание водорода в звездах и синтез тяжелых элементов. Здесь показано, что та-

кое небольшое различие масс — результат взаимного погашения электромагнитного взаимодействия и эффекта разности масс кварков. В процессе расширения ранней Вселенной элементарные частицы приобретают массы, пропорциональные их связи с полем Хиггса. По мере расширения Вселенной происходит квантовый хромодинамический переход, превращающий кварки и глюоны в адроны, и придающий этим частицам большую часть их масс. Под воздействием слабого взаимодействия лептонов и двух тяжелых кварков, они могут либо распасться, либо соединиться. На этом основаны теории u-, d-, s- и c-кварков, глюонов, фотонов и их взаимодействий. До сих пор наиболее передовые вычисления массы Вселенной включают в себя верхний, нижний и странный кварки, но все электромагнитные эффекты и разность масс верхнего и нижнего кварков не учитываются. Такие вычисления имеют неустранимые систематические неопределенности  $O(1/N_c/m_c^2, \alpha, m_d - m_u)$ , где  $N_c=3$  — число цветов хромодинамики. Существование этой неопределенности ограничивает точность вычислений величиной порядка процентов. Мы снизили эти неопределенности до  $O(1/N_c/m_b^2, \alpha^2)$ , где  $m_b$  — масса нижнего кварка. Такое описание взаимодействия кварков имеет точность порядка тысячных долей. Результатом является график нейтрон-протонного расщепления масс как функция разности масс кварков с учетом электромагнитного взаимодействия. В комбинации с астрофизическими и космологическими аргументами этот график можно использовать для определения того, как разные значения этих параметров могли бы изменить содержимое Вселенной. Это, в свою очередь, дает указание на диапазон, в пределах которого эти природные константы могут измениться, не изменив Вселенную, известную нам.

*И. Ю. Лещанский*

## Квантовые блуждания и динамика волновых пакетов на решетке со скрученными фотонами

Quantum walks and wavepacket dynamics on a lattice with twisted photons. Filippo Cardano, Francesco Massa, Hammam Qassim, Ebrahim Karimi, Sergei Slussarenko, Domenico Paparo, Corrado de Lisio, Fabio Sciarrino, Enrico Santamato, Robert W. Boyd, Lorenzo Marrucci. Sci. Adv. 2015;1:e1500087.

Квантовое блуждание в последнее время стало парадигматическим процессом для динамического моделирования сложных квантовых систем, создания запутанных квантовых состояний и квантовых вычислений. До настоящего времени фотонные реализации квантового блуждания были основаны главным образом на схемах многолучевой интерферометрии в реальном пространстве. Описана экспериментальная реализация дискретного квантового блуждания в пространстве орбитального углового момента света. Схема была реализована как для одиночного фотона и для

двух идентичных фотонов. Последнее демонстрирует возможность моделировать в этой схеме квантовые процессы с несколькими частицами, для которых, в отличие от случая одной частицы, невозможно воспроизвести квантовые интерференции классическим способом. В противоположность предыдущим реализациям квантового блуждания, весь процесс происходит в одном световом луче, не требуя применения интерферометра. Для этой схемы необходимы лишь оптические ресурсы с линейно масштабируемым количеством шагов при условии реализации в ближнем оптическом поле, где сечение луча остается примерно постоянным. Также в этой схеме возможен гибкий контроль суперпозиции состояний как на входе, так и на выходе. Продемонстрировано, что последнее свойство позволяет исследовать структуру уровней системы в пространстве импульса и связанные с этим спин-орбитальные топологические свойства, моделируя квантовую динамику гауссовых волновых пакетов. Таким образом, продемонстрирована новая и многогранная фотонная платформа для квантового моделирования.

*А. В. Якименко*

## Кристаллизация в магнитной квантовой системе изинговских спинов

Crystallization in Ising quantum magnets. P. Schauf, J. Zeiher, T. Fukuhara, et al. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1455–1458.

Физика квантовых спиновых систем со степенным законом взаимодействия на больших расстояниях существенно отличается от физики систем с короткодействующим взаимодействием, ограниченным сферой ближайших соседей, и имеет ряд интересных особенностей. Такие взаимодействия обуславливают образование квантовых спиновых стекол и квантовых кристаллов, а также изменяют характер распространения корреляций. Благодаря дальнедействующему ван-дер-Ваальсовому (вдВ) взаимодействию с потенциалом  $U = -C_6/r^6$ , в системе ридберговских атомов (РА) можно экспериментально реализовать квантовую спиновую систему. Величина вдВ взаимодействия между РА зависит от выбора возбужденного состояния и может превышать величину других характерных энергий системы вплоть до расстояний в несколько мкм. Результирующий гамильтониан Изинга описывает различные кристаллические магнитные фазы. Для создания квантовой спиновой системы на основе РА в работе предложен динамический подход, базирующийся на контролируемой лазерной связи, адиабатически связывающей основное состояние, в котором нет РА (с ориентацией всех атомных спинов вниз,  $\downarrow$ ), с желаемым кристаллическим состоянием. Основу этой техники составляет когерентный контроль многочастичной системы. В эксперименте использовался двумерный вырожденный газ атомов  $^{87}\text{Rb}$  (от 250 до 700 атомов), удерживаемый в пучности оптической решет-

ки в  $z$ -направлении. Лазерная частота  $\omega_l$  была слегка смещена относительно частоты атомного резонанса  $\omega_0$ , соответствующей возбужденному состоянию атома  $43S_{1/2}$  (с контролируемой временной зависимостью частоты Раби  $\Omega(t)$ ), на величину расстройки  $\Delta(t) = \omega_l(t) - \omega_0$ . Частота  $\Omega(t)$  вызывает осцилляции населенности ридберговского уровня, вызванные взаимодействием дипольного момента атома с резонансным лазерным полем. Исходное состояние системы соответствовало «замороженному» ридберговскому газу с нулевой частотой  $\Omega(t)$ . Затем газ переводился в состояние моттовского диэлектрика путем адиабатического поворота в плоскости  $x$ - $y$  оптической решетки с периодом 532 нм. Для эксперимента использовались дискообразная или линейная форма ансамбля с контролируруемыми размерами. В случае линейного ансамбля ширина «линии» равнялась трем постоянным решетки. Такая геометрия теоретически описывается моделью линейной цепочки с частотой Раби  $\sqrt{3}\Omega$ . Среднее заполнение узлов оптической решетки равнялось 0,8, а на краях уменьшалось до 0,1. Связь с ридберговскими состояниями осуществлялась путем двухфотонного процесса поглощения через промежуточное состояние  $5P_{3/2}$ , используя лазерное излучение с длиной волны 780 нм и 480 нм и различной круговой поляризацией. В конечной стадии эксперимента РА детектировались с помощью флуоресцентной спектроскопии путем удаления из ловушки атомов, находящихся в основном состоянии, и перевода РА в основное состояние. Пространственное распределение и профиль намагниченности РА находились усреднением результатов не менее 40 экспериментов. Результаты работы создают широкую перспективу для будущих исследований фазовых переходов и квантовых корреляций в квантовых магнитных системах.

Г. В. Дедков

## Квантовое перепутывание ~3000 атомов с отрицательной функцией Вигнера, сигнализируемое одиночным фотоном

Entanglement with negative Wigner function of almost 3 000 atoms heralded by one photon. Robert McConnell, Hao Zhang, Jiazhong Hu, Senka Cuk, and Vladan Vuletic. Nature. Vol. 519. No 7544. P. 439–442.

Коррелированные квантовые состояния (перепутанные состояния) многочастичной квантовой системы представляют большой интерес для разработки квантовых компьютеров, обработки и повышения степени безопасности передаваемой информации, а также повышения точности измерений. Критерием квантовой корреляции является отрицательность функции Вигнера — функции распределения вероятности в фазовом пространстве обобщенных координат  $\mathbf{x}$  и импульсов  $\mathbf{p}$  квантовой системы. В этом случае перепутанное состояние (ПС) имеет негауссовскую волновую функцию. До сих пор ПС с отрицательной функцией Вигнера удавалось получить только в небольших ансамблях ионов, помещенных в ловушках. В данной работе авторам удалось создать квантовую корреляцию в ансамбле из нескольких тысяч атомов при их взаимодействии с очень слабым лазерным импульсом. ПС было достигнуто при детектировании одного фотона, который взаимодействовал со всеми атомами системы. Для проведения эксперимента в оптическую ловушку загружалось  $3100 \pm 300$  лазерно-охлажденных (до 50 мК) атомов  $^{87}\text{Rb}$  в состоянии  $5S_{1/2}$ ,  $F=1$  сверхтонкой структуры. Каждый атом  $i$  имел спин  $f_i$ , а суммарный вектор спина ансамбля был равен  $\mathbf{S} = \sum f_i$ . Начальное состояние фотона вертикально-поляризованного лазерного излучения мож-

но представить в виде  $|\nu\rangle = (|\sigma^+\rangle + |\sigma^-\rangle)/\sqrt{2}$ , где  $|\sigma^\pm\rangle$  — циркулярно-поляризованные компоненты волновой функции фотона. Эти компоненты создают противоположный сдвиг фаз между магнитными подуровнями атома  $|m = \pm 1\rangle$ . В результате взаимодействия фотонов  $|\sigma^\pm\rangle$  с атомами возникает прецессия вектора спина  $\mathbf{S}$  в плоскости  $x$ - $y$  на малый угол  $\pm \varphi$ . Соответствующее когерентное спиновое состояние обозначается как  $|\pm\varphi\rangle$ . Комбинированное состояние системы атом-излучение после прохождения одного фотона имеет вид  $|\Psi\rangle \propto |\sigma^+\rangle|+\varphi\rangle + |\sigma^-\rangle|-\varphi\rangle$ . Точно так же атомы, находящиеся в состояниях  $|m = \pm 1\rangle$ , вызывают различный фазовый сдвиг у фотонов  $|\sigma^\pm\rangle$ , что приводит к вращению плоскости поляризации фотона, если состояния  $|m = \pm 1\rangle$  заселены неодинаково. В результате направление поляризации фотона с вертикальной поляризацией поворачивается случайным образом в квантовом шуму коллективного спина атомов. Регистрация горизонтально-поляризованного фотона после прохождения атомного ансамбля сигнализирует о негауссовском ПС коллективного атомного спина с отрицательно-определенной функцией Вигнера. В данном эксперименте величина этой функции равнялась  $-0,36 \pm 0,08$  при глубине корреляции 90%. Получение отрицательно-определенной функции Вигнера и ПС практически для всех атомов столь большой системы является беспрецедентным достижением. Результаты эксперимента показывают, что информация, переносимая одним фотоном, может радикально изменять квантовое состояние большой системы, и хотя достигнутая чистота ПС еще не достигла пороговой величины, при которой ПС может индуцировать измеримый макроскопический отклик, техническое усовершенствование системы позволит это сделать в ближайшем будущем.

Г. В. Дедков

## Возникновение когерентности и динамика квантовых фазовых переходов

Emergence of coherence and the dynamics of quantum phase transitions. Simon Braun, Mathis Friesdorf, Sean S. Hodgman, Michael Schreiber, Jens Philipp Ronzheimer, Arnau Riera, Marco del Rey, Immanuel Bloch, Jens Eisert, and Ulrich Schneider. PNAS. 2015. Vol. 112. No 11. P. 3641–3646.

Динамика квантовых фазовых переходов – одна из наиболее сложных проблем современной физики конденсированного состояния и взаимодействия нескольких тел. Исследован модельный пример: наблюдалось возникновение когерентности в чистой и хорошо контролируемой конфигурации ультраохлажденных атомов при фазовом переходе от изолятора Мотта к сверхтекучести. Переход охлажденных атомов в оптической решетке к сверхтекучему состоянию проводился при значении характерного времени вдаль от соответствующих адиабате величин. Длина когерентности была получена из интерференционных пиков времяпролет-

ной абсорбции. Обнаружено, что одномерная модель Бозе-Хаббарда демонстрирует прекрасное соответствие экспериментальных данных и данных численного моделирования для длины когерентности. Таким образом, была проведена хорошо подтвержденная квантовая симуляция сильно коррелированной системы с выходом за пределы режима свободных квазичастиц. Основываясь на согласии полученных результатов с однородной моделью Бозе-Хаббарда для одномерного случая, также было экспериментально исследовано появление когерентности для ситуаций с большим количеством измерений и с отрицательной абсолютной температурой, для которых нет как аналитических, так и численных способов моделирования. Для средних значений скорости охлаждения наблюдался степенной закон поведения длины когерентности, напоминающий механизм Киббла-Журека. Однако были обнаружены неуниверсальные значения показателя степени, которые не могут быть получены как в рамках этого механизма, так и в любой другой известной модели.

*А. В. Якименко*

## Чувствительность и подвижность двухкомпонентных капель с помощью пара

Vapour-mediated sensing and motility in two-component droplets. N. J. Cira, A. Benusioglio, M. Prakash. Nature. 2015. Vol 519. No 7544. P. 446–450.

Контроль смачивающего поведения жидкостей на поверхностях важен для многих промышленных применений, например, водоталкивающих покрытий и смазки. Поведение жидкости на поверхности может варьироваться от полного распространения (например, “слезы вина”) и до минимального смачивания, как в случае супергидрофобного листа лотоса. Контроль движения капель важен при управлении микрожидкостными устройствами, на самоочищающихся поверхностях и при теплопереносе. Движение капля может быть получено с помощью градиентов поверхностной энергии. Однако существующие технологии требуют или большо-

го градиента, или тщательно подготовленной поверхности, чтобы избежать захвата линии контакта, который обычно ограничивает движение капли. Показано, что двухкомпонентные капли правильным образом подобранных смешиваемых жидкостей, например пропиленгликоля и воды, помещенные на очищенное коронным разрядом стекло, не подвержены захвату и вызывают на расстоянии движение соседних капель. В отличие от канонических предсказаний для таких жидкостей на высокоэнергичной поверхности, эти капли не растекаются полностью, а демонстрируют видимый краевой угол смачивания. Показано экспериментально и аналитически, что такие капли стабилизированы градиентом поверхностного натяжения, вызванным испарением, а их движение возникает в ответ на испарение соседних капель. Продемонстрирован ряд простых устройств, основанных на этом принципе, в частности устройства, упорядочивающие капли на поверхности, движущие капли по определенным траекториям и осцилляторы.

*А. В. Якименко*



# Науки о Земле и экология

## Усиление тропических дождей связано с изменением частоты упорядоченной мощной атмосферной конвекции

Increases in tropical rainfall driven by changes in frequency of organized deep convection. Jackson Tan, Christian Jakob, William B. Rossow, George Tselioudis. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 451–454.

Увеличение количества осадков во многих регионах мира связано с глобальным потеплением и усилением гидрологического цикла. Тем не менее, проявляется этот процесс не везде одинаково. Эмпирические наблюдения и результаты климатического моделирования позволяют говорить о наличии двух тенденций: «влажные районы становятся еще более влажными» и «теплые районы становятся более влажными». Сильнее всего последствия изменения режима осадков проявляются в Межтропической зоне конвергенции, что позволяет предположить наличие связи этих изменений с атмосферной конвекцией, хотя физическая природа этой связи до конца не ясна. Анализ спутниковых наблюдений

за режимом облаков показывает, что за последние 27,5 лет выросла также и частота среднемасштабной упорядоченной мощной конвекции. На основании математического моделирования авторы пришли к выводу, что увеличение осадков в тропической зоне связано с изменением частоты упорядоченной мощной конвекции. Эти два параметра обнаруживают между собой устойчивую корреляцию ( $r^2 \approx 0,69$ ), причем как положительную, так и отрицательную. Изменения же параметров неупорядоченной конвекции практически не отражаются на вариабельности режима осадков. Делается вывод о том, что упорядоченная атмосферная конвекция является ключевым процессом, связывающим между собой режим осадков и атмосферную динамику в тропических областях. Результаты исследования дают важную информацию для построения более корректных климатических моделей, в большинстве из которых, включая комплекс глобальных климатических моделей GCMs, на сегодняшний день не заложено различий между конвекционными режимами разной степени упорядоченности.

*В. В. Стрекопытов*

## Гималайские ледники могут обманывать климатологов

Himalayan ice can fool climate studies. Jane Qiu. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1404–1405.

Гималайский хребет Каракорум находится на стыке границ Индии, Пакистана, Китая и Афганистана. Его ледники являются самыми высокогорными в мире, располагаясь на высотах от 2300 до 8610 м (вершина К2). Площадь ледников Каракорума составляет 18 тыс. км<sup>2</sup> — это больше половины площади всех гималайских ледников. После отступления в 1980-х гг. многие каракорумские ледники вдруг опять начали расти по площади и набирать толщину. Климатологи назвали это явление «каракорумской аномалией», а сами ледники стали считать «пульсирующими». Однако, изучив снимки спутника Landsat за последние 15 лет, гляциологи заявили, что рост ледников — обманчивый. На самом деле, ледники уменьшаются в верхней части, медленно сползая вниз, где их ледовая масса растёт. Процесс похож на «ледовое цунами», тем более что и протекает он волнообразно. В результате монолитное тело ледника оказывается разорванным крупными трещинами и создается впечатление, что площадь ледника увеличивается, а на самом деле — общий объем льда сокращается. Иногда сползание ледников может быть катастрофическим. Так, в 1953 г. пакистанский ледник Кутия переместился на 12 км за 3 месяца, поглотив деревни, поля и леса. Такое активное движение — явление довольно редкое и наблюдается лишь у 1% ледников мира, но в Каракоруме в последние десятилетия оно приобрело массо-

вый характер, получив название «скачущих» ледников. Для большинства из таких ледников удалось зафиксировать цикличность «скачков», составившую от 25 до 75 лет. Что является причиной «скачков», для гляциологов остается загадкой, но ученые считают, что цикл подвижек определяется внутренней динамикой ледника. После очередного «скачка» нижняя часть ледника утончается, а в верхней — начинает скапливаться снег. Так происходит до тех пор, пока объем спрессованного снега не достигнет критической массы, позволяющей сдвинуть весь ледник вниз. То, что «скачкообразный» режим характерен только для ледников Каракорума, объясняется их крутизной, облегчающей сдвиг; большими объемами снега, накапливающимися в верхней части, и значительной протяженностью ледника по вертикали. Последнее означает, что климатические условия в верхних и нижних частях ледников различаются существенно образом. Автор считает, что не стоит искать зависимость между «скачками» каракорумских ледников и глобальными климатическими изменениями, а также не стоит доверять расчетам массы ледников, сделанным по спутниковым снимкам, так как последние не учитывают подъем поверхности (увеличение мощности) ледников и их дезинтеграцию. К тому же, ни оптические датчики, ни радары не могут надежно отличить лед от снега в верховьях ледников. Возможно, климатические изменения определяют не на сам режим динамики ледников, а его цикличность — протяженность интервалов между «скачками». Действительно, за последние десятилетия число скачкообразных подвижек существенно увеличилось. Так, за период с 1990 по 2004 гг. в Каракоруме их было зафиксировано 26. Это вдвое больше, чем за предыдущие 14 лет.

*В. В. Стрекопытов*

## Поступление метана из активных слоев в арктические озера (на примере озера Тулик Лейк, Аляска, США)

Methane transport from the active layer to lakes in the Arctic using Toolik Lake, Alaska, as a case study. Adina Paytan, Alanna L. Lecher, Natasha Dimova, Katy J. Sparrow, Fenix Garcia-Tigueros Kodovska, Joseph Murray, Slawomir Tulacz, John D. Kessler. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3636–3640.

Метан, являясь одним из главных парниковых газов, оказывает влияние на глобальное потепление, особенно пагубно проявляющееся в высокоширотных областях. Несмотря на то, что эмиссия метана арктическими озерами детально документируется, до сих пор отсутствовали количественные методы, позволяющие оценить вклад в бюджет озерного метана грунтовых вод, размывающих подстилающие активные слои. В работе описывается методика, использующая в качестве природных маркеров для оценки роли активных слоев как экзогенного источника озерного метана

радон и радий. Концентрации метана,  $^{222}\text{Rn}$  и  $^{224}\text{Ra}$  замерялись как в самих слоях, так и в озерной воде. В первом случае они составили  $1,6 \times 10^4$  нМ,  $61,6$  дпм/м<sup>3</sup> (распадов в минуту на м<sup>3</sup>) и  $4,5 \times 10^5$  дпм/м<sup>3</sup> соответственно, а во втором —  $1,3 \times 10^2$  нМ,  $5,7$  дпм/м<sup>3</sup> и  $4,4 \times 10^3$  дпм/м<sup>3</sup>. Значительный геохимический поток радона (до  $2,9$  г/м<sup>2</sup> в год) позволяет предположить, что большая часть метана, выбрасываемого озером Тулик Лейк, связана с нижележащими активными слоями. Устойчивая, но изменчивая в пространстве и времени корреляция между активностью радона и концентрациями метана в озерных водах ( $r^2 > 0,69$ ) говорит о том, что факторы, контролирующие подъем метана от глубинных источников, также являются варьирующими. Потепление в Арктике может привести к вовлечению все большего объема активных слоев в оборот метана, что приведет к увеличению эмиссии этого газа арктическими озерами и еще большему усилению парникового эффекта. Для оценки подобных последствий необходимо задействовать методы количественного моделирования.

*В. В. Стрекопытов*

## Обратная связь между углеродом вечной мерзлоты и климатом обусловлена темпами разлагаемости органического углерода в глубоких почвах, а не динамикой азота

Permafrost carbon-climate feedback is sensitive to deep soil carbon decomposability but not deep soil nitrogen dynamics. Charles D. Koven, David M. Lawrence, William J. Riley. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3752–3757.

Вечная мерзлота содержит огромное количество органического углерода, стабильность которого зависит от сохранности почв в замерзшем состоянии. Глобальное потепление может привести к оттаиванию части вечномерзлых почв и высвобождению в атмосферу содержащегося в них углерода, что, в свою очередь, еще больше усилит парниковый эффект. Речь идет о типичной обратной связи. Непонятным остается, однако, как поведет себя углерод в нарушенной экосистеме после его высвобождения из оттаявших почв, учитывая то, что для органического углерода в глубоких вечномерзлых почвах характерны совсем другие темпы разложения по сравнению с поверхностными условиями. К тому же, в среде,

где происходит декомпозиция углерода, присутствует азот. Авторами была построена модель, описывающая C–N взаимодействия в геохимических процессах при сценарии нарастающего потепления. Результаты показывают, что вариабельность баланса углерода в зонах вечной мерзлоты высокочувствительна к фактору разлагаемости почвенного углерода, объем потерь которой экосистемой к 2300 г., по данным моделирования, вырастет с  $21 \times 10^{15}$  г С до  $164 \times 10^{15}$  г С в год. Прогнозируется также увеличение азотной минерализации глубоких почв, однако, это не окажет существенного влияния на бюджет углерода из-за доступности азота, поступающего из оттаивающих поверхностных слоев и сезонной асинхронности между поступлением почвенного азота и потреблением азота растениями. Делается вывод о том, что, хотя динамика азота является важным геохимическим фактором, в целом баланс углерода в арктических условиях контролируется темпами и пространственным распространением участков оттаивания в вечномерзлых почвах, а также динамикой почвенной декомпозиции. Последняя, по мере роста средних годовых температур, будет ускоряться, что, наряду с большей доступностью азота, создаст благоприятные условия для роста растений.

*В. В. Стрекопытов*

## Влияние параметров земной орбиты на климат 1,4 млрд лет назад

Orbital forcing of climate 1.4 billion years ago. Shuichang Zhang, Xiaomei Wang, Emma U. Hammarlund, et. al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E1406–E1413.

Флуктуации климата всегда были характерны для нашей планеты. Но, когда речь идет о древнейших периодах геологической истории, установить причины этих изменений крайне сложно. Авторы, изучив древние осадочные толщи, обнаружили, что изменение орбиты Земли влияло на климат 1,4 млрд лет назад, в протерозое, так же как и сейчас. Речь идет о циклах Миланковича, которые проявляются каждые 12-16, 20-30 и 100 тыс. лет. Только в древности они были немного короче, вероятно, из-за более близкого расположения спутника Земли — Луны. За последний миллион лет эти циклы вызывали оледенения каждые 100 тыс. лет, и

сейчас мы живем в середине очередного межледникового, которое длится уже 11 тыс. лет. Морские осадочные породы формации Сямалин (Xiamaling) на Севере Китая хранят доказательства климатических циклов, вызванных астрономическими причинами — изменениями земной орбиты, в результате которых Земля то приближалась к Солнцу, то отдалялась от него. Авторы статьи представили геохимические и геологические доказательства периодических климатических флуктуаций, отражающих динамику изменений в тропических и субтропических атмосферных ячейках Хадли. Были выявлены два типа флуктуаций — долгосрочные и краткосрочные. Долгосрочные флуктуации (десяtkи млн лет) зафиксировались в геохимических особенностях отложений формации Сямалин, отражающих ее палеогеографическое положение внутри Межтропической зоны конвергенции. Краткосрочные климатические колебания, напрямую связанные с параметрами орбиты, проявились в темпах накопления органического углерода и примесных металлов, а также в особенностях осадочного детрита.

*В. В. Стрекопытов*

### Триасово-юрский климат в континентальной высокоширотной Азии (Джунгарская впадина, Урумчи, Китай) определялся наклоном земной орбиты

Triassic–Jurassic climate in continental high-latitude Asia was dominated by obliquity-paced variations (Junggar Basin, Ürümqi, China). Jingeng Sha, Paul E. Olsen, Yanhong Pan, Daoyi Xu, Yaqiang Wang, Xiaolin Zhang, Xiaogang Yao, Vivi Vajda. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3624–3629.

Хаотическая диффузия планет в пределах Солнечной системы не позволяет расчетным путем получить гравитационные параметры их орбит для временного периода, превышающего 50 млн лет. Единственными источниками информации в этом случае могут служить палеоклиматические свидетельства, полученные путем геологических исследований. Авторы провели литологические исследования тонкослоистого комплекса угленосных озерно-речных отложений Джунгарской впадины (северо-запад

Китая), относящихся по возрасту к позднему триасу–ранней юре (198–200 млн лет). В этот период данная территория находилась в теплой и свободной ото льда высокоширотной части материка Пангея. Авторы показывают, что вариации климата в этот период определялись цикличностью изменений наклона земной орбиты с продолжительностью цикла около 40 тыс. лет. Цикл эксцентриситета, заложенный в модель, составлял 405 тыс. лет. При этом колебания климата в низкоширотных (тропических) континентальных областях в тот же самый период определялись больше климатической прецессией, и они не обнаруживают четкой корреляции с параметром наклона. Несмотря на то, что современные климатические изменения зависят от концентраций CO<sub>2</sub> в атмосфере больше, чем от вариаций наклона орбиты, полученные результаты позволяют внести существенные коррективы в теоретически рассчитанные орбитальные параметры Земли для периода среднего мезозоя. В частности, нуждается в уточнении значение орбитального резонанса в системе Земля–Марс, составляющее сегодня значение 2:1 эксцентриситета к наклону орбиты.

*В. В. Стрекопытов*

### Влияние Pb-содержащего бензина на уровень загрязнения свинцом атмосферы Южной Америки в контексте 2000-летней истории металлургии

Pb pollution from leaded gasoline in South America in the context of a 2000-year metallurgical history. Anja Eichler, Gabriela Gramlich, Thomas Kellerhals, Leonhard Tobler, Margit Schwikowski. Science Advances. 2015. 1:e1400196 6 March 2015. P. 1–8.

Разработка огромных полиметаллических месторождений на плоскогорье Альтиплано в Южной Америке началась еще в доколониальное время, с чем связаны продолжающиеся вот уже несколько веков выбросы в атмосферу свинца — металла, имеющего нейротоксический эффект. Однако до конца не выяснено, насколько серьезными являются последствия этих выбросов и как они соотносятся с современной эмиссией Pb, обусловленной, в первую очередь, использованием Pb-содержащего бензина. Для реконструкции детальной истории выбросов свинца в Южной Америке

за последние 2000 лет, авторы изучили ледяной керн скважин, пробуренных на леднике Иллимани. Иллимани — крупнейший горный массив в восточно-болливийских Андах, расположенный на северо-восточной окраине плоскогорья Альтиплано. Результаты исследования ледяного керна показали тенденцию постоянного роста коэффициента обогащения свинца (EFs Pb), связанного с металлургической переработкой полиметаллических Ag-содержащих руд на протяжении всего периода от культуры Тиванаку-Вари (450–950 гг.) сквозь эпоху империи инков (1450–1532 гг.) и колониальные времена (1532–1900 гг.) до времен Sn-добывающего производства начала XX века. После середины 1960-х годов EFs Pb резко вырос в 3 раза по сравнению с наивысшими показателями пика металлургического производства, что было связано с началом массового использования в это время Pb-содержащего бензина. Результаты исследования показывают, что антропогенная эмиссия свинца, связанная с использованием автомобильного топлива, существенно превосходит любые выбросы металлургического производства в Южной Америке.

*В. В. Стрекопытов*

### Политика перехода на биотопливо: сокращая вредные выбросы, сокращает еду?

Do biofuel policies seek to cut emissions by cutting food? T. Searchinger, R. Edwards, D. Mulligan, R. Heimlich, R. Plevin. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1420–1422.

Несмотря на то, что вопрос перехода на биотопливо постоянно обсуждается в научной прессе, до сих пор нет единого мнения по этому поводу. Дело в том, что обычно анализируется лишь позитивный эффект такого перехода, позволяющий сократить вредные выбросы парниковых газов. При этом не рассматривается аспект обеспечения продуктами питания беднейших регионов мира. На основе построения климатических и математических моделей авторы оценили эффект от перехода с бензина на биологически чистое топливо, производимое из злаков. Они утверждают, что переход на такой вид топлива грозит сокращением производства пищевых продуктов. Существующие на сегодняшний день модели

развития предполагают использование от 20 до 50% всех выращиваемых в мире зерновых культур в производстве топлива, что приведет как к значительному повышению цен на сами зерновые культуры, так и к сокращению производства пищевых продуктов. К тому же, процесс переработки зерна в топливо сам по себе является значительным источником выбросов углекислого газа в атмосферу нашей планеты. Если предположить, что посевы зерновых будут полностью восполнены и производство пищевых продуктов не сократится, то результат от перехода с бензина на этанол будет отрицательным: выбросы парниковых газов только возрастут. Авторы считают, что разработчики моделей автомобилей, работающих на биологически чистом топливе, должны проводить более точные анализы использования такого топлива и доносить достоверную информацию до политиков и общественности, так как принятие решений без глубокого анализа может привести к большим проблемам в продовольственной сфере и экологии.

*В. В. Стрекопытов*



**Из климатической модели CMIP5 следует, что устойчивые изменения циркуляции Хадли и глобальный рост засушливости связаны с парниковым эффектом CO<sub>2</sub>**

Robust Hadley Circulation changes and increasing global dryness due to CO<sub>2</sub> warming from CMIP5 model projections. William K. M. Lau, Kyu-Myong Kim. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3630–3635.

За последние несколько десятилетий во многих тропических и субтропических регионах мира (Амазония, Австралия, юго-запад и центр США) отмечались многочисленные периоды засух, сопровождавшиеся одновременным ростом тропосферной влажности в экваториальных районах. Предполагается, что этот сопряженный климатический феномен связан с наблюдаемым усилением и смещением к полюсам так называемой циркуляции Хадли (Hadley Circulation, HC) – основной тропической меридиональной циркуляции. Однако, большинство глобальных климатических моделей, включая и те, на основании которых были составлены 4-й и 5-й доклады Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), предсказывали, что HC будет ослабевать по мере глобального потепления климата. Поэтому не понятно, с чем связаны засушливые аномалии в тропиках и аномалии влажности в экваториальной зоне: с естественными декадными вариациями климата или с ростом концентраций CO<sub>2</sub> в атмосфере и парниковым эффектом как следствием этого роста. Используя климатическую модель, разработанную для 5-й фазы Всемирной программы исследования климата (CMIP5), авторы попытались выяснить зависимость между изменениями HC и гло-

бальным ростом засушливости (сокращением количества осадков и понижением влажности тропосферы) в тропиках с парниковым эффектом (разогревом углекислоты в атмосфере). Вариации интенсивности HC и ширина ячеек Хадли зависят от различных процессов. К примеру, положение границы HC со стороны полюсов определяется балансом между экстратропическими бароклинными завихрениями (синоптическими фронтальными системами) и радиационным охлаждением в субтропиках. Было обнаружено явление так называемого «тропического сжатия» (deep-tropics squeeze, DTS) циркуляции Хадли, проявившееся в углублении и сужении конвекционных ячеек, усилении восходящих потоков, росте объема высотных облаков и повышении уровня максимального меридионального оттока воздушных масс (200-100 ГПа) в верхней тропосфере тропиков. Явление DTS вызывает дивергенцию атмосферной влаги и приводит к понижению относительной влажности тропосферы в тропиках и субтропиках. Параллельно с этим происходит расширение нисходящих потоков HC, проявляющееся в более частых засушливых событиях в подверженных засухам регионах по всему миру. Из анализа климатической модели CMIP5 видно, что из всех параметров водного цикла засушливость обладает наибольшим отношением «сигнал-шум», то есть фиксируется наиболее отчетливо. Результатом работы является теоретическое обоснование того, что парниковый эффект, связанный с ростом CO<sub>2</sub> в атмосфере, является первичной причиной участвовавших в последние десятилетия засух в самых разных районах мира, а ускорение глобального потепления приводит к обезвоживанию тропиков. Прогнозное моделирование показывает, что в ближайший период времени количество и продолжительность засушливых явлений будет только увеличиваться.

*В. В. Стрекопытов*



# Антропология и история

## Полногеномный анализ происхождения африканских рабов XVII в. на Карибах

Genome-wide ancestry of 17th-century enslaved Africans from the Caribbean. Hannes Schroeder, María C. Ávila-Arcos, Anna-Sapfo Malaspinas, et. al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3669–3673.

В период между 1500 и 1850 гг. более 12 млн порабощенных африканцев были вывезены в Новый Свет. Большинство из них происходили из Западной и Центральной Африки. Несмотря на то, что специалистам известно достаточно много о работорговле в XVI–XIX веках, эти знания основаны главным образом на документах купли и продажи людей, а также исторических записях. При этом ученые не в состоянии точно сказать, выходцев из каких географических регионов Африки покупали европейцы на африканском побережье. Авторы провели полногеномный анализ восстановленной ДНК трех африканских рабов, останки которых

были обнаружены в 2010 г. на карибском острове Синт-Мартен, принадлежащем Нидерландам. Недостающие звенья восстанавливались по библиотекам ДНК. Скелетные останки принадлежали двум мужчинам и одной женщине, которым к моменту смерти было от 25 до 40 лет. По данным радиоуглеродного датирования захоронение относится к 1660–1688 гг. Результаты генетического анализа помогли определить, что корни рабов уходят к популяциям, проживающим на севере современного Камеруна и говорящим на языках банту, а также в Нигерии и Гане, относящимся к другим языковым группам. Ранее считалось, что получить столь точные данные о происхождении рабов невозможно из-за плохой сохранности генетического материала. Ученые заявляют, что полученные ими результаты позволяют специалистам совершить значительный прорыв в изучении истории рабства и народов доколумбовой Америки. Кроме того, исследование демонстрирует саму возможность работы с древним, плохо сохранившимся генетическим материалом, применяя к нему метод полногеномного анализа.

*В. В. Стрекопытов*

## Развитие оседлых сообществ на равнинах майя. Существование мобильных групп и публичные церемонии в Сейбале (Гватемала)

Development of sedentary communities in the Maya lowlands: Coexisting mobile groups and public ceremonies at Ceibal, Guatemala. Takeshi Inomata, Jessica MacLellan, Daniela Triadan, Jessica Munson, Melissa Burham, Kazuo Aoyama, Hiroo Nasu, Flory Pinzón, Hitoshi Yonenobu. PNAS. 2015. Published ahead of print March 23, 2015, doi:10.1073/pnas.1501212112.

Традиционно считается, что люди, которые способны строить монументальные сооружения, — это люди, ведущие оседлый образ жизни, а группы современных им охотников и собирателей, живших на той же территории, представляют собой какой-то иной народ, который никак не связан с постройкой древних памятников. Так, ранее считалось, что все давние города майя возникли на основе земледельческих общин, а что касается крупных религиозных сооружений, то они строились в последнюю очередь. Авторы статьи на основании многолетних раскопок в Сейбале — одном из самых ранних городищ майя, расположенном в долине реки Пасьон (равнинная часть территории проживания майя), — опровергают эту точку зрения. В ходе исследования выяснилось, что сначала в поселениях строились храмы и сооружали их кочующие охотники. И только спустя сотни лет вокруг религиозных сооружений возникали жилые постройки. По полученным данным, первые монументальные постройки в Сейбале датируются 950 г. до н.э., то есть относятся к среднему доклассическому периоду, когда только начался переход майя от кочевого к оседлому образу жизни. Первые признаки domestikации кукурузы и, соответственно, появления оседлого образа жизни в регионе майя, датируются серединой IV тысячелетия до н.э., примерно в середине II

тысячелетия до н.э. в регионе появляется первая керамика. При этом с ранними земледельцами и гончарами на территории современной северной Гватемалы и Белиза соседствовали группы охотников и собирателей, которые в течение продолжительного времени не стремились перейти к оседлому образу жизни. Детальные геохронологические исследования позволили проследить последовательность социальных изменений в Сейбале с беспрецедентной точностью. Похоже, что многие жители Сейбала в течение нескольких столетий после его основания сохраняли мобильный образ жизни, используя постройки типа землянок лишь для временного проживания. В других частях долины Пасьон и всей равнинной части обнаружено множество следов стоянок кочевников, относящихся к «докерамическому» периоду. В то же время, зародившаяся в VII в до н.э. власть уже проживала в Сейбале оседло, о чем свидетельствуют капитальные жилые постройки того времени. Под полом некоторых жилищ IV в до н.э. уже обнаруживаются захоронения, а в поздний доклассический период (начиная со II в до н.э.) это становится общей традицией. В регионе известны лишь несколько общественных церемониальных комплексов, подобных Сейбалу, относящихся к среднему доклассическому периоду. Ясно, что они не могли быть построены силами только оседлых обитателей этой местности и в строительстве им помогали их кочевые соседи, что подразумевает наличие социальной организации. Результаты исследования говорят о значительной важности Сейбала как общественного и ритуального центра доклассических майя, а также — одного из первых оседлых поселений в регионе. Скорее всего, Сейбаль был не просто первым крупным городом майя, но и древнейшим церемониальным комплексом во всей Центральной Америке. Первые строения в Сейбале были возведены за 200 лет до Ла Венты, столицы ольмеков.

*В. В. Стрекопытов*

## Среда обитания и риски трипаносомоза у древних скотоводов бассейна озера Виктория (Кения) в позднем голоцене

Environments and trypanosomiasis risks for early herders in the later Holocene of the Lake Victoria basin, Kenya. Kendra L. Chritz, Fiona B. Marshall, M. Esperanza Zagal, Francis Kirera, Thure E. Cerling. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3674–3679.

5500 лет назад, когда на месте зеленых саванн Северной Африки в результате стремительной аридизации стала возникать бу́дущая пустыня Сахара, обитавшие там древние скотоводы были вынуждены мигрировать на юго-восток континента. Однако около 2000 лет назад на их пути на юг встало непреодолимое препятствие — массивы диких зарослей буша, в которых обитали смертельно опасные для людей и скота мухи цеце. Согласно общепринятой теории, крошечные мухи цеце изменили ход истории, остановив распространение одомашнивания пастбищного скота, вызывая своими укусами трипаносомоз — сонную болезнь у людей и болезнь нагана у животных. По мнению авторов, древние саванны к востоку от озера Виктория могли быть важным миграционным коридором для древних скотоводов, частью их пути на юг Африки. Ученые провели анализ стабильных изотопов в образцах эмали зубов, взятых из останков животных, извлеченных во время раскопок в 1983 г. в районе поселения Gogo Falls в Южной Кении. Известно, что на эмаль зубов сохраняет разные изотопные свидетельства в зависимости от того, какой пищей питается животное — растительностью открытых пастбищ или лесов. Согласно результатам исследований, древнее поселение Gogo Falls в те времена окружали не лесные заросли, а обширные травянистые луга. Неолитические племена скотоводов обитали в этих землях

1600–1900 лет назад. По данным археологов, от укусов мухи цеце в то время погибали в основном домашние животные. Это заставляло древних скотоводов прибегать к сезонной охоте, чтобы компенсировать потери, однако, судя по всему, это было все же скорее выбором, чем необходимостью. Жители поселения Gogo Falls, по данным раскопок, питались очень разнообразно: в их рацион входили как продукты скотоводства (крупный рогатый скот, козы и овцы), так и охотничья добыча (травоядные обитатели саванны, птица и рыба). Без дополнительных исследований трудно сказать, было ли богатство пастбищных угодий этого региона обусловлено только лишь благоприятным климатом с обильными дождями, или еще какими-либо факторами. Возможно, положительную роль в обновлении травяного покрова играли поджоги травы, практиковавшиеся древними скотоводами, так же как это происходит в современной Восточной Африке. Вероятно, именно в то время здесь были заложены основы нынешних традиционных методов «управления окружающей средой», чтобы сделать ее благоприятной для человека. Вопрос в том, могли ли древние скотоводы специально формировать новые угодья для пастбищ, выжигая заросли буша, или же луга возникали в результате климатических или иных экологических факторов. Один из выводов авторов состоит в том, что в бассейне озера Виктория древними племенами могли создаваться искусственные «травяные коридоры», через которые и осуществлялась дальнейшая миграция людей и скота в южные области Африки. Полученные доказательства того, что в позднем голоцене к востоку от оз. Виктория были развиты скорее травяные луга, чем заросли буша, ставят под сомнение существовавшую ранее гипотезу о том, что миграция древних скотоводов на юг была остановлена кустарниковыми зарослями и массовой заболеваемостью трипаносомозом людей и скота.

*В. В. Стрекопытов*

.....



# Биология

## Два инсулиновых рецептора определяют альтернативную морфологию крыльев у рисовой цикадки

Two insulin receptors determine alternative wing morphs in planthoppers. Hai-Jun Xu, Jian Xue, Bo Lu, et. al. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 464–467.

Для многих насекомых характерен так называемый крыловой полифенизм. Это значит, что в одних условиях насекомое отращивает крылья и совершает миграции в поисках более благоприятных мест для жизни, а в других — из точно такой же личинки развивается взрослая особь с недоразвитыми крыльями, нелетающая, но зато способная к ускоренному размножению. Внешние условия, от которых зависит выбор пути развития, могут быть разными, но чаще всего они связаны с состоянием кормовой базы. Пока еды достаточно, выгоднее никуда не улетать. Но когда начинает ощущаться нехватка пищи (например, из-за возросшей численности популяции), более оправданной может стать стратегия миграции. Именно такой сезонный крыловой полифенизм характерен для бурой рисовой цикадки *Nilaparvata lugens*, главного вредителя рисовых посадок. И самцы, и самки рисовой цикадки, в зависимости от условий, могут становиться либо длиннокрылыми мигрирующими формами, либо короткокрылыми оседлыми. На стадии личинки (нимфы) эти формы неразличимы. Однако в результате последней линьки из нимфы вылупляется либо цикадка с двумя парами полностью развитых крыльев, либо с резко укороченными передними крыльями и почти полностью отсутствующими задними. Ранее уже было показано, что на вероятность развития длиннокрылых и короткокрылых форм влияет плотность популяции и качество пищи. Однако конкретный молекулярный механизм, позволяющий генетической программе развития насекомого выбирать один из

двух альтернативных путей, не был известен. Авторам удалось частично расшифровать этот механизм. Поскольку регуляция полифенизма у рисовой цикадки как-то связана с питанием, авторы предположили, что в ней может быть задействован инсулиновый сигнальный каскад — древняя, эволюционно консервативная сигнальная система, которая у многих животных обеспечивает разнообразные приспособительные реакции организма на колебания количества питательных веществ. В геноме рисовой цикадки имеются гены двух инсулиновых рецепторов (InR1, InR2) и четырех инсулиноподобных пептидов (ilp1, ilp2, ilp3, ilp4). Оказалось, что отключение InR1 заставляет большинство подопытных личинок превращаться в короткокрылые взрослые формы, тогда как отключение InR2 дает противоположный эффект: почти все насекомые становятся в этом случае длиннокрылыми. Из четырех инсулиноподобных пептидов только один (ilp3) оказался непосредственно задействован в регуляции полифенизма. Отключение гена, кодирующего этот пептид, повышает вероятность развития короткокрылых форм. Отключение остальных трех генов не влияет на длину крыльев. Авторы показали, что ilp3 синтезируется в мозге. Дополнительные эксперименты показали, что инсулиноподобный пептид ilp3 взаимодействует с рецептором InR1, который в ответ на этот сигнал фосфорилирует протеинкиназу Akt, переводя ее в активное состояние. Активированная протеинкиназа, в свою очередь, фосфорилирует транскрипционный фактор FOXO. Этот белок, будучи фосфорилированным, теряет активность и перестает транспортироваться в ядро. По-видимому, внешние факторы каким-то образом влияют на активность InR2 в зачатках крыльев. Именно этим определяется судьба зачатков: станут ли они полноценными крыльями или так и останутся несформированными. Конкретный механизм влияния внешних факторов на активность InR2 пока не известен: будущие исследования должны прояснить этот вопрос.

*В. В. Стрекопытов*

## Семейство MiR-2 регулирует метаморфоз насекомых через сигнальный путь ювенильного гормона

MiR-2 family regulates insect metamorphosis by controlling the juvenile hormone signaling pathway. Jesus Lozano, Raúl Montañez, Xavier Belles. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3740–3745.

В 2009 г. авторы данного исследования сообщали, что делеция *Dicer-1*, энзима, катализирующего финальный этап биосинтеза микроРНК, предотвращает метаморфоз у рыжих тараканов (*Blattella germanica*). Однако точная регуляторная роль микроРНК в этом процессе оставалась неизвестной. В качестве модельного организма были выбраны тараканы, поскольку они имеют неполный метаморфоз из трех стадий. Насекомые на ювенильной стадии развития внешне сходны со взрослыми особями, и переход от стадии нимф к стадии взрослого насекомого менее резкий, чем у видов с полным превращением, метаморфоз которых имеет пять стадий. В данном исследовании было обнаружено, что

делеция энзима *Dicer-1* приводит к увеличению уровня мРНК ювенильного гормон-зависимого транскрипционного фактора *Kr-h1* (*Krüppel homolog 1*), подавляющего метаморфоз, и что прекращение экспрессии *Kr-h1* у организмов, нокаутных по *Dicer-1*, сохраняет метаморфоз. Также было показано, что 3'-НТО мРНК *Kr-h1* содержит функциональный сайт связывания для семейства микроР-2 (для микроР-2, микроР-13а и микроР-13б). Эти данные позволяют предположить, что нарушение метаморфоза вызвано прекращением действия *Dicer-1*. Делеция микроРНК происходит из-за нарушения экспрессии *Kr-h1* вследствие дефицита микроРНК микроР-2. Авторы подтвердили это путем введения в организм *B. germanica* на стадии нимф позднего возраста ингибитора микроР-2, который нарушил метаморфоз, а также с помощью введения микроР-2 тараканам с делецией *Dicer-1*, что позволило этим организмам приступить к метаморфозу от нимф до взрослой стадии. В совокупности эти данные раскрывают элегантный механизм действий семейства микроРНК, ведущих метаморфоз насекомых к его корректному завершению.

*С. В. Зворыкина*

## Структурные следы *in vivo* раскрывают регуляторные механизмы РНК

Structural imprints *in vivo* decode RNA regulatory mechanisms. Robert C. Spitale, Ryan A. Flynn, Qiangfeng Cliff Zhang, Pete Crisalli, Byron Lee, Jong-Wha Jung, Hannes Y. Kuchelmeister, Pedro J. Batista, Eduardo A. Torre, Eric T. Kool, Howard Y. Chang. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 486–490.

Селективное 2'-гидроксил ацилирование и профилирование (SHAPE) выявляет неспаренные нуклеотиды и используется для описания вторичной структуры РНК с учетом каждого их четырех оснований. Разработанный авторами статьи метод, модификация SHAPE, позволяет проводить модификацию РНК непосредственно в живой клетке. Это стало возможным благодаря новому бифункциональному зонду NAI-N<sub>3</sub>, обладающему широким профилем реактивности, способному проникать в клетки и ацилировать неспаренные основания РНК. Возникшие под его действием модификации выявлялись путем высокопроизводительного секвенирования по обрывкам ОТ-ПЦР в модифицированных участках. Эмбриональные стволовые клетки мыши были использованы для оценки применимости разработанного метода для исследовательской работы. Оценка различий структуры РНК *in vivo* и *in vitro* позволяет установить, какие структурные особенности связаны с последовательностью РНК, а какие — с внутриклеточными взаимодействиями. В первом случае различия между результатами экспериментов отсутствуют, а во втором выявляются выраженные и воспроизводимые различия. Таким способом было установлено, что вторичные структуры сайта начала трансляции мРНК и рРНК определяются последовательностью этих РНК. Выявленные особенности структуры были подтверждены методом криоэлек-

тронной микроскопии. Кодированные и некодирующие РНК значительно различаются по вторичной структуре. мРНК характеризуются участками, где отсутствует вторичная укладка, прежде всего в 3'-некодирующей области, многие их модификации определяются условиями *in vivo*. Особенности вторичной структуры, не определяющиеся последовательностью, могут быть обусловлены инициацией трансляции, взаимодействием с микроРНК или белками и посттрансляционными модификациями. Некодирующие РНК — РНК псевдогенов, длинные некодирующие РНК, и первичные предшественники микроРНК меньше зависят от условий *in vivo*, за исключением малых ядрышковых РНК, наиболее реакционно-активных РНК в клетке. Динамика вторичной структуры РНК может применяться для исследования регуляторных процессов в клетке. Rbfox2 — регулятор, участвующий в работе эмбриональных стволовых клеток. Значительные изменения структуры его сайта связывания UGCAUG наблюдаются при сравнении результатов эксперимента *in vivo* и *in vitro*. В частности, U1, G2 и A4 в составе данного мотива различаются по реакционной в клетке и вне ее. Аналогичным образом были выявлены сайты связывания HuR, регулирующего стабильность транскриптов. Результаты были подтверждены с помощью иммунопреципитации. Была отмечена связь вторичной структуры и модификаций РНК, например в неспаренных участках кодирующих и некодирующих РНК, выявленных этим методом, присутствовало метилирование аденозина. При нарушении работы метилтрансферазы, модифицирующей аденозин в эмбриональных клетках мыши однопочечные участки изменяли вторичную структуру и не подвергались модификации. Полученные результаты показывают, что метод внутриклеточного SHAPE позволяет охарактеризовать механические основы биологической функции РНК.

А. Н. Ваганова

## Консервативная роль белка *Sonic Hedgehog* в тонотопической организации базиллярного сосочка птиц и ушной улитки млекопитающих

Conserved role of *Sonic Hedgehog* in tonotopic organization of the avian basilar papilla and mammalian cochlea. Eun Jin Son, Ji-Hyun Ma, Harinarayana Ankamreddy, Jeong-Oh Shin, Jae Young Choi, Doris K. Wu, Jinwoong Bok. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P3746–3751.

Дифференциация звуков разной частоты начинается у млекопитающих в кортиевоом органе, а у птиц — в базиллярном сосочке (basilar papilla, BP). Каждый из этих органов, расположенных в улитке внутреннего уха, организован тонотопически, таким образом, что чувствительные волосковые клетки, расположенные в базальном (проксимальном) конце реагируют на высокочастотные звуки, в то время как апикальные (дистально расположенные) клетки отвечают на звуки низкой частоты. Такая частотная настройка обеспечивается градуальным изменением формы волосковых клеток и числа их стереоцилий на протяжении улитки. Для формирования улитки в эмбриогенезе необходима активность целого ряда генов, среди которых в тонотопической организации BP птиц ключевую роль играют 2 сигнальные молекулы — костный морфогенетический белок 7 (*Vmp7*) и ретиноевая кислота (RA). Однако остается невыясненным: 1) какими факторами регулируются *Vmp7* и RA и 2) участвуют ли *Vmp7* и RA в организации кортиевого органа млекопитающих. Авторы исследовали участие белка-морфогена Shh (*Sonic Hedgehog*) в формировании улитки у куриных и мышинных эмбрионов. Shh, секретующийся в эмбриогенезе развивающейся хордой и вентральной пластинкой нервной трубки, необходим для формирования улитки

у обоих видов. Для проверки роли Shh авторы использовали подход «приобретения функции» в эмбриогенезе, увеличивая уровень Shh. Куриным эмбрионам в возрасте E2.5, E3.5 и E4.5 вводили унилатерально в отоцист бусины, пропитанные раствором Shh. Анализ BP на E16 выявил распространение в базальную часть BP экспрессии генов апикальной части, в том числе *Vmp7*. В волосковых клетках базального BP обнаружены морфологические и физиологические признаки, характерные в норме для клеток апикальной части и связанные с тонотопией: уменьшение числа стереоцилий, активация экспрессии гена *Kcnj2*, кодирующего апикальный калиевый канал аномального выпрямления. У мышинных эмбрионов повышенная активность Shh была достигнута путем создания *Rax2<sup>Cre/+</sup>; Smo<sup>M2/+</sup>* мутантов с конститутивной активацией белка-трансдуктора Shh-зависимого сигнального пути Smoothened (*Smo*). Экспрессия активной формы *Smo* начиналась на стадии статоакустической плакоды и к E14.5 приводила к серьезным деформациям внутреннего уха, а также к изменению паттернов экспрессии генов, которые в норме дифференциально экспрессируются в базальной и апикальной частях улитки. Так, гены, характерные для апикальной части (*Efnb2*, *Fst*, *Msx1*), экспрессировались у мутантов по всей улитке, в то время как экспрессия генов базальной части (*Inhba*, *A2m*) была полностью подавлена. Таким образом, морфоген Shh определяет региональную идентичность улитки у обоих исследованных видов. В то же время, в отличие от куриных эмбрионов, у эмбрионов мыши не обнаружено градиента экспрессии *Vmp7* в улитке, а также активации экспрессии этого гена под действием эктопического Shh. Это означает, что, в отличие от самого Shh, его клеточные мишени не являются эволюционно консервативными и могут различаться у птиц и млекопитающих.

А. А. Тунова

## Корреляции длительности деления единичных клеток в поколении как индикатор динамики клеточного цикла

Lineage correlations of single cell division time as a probe of cell-cycle dynamics. Oded Sandler, Sivan Pearl Mizrahi, Noga Weiss, Oded Agam, Itamar Simon, Nathalie Q. Balaban. *Nature*. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 468–471.

Популяции клеток неоднородны, что проявляется, например, в гетерогенности бактерий в составе популяции по устойчивости к антибиотикам или клеток в составе опухоли по восприимчивости к терапии. Являются ли такие различия случайными или есть контролирующие их механизмы? Одним из таких изменчивых параметров является продолжительность деления. Вариабельность длительности деления в нескольких поколениях популяции клеток млекопитающих была оценена в данном исследовании. На видеосъемке оценивалась общая длительность клеточного цикла, и с помощью флуоресцентной репортерной системы, проводилась идентификация его стадий G1 и S/G2/M. Было установлено, что сестринские клетки имеют сходную продолжительность клеточного цикла, но корреляции продолжительности клеточного цикла между двумя поколениями, следующими друг за другом, не наблюдались. Однако была отмечена слабая корреляция длительности клеточного цикла в родственных клетках, разделенных двумя поколениями. Аналогичные закономерности были отмечены для продолжительности фаз G1 и G2. Таким образом, при формировании новой клетки в делении, какой-либо механизм определяет длительность ее клеточного цикла. Корреляция длительности цикла наблюдается и у потомков клеток, которые разошлись в делении общей клетки-предшественника. Для оценки числа влияющих на

длительность клеточного цикла факторов был применен алгоритм Грассбергера–Прокаччиа, описывающий временные ряды в различных системах, на основании которого был сделан вывод, что продолжительность клеточного деления в поколении определяется неслучайно и регулируется небольшим количеством изменчивых факторов. В отличие от характеристики временного ряда с использованием алгоритма Грассбергера–Прокаччиа, данные родословной представляют независимые и надежные данные о различии между клетками последующих поколений. Игровая модель, описывающая это явление, была основана на следующих требованиях: определяющие изменчивость факторы наследуются от материнской клетки, их эффект на продолжительность клеточного цикла немонокотонный, нелинейное детерминированное наследование не обязательно достигает конечной точки. Известный нелинейный процесс, влияющий на длительность клеточного цикла – циркадный ритм. Математическая модель с учетом данного регулятора описывала сходную продолжительность клеточного цикла у сестринских клеток и выявленные изменения длительности клеточного цикла между поколениями. Литературные данные подтверждают высокие значения корреляции длительности клеточного цикла сестринских клеток и отсутствие выраженных связей между длительностью деления клеток последующего поколения среди клеток различных типов. Полученная математическая модель также подтверждалась собственными экспериментальными данными. Согласно ей изменчивость длительности клеточного цикла, а также его фаз G1 и S/G2/M подчинялась определенным закономерностям. Также модель воспроизводила отсутствие корреляции между продолжительности фазы G1 и G2. Подобный подход может быть использован для описания изменчивости других фенотипических признаков: экспрессии, размера клеток и скорости роста.

A. Н. Ваганова

## Стрессовые воздействия окружающей среды индуцируют мутагенез тринуклеотидных повторов в клетках человека

Environmental stress induces trinucleotide repeat mutagenesis in human cells. Nimrat Chatterjee, Yunfu Lin, Beatriz A. Santillan, Patricia Yotnda, John H. Wilson. *PNAS*. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3764–3769.

Микросателлитные повторы включают многократно повторенные последовательности от одного до восьми нуклеотидов и занимают до 3% генома человека. Они характеризуются высокой изменчивостью, и частота перестроек в них в несколько раз превышает частоту точечных мутаций в геноме. Тринуклеотидные повторы подвергаются изменениям при репликации, репарации, рекомбинации и транскрипции. Такие мутации вносят вклад в модификацию работы генов и возникновение заболеваний, поскольку изменение копийности повтора в зависимости от его локализации может влиять на экспрессию гена и изменять структуру его продукта. Тринуклеотидные микросателлитные повторы часто присутствуют в регуляторных генах, их изменения могут вести к перестройке работы клетки, что имеет значение как для развития заболеваний, так и для эволюции. Для оценки изменчивости тринуклеотидных повторов под действием стресса в клетках человека в культуре использовалась репортерная система включавшая ген GFP с вставкой повтора (CAG)<sup>89</sup> в интроне. Повтор интерферирует с процессом сплайсинга и снижает накопление конечного продукта, потеря нуклеотидов в повторе приводит к повышению экспрессии флуоресцентного белка. Накопление GFP оценивалось путем проточной цитометрии. Через несколько дней после стрессового воздействия связанного с нагреванием, охлаждением, гипоксией или окислительным стрес-

сом количество клеток, экспрессирующих GFP, возрастало. Снижение количества копий повтора было подтверждено секвенированием. Нокаут генов, продукты которых участвуют в ответе на стресс, HIF1 $\alpha$ , HIF3 $\alpha$ , HSF1 $\alpha$ , NRF2 и CIRP, снижал долю клеток, в которых активировалась экспрессия репортера. Нокаут CIRP вел к отсутствию активации репортера при охлаждении, HSF1 – при перегреве, HIF1, HIF3, NRF2 и HSF1 – при гипоксии, а NRF2, HIF1 и HSF1 – при окислительном стрессе. Для оценки вклада систем репарации в изменчивость повтора было исследовано влияние нокаута их компонентов на активацию репортера. Нокаут компонента системы репарации неспаренных оснований MSH2, и XPA, компонента системы эксцизионной репарации нуклеотидов, не влиял на активацию экспрессии GFP, в то время как нокаут OGG1 негативно сказывался на активации репортерной системы только при окислительном стрессе, когда активируется эксцизионная репарация оснований, в работе которой он участвует. Нокаут белков, участвующих в репликации, FEN1 и PIF1 приводил к снижению количества клеток, начинавших синтезировать GFP при стрессовом воздействии, что говорит о важности репликации для перестройки тринуклеотидных повторов. Нокаут фактора репликации CDT1 снижал как интенсивность активации репликации в ответ на стресс, так и частоту активации репортера. Стимулятор репликации афидиколин приводил к росту экспрессии GFP, особенно в период восстановления после воздействия препарата, но его эффект при нокауте CDT1 снижался. Это свидетельствует в пользу того, что основное значение в перестройке тринуклеотидных повторов при стрессе принадлежит системе репликации, а вклад систем репарации незначителен. Механизм перестройки тринуклеотидных повторов при репликации ДНК пока не ясен.

A. Н. Ваганова



## Электрические синапсы объединяют сеть нейронов, секретирующих гонадотропин-высвобождающий гормон у цихлидовых рыб

Electrical synapses connect a network of gonadotropin releasing hormone neurons in a cichlid fish. Yunyong Ma, Scott A. Juntti, Caroline K. Hu, John R. Huguenard, Russell D. Fernald. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P3805–3810.

Функционирование репродуктивной системы позвоночных зависит от половых стероидных гормонов, производство которых гонадами регулируется гипоталамо-гипофизарной системой. Регуляция начинается с выделения гонадотропин-высвобождающего гормона (GnRH1) нейронами гипоталамуса, причем секреция происходит не монотонно, а в виде коротких пиков со строго определенными интервалами. Именно такое пульсирующее выделение GnRH1 влияет на высвобождение гипофизом гонадотропинов, которые, в свою очередь, регулируют продукцию стероидов в гонадах. Предполагается, что синхронизация выброса гормона GnRH1-секретирующими нейронами может обеспечиваться за счет щелевых контактов между ними, однако прямых экспериментальных доказательств этого ранее получено не было. Для проверки этой гипотезы авторы исследовали GnRH1-нейроны у цихлиды *Astatotilapia burtoni*. Авторы создали трансгенную линию, в которой регуляторные элементы локуса GnRH1 инициировали экспрессию усиленного зеленого флуоресцентного белка (EGFP). Иммуногистохимический анализ выявил более чем 90% колокализацию EGFP и GnRH1 в одних и тех же клетках. Далее авторы использовали переживающие срезы мозга взрослых доминантных трансгенных самцов для регистрации активности нейронов преоптической области

гипоталамуса. Одновременная регистрация производилась от 18 пар нейронов, и в 17 случаях нейроны оказались электрически связанными. Так, при деполяризующем токе и генерации потенциала действия (ПД) у нейрона 1 авторы регистрировали у нейрона 2 деполяризационное плато и коррелирующие с ПД деполяризационные потенциалы. При деполяризации нейрона 2 происходил зеркальный процесс, причем в обеих конфигурациях латентный период между деполяризационными потенциалами и ПД был очень коротким, что согласуется со свойствами щелевых контактов. Такие связи были обнаружены только между GnRH1-секретирующими нейронами. Их исследование выявило следующие характеристики: 1) связи между клетками зеркально симметричны; 2) такая связь облегчает генерацию потенциала действия при одновременной подпороговой деполяризации связанных клеток; 3) добавление в омывающий раствор блокатора щелевых контактов меклофенамовой кислоты (400 мкМ) обратимо нарушает связь между клетками. Так как электрическая связь между клетками предполагает существование щелевого контакта, такие клетки должны экспрессировать гены коннексинов – белков, образующих щелевой контакт. Авторы нашли в геноме *A. burtoni*, несколько последовательностей, гомологичных генам коннексинов млекопитающих. Один из найденных генов, *Gjd2a*, экспрессируется в преоптической области гипоталамуса, причем колокализация его мРНК с GnRH1 составляет более 95%. Эти результаты предполагают, что электрическая связь между GnRH1-нейронами опосредуется через щелевой контакт, образованный коннексином *Gjd2a*. Полученные результаты предполагают, что электрические синапсы могут обеспечивать координированные разряды GnRH1-нейронов, приводящие к пульсирующему выбросу гормона, необходимому для активации гипофиза и репродуктивной системы.

А. А. Тунова

## Белки, ассоциированные с эндоцитозом способствуют росту везикул благодаря нарушению натяжения плазматической мембраны

Endocytic proteins drive vesicle growth via instability in high membrane tension environment. Nikhil Walani, Jennifer Torres, Ashutosh Agrawal. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E1423–E1432.

Клетки постоянно осуществляют процесс поглощения макромолекул для удовлетворения их пищевых нужд и поддержания внутриклеточной и межклеточной коммуникации. Это приводит к значительным искривлениям плазматической мембраны и образованию транспортных пузырьков-везикул белками, деформирующими мембраны. Клатрин-опосредованный эндоцитоз является одним из ключевых метаболических путей, задействованных в транспорте макромолекул в эукариотические клетки. Он характеризуется цепью событий, в результате которой происходит превращение почти плоского лоскута плазматической мембраны в закрытую везикулу, переносящую груз. Цепь превращений от лоскута к мелкой инвагинации, затем зрелой везикуле и, в конечном итоге, свободной везикуле осуществляется целым набором согласованно действующих белков. В связи с тем, что изменение формы мембранной структуры влечет за собой значительное локальное сгибание мембраны, то это процесс находится в большой зависимости от натяжения мембраны в состоянии покоя. Повышение натяжения мембраны делает ее более упругой, неподдающейся к сгибанию, что, несомненно, приводит к возрастанию расходов энергии при образовании новых везикул. Было показано, что актин является

ключевым компонентом для успешного осуществления клатрин-опосредованного эндоцитоза. В настоящей работе авторы осуществили подробный теоретический и компьютерный анализ клатрин-опосредованного эндоцитоза для раскрытия ранее неизвестных механизмов, с помощью которых основные белки эндоцитоза (актин и белки BAR) участвуют в регуляции натяжения мембраны, способствуют росту везикул и их разрезанию. Было показано, что актин вызывает быструю смену формы мембранных структур от небольшой инвагинации до структуры типа трубки. Авторы также показали, что связывание с белками BAR приводит к стабилизации везикул и менее выраженной нестабильности состояния мембраны. Кроме того, в настоящей работе авторы описали важную роль деполимеризации белков BAR в регуляции процесса изменения формы везикул. Было показано, что прикрепление белков BAR также вызывает формирование везикул в результате индукции нестабильности натяжения мембраны, хотя в меньшей степени по сравнению с актином. В то же время, диссоциация приводила к удлинению и росту везикул. На основании полученных результатов авторы высказали свои предположения насчет стадии инициации разрезания везикул и предсказали форму и состав обособленных везикул. В целом, в настоящей работе авторы представили механизмы резкого перехода и высокого напряжения в плоскости структуры в качестве возможных вариантов объяснения превращения обширных и небольших впячиваний мембраны в обособленные везикулы в дрожжевых клетках, мутантных по белкам BAR. Авторы также высказали предположение, что нестабильность натяжения мембраны аналогично актину играют роль в фагоцитозе и макропиноцитозе и, более того, во внутриклеточных процессах, таких как деление клеток и их локомоция.

И. М. Мохосоев

## Детали строения ископаемой губки возрастом 600 млн лет изучены на клеточном уровне

Sponge grade body fossil with cellular resolution dating 60 Myr before the Cambrian. Zongjun Yin, Maoyan Zhu, Eric H. Davidson, David J. Bottjer, Fangchen Zhao, Paul Tafforeau. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E1453–E1460.

Филогеномные экстраполяции показывают, что последний общий предок губок (Porifera) и настоящих многоклеточных (Eumetazoa) существовал в криогении, за 200 млн лет до начала кембрийского периода. Однако до последнего времени отсутствовали достоверные палеонтологические свидетельства существования докембрийских губок. Авторы сообщают о находке самой древней из известных на сегодняшний день морских губок на планете, возраст которой оценивается в 600 млн лет. Губке дали название *Eocyathispongia qiania*. Это обнаруженное в геологической формации Доушаньто в Южном Китае полуколониальное многоклеточное на сегодняшний день является старейшим представителем типа губки. Возраст ископаемого примерно на 60 млн лет больше, чем возраст самой древнейшей из обнаруженных ранее окаменелых морских губок. Размеры находки – 1,2 x 1,1 мм, и она имеет прекрасную сохранность, что позволило с помощью сканирующего микроскопа рассмотреть детали ее строения. Губка имеет три трубочки, соединенные единым основанием. Снаружи она покрыта пинакоцитами, между которыми находятся маленькие поры. А на его внутренней поверхности, в районе устья, обнаружился ряды микроямок, окруженных своеобразными воротничками. По всей вероятности, при жизни животного здесь находились жгу-

тиковы клетки – хоаноциты, с помощью которых создается ток воды. Несколько трубкообразных выростов губки соединяются вместе на общей платформе, служившей им фундаментом. Стоит отметить, что весь организм состоял из главной трубки, открывающейся наружу воронкой, и соединенных с ней трубок поменьше, на которых угадываются оскулюмы – отверстия для выпуска наружу воды, прошедшей через тело губки. Отфильтрованные во время этого процесса органические частицы животное переваривало, а для дыхания использовало растворенный в той же воде кислород. *E. qiania* не может быть отнесена к какому-либо из известных сегодня классов губок, но, безусловно, должна рассматриваться в составе стем-группы потомков общего предка всех губок. В палеозое тип Porifera был одной из господствующих форм на планете и сыграл значимую роль в ранней истории развития животного мира Земли. Есть предположение, что Porifera появились еще в протерозое (около 760 млн лет назад), задолго до кембрийского биологического взрыва (кембрийский взрыв жизни произошел примерно 560 млн лет назад). В пользу последнего варианта говорит генетический анализ некоторых современных губок. На докембрийское происхождение указывают также некоторые из обнаруженных окаменелостей, которые в свое время были встречены учеными скептически из-за их плохой сохранности. Теперь же найден хорошо сохранившийся фрагмент этого полуколониального организма. Открытие подтверждает докембрийскую версию происхождения губок, что в целом отодвигает начало эволюции многоклеточного мира на многие миллионы лет назад. Исследователи надеются с помощью этой находки определить дату возникновения генов, определяющих ключевые отличия настоящих многоклеточных организмов от древних колониальных форм.

В. В. Стрекопытов

## Динамика антигенной изменчивости *Trypanosoma brucei*

The in vivo dynamics of antigenic variation in *Trypanosoma brucei*. Monica R. Mugnier, George A. M. Cross, F. Nina Papavasiliou. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1470–1473.

*Trypanosoma brucei* – внеклеточный простейший паразит, возбудитель африканского трипаносомоза (сонной болезни). *T. brucei* имеет специфический механизм антигенной изменчивости, запускаемый набором из ~2000 различных генов. Путем экспрессии специальных генов собственной ДНК он способен постоянно изменять вариативные поверхностные гликопротеины (VSG), скрываясь, таким образом, от иммунной системы хозяина. Плотной покрывая поверхность *T. brucei*, гликопротеины VSG скрывают другие компоненты клеточной поверхности от иммунного распознавания. Каждый паразит проявляет один вариант VSG одновременно. В любое время, несколько паразитов из популяции стохастически переключают вариант VSG. Как и предыдущие варианты, распознанные и разблокированные иммунной системой, новые варианты приводят к характерным волнам паразитемии (увеличению числа паразитов в крови). Несмотря на попытки моделирования этого процесса, динамика экспрессии VSG в период инфекции до конца не изучена. Ученые разработали метод, основанный на сборке *de novo* гликопротеинов VSG для количественного изучения разнообразия вариантов VSG в любой популяции трипаносом и контроля *in vivo* динамики численности VSG. В новом целевом подходе секвенирования РНК, названном VSG-seq, производится амплификация VSG кДНК (комплементарной) при помощи консервированных последовательностей в 5' и 3' концах каждой зрелой VSG мРНК (матричной).

Затем происходит секвенирование и сборка *de novo* методом реконструкции транскриптома (совокупности транскриптов), который называется Trinity. Этот подход был подтвержден измерением экспрессии каждого VSG в контрольной популяции с известной пропорцией клеточных линий. С помощью VSG-seq можно обнаруживать варианты VSG, присутствующие в 0,01% популяции паразитов, а также определять их количество, когда варианты VSG представляют более 0,1% популяции. Пределы обнаружения и определения количества для VSG-seq, по всей видимости, не зависят от исходного количества клеток, т.к. контрольные смеси с разным количеством клеток показали аналогичные результаты. Измерение экспрессии VSG в динамике проводилось в течение 30-дневного наблюдения зараженных мышей. Исследования показали неожиданное разнообразие VSG в рамках популяции паразитов, а также выявили механизм диверсификации набора генов, кодирующего VSG. Переключение VSG происходит со скоростью не достаточной для того, чтобы ускользнуть от иммунитета. Это говорит о том, что механизмы рекомбинации, расширяющие существующий набор VSG, могут иметь решающее значение для поддержания длительности инфекции. Исследования образцов, зараженных африканским трипаносомозом, показали более высокое, чем ожидалось, разнообразие VSG, что указывает на клиническую значимость данных исследований, обеспечивая основу для дальнейшего изучения *in vivo* диверсификации и переключения VSG. Взаимодействие между *T. brucei* и организмом хозяина оказалось более динамичным и тонким, чем ожидалось ранее. Результаты исследования демонстрируют потенциал подходов с высокой пропускной способностью в изучении антигенных изменений трипаносом и других паразитарных инфекций людей и животных.

Е. М. Степанова

## Предрасположенность волнообразно двигающихся пловцов, таких, как черви, к движению против течения

Propensity of undulatory swimmers, such as worms, to go against the flow. Jinzhou Yuan, David M. Raizen, Haim H. Bau. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3606–3611.

Способность к ориентации в соответствии с сигналами окружающей среды является критически важной для функционирования и выживания организмов. Примером такого ориентационного поведения является выстраивание водных организмов по течению или против него (соответственно, отрицательный и положительный реотаксис). Для плавающих волнообразно при низких значениях числа Рейнольдса организмов, таких, как черви, есть противоречивые данные как о самой возможности реотаксиса, так и о том, преднамерен ли он, или является невольным откликом на механическое воздействие. Для ответа на эти во-

просы был использован в качестве модели червь *Caenorhabditis elegans*. Ориентация *C. elegans* в потоке была исследована как экспериментально, так и с помощью математического моделирования. Обнаружено, что вблизи неподвижной поверхности *C. elegans* демонстрирует положительный реотаксис, который может быть объяснен с помощью одних лишь механических сил, без участия органов чувств. Взаимодействие между полем потока, вызванным пловцом и близкой поверхностью вызывает поворот пловца к поверхности, а градиент скоростей, связанный с наличием потока разворачивает животное в направлении против потока. Гидродинамическое компьютерное моделирование достоверно описывает описанное в эксперименте поведение, что подтверждает утверждение о том, что реотаксис может быть в данном случае полностью объяснен из соображений гидродинамики. Полученные результаты могут быть использованы для построения стратегий управления жизненным циклом волнообразно плавающих организмов.

А. В. Якименко

## Динамика постпалеозойской эволюции морских ежей и важность масштаба в интерпретации темпов эволюции

Dynamic evolutionary change in post-Paleozoic echinoids and the importance of scale when interpreting changes in rates of evolution. Melanie J. Hopkins, Andrew B. Smith. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3758–3763.

Выяснение того, по каким законам происходит рост экологического и морфологического разнообразия животного и растительного мира в геологической истории, является одним из главных вопросов палеобиологии. Ископаемые свидетельства говорят о том, что многие клады достигали своего максимального видового разнообразия еще на ранних этапах эволюционного развития, а затем, по мере заполнения экологических ниш (или по другим внутренним причинам), темпы диверсификации замедлялись. Используя современные методы филогенетического анализа (тест на правдоподобие ветвей, анализ нормальных координат, метод филогенетического сигнала), авторы провели анализ морфологической эволюции одной из главных клад морских беспозвоночных – морских ежей (Echinoidea). Анализ охваты-

вал весь постпалеозойский период их эволюции (последние 265 млн лет). Вопреки господствующей гипотезе, результаты анализа показали, что в начальный период диверсификации, сразу после периода массового вымирания на границе перми и триаса, темпы эволюции Echinoidea были минимальными, а затем – постепенно нарастали. Обнаружилось, что если отдельные субклады и демонстрировали определенные начальные «всплески» развития, связанные с морфологической диверсификацией, то на более высоком таксонометрическом уровне эти «всплески» выглядели лишь эпизодическими пиками. Подобные пики эволюции морфологии были связаны, прежде всего, с инновациями в стратегиях питания. Несмотря на примерно равное количество видов среди правильных и неправильных морских ежей в современных океанах, с точки зрения морфологии, последние существенно разнообразнее, что, очевидно, связано с более высокими темпами внутренней эволюции и большим количеством морфологических инноваций. Результаты исследования показывают, что темпы эволюции и механизмы диверсификации в разных кладах крайне неоднородны и не укладываются в единую закономерность. К тому же, они сильно зависят от временного и таксонометрического масштаба исследований.

В. В. Стрекопытов

## Коинфекции определяют смертность от паразитических инфекций на уровне популяции

Co-infections determine patterns of mortality in a population exposed to parasite infection. Mark E. J. Woolhouse, Samuel M. Thumbi, Amy Jennings, et. al. Science Advances. 2015;1:e1400026 20 March 2015.

Широко известно, что важным фактором патогенности инфекции является присутствие паразитов в организме хозяина. Это явление известно как гетерологичная реактивность и влияет на уровень смертности от той или иной инфекции в популяции. В данном исследовании впервые была получена количественная оценка гетерологичной реактивности для паразитарных болезней. В качестве модельного организма был использован распространенный в Африке *Theileria parva* – переносимый клещами родственник малярийному плазмодию одноклеточный возбудитель тейлериоза рогатого ско-

та. С помощью обратного блоттинга и расчетов методом логистической регрессии на выборке из 105 телят зебу было показано, что коинфицирование менее патогенными возбудителями рода *Theileria* приводит к снижению смертности от инфекции *T. parva* на 89%. При этом, избавляясь от низко патогенных возбудителей, животные попадают в ту же группу риска, что и никогда не заражавшиеся особи. В масштабах всей исследованной популяции снижение смертности от тейлериоза составило более 40%. С помощью математической модели было показано влияние степени гетерологичской реактивности на ряд параметров. Так, гетерологичская реактивность обеспечивает снижение смертности с возрастом и эндемическую стабильность в отсутствие корреляции сил высоко и низко патогенных инфекций, однако ее защитный эффект ослабевает со временем, по мере избавления от низко патогенного возбудителя. Установленные закономерности могут быть перенесены и на другие инфекционные заболевания, в частности, малярию человека.

А. Л. Братцева



## Гем-тиолатное феррильное состояние ароматической пероксигеназы является реакционноспособным и лежит в щелочной области

Heme-thiolate ferryl of aromatic peroxygenase is basic and reactive. Xiaoshi Wang, René Ultrich, Martin Hofrichter, John T. Groves. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3686–3691.

Природой выработаны разнообразные и очень эффективные стратегии для избирательного оксигенирования даже наиболее инертных связей типа C–H, расположенных в углеводородах и других малых молекулах. Так, у микроорганизмов для этой цели имеются содержащие атом меди монооксигеназы метана (ММО), содержащие два атома железа гидроксиллазы, такие как растворимая ММО и  $\omega$ -гидроксиллазы (AlkB-alkane  $\omega$ -hydroxylase), которые позволяют микроорганизмам расти на нефти и природном газе, используя их в качестве единственного источника углерода. Широко распространенные гем-тиолатные монооксигеназы, такие как цитохромы P-450 (CYP-cytochrome P450), выполняют важную роль, катализируя реакцию гидроксирования C–H групп. Цитохромы P-450 также участвуют в различных метаболических путях биосинтеза стероидов и простагландинов, а также в фазе I метаболизма лекарств. Например, у *Mycobacterium tuberculosis* выявлено 20 изоформ цитохрома P-450, значительно отличающихся друг от друга по физиологической функции, что делает их потенциальными молекулярными мишенями для действия лекарств. Кроме того, процессы окисления связи C–H имеют значение в плане защиты окружающей среды, например, для очистки от разливов нефти.

В результате проведенных в последние десятилетия структурных, спектроскопических, компьютерных, генетических исследований цитохромов P-450, их химического моделирования получены данные, свидетельствующие о механизме действия этих ферментов. Так, является общепризнанным, что центральной парадигмой активации молекулярного кислорода цитохромом P-450 является образование феррильных интермедиатов состава  $Fe^{IV}=O$ . Различия в реакционной способности этих интермедиатов и роль аксиальных лигандов и микроокружения гема являются предметом детального изучения в различных лабораториях. Ароматические пероксигеназы (АРО) представляют недавно открытое в клетках различных грибов большое семейство гем-тиолатных белков. Эти белки отличаются по аминокислотной последовательности от цитохромов P-450 и демонстрируют 30% гомологию последовательности и сходную третичную структуру с представителями каталаз. В то же время, было показано, что белки АРО, в отличие от каталаз, проявляют высокую активность при оксигенировании алифатических и ароматических углеводородов. Эти белки отличаются высокой стабильностью, которые участвуют в мобилизации источника углерода при росте организмов. Ранее авторы настоящей работы показали, что ароматическая пероксигеназа из *Agroclybe aegerita* образует катион радикала оксожелезо(IV)порфирина (АРО-I), который может быть обнаружен с помощью UV-Vis спектроскопии. В настоящей работе представлен новый метод генерации неуловимого феррильного состояния (АРО-II), непосредственно из АРО-I в широком диапазоне значений pH. Авторы показали, что АРО-II протонируется при физиологических значениях pH, образуя  $Cys-S-Fe^{IV}-OH$ , и в этом случае pKa равнялось 10,0. Показано, что АРО-II генерируется при одноэлектронном восстановлении АРО-I нитроксильными радикалами.

И. М. Мохосеев

## Структура про-комплекса белка морфогенеза костей 9 (BMP9)

Structure of bone morphogenetic protein 9 procomplex. Li-Zhi Mi, Christopher T. Brown, Yijie Gao, Yuan Tian, Viet Q. Le, Thomas Walz, Timothy A. Springer. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3710–3715.

Белки, члены семейства TGF- $\beta$ , включая белки морфогенеза костей (BMP), синтезируются в клетке и процессируются с образованием больших комплексов между большим про-доменами и меньшими по размеру C-концевыми доменами зрелого фактора роста (GF-домены), между которыми располагаются сайты расщепления про-белка. Показано, что 33 члена семейства BMP участвуют в регуляции различных стадий морфогенеза костной ткани. В изолированном состоянии большинство про-комплексов находятся в активном состоянии, в то время как некоторые про-комплексы находятся в латентном состоянии. Так, про-TGF- $\beta$  не проявляет активность фактора роста, а большинство BMP, полученные в виде рекомбинантных белков, активны. Про-домены большинства BMP не связаны сильно с GF-доменами, чтобы помешать их связыванию с рецепторами или защитить домены фактора роста от связывания с различными ингибиторами. Причины, определяющие эти различия между про-комплексами, в настоящее время неизвестны. Также неясно влияние про-доменов BMP на связывание GF-доменов BMP с различными антагонистами, такими как ноггин, гремлины и хордины, которые связываются с BMP и регулируют их активность. В настоящей работе авторы исследовали структуры про-BMP и их связывание с рецепторами для выявления механизмов, лежащих в основе регуляции латентного состояния представителей семейства TGF- $\beta$  и функционирования их про-доменов. Для сравнения была выбра-

на уже известная «cross-armed» («скрещенные руки») конформация про-TGF- $\beta$ 1. В результате выполненной работы было показано, что про-BMP9 и про-BMP7 находятся в активной «open-armed» («раскрытые объятия») конформации, в то время как про-TGF- $\beta$ 1 находится в латентной «cross-armed» конформации. Несмотря на значительные различия ориентации «руки» в про-BMP и про-TGF- $\beta$ , домен «рука» про-домена может сходным образом ассоциироваться с доменом фактора роста, в то время как участки про-домена, расположенные со стороны N- и C-концов белка по отношению к «руке», связываются различным образом с фактором роста и могут конкурировать друг с другом при осуществлении регуляции латентного состояния и их замещении рецепторами I и II типа. На основании консерватизма аминокислотной последовательности, авторы высказали предположение, что про-BMP9 может принимать как «cross-armed», так и «open-armed» конформации. На основании анализа полученной кристаллической структуры про-BMP9 авторы выказали предположения насчет роли про-доменов в определении громадного разнообразия функций 33 членов семейства TGF- $\beta$ . Так, по их мнению, дивергенция про-доменов возможно является причиной специфичности GF сигналинга *in vivo*, обусловленной регуляцией локализации, движения, высвобождения и активации про-комплекса во внеклеточном пространстве. На основании полученных результатов авторы предположили, что взаимодействующие партнеры, располагающиеся в матриксе, стабилизируют «cross-armed» конформацию про-BMP и регулируют переход между латентной «cross-armed» и нелатентной «open-armed» конформациями про-BMP. Также авторы полагают, что этот переход между конформациями белков семейства TGF- $\beta$  и BMP может определять высвобождение и активность этих факторов роста.

И. М. Мохосеев

## Синхронное понижение экспрессии микроРНК семейства miR-17 как одна из причин васкуляризации сетчатки

Synchronous down-modulation of miR-17 family members is an early causative event in the retinal angiogenic switch. Diana N. Nunes, Emmanuel Dias-Neto, Marina Cardó-Vila, et. al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E3770–E3775.

Семейство микроРНК-17 (miR-17) человека состоит из 6 различных зрелых микроРНК, которые расположены на 3 хромосомах. Члены семейства похожи по затравочной последовательности и, предположительно, влияют на транскрипцию одних и тех же генов, среди которых находятся те, которые кодируют такие белки, как индуцируемый при гипоксии фактор 1 альфа (hypoxia-inducible factor-1 $\alpha$ , HIF1A) и эндотелиальный фактор роста сосудов A (Vascular endothelial growth factor A, VEGFA). При использовании мышиной модели ретинопатии недоношен-

ных, при которой экспрессия гена Vegfa существенно повышена на ранних стадиях неоваскуляризации сетчатки, оценка общего уровня экспрессии *in vivo* показала одновременное снижение уровня экспрессии всех микроРНК, принадлежащих семейству miR-17. Их связывание со специфическими сайтами в 3'UTR областях генов Hif1a и Vegfa было определено с помощью анализа репортерных генов. Более того, повышенная экспрессия членов семейства miR-17 приводила к понижению уровня экспрессии белков HIF1A и VEGFA *in vitro*. В данной биологической модели было показано одновременное понижение экспрессии генов Hif1a и Vegfa, вызванное членами семейства miR-17. Вполне возможно, что существует согласованная регуляторная сеть, в которой различные микроРНК синхронно регулируются, воздействуя на транскрипционный фактор HIF1A, который, в свою очередь, стимулирует и усиливает регуляторное воздействие микроРНК на Vegfa, чтобы запускать и иметь возможность поддерживать важные физиологические процессы.

А. Э. Ходосевич

## Новые белки, ассоциированные с участками генома, несущими модифицированные гистоны, определены с помощью протеомного анализа хроматина

Chromatin proteomic profiling reveals novel proteins associated with histone-marked genomic regions. Xiong Ji, Daniel B. Dadon, Brian J. Abraham, Tong Ihn Lee, Rudolf Jaenisch, James E. Bradner, Richard A. Young. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E3841–E3846.

Считается, что более 1000 белков, включая транскрипционные факторы и кофакторы, входят в состав и участвуют в регуляции работы хроматина у млекопитающих. При этом знание участков связывания с геномом и функций большинства таких белков ограничено. Между тем, представление о том, как они взаимодействуют с определенными активными и неактивными частями генома, может пролить свет на их роль в глобальном процессе регуляции генов. В статье описан новый подход, который называется

«анализ протеомного профиля хроматина» (chromatin proteomic profiling). Он позволяет идентифицировать белки, которые связаны с определенными участками генома, отличительной особенностью которых является присутствие отдельных модификаций гистонов. Участки генома с такими модификациями, как H3K27ac, H3K4me3, H3K79me2, H3K36me3, H3K9me3, и H4K20me3, были проанализированы путем масс-спектрометрии с иммунопреципитацией хроматина в эмбриональных стволовых клетках. Были обнаружены 332 уже известных и 114 новых белков, ассоциированных с участками генома, несущих в себе модифицированные гистоны. Многие из новоопределенных белков оказались связаны с различными болезнями, и их взаимодействие с хроматином может помочь пролить свет на механизмы возникновения патологий. Было описано более 100 модификаций гистонов, которые могут быть использованы в подобных исследованиях с анализом протеомного профиля хроматина, что позволит определить новые, хроматин-ассоциированные белки в широком спектре клеточных типов.

А. Э. Ходосевич

## Суммируя шансы: молекулярные каскады оксида азота лежат в основе подавления агрессии во время конфликта и после конфликта

Adding up the odds—Nitric oxide signaling underlies the decision to flee and post-conflict depression of aggression. Paul A. Stevenson, Jan Rillich. Science Advances. 2015;1:e1500060 13 March 2015.

Схватка может быть опасной, поэтому животные выбирают отступление как только затраты превышают выгоду, но механизм, лежащий в основе процессов принятия таких решений неизвестен. В данной работе авторы проводили манипуляции с молекулярными каскадами, лежащими в основе агрессии. Было показано, что эволюционно-консервативный нейромодулятор, оксид азота, оказывающий подавляющий эффект на агрессию у животных, может играть роль в принятии решения. Сверчки, демон-

стрирующие яркое воинственное поведение, отступали как только сумма негативных действий их противника, накопившихся за время схватки превышало критическую. Этот эффект негативно опыта опосредовался молекулярным каскадом оксида азота. Оксид азота не подавлял агрессивную мотивацию, а увеличивал восприимчивость негативных стимулов и, следовательно, вероятность выбора отступления. Эффект оксида азота наблюдался у проигравших и выражался в увеличенной продолжительности поведения избегания, являющейся характеристикой расстройства социального поведения у многих видов. Интересно, что боевой опыт также вызывал (тоже посредством молекулярных каскадов оксида азота) короткий период чувствительности к негативным стимулам у победителей сразу после победы. Полученные результаты показывают ключевую роль оксида азота в механизмах, лежащих в основе принятия решений в агрессивном поведении при схватке, а также в основе депрессивного поведения после схватки.

О. Е. Сварник

## Fe-S кластер-содержащие белки mitoNEET и NAF-1 семейства белков NEET как молекулярные мишени лекарств при раке молочной железы

The Fe-S cluster-containing NEET proteins mitoNEET and NAF-1 as chemotherapeutic targets in breast cancer. Fang Bai, Faruck Morcos, Yang-Sung Sohn, Merav Darash-Yahana, Celso O. Rezende, Colin H. Lipper, Mark L. Paddock, Luhua Song, Yuting Luo, Sarah H. Holt, Sagi Tamir, Emmanuel A. Theodorakis, Patricia A. Jennings, José N. Onuchic, Ron Mittler, Rachel Nechushtai. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3698–3703.

Митохондрии играют ключевую роль в образовании энергии, регуляции метаболизма и апоптозе клеток. В связи с этим, они рассматриваются в качестве приоритетных мишеней для разработки лекарств, направленных на лечение онкологических заболеваний. Небольшие молекулы, которые проявляют свою активность в результате избирательного накопления в митохондриях, принято называть митоканами. В этом плане, представляющая большой интерес природные соединения, обозначаемые CGX (caged Garcinia xanthone), которые были выделены из тропических растений рода *Garcinia*. Так, было показано, что гамбоевая кислота, являющаяся архетипом этого семейства ксантонов, ингибирует рост опухолевых клеток в различных животных моделях с минимальным побочным эффектом и малой токсичностью в отношении иммунной и кровяной систем. Противораковая активность этого соединения ассоциируется с поляризацией митохондриальной мембраны и ингибированием активности белков семейства Bcl-2 (B-cell lymphoma 2), накоплением в мембране активных форм кислорода, подавлением NF-κB-зависимого сигнального пути и ингибированием активности протеасом. Локализованные во внешней митохондриальной мембране белки семейства NEET NAF-1

(nutrient-deprivation autophagy factor-1) и mitoNEET необходимы для регуляции роста опухолевых клеток. Эти белки образуют новое семейство железосерных (2Fe-2S) белков, содержащих уникальный пептидный мотив CDGSH в Fe-S кластер-связывающем домене. Показана их роль в возникновении нескольких патологий у человека, включая диабет, синдром Вольфрама 2, нейродегенеративные заболевания и атрофию мышц. Было показано, что NAF-1 взаимодействует с Bcl-2 и беклином 1 и регулирует процессы и апоптоза. Ранее авторы настоящей работы показали, что подавление экспрессии NAF-1 или mitoNEET с помощью малых гетерогенных РНК при раке молочной железы приводит к накоплению ионов железа и активных форм кислорода в митохондриях, вызывает сдвиг метаболизма от дыхания к гликолизу, активации аутофагии и подавлению пролиферации клеток и росту опухоли. В настоящей работе авторы исследовали связывание различных производных митоканов (клювенон, MAD-44 и MAD-28) с белками mitoNEET и NAF-1 и эффекты, вызываемые этими соединениями на метаболизм физиологии и выживаемость опухолевых клеток. Авторами было показано, что MAD-28, являющийся производным клювенона, связывается с белками mitoNEET и NAF-1 и вызывает в этих белках дестабилизацию их 2Fe-2S кластеров. Авторами также была продемонстрирована высокая избирательная активность MAD-28 в отношении раковых клеток *in vivo*. В этих условиях нормальные клетки молочной железы практически не подвергались действию этого соединения. В целом, результаты настоящей работы свидетельствуют в пользу возможности использования Fe-S кластеров белков mitoNEET и NAF-1 в качестве молекулярных мишеней при разработке лекарств для лечения рака молочной железы. Кроме того, MAD-28 может быть использован в качестве матрицы для рационального дизайна противораковых лекарств, чье действие выражается в дестабилизации Fe-S кластеров белков NEET.

И. М. Мохосев

## Регуляция транскрипционного фактора Nrf2 и продолжительность жизни у долгоживущих грызунов

Regulation of Nrf2 signaling and longevity in naturally long-lived rodents. Kaitlyn N. Lewis, Emily Wason, Yael H. Edrey, Deborah M. Kristan, Eviatar Nevo, Rochelle Buffenstein. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3722–3727.

Биологические виды с необычно высокой продолжительностью жизни, как генетически модифицированные, так и природные, обладают повышенной сопротивляемостью эндогенным и внешним стрессорным агентам, включая окислительные и тепловые повреждения и химические мутагены. У таких животных наблюдается также высокая устойчивость к возрастным заболеваниям (сердечно-сосудистым, нейродегенеративным, раку). Механизмы, лежащие в основе такой универсальной устойчивости долгоживущих видов, пока не выяснены. Среди грызунов наиболее долгоживущим видом является голый землекоп, максимальная продолжительность жизни которого (31 год) в 5 раз превышает теоретически рассчитанную. У голых землекопов слабо выражены возрастные изменения физиологии и чрезвычайно редки связанные с возрастом заболевания. Авторы предположили, что устойчивость к стрессорным агентам и прямо зависящие от нее здоровье и долголетие связаны с активностью транскрипционного фактора Nrf2. Nrf2 экспрессируется во всех тканях в стабильных и стрессорных условиях. Он является частью консервативного цитопротекторного сигнального пути и запускает транскрипцию нескольких сотен молекул, содержащих антиоксидантный ответный элемент (ARE). К ним относятся антиоксиданты, детоксиканты, шапероны (белки теплового шока)

и субъединицы протеасом. Эти молекулы играют ключевую роль в ликвидации токсинов и окислительного стресса и поддержании протеостаза. Nrf2, в свою очередь, регулируется механизмами, которые либо стимулируют его активность, либо ускоряют его деградацию. Для проверки гипотезы о влиянии Nrf2 на продолжительность жизни авторы провели сравнительный анализ активности Nrf2 у 10 видов грызунов с разной максимальной продолжительностью жизни (maximum lifespan potential, MLSP). Исследование проводилось на видах приблизительно одного размера, т.к. существует зависимость MLSP от размера и массы тела. При этом MLSP исследованных видов варьировала от 4 лет (лабораторная мышь C57Bl/6) до 31 года (голый землекоп). Для анализа авторы брали ткани печени молодых здоровых животных обоих полов. Конститутивную активность Nrf2 исследовали по уровню связывания с ARE. Выявлена положительная корреляция между MLSP и активностью Nrf2, которая проявляется также в высоком уровне экспрессии и активности генов, регулируемых этим транскрипционным фактором. Неожиданным результатом оказалось отсутствие значимой корреляции между MLSP и уровнем самого белка Nrf2. В то же время, содержание мРНК и белка Nrf2 достоверно выше в тканях печени голого землекопа (вид с максимальной MLSP), чем у мыши C57Bl/6 (вид с минимальной MLSP). Кроме того, обнаружена отрицательная корреляция между MLSP и уровнем белков Keap1 и βTrCP, участвующих в деградации белка Nrf2. Таким образом, путем межвидового сравнения авторы впервые показали связь между продолжительностью жизни и уровнем активности транскрипционного фактора. При этом положительная связь обеспечивается не общим уровнем содержания Nrf2, а его регуляцией белками Keap1 и βTrCP.

А. А. Тунова



## Ядрышковая убиквитин-специфическая протеаза USP36 деубиквитинилирует и стабилизирует с-Мус

The nucleolar ubiquitin-specific protease USP36 deubiquitinates and stabilizes c-Myc. Xiao-Xin Sun, Xia He, Li Yin, Masayuki Komada, Rosalie C. Searsa, Mu-Shui Dai. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3734–3739.

с-Мус–транскрипционный фактор, регулирующий рост и пролиферацию клетки, апоптоз, дифференцировку, ангиогенез, метаболизм и формирование рибосом. Повышенная экспрессия с-Мус связана с онкологическими заболеваниями. При стимуляции клеточного роста этот короткоживущий белок временно стабилизируется. Его стабильность зависит от фосфорилирования в положениях T58 и S62. Фосфорилирование S62 осуществляется киназами ERK и CDK и стабилизирует с-Мус в ответ на сигналы, стимулирующие рост, а T58 фосфорилируется с участием GSK3β при прекращении стимуляции роста, что активирует дефосфорилирование S62, убиквитинилирование и деградацию белка протеасомами. Значительная часть с-Мус разрушается в ядрышках, где этот белок регулирует формирования рибосом. В ходе данного исследования был описан механизм, контролирующий этот процесс и новая ядрышковая деубиквитиназа USP36, снимающая убиквитинилирование с-Мус. Повышенная экспрессия USP36 в клетках HeLa приводит к повышению содержания с-Мус. В основе этого эффекта лежит стабилизация с-Мус за счет деубиквитинилирующей активности USP36, поскольку при мутациях, снижающих ее, содержание с-Мус падает, и пролиферация клеток останавливается. Сходный эффект наблюдался в клетках HEK293 и линии immortalized эпителия человека MCF10A, что указывает

на отсутствие тканеспецифичности у данного механизма. В эксперименте с очищенными белками было установлено, что USP36 непосредственно осуществляет деубиквитинилирование с-Мус, взаимодействуя с его N-терминальным участком. с-Мус убиквитинилируется и деградирует с участием трех форм Fbw7. Fbw7γ находится в ядрышках, а Fbw7α и Fbw7β – в нуклеоплазме и цитоплазме соответственно, в то время как USP36 располагается только в ядрышке. При иммунопреципитации было установлено, что *in vivo* USP36 формирует комплекс с с-Мус и Fbw7γ. Повышенная экспрессия USP36 препятствует разрушению с-Мус с участием как Fbw7γ, так и Fbw7α, следовательно, USP36 может снимать убиквитин, присоединенный к с-Мус как Fbw7γ в ядрышке, так и Fbw7α в нуклеоплазме. Однако взаимодействие USP36 и с-Мус происходит только в ядрышке, после чего с-Мус может вернуться в нуклеоплазму. Содержание с-Мус снижается при нокауте USP36, но при нокауте в тех же клетках гена Fbw7, оно вновь возрастает, что свидетельствует о том, что в рамках одной системы Fbw7 и USP36 осуществляют разнонаправленную регуляцию с-Мус. При мутации в сайте фосфорилирования с-Мус T58A нокаут USP36 не влияет на его стабильность, что говорит об участии фосфорилирования в обнаруженном регуляторном процессе. Ген USP36 содержит участки связывания с-Мус в экзоне 1, интроне 1 и экзоне 2. Нокаут с-Мус снижает экспрессию USP36, следовательно, с-Мус участвует в регуляции USP36 по принципу положительной обратной связи. Согласно полученным данным, Fbw7γ и USP36 динамически контролируют стабильность с-Мус в ядрышке. В нуклеоплазме, согласно литературным источникам, контроль осуществляется Fbw7α и USP28. Экспрессия USP36 активируется в опухолях легкого и молочной железы, и этот белок, вероятно, может вносить вклад в процесс канцерогенеза.

A. H. Ваганова

## Стабилизация PDE4 и структурный анализ аутоингибирующей конформации белка

Engineered stabilization and structural analysis of the autoinhibited conformation of PDE4. Peder Cedervall, Ann Aulabaugh, Kieran F. Geoghegan, Thomas J. McLellan, Jayvardhan Pandit. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E1414–E1422.

цАМФ и цГМФ играют большую роль во внутриклеточной передаче сигнала, включая их роль в качестве «вторичных мессенджеров» сигналов в G-белок-связанных рецепторах, регулировании открывания и закрывания ионных каналов лигандами, активации факторов обмена гуаниновых нуклеотидов и активации опосредованных протеинкиназами сигнальных каскадов. Члены семейства внутриклеточных белков-фосфодиэстераз отвечают за деградацию этих 3',5'-циклических нуклеотидов и тем самым ограничивают продолжительность и амплитуду передаваемых ими сигналов. У млекопитающих фосфодиэстеразы (PDE) кодируются 21 геном и подразделяются на 11 семейств на основании их аминокислотной последовательности. Семейство фосфодиэстеразы 4 представляет особый интерес, так как четыре члена этого семейства (PDE4A, PDE4B, PDE4C, PDE4D) демонстрируют высокую избирательность в отношении цАМФ в сравнении с цГМФ и поддаются ингибированию ролипрамом, который на протяжении долгого времени используется при лечении клинической депрессии. Два других ингибитора PDE4, рофлумиласт и апремиласт, также являются признанными лекарствами для лечения хронического обструктивного поражения легких и псориатического артрита, соответственно. Члены семейства фосфодиэстеразы 4 представляют собой функционально активные димеры, в которых каждая субъединица содержит два консер-

вативных участка (upstream conserved region, UCR): UCR1 и UCR2, которые располагаются перед C-концевым каталитическим доменом. Альтернативные промоторы, сайты инициации транскрипции и сплайсинг мРНК обеспечивают существование более 25 вариантов PDE4, которые обозначаются как длинные, короткие и суперкороткие формы этого фермента. В настоящей работе авторы представили кристаллическую структуру длинной формы PDE4B, содержащей участки UCR1 и UCR2 и каталитический домен. Фермент был кристаллизован в виде димера, который поддерживался дисульфидной связью, образованной двумя остатками цистеина, внедренными в UCR2 и каталитический домен. Для изучения роли консервативных N-концевых участков в процессе регуляции активности фосфодиэстеразы 4 авторы применили методы белковой инженерии, классические биохимические методы, масс-спектрометрический анализ и метод рентгеноструктурного анализа. Было показано, что взаимодействие между UCR2 и каталитическим доменом происходит в транс-конформации фермента и что это взаимодействие регулирует его каталитическую активность. Показано, что в образовавшемся гомодимере сегмент спирали регуляторного домена одной субъединицы взаимодействует с каталитическим сайтом другой субъединицы. Полученная в настоящей работе структура фосфодиэстеразы 4 предполагает возможность разработки стратегии для дизайна ингибиторов, которые будут нацелены на отдельные сплайсинговые варианты этого фермента. Авторы полагают, что осуществленное ими картирование всех известных мутаций на полученной кристаллической структуре PDE4D, которые лежат в основе акродизостозиса, редкого генетического заболевания человека, также может быть использовано исследователями для выявления механизма нарушения активности этого фермента.

И. М. Мохосоев

## Трансмембранное связывание синаптотагмина и синаптических везикул управляет несколькими режимами выброса нейромедиатора

Transmembrane tethering of synaptotagmin to synaptic vesicles controls multiple modes of neurotransmitter release. Jihye Lee and J. Troy Littleton. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3793–3798.

Синаптотагмин 1 (СТ1) является интегральным белком синаптических везикул, который регулирует выделение нейромедиаторов, активируя быстрое синхронное слияние и подавляя медленное асинхронное. Его цитоплазматический домен C2 взаимодействует с комплексом SNARE и фосфолипидами плазматической мембраны по  $Ca^{2+}$ -зависимому механизму и, как предполагается в многочисленных исследованиях, является ключевым элементом для запуска слияния мембран. Значение других структурных элементов СТ1 остается невыясненным. В данной работе анализируется, каким требованиям должна отвечать структура различных областей СТ1 для запуска выброса нейромедиатора *in vivo*. В эксперименте использовались трансгенные особи дрозофил с различными модификациями белков СТ1, функциональные особенности изучались на модели глутаматергических синапсов — нервно-мышечном соединении. Предыдущие исследования СТ1 *in vitro* фокусировались в основном на цитоплазматическом домене этого белка, который способствует  $Ca^{2+}$ -зависимому слиянию мембран. В настоящем исследовании были созданы несколько модифицированных конструкций СТ1 дрозофилы: без трансмембранного домена (цитоплазматическая локализация C2A-C2B); со связывающим C2A-C2B доменом, удлинненным в 2 раза, или вовсе без него; с перевернутой последовательностью

доменов (C2B-C2A); с измененным механизмом связывания кальция. Функциональные эффекты таких изменений оценивались путем измерения возбуждающих постсинаптических потенциалов (ВПСП), возникающих при стимуляции нерва. Было обнаружено, что цитоплазматическая локализация СТ1 значительно способствует асинхронному компоненту синаптических ответов, что обусловлено, по-видимому, увеличением времени связывания мембран и SNARE-комплексов. Расстояние от везикулярной мембраны, на котором располагались C2 домены, также влияло на синаптическую передачу: при отсутствии связывающего домена ВПСП не наблюдался, тогда как при удлинении домена в два раза ВПСП практически не отличался от такового в норме. Эти результаты указывают на то, что связывающий домен должен иметь некую минимальную длину, чтобы обеспечивалось слияние мембран и синхронный выброс медиатора. Пока неизвестно, насколько гибким является связывающий домен в естественных условиях, но данные указывают на то, что СТ1 не обязательно должен «тянуть» синаптическую везикулу непосредственно к самой плазматической мембране, чтобы обеспечить сближение двух липидных бислоев. В эксперименте также было показано, что изменение последовательности доменов от нормальной (C2A-C2B) к перевернутой (C2B-C2A) привело к невозможности синхронного слияния синаптических везикул *in vivo*. Данный факт позволяет предположить, что для обеспечения слияния мембран должны выполняться определенные требования к пространственной конфигурации при взаимодействии двух C2 доменов. Таким образом, СТ1 может обеспечивать быстрое синхронное слияние синаптических везикул и выброс нейромедиатора только при правильной ориентации C2 доменов, привязанных конкретно к синаптической везикуле на соответствующем расстоянии, что позволяет регулировать кинетику слияния везикул.

Д. Р. Галимова

# Медицина

## Фосфодиэстераза 9А контролирует азотно-оксидно-независимый гуанозинмонофосфат (сGMP) и увеличивает риск сердечных заболеваний

Phosphodiesterase 9A controls nitric-oxide-independent cGMP and hypertrophic heart disease. Dong I. Lee, Guangshuo Zhu, Takashi Sasaki, et. al. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 472–476.

Более 5 млн американцев страдают сердечной недостаточностью. При этом состоянии сердце не может перекачивать достаточно крови и кислорода по всему организму, чтобы питать другие органы. Для того чтобы сердце нормально функционировало, проводящие пути должны быть в рабочем состоянии. Причиной большинства случаев сердечной недостаточности являются нарушения в проводящих путях. Химические вещества — оксид азота и натрийуретический пептид стимулируют каждый путь для получения сигнальной молекулы цГМФ, которая активирует белок PKG, влияющий на сердечную мышцу. Авторы утверждают, что обнаружили фермент, который вызывает остановку сердца, и лекарство, которое блокирует этот фермент. Функционирование сердечной мышцы является результатом сложного, но вполне синхронизи-

рованного взаимодействия нескольких белков, ферментов и гормонов. Результаты исследования показывают, что PDE-5 и PDE-9 являются независимыми ферментами, каждый из которых ведет к повреждению сердечной мышцы, но делают они это с помощью различных средств. Более ранние исследования показывали, что избыток PDE-5 приводит к повреждению проводящего пути сердца, сталкиваясь с сигнальной молекулой цГМФ и белком PKG. Авторы обнаружили, что избыток PDE-9 вызывает сердечную недостаточность, мешая цГМФ во втором проводящем пути сердца. PDE-9 ускоряет распад цГМФ, что уменьшает производство белка PKG. Это может привести к образованию рубцов и повреждению в сердечной мышце. В эксперименте ученые давали мышам с сердечной недостаточностью ингибитор PDE-5, ингибитор PDE-9 или плацебо в течение 4 недель. Они обнаружили, что мыши, получавшие PDE-5 или PDE-9, показали значительные улучшения сердечной мышечной массы и ее функции. С практической точки зрения это подтверждает то, что сохранение функции в одном из путей может предотвратить развитие заболевания. Авторы отмечают, что лекарства, которые блокируют деятельность PDE-9, проходят тестирование при болезни Альцгеймера и могут быть использованы для лечения сердечной недостаточности у человека.

В. В. Стрекопытов

## Ретровирусные векторы повышают уровень коэкспрессированных белков в *trans* посредством кэп-зависимой трансляции

Retroviral vectors elevate coexpressed protein levels in *trans* through cap-dependent translation. Yongqiang Gou, Hyewon Byun, Adam E. Zook, Gurvani B. Singh, Andrea K. Nash, Mary M. Lozano, Jaquelin P. Dudley. PNAS. 2015. Vol. 112. No 11. P. 3505–3510.

Согласно общепринятому мнению, когда клетка выявляет внутри себя чужеродную ДНК, она останавливает синтез белков, чтобы предотвратить распространение вируса по организму хозяина. Результаты исследования показали, что внедрение такой ДНК приводит к активации другой системы обнаружения в клетке. Это не блокирует экспрессию белка, а наоборот, усиливает ее. Авторы разработали метод усиления синтеза клеткой специфических белков, получаемых с генов, внедренных методом трансфекции. Основная задача ДНК-вакцин — синтез в клетке новых белков, которые способны вызвать иммунный ответ организма и остановить

заболевание. Предложенный метод «заставляет» клетки синтезировать в 5–20 раз больше новых белков, чем ранее разработанные методы. Увеличивая количество синтезируемых клеткой белков, новый метод вызывает более мощный иммунный ответ у пациентов, получивших ДНК-вакцину. За счет того, что человеку можно вводить меньше вакцины, уменьшается риск, ассоциированный с непреднамеренной атакой иммунной системы хозяина здоровых клеток организма. Полученные результаты помогут усовершенствовать другой экспериментальный метод — генотерапию наследственных заболеваний, основанный на замещении неправильно функционирующих генов или нарушении их работы. Для лечения болезни Паркинсона, гемофилии, лейкемии, муковисцидоза и других заболеваний было предложено использовать генную терапию, но метод оказался сложным, поскольку в некоторых случаях он может вызвать развитие рака или иммунного ответа организма на клетки с внедренными генами. Инновационный метод усиления синтеза новых белков может предотвратить развитие этих нежелательных последствий терапии за счет внедрения меньшего количества ДНК.

В. В. Стрекопытов



## Вакцины, содержащие новейший TLR7-зависимый адъювант, обеспечивают эффективную защиту от *Staphylococcus aureus*

Vaccine composition formulated with a novel TLR7-dependent adjuvant induces high and broad protection against *Staphylococcus aureus*. Fabio Bagnoli, Maria Rita Fontana, Elisabetta Soldaini, et. al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3680–3685.

*Staphylococcus aureus* – патоген, вызывающий у человека угрожающие жизни заболевания. Широко распространены устойчивые к антибиотикам штаммы *S. aureus*, в связи с чем необходимо разработать вакцину против этого патогена. На сегодняшний день эффективные методы иммунизации человека против *S. aureus* отсутствуют из-за способности бактерии вырабатывать вирулентные факторы, нарушающие почти все пути врожденного и приобретенного иммунитета. В данном исследовании для разработки действенной вакцины были отобраны консервативные антигены, выполняющие различные функции в патогенезе *S. aureus*: секреторируемые факторы –  $\alpha$ -гемолizin и внеклеточные EsxA и EsxB и два поверхностных белка, участвующих в поглощении гидроксидом железа, – D2 и антиген стафилококка 1A. Для предотвращения токсических эффектов факторов вирулентности использовали мутантный  $\alpha$ -гемолizin и химерный белок EsxAB, образованный слиянием EsxA и EsxB. Для проверки эффективности вакцин, содержащих гидроксид алюминия и один из этих антигенов или их смесь, после иммунизации мышам вводили сублетальные дозы одного из 5 штаммов *S. aureus* и через 4 дня подсчитывали численность бактерий в гомогенатах почек. Комбинированная вакцина проявила наибольшую эффективность. При индукции перитонита

4 дополнительными штаммами эффективность комбинированной вакцины составила 53–78% (при периоде наблюдения 15 дней). Выживаемость вакцинированных мышей при пневмонии составила 47–87% (за исключением заражения штаммом Mu50). При кожной инфекции (с периодом наблюдения 14 дней) использование комбинированной вакцины препятствовало абсцессу, дермонекрозу и размножению бактерий. Комбинированная вакцина стимулировала выработку функционально активных антител, способствующих опсонизации и фагоцитозу. Сыворотка крови вакцинированных животных обеспечивала уничтожение около 40% в течение часа инкубации. Роль антител в защите от инфекции была показана в экспериментах с пассивным переносом. Сыворотку крови иммунизированных кроликов вводили мышам за сутки до инфицирования *S. aureus*, что повысило выживаемость мышей до 58% (против 19% в контроле). При включении в состав вакцины адсорбированного на гидроксиде алюминия SMIP.7-10 – искусственного агониста Toll-подобного рецептора TLR7 – удалось достичь почти 100% защиты от четырех штаммов стафилококка в летальных дозах. Новый состав вакцины не только позволил получить высокий титр антител против всех антигенов, кроме  $\alpha$ -гемолизина, но, как показал анализ изотипов антител и профилей цитокинов, также вызвал усиленный Th1-ответ. В присутствии вакцины с SMIP.7-10 возросло содержание антигенспецифичных IgG2a и IgG2b и IgG1, специфичных не ко всем антигенам. В присутствии обоих вариантов комбинированной вакцины возросло число Т-клеток, секреторирующих интерлейкин IL-2, фактор некроза опухоли и интерферон- $\gamma$  *in vitro*, но только вакцина без SMIP.7-10 стимулировала секрецию IL-4 и IL-13. Полученные данные демонстрируют эффективность вакцин, состоящих из смеси консервативных антигенов и Th1/Th7-адъювантов.

А.Л. Братцева

## Структура РНК-геномов вируса гепатита С функционально консервативна

Functionally conserved architecture of hepatitis C virus RNA genomes. David M. Mauger, Michael Golden, Daisuke Yamane, Sara Williford, Stanley M. Lemon, Darren P. Martin, Kevin M. Weeks. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. E3692–E3697.

Вирусом гепатита С (HCV) заражено более 170 миллионов людей по всему миру, и он является основной причиной многих болезней печени, включая рак. Против него нет вакцины, а проводимое лечение, как правило, малоэффективно, и в 70% случаев пациенты становятся хроническими носителями HCV. Геном вируса представлен линейной одноцепочечной смысловой РНК длиной 9650 нуклеотидов, которая может быть инфекционной даже в изолированном виде. РНК-геном HCV эволюционировал под давлением отбора, при этом появились консервативные последовательности, облегчающие репликацию и помогающие избежать ликвидации вируса с помощью иммунных процессов, протекающих в клетке. Около 80% структуры генома вируса остается неисследованной. Для создания и функциональной проверки искусственных структурных моделей трех различных РНК-геномов вируса гепатита С (генотипы 1a, 1b и 2a), созданных с помощью *in vitro* транскрипции, были использованы данные, полученные с помощью высокоэффективного секвенирования. *De novo* были обнаружены многочисленные участки консервативных последовательностей РНК, включающие в себя как все ранее охарактеризованные, действующие в цис-положении регуляторные элементы, так и большое количество новых структур, необходимых для оптимальной репликации виру-

са. Основываясь на результатах, полученных с помощью оценки энтропии Шэннона и анализе селективного 2'-гидроксил ацилирования методом удлинения затравки, были предсказаны участки HCV геномов, способные образовывать определенные вторичные структуры. Присутствие в геномах вирусов многочисленных участков, содержащих функционально консервативные структуры высших порядков, было предположено на основании консервативности спаривания оснований. Хорошо охарактеризованные структуры РНК в центральных областях генома вируса принимают участие в обеспечении устойчивости вирусной инфекции путем защиты генома вируса от РНКазы L и от элементов врожденного иммунитета, чувствительных к двуцепочечным РНК. Такие структуры появились в геноме вируса за счет приобретенных в процессе эволюции укороченных двуцепочечных участков РНК спирали, а также за счет расположения мотивов, чувствительных к РНКазе L, в неблагоприятных для ее работы структурных условиях. Модели, описанные в статье, создают основу для понимания процессов, которые обуславливают патогенез HCV. Работа ясно показывает, как сравнительный анализ структуры целых геномов и искусственных моделей патогенных РНК-вирусов позволяет быстро и подробно определить их регуляторные элементы, участвующие в репликации, функционировании и экспрессии генов, а также обратить внимание на структурные взаимодействия в РНК-геноме и лучше понять биологию вируса и иммунный ответ организма. Такая точная стратегия исследования может быть широко использована для изучения и других вирусов с одноцепочечным РНК-геномом, которые представляют сейчас и которые могут представлять в дальнейшем серьезную угрозу для здоровья человечества.

А. Э. Ходосевич

## Предсердный натрийуретический пептид предотвращает метастазирование через эндотелий

Atrial natriuretic peptide prevents cancer metastasis through vascular endothelial cells. Takashi Nojiri, Hiroshi Hosoda, Takeshi Tokudome, Koichi Miura, Shin Ishikane, Kentaro Otani, Ichiro Kishimoto, Yasushi Shintani, Masayoshi Inoue, Toru Kimura, Noriyoshi Sawabata, Masato Minami, Tomoyuki Nakagiri, Soichiro Funaki, Yukiyasu Takeuchi, Hajime Maeda, Hiroyasu Kidoya, Hiroshi Kiyonari, Go Shioi, Yuji Arai, Takeshi Hasegawa, Nobuyuki Takakura, Megumi Hori, Yuko Ohno, Mikiya Miyazato, Naoki Mochizuki, Meinoshin Okumura, Kenji Kangawa. PNAS. 2015. Published ahead of print March 16, 2015, doi:10.1073/pnas.1417273112.

Основной причиной смерти при злокачественных опухолях является метастазирование. Хирургическое удаление солидных опухолей также является фактором риска: оно сопровождается травмой, способной привести к попаданию опухолевых клеток в кровотоки, системному воспалению или обоим этим последствиям. Ранее авторы данного исследования продемонстрировали профилактическое противовоспалительное действие предсердного натрийуретического пептида (ПНП) в послеоперационном периоде. В настоящей работе было показано, что применение ПНП после операции значительно снижает риск рецидива. С учетом коэффициента склонности безрецидивная выживаемость больных раком легких в течение 2 лет после операции составила 91% (против 67% в контроле). Известно, что ПНП специфично связывается с рецептором гуанилилциклазы-A-NPR1. Гуанилилциклаза-A усиленно экспрессируется эндотелием сосудов и выполняет защитную функцию в сердечно-сосудистой системе. В эксперименте на мышах было показано, что метастазирование не экспрессирующих ген гуанилилциклазы-A (GC-A) клеток меланомы в легкие усиливалось при нокауте GC-A в эндотелии. У трети мышей с нокаутом

метастазы развивались не только в легких, но и в сердце. Их выживаемость существенно снизилась. Метастазирование у трансгенных мышей с чрезмерной экспрессией GC-A, напротив, было замедленно по сравнению с диким типом. Таким образом, активируемая ПНП гуанилилциклаза-A эндотелия препятствует гематогенному метастазированию. Также было изучено влияние ПНП на метастазирование у мышей после инъекций липополисахаридов, т.е. имитации условий системного воспаления, часто развивающегося после операции. Степень адгезии раковых клеток к эндотелию, являющейся начальным этапом метастазирования, была пропорциональна дозе липополисахаридов. ПНП ингибировал адгезию опухолевых клеток к эндотелию легочной артерии и мелких сосудов и индуцируемую липополисахаридами экспрессию E-селектина, способствующего инфильтрации иммунцитов и развитию воспаления. Экспрессия этой молекулы адгезии усиливается при перемещении в ядро ядерного фактора NF-κB, и ПНП препятствовал накоплению NF-κB в ядрах эндотелиоцитов легочной артерии. Иммуногистохимическое окрашивание также показало, что предварительное введение ПНП задерживает повышение уровня экспрессии E-селектина после инъекций липополисахаридов. Кроме того, нейтрализующие E-селектин антитела затрудняли метастазирование меланомы в легкие, что подтверждает роль этой молекулы адгезии в распространении опухолевых клеток. При этом в эндотелии легочной артерии с нокаутом GC-A ПНП не препятствовал индуцированной липополисахаридами экспрессии E-селектина. Таким образом, ПНП препятствует метастазированию, подавляя воспалительную реакцию со стороны эндотелия и действуя через рецептор гуанилилциклазы-A в неопухолевых клетках. В связи с этим эндогенный физиологический ПНП может применяться без риска побочного токсического действия для лечения любых злокачественных опухолей в органах, где экспрессируется этот рецептор.

А. Л. Братцева

## Выделение и идентификация пептидов, лиганд таргетинг модели кастрационно-резистентного остеогенного рака простаты и их рецепторов

Selection and identification of ligand peptides targeting a model of castrate-resistant osteogenic prostate cancer and their receptors. Jami Mandelin, Marina Cardó-Vila, Wouter H. P. Driessen, Paul Mathew, Nora M. Navone, Sue-Hwa Lin, Christopher J. Logothetis, Anna Cecilia Rietz, Andrey S. Dobroff, Bettina Proneth, Richard L. Sidman, Renata Pasqualini, Wadih Arap. PNAS. 2015. Vol. 112. No. 12. P. 3776–3781.

Андрогенная депривация до сих пор является стандартной терапией метастатического рака предстательной железы. Несмотря на благоприятный начальный ответ на такую терапию, в большинстве случаев болезнь прогрессирует, становится андроген-независимой и порождает метастазы в мягких тканях и в костной ткани, что, в конечном счете, приводит к смерти. Очищение опухолевого гомогената, взятого от человека с андроген-независимым раком простаты, с помощью аффинной хроматографии и последующая масс-спектрометрия выявили рецепторы пептидов PKRGFQD

(6-2-макроглобулин) и GRP78 (78-kDa glucose-regulated protein). Показано, что GRP78 и 6-2-макроглобулин высокоактивны в остеобластных андроген-независимых клетках рака простаты *in vivo*. Эти ранее неизвестные лиганд-рецепторные системы должны быть изучены для целенаправленной разработки лекарственных препаратов против метастатического андроген-независимого рака простаты человека. Данное исследование показало, как успешно может применяться технология фагового дисплея на моделях *in vivo* и продвигает молекулярную онкологию путем выявления узнающих опухоль пептидов и их рецепторов-мишеней. Эти результаты крайне важны, так как варианты лечения по-прежнему ограничены для больных раком предстательной железы, у которых прогрессировало развитие кастрационно-резистентных остеобластных костных метастазов. Пептиды, идентифицированные в этом исследовании, могут привести к прорывам в борьбе с метастатическим андроген-независимым раком простаты, позволяя осуществлять направленную доставку лекарственных препаратов. Создание терапевтических стратегий на основе нанотехнологии могут привести к значительным успехам в управлении и терапии этого тяжелого заболевания.

С. В. Зворыкина

# Нейронауки и психология

## Скрытая структура в случайных последовательностях как фактор рациональной предвзятости в обучении нейронных сетей

Latent structure in random sequences drives neural learning toward a rational bias. Yanlong Suna, Randall C. O'Reillyb, Rajan Bhattacharyyac, Jack W. Smitha, Xun Liud, Hongbin Wang. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3788–3792.

Человеческий разум обладает уникальной способностью находить порядок в хаосе, склонен к поиску паттернов (шаблонов) в последовательности событий, даже совершенно случайных. Историческим свидетельством этого свойства является знаменитый случай в казино Монте-Карло в 1913 г., когда черное выпало рекордные 26 раз, уже примерно после 15 повторений, стали стремительно расти ставки на красное. Ошибкой игрока называют восприятие случайных последовательностей, основанное на убеждении, что шанс — самокорректирующийся процесс, в котором отклонение в одном направлении индуцирует отклонение в противоположном. Кора головного мозга (неокортекс) интегрирует поступающую информацию, что позволяет интеллекту схватывать различные статистические структуры, заключенные в случайных последовательностях. Человек, как правило, не способен сам генерировать случайные последовательности в связи с предвзятостью ошибки игрока, чрезмерным использованием переменных паттернов и избеганием их повторения. Ученые совершили попытку объяснить нейронную основу этой предвзятости в терминах биологически-обоснованной нейронной модели, способной обучаться на ошибках в предсказании. Модель основана на вычислительной структуре, отражающей нейронные основы познания в соответ-

ствии со свойствами глубоких нейронов неокортекса (5 и 6 слой). Целью исследований являлось наглядное свидетельство, что биологически-обоснованная модель нейронной сети реагирует на впервые обнаруженный паттерн (время ожидания) и на частоту проявления паттерна (среднее время). Модель непосредственно создает удобный параметр приращения для существующей байесовской модели, который приводится в точное соответствие с процессами создания случайной последовательности человеком. Таким образом, предусмотрена нейронная основа обучения пространственным предубеждениям ошибки игрока, когда люди систематически делают поправку на повторение и придают особое значение чередованию. Результаты исследований подтверждают рациональное объяснение человеческих вероятностных рассуждений и общие перспективы, объединяющие неуправляемое обучение без инструкции с обобщением структурированных и выразительных правил. Ученые пришли к выводу, что скрытая структура простых вероятностных последовательностей формирует динамику обучения в нейронной модели — это альтернативное «рациональное» объяснение того, что обычно рассматривается как любопытная неспособность человека к пониманию вероятности. Результаты показывают, что статистика времени ожидания может быть имплицитно схвачена обучающим механизмом временного интегрирования, без инструкции, путем эффекта привязанности к просмотренному через поступающие стимулы. Кроме того, выявлена связь между временным распределением интеллектуального обучения и абстрактными структурированными представлениями. Важность работы состоит в подтверждении идеи о том, что временные механизмы интеграции в полученной нейронной модели четко отражают аналогичные процессы в человеческом мозгу, что открывает перспективы для углубленного понимания непредсказуемого поведения нейронных моделей.

*Е. М. Степанова*

## Распад модульной организации функциональных сетей мозга при осознаваемом восприятии

Breakdown of the brain's functional network modularity with awareness. Douglass Godwin, Robert L. Barry, Rene Marois. PNAS. V. 112. No 12. P. 3799–3804.

Каким образом в мозге рождается сознание, это одна из наиболее фундаментальных и сложных для понимания проблем в нейронауке, психологии и философии. Вследствие этого данная проблема породила значительное число теорий, которые различаются по предполагаемой степени вовлечения кортикальных и субкортикальных процессов, связанных с процессами осознания, простирающихся от локальных изменений до глобальных изменений функциональной связанности. В то время как очаговые теории постулируют главным образом локальные региональные изменения, глобальные теории считают, что осознание возникает из широко-

го распространения нейронных сигналов по сенсорным и ассоциативным областям коры. В данной работе с помощью анализа, основанного на теории графов, исследовали масштаб мозговых изменений (функциональной связанности), связанных с осознанным восприятием. Анализ проводился на данных об активности головного мозга, полученных с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии с ультравысоким магнитным полем, при выполнении испытуемыми задач обнаружения целевого объекта с прямой и обратной маскировкой (использование обратной маскировки приводит к отсутствию осознаваемой детекции). Было обнаружено, что осознанное восприятие зрительного целевого объекта связано с распадом модульной организации мозговых функциональных сетей, возникающим вследствие увеличения межмодульной функциональной связанности. Полученные результаты дают убедительное доказательство того, что осознание связано с действительно глобальными изменениями функциональной связанности мозга.

*О. Е. Сварник*



## Специфический для человека ген ARHGAP11B способствует размножению базальных клеток-предшественников и увеличению размеров неокортекса

Human-specific gene ARHGAP11B promotes basal progenitor amplification and neocortex expansion. Marta Florio, Mareike Albert, Elena Taverna, Takashi Namba, Holger Brandl, Eric Lewitus, Christiane Haffner, Alex Sykes, Fong Kuan Wong, Julia Peters, Elaine Guhr, Sylvia Klemroth, Kay Prufer, Janet Kelso, Ronald Naumann, Ina Nusslein, Andreas Dahl, Robert Lachmann, Svante Paabo, Wieland B. Huttner. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1465–1470.

Увеличение размеров неокортекса является отличительной чертой эволюции приматов (особенно человека). Это связано с усиленной пролиферацией клеток-предшественников из апикальной радиальной глии (aRG), в результате чего в период эмбрионального кортикогенеза расширяется субвентрикулярная зона (CB3). Задача исследования – выделить специфические типы клеток-предшественников неокортекса из человеческого эмбриона и сравнить их с аналогичными типами клеток из эмбриональной коры головного мозга мыши. С помощью флуоресцентного сортирования были выделены: aRG, базальная радиальная глия (bRG), нейроны, контактирующие с базальной пластинкой и базальные промежуточные предшественники (bIP). Анализ экспрессии генов показал, что у мышей bRG очень похожа на bIP и нейроны, но отличается от aRG. В связи с этим был предпринят поиск функциональных связей в наборе генов, которые имеют сходные уровни экспрессии в aRG и bRG у человека, но с пониженной экспрессией в bRG по сравнению с aRG у мышей. Проанализированы транскрипты субпопуляций различных предшественников, выделенных с помощью подхода, основанного на клеточной полярности. Авторы сосредоточили свое

внимание на 56 генах человека (ортологи которых отсутствовали у мышей), так как они были главными претендентами на то, чтобы лежать в основе увеличения bRG. Среди них ген ARHGAP11B, имеющий самую высокую степень специфической для радиальной глии экспрессии. Уровни мРНК гена ARHGAP11B оказались одинаково высокими в aRG и bRG вентрикулярной зоны (B3), внутренней и внешней CB3, но практически не обнаружены в корковых нейронах и кортикальной пластинке. Ген ARHGAP11B появился на человеческой родословной в процессе эволюции после расхождения с родословной шимпанзе путем частичного дублирования ARHGAP11A, который кодирует в животном царстве активирующий гуанозинтрифосфатазу белок Rho-семейства (RhoGAP). В отличие от ARHGAP11A, ARHGAP11B не проявляет RhoGAP-активности. Чтобы исследовать функцию ARHGAP11B в кортикогенезе, он был введен путем электропорации и экспрессирован в неокортексе мышей на 13,5 день эмбрионального развития. А на 14,5 день авторы сделали микроинъекцию мРНК ARHGAP11B в aRG органотипического среза культуры клеток неокортекса. Данные микроинъекции стали результатом увеличения потомства клеток aRG. Выявлено также, что экспрессия ARHGAP11B в лиссэнцефалическом неокортексе мышей, индуцированная на 13,5 день, стала результатом складчатости неокортекса на 18,5 день эмбрионального развития, напоминая гирификацию – отличительную черту человеческого неокортекса. Методология выделения кортикальных субпопуляций предшественников, установленная в данной работе, может быть применена и к другим видам млекопитающих, в том числе приматам, открывая возможности для сравнительных эволюционных исследований. Таким образом, авторы определили ARHGAP11B как специфический для человека ген, который увеличивает количество базальных клеток-предшественников и способен вызывать складчатость неокортекса у мышей.

*Н. В. Карпов*

## Осознанные намерения мотивируют людей к преувеличению видимого ущерба

Perceived intent motivates people to magnify observed harms. Daniel L. Ames, Susan T. Fiske. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3599–3605.

Существующие подходы в психологии нравственности склонны объяснять некоторые феномены с точки зрения мотивации вины, как потребности приписывать вину для выражения морального осуждения или наказания. Настоящие исследования вводят новые методы для оценки этого теоретически важного стимула, используя в качестве инструментария модели поведения животных. В ходе работы было проведено два основных эксперимента. Первый эксперимент отвечал на вопросы, может ли причиненный вред мотивировать к обвинению или просто демонстрирует внутреннюю наказуемость. Целью этого эксперимента был поиск поведенческих коррелятов мотивации у животных, а полученные модели далее проверялись на людях. В итоге, в соответствии с мотивационной интерпретацией, в случаях умышленного вреда участники отдавали предпочтение обвинению, осуждению и наказанию, а не альтернативным вариантам. Второй эксперимент также измерял мотивацию, но в соответствии с показателями настойчивости (усилие, скорость и продолжительность). Как и ожидалось, мотивированные люди в эксперименте проявляли больше усилий, в то время как, немотивированные были склонны избегать сложных задач. Теории дуальных процессов, разделяющие моральное суждение на автоматический и управляемый компонент, придают весомость мотивированным этическим рассуждениям и ограниченной рациональности. Тем не менее, вопрос о происхождении познавательного процесса может быть ор-

тогонален вопросу о мотивированности этого процесса. Психологическая литература показывает, автоматические и управляемые психические процессы могут быть, как мотивированы, так и не мотивированы. Таким образом, хотя общество заботится об обнаружении и предотвращении опасного поведения, и все согласны с тем, что приведение нарушителей к ответственности путем обвинения имеет важное значение для поддержания общественного порядка, открытым остается вопрос: что определяет степень виновности. В данных исследованиях представлен новый методологический подход к оценке мотивации вины, основанный на модели поведения животных. Предполагается, что такие методы будут полезны для исследователей, изучающих моральные суждения, и другие темы, где роль мотивации остается неясной. Примечательно, что последняя работа о «преувеличении ущерба» доказывает, что люди склонны к переоценке ущерба, причиненного умышленно. Этот эффект по-видимому, возникает, по крайней мере частично, от мотивации вины, однако это косвенное утверждение. Полученные данные представляют собой принципиально первый шаг к артикуляции мотивационного компонента преувеличения ущерба, организуя понятийный аппарат для других смежных исследований. Что касается вреда от эффекта преувеличения, настоящие исследования подтверждают мотивацию людей к обвинению нарушителей, причинивших умышленный вред. Исследование показало, что предубеждения возникают из мотивации, интенционально влияя на прогнозы численных величин параметров вероятности. Осознанные намерения выступают как катализатор мотивированного социально-познавательного процесса, связанного с социальным прогнозированием и управлением.

*Е. М. Степанова*

## Нейронные сети, опосредующие воспроизведение приобретенного страха, сменяют друг друга со временем

A temporal shift in the circuits mediating retrieval of fear memory. Fabricio H. Do-Monte, Kelvin Quinones-Laracuente, Gregory J. Quirk. *Nature*. 2015. V. 519. No 7544. P. 460–465.

Приобретенный страх дает возможность животным избегать опасности, что повышает их шансы на выживание. Приобретенный страх может извлекаться из памяти через длительные периоды после обучения, однако немного известно о том, как извлечение из памяти изменяется со временем. В данной работе показано, что дорзальная срединная часть таламуса является необходимой для воспроизведения условно-рефлекторной реакции страха на поздних (24 часа, 7 дней, 28 дней), но не на ранних (0,5 часа, 6 часов) сроках после обучения. Воспроизведение на более позд-

них этапах после обучения активировало нейроны прелимбической префронтальной коры, имеющие проекции в паравентрикулярные ядра таламуса. Кроме того, подавление этих проекций с помощью методов оптогенетики, нарушало воспроизведение на поздних, но не на ранних этапах после обучения. И наоборот, подавление входов нейронов прелимбической коры в базолатеральную миндалину нарушало воспроизведение на ранних, но не на поздних этапах после обучения. Воспроизведение на поздних после обучения этапах также активировало нейроны паравентрикулярных ядер, имеющих проекции в центральное ядро миндалины. Подавление активности этих проекций на поздних, но не на ранних этапах после обучения приводило к устойчивому снижению страха. Таким образом, нейроны паравентрикулярных ядер действуют как ключевой таламический «узел», вовлеченный в кортико-миндаловые сети, участвующие в поддержании и воспроизведении долговременной памяти о приобретенном страхе.

*О. Е. Сварник*

## Лечение заболеваний головного мозга с помощью нейромодуляции

Treating brain disorders with neuromodulation. Yasin Temel, Ali Jahanshahi. *Science*. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1418–1419.

Изменения активности определенных мозговых структур с целью понимания их функций, а также — управления дисфункциями, было постоянной миссией нейробиологов. В числе последних достижений следует назвать оптогенетику, хемогенетику и недавно разработанный метод магнитотепловой нейромодуляции. Этот метод подразумевает активацию специфических нейронов с помощью теплоизлучающих наночастиц, которые реагируют на внешне приложенное магнитное поле. Ученые встроили теплочувствительный кальциевый ионный канал TRPV1 в нейроны вентральной тегментальной области (ВТО) мозга мыши. Четыре недели спустя в ту же область инъектировали магнитные наночастицы. Затем мышей подвергли действию внешнего переменного

магнитного поля, под действием которого наночастицы излучали тепло, достаточное для активации TRPV1 каналов. В результате приток кальция вызывал деполяризацию мембраны и возбуждение нейронов, активность также вызывала экспрессию генов в нейронах, содержащих TRPV1. Кроме того активировались нейроны префронтальной коры, которые получали сигнал от ВТО. Данный подход весьма оригинален, но имеет очевидные ограничения в отношении использования его в клинической практике. Насколько безопасно нагревание, наличие магнитных частиц в мозге, использование вирусных инструментов? Будут ли наночастицы реагировать на другие магнитные поля, с которыми каждый сталкивается в повседневной жизни? Остается актуальной проблема использования магнитотепловой нейромодуляции в качестве инструмента для возбуждения конкретных субпопуляций нейронов с помощью дистанционного управления. Однако новый метод может иметь огромное значение для расширения наших знаний о мозге в норме и патологии.

*Д. Р. Галимова*

## Беспроводная магнитотепловая стимуляция глубоких структур мозга

Wireless magnetothermal deep brain stimulation. Ritchie Chen, Gabriela Romero, Michael G. Christiansen, Alan Mohr, Polina Anikeeva. *Science*. 2015. V. 347. No 6229. P. 1477–1480.

Стимуляция глубоких структур мозга при определенных неврологических расстройствах может положительно влиять на симптоматику этих заболеваний, но в данный момент такая стимуляция возможно только посредством имплантируемых электродов. Технологии следующего поколения используют акустические, электромагнитные и оптические сигналы. Низко-радиочастотные изменяющиеся магнитные поля (100 кГц — 1 МГц) могут проникать в ткань без существенного рассеяния, что позволяет доставлять сигналы в глубокие структуры мозга. Изменение магнитных полей может быть преобразовано в биологические стимулы посредством магнитных нано-

частиц, которые распространяют тепло. Хотя нагрев магнитных наночастиц исследуется в качестве клеточно-разрушительной терапии в магнитной гипертермии в течение последних 50 лет, этот эффект только недавно был предложен в качестве контроля деполяризации клеточной мембраны и экспрессии генов, например, у беспозвоночных. Магнитотепловой контроль нейронной активности *in vivo* у млекопитающих ранее не был продемонстрирован. Для достижения обратимой нейронной активации с помощью изменяющихся магнитных полей в данной работе была разработана схема контроля внутриклеточного кальция посредством сенситизации клеток к теплу, генерируемому магнитными наночастицами. Минимально инвазивное и удаленное нейронное возбуждение достигалось через активацию тепло-чувствительных рецепторов TRPV1, осуществляемую магнитными наночастицами. Наночастицы просуществовали в мозге больше месяца, что позволяло делать хроническую стимуляцию без имплантов и коннекторов.

*О. Е. Сварник*

## Природа нарциссизма у детей

Origins of narcissism in children. Eddie Brummelman, Sander Thomaes, Stefanie A. Nelemans, Bram Orobio de Castro, Geertjan Overbeek, Brad J. Bushman. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3659–3662.

В последние годы уровень нарциссизма среди западной молодежи резко вырос. Это стало еще одной социальной проблемой, такой же, как насилие или агрессия. Тем не менее, природа нарциссизма до конца не выяснена. Очевидно, что от тех приемов, которыми пользуются родители для воспитания своего ребенка, во многом зависит его будущий характер. Авторы провели опрос 565 детей в возрасте от 7 до 11 лет, а также их родителей в Нидерландах. И те и другие заполняли специальные анкеты на протяжении почти двух с половиной лет. Анкеты были разработаны для оценки того, насколько ребенок склонен к нарциссизму, или насколько он уверен в себе. Также с помощью анкет психологи узнавали о мерах воспитания, которыми пользовались родители. В основе опроса было два утверждения, согласие с которыми родители и дети должны были оценить по шкале, относя свои предпочтения к этим утверждениям: 1) «Мой ребенок — лучший пример для подражания для других детей» или «Я — лучший пример для подражания для других детей»; 2) «Я всегда стараюсь показать своему ребенку, как сильно я люблю его» или «Я всегда чувствую тепло, любовь и заботу своих родителей по отношению ко мне». В результате выявилась прямая зависимость: дети, чьи родители повторяли, что их ребенок особенный и отличается от других детей и заслуживает особых преимуществ в жизни, имели более высокую оценку в тесте на нарциссизм, чем их сверстники, которых родители расхваливали не так сильно. У тех родителей, которые всячески

стараются завязать самооценку своего ребенка, часто вырастают самовлюбленные эгоисты, склонные к нарциссизму. А вот у детей, которые в большей степени чувствовали тепло и любовь родителей, было развито чувство собственно достоинства и уверенности в себе. Стоит отметить, что исследователи проводят четкую грань между избыточной похвалой и системой поощрения. В ходе опроса выяснилось, что у молодых людей, которые рассказывали, что родители окружали их лаской и заботой, а также поощряли за успехи, была более высокая самооценка, но низкий индикатор нарциссизма. Разница в том, что люди с высокой самооценкой довольны собой и своей жизнью, но не считают себя примером для подражания для других членов общества. По словам авторов, важно не завязывать самооценку ребенка, а воспитывать в нем чувство самоуважения и собственного достоинства, тогда это приведет к развитию чувства уверенности в себе. Уверенные в себе люди считают себя такими же достойными, как и все остальные. А люди, склонные к нарциссизму, считают, что они лучше других. Авторы утверждают, что воспитание высокой самооценки и чувства собственного достоинства у детей должно сопровождаться системой поощрения, тогда как если ребенок хвалит просто за то, что он есть, из него может вырасти человек, склонный к самолюбанию, но обладающий низкой самооценкой. Впоследствии, не найдя подтверждений родительским словам о том, что он особенный, человек может получить серьезную психологическую травму. В то же время, причиной развития нарциссизма может быть не только особое воспитание, когда ребенка делают центром всего мира, но и индивидуальная склонность к самолюбанию или генетическая предрасположенность.

*В. В. Стрекопытов*

## Паравентрикулярные ядра таламуса управляют нейронным путем страха, проходящим через центральную область миндалевидного тела

The paraventricular thalamus controls a central amygdala fear circuit. Mario A. Penzo, Vincent Robert, Jason Tucciarone, Dimitri De Bundel, Minghui Wang, Linda Van Aelst, Martin Darvas, Luis F. Parada, Richard D. Palmiter, Miao He, Z. Josh Huang, Bo Li. Nature. 2015. Vol. 519. No 7544. P. 455–459.

Нейроны паравентрикулярных ядер таламуса (PVT) чувствительны к угрожающим для организма событиям. Они имеют обширные проекции (особенно нейроны задних ядер, rPVT) в центральную область миндалины (CeL), поэтому путь от rPVT к CeL — наиболее важная проекция в предсказании страха. Для изучения механизмов, с помощью которых этот путь способствует регуляции страха, авторы селективно ингибировали CeL-проекционные нейроны в rPVT посредством хемогенетического метода. Ожидание страшного события значительно усиливает возбуждающую синаптическую передачу, определенную как увеличение частоты и амплитуды возбуждающих постсинаптических токов (EPSC) в синтезирующих соматостатин (SOM) CeL-нейронах. Ожидание страха также вызывало снижение коэффициента парной стимуляции EPSC — индикатора вероятности повышенного пресинаптического высвобождения в SOM-CeL-нейронах. Для оценки функциональной связи между rPVT и CeL, была использована специальная линия мышей, в которых SOM-клетки могут быть обнаружены посредством их красной флуоресценции, а введение в rPVT аденоассоциированных вирусов, экспрессирующих канальный родопсин-2, сделало возможным фотостимулирование аксональных проекций. Учитывая, что стимуляция афферентных rPVT-клеток вызывала медленные

внутренние токи, а не быстрые синаптические ответные реакции в SOM-нейронах, вполне вероятно, что передача сигнала в этих структурах опосредована нейромодулятором. С эмоцией страха также связан нейротрофный фактор мозга (BDNF). Его функциональная роль при взаимодействии rPVT и CeL-SOM была выяснена с использованием другой специальной линии мышей, несущей аллели TrkB, кодирующие рецепторы для BDNF. Чтобы определить, важна ли BDNF/TrkB-опосредованная rPVT-CeL-SOM коммуникация для обработки страха, выборочно был удален либо BDNF из rPVT, либо Trkb из SOM-CeL-нейронов. Показано, что удаление BDNF из rPVT истощало BDNF в CeL и заметно ухудшало предсказание неприятного события. Следует также отметить, что удаление BDNF из rPVT или удаление Trkb из SOM-CeL-нейронов не только ослабляло вызванное условными стимулами замирание (показатель ассоциативной памяти), но и снижало замирание до предъявления условных стимулов (контекстная память). Было определено, что нарушение BDNF-сигналинга влияет на синаптическую потенциацию в SOM-CeL-нейронах, которые, как уже упоминалось выше, могут служить в качестве следов памяти о страхе. Поскольку активации SOM-CeL нейронов достаточно для управления безусловными рефлексом на страх и требуется для выраженности условного рефлекса, наблюдение того, что повышение активности TrkB вызывает медленный возбуждающий ток в SOM-CeL-нейронах, предполагает: BDNF может повысить возбудимость этих нейронов, способствуя тем самым выражению страха. Таким образом, авторы полагают, что BDNF/TrkB- опосредованная rPVT-CeL связь способствует как синаптической пластичности, так и возбудимости SOM CeL-нейронов, способствуя тем самым не только формированию устойчивых воспоминаний о страхе, но и выраженности ответных реакций на страх. Последние исследования также указывают на роль PVT в поведении, связанном с тревожностью.

*Н. В. Карпов*



## Повышенная активность дофаминовых рецепторов типа D2 в полосатом теле меняет характер генерации потенциалов действия дофаминовых нейронов в вентральной области покрышки среднего мозга

Increased dopamine D2 receptor activity in the striatum alters the firing pattern of dopamine neurons in the ventral tegmental area. Sabine Krabbe, Johanna Duda, Julia Schiemann, Christina Poetschke, Gaby Schneider, Eric R. Kandel, Birgit Liss, Jochen Roeper, Eleanor H. Simpson. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 1498–1506.

Обнаружено, что повышение экспрессии постсинаптических дофаминовых рецепторов типа D2 (D2R) в полосатом теле приводит *in vivo* к избирательным изменениям паттернов генерации потенциалов действия дофаминовых (DA) нейронов в вентральной области покрышки (VTA) среднего мозга. А перенос в эти нейроны трансгенных D2R не только изменил частоту генерации потенциалов действия, но и произвел дополнительный фенотип. Хотя повышенная активность и экспрессия D2R присутствовали на постсинаптических мембранах всего полосатого тела, в трансгенной модели наблюдаемые изменения в среднем мозге были избирательными к подтипу DA-рецепторов, влияя на нейроны, которые проецируются на вентральную, но не дорзальную часть полосатого тела. Вывод о том, что повышенная активность постсинаптических D2R полосатого тела оказывает избирательное воздействие на DA-нейроны VTA, а не черную субстанцию (SN), является неожиданным, учитывая то, что эти обе области среднего мозга получают вход (прямо или косвенно) из полосатого тела, и предполагает, что физиологические последствия гиперактивности ограничены или конкретным выходом из стриатума, или конкретным входом в средний мозг. У трансгенных мышей с повышенным про-

дуцированием D2R (D2R-OE) обнаружено снижение в побудительной мотивации. В дополнение к данному снижению, эти трансгенные мыши продемонстрировали значительные нарушения в обучении и выполнении различных типов когнитивных задач. Тот факт, что импульсная активность в VTA не была прекращена после выключения трансгенных D2R, предполагает, что этот физиологический фенотип может быть связан с возмущением процесса развития, вызванным увеличением D2R-активности полосатого тела во время пре- и/или постнатального созревания. До сих пор неизвестно, как избыточная экспрессия D2R в стриатуме управляет специфическим снижением N-метил-D-аспартат (NMDA) рецепторов в VTA. Основная причина заключается в том, что и VTA, и SN получают входы от полосатого тела. Поведенческие процессы, которые нарушаются у мышей с D2R-OE, были обнаружены возмущениями в мезокортиколимбической DA-системе. В отличие от результатов в VTA, было обнаружено, что DA-нейроны SN, проектирующиеся на дорзальные части стриатума, не влияли на их активность *in vivo* или уровень экспрессии субъединиц NMDA-рецепторов. Таким образом, результаты показывают, что паттерны генерации потенциалов действия DA-нейронов в VTA избирательно изменены *in vivo* у мышей с увеличенной постсинаптической стриарной D2R-активностью — фенотипом, который был создан для моделирования увеличения заполненности полосатого тела D2-рецепторами, наблюдаемого у пациентов с шизофренией. Насколько известно, не существует на сегодняшний день ни одного исследования, посвященного уровням экспрессии NMDA-рецепторов в определенных DA-нейронах среднего мозга больных шизофренией, хотя уменьшения в мРНК субъединиц NMDA-рецепторов были найдены в коре головного мозга. Результаты предполагают, что функциональные расстройства, важные для симптомов шизофрении, могут включать дифференцированную регуляцию избирательных путей DA-системы.

Н. В. Карпов

## Склонность к равной оценке мнений ухудшает качество принимаемых коллективных решений в разных культурах

Equality bias impairs collective decision-making across cultures. Ali Mahmoodi, Dan Bang, Karsten Olsen, Yuanyuan Aimee Zhao, Zhenhao Shi, Kristina Broberg, Shervin Safavi, Shihui Han, Majid Nili Ahmadabadi, Chris D. Frith, Andreas Roepstorff, Geraint Rees, Bahador Bahrami. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3835–3840.

При принятии совместных решений человек склонен полагать, что мнение каждого заслуживает одинакового внимания. Такое довольно безобидное, на первый взгляд, допущение может отрицательно сказаться на групповом решении. Нахождение оптимального варианта требует от членов коллектива сравнения своих предложений с точки зрения надежности. Обычно сложно определить степень своей компетентности, и множество проведенных на данную тему исследований подтверждают это. Согласно эффекту Даннинга-Крюгера, люди с невысоким уровнем компетентности демонстрируют тенденцию значительно переоценивать свои способности при сравнении себя с другими людьми, а с высоким уровнем — недооценивать. Однако малоизученным остается вопрос, учитываются ли, и в какой степени, подобные индивидуальные особенности в процессе коллективного принятия решения. Авторы исследования провели поведенческие эксперименты и использовали метод компьютерного моделирования. Была разработана система для оценки значения, которое испытуемые придавали выбору партнера по сравнению с их собственным, и последующее сопоставление этих данных с оптимальным образцом. В исследовании участвовали представители 3 стран (Дания, Иран и Китай), что позволило выявить стратегию равенства мнений в разных культурах. В 4 эксперимен-

тах диады испытуемые принимали индивидуальные и общие решения, выполняя перцептивную задачу на различение контраста целевого объекта в двух интервалах с вынужденным выбором. Количественно измерялся уровень выполнения задания — чувствительность к различению контраста между двумя интервалами, — а также определялась степень уверенности в своем ответе. Далее 1 человеку из диады («арбитру») демонстрировали результаты партнера и его собственные, и, в случае расхождения во мнениях, ему предлагалось принять совместное решение о верном интервале. После каждой попытки арбитру показывали корректность общего и индивидуальных ответов. Первый эксперимент обнаружил, что более чувствительные участники диад точнее устанавливали свой уровень компетентности по сравнению с их партнерами, что соответствует раннему выводу в эффекте Даннинга-Крюгера. В ходе последующих экспериментов было отмечено, что участники проявляют склонность к равной оценке мнений, даже когда им демонстрируют совокупные сведения о точности ответов членов диады, между ними есть значительная разница в уровне выполнения задания, а также, когда им предложено материальное стимулирование за верное соизмерение решений их партнера. Были исключены альтернативные объяснения полученных данных, в частности, плохая память, случайная разница в результативности участников, отсутствие учета уровня компетентности участников, принадлежность к определенной культуре. Подтвердилась гипотеза о склонности к уравниванию мнений — поведение, при котором человек сопоставляет себя с другим индивидом как в хорошем, так и плохом смысле. При чем, подобная стратегия характерна для представителей всех 3 культур. Результаты исследования показывают, что в процессе принятия совместных решений человек, видимо, не учитывает возможность неточности ответа других людей.

С. А. Завалишина

# Социальные науки

## Для улучшения научных коммуникаций необходимы резюме для широкой публики

Opinion: Lay summaries needed to enhance science communication. Lauren M. Kuehne, Julian D. Olden. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3585–3586.

Идея написания резюме для широкой публики довольно проста: ученый доступным языком излагает краткое содержание своей статьи, подчеркивая значимость проведенного исследования. Несмотря на некоторое беспокойство со стороны ученых, резюме для общественности обладает рядом преимуществ. Ценность подобного формата особенно ощутима в условиях быстро меняющегося информационного пространства. Значительно возрос уровень доверия к получению научной информации через Интернет, что трансформирует традиционную нисходящую модель передачи знаний и делает читателя активным участником этого процесса. В корне меняется и научная журналистика, где журналист становится

своего рода зрителем и организатором коммуникации. Авторы создали концепцию «медиа-экосистемы», в которой показали ограничения существующих связей и возможности применения резюме для широкой публики при сообщении результатов исследования. Традиционные СМИ не способствуют получению всестороннего доступа к научным открытиям, как и блоги с социальными сетями, с недочетами в широте и качестве охвата. Резюме для общественности же позволило бы наладить надежную, прямую связь ученых с широкой публикой, журналистами, менеджерами и коллегами из других областей, что также может помочь в борьбе с распространенным страхом ученых о неправильном представлении их работы в СМИ. Это шанс приблизиться к целям социального договора. Хотя вариантов обучения навыкам общения с широкой публикой для научных работников существует немного, такие возможности есть. Авторы предлагают издателям журналов создать платформу для он-лайн публикаций подобных резюме.

*С. А. Завалишина*

## Передача склонности к жестокому и небрежному обращению с детьми от поколения к поколению: реальность или систематическая ошибка выявления?

Intergenerational transmission of child abuse and neglect: Real or detection bias? Cathy Spatz Widom, Sally J. Czaja, Kimberly A. DuMont. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1480–1485.

Существует много противоречивых данных насчет того, есть ли у родителей, переживших насилие в детстве, высокая предрасположенность к грубому обращению со своими детьми. Несмотря на наличие результатов некоторых исследовательских работ, подтверждения передачи такого поведения между поколениями обнаружено не было. Критике подвергались методические ограничения в изучении данного вопроса, которые авторам исследования удалось преодолеть. Поскольку единого стандарта в оценке насилия над детьми нет, использовались разнообразные критерии, методы и информация из многочисленных источников в разные промежутки времени. Для отслеживания передачи грубого и невнимательного отношения к детям между поколениями было выделено 3 группы: 1-е поколение (G1) – родители 2-го поколения; 2-е поколение (G2) – участники лонгитюдного исследования с зафиксированными случаями жестокого обращения или безнадзорности в детстве и контрольная группа без подобных официальных свидетельств; 3-е поколение (G3) – потомки G2. За время исследования (1967–2010 гг.) были проанализированы записи служб защиты детей (район Среднего Запада США), связанные с испытуемыми G2 и G3, проведены интервью-самоотчеты и статистический анализ полученных данных. Отмечено, что представители

экспериментальной группы G2 в зрелом возрасте в 2 раза более склонны состоять на учете у службы защиты несовершеннолетних, чем соответствующая контрольная группа, при чем, в большей степени из-за сексуального принуждения и невнимательности к детям, а не физического насилия. Самоотчеты выявили другие результаты: индивиды G2 с травматическим опытом в детстве не имеют повышенной склонности сообщать о физической или сексуальной жестокости к своим детям. Такие родители говорили о поведении, характерном для небрежного отношения, чаще по сравнению с контрольной группой. Значительного разрыва по уровню физического и сексуального насилия между двумя группами G2 не найдено. Для большей объективности, были опрошены представители группы G3 и изучены их официальные документы в службе защиты несовершеннолетних. Те из них, чьи родители были участниками G2, подвергнутыми насилию в детстве, сообщали о принуждении к сексуальным отношениям и об отсутствии заботы чаще, чем потомки G2 без подобного прошлого. Авторы определили, что дети родителей, с опытом грубого обращения в детстве, рискуют стать объектом небрежного обхождения и сексуального насилия. Вопреки большинству теорий, не было получено достаточно данных о передаче склонности к жестокому физическому обращению между поколениями. Проведенное исследование демонстрирует довольно высокие показатели уровня насилия в целом. Это может быть связано с преимущественно низким социальным статусом испытуемых. Показана необходимость в расширении комплекса мер по предотвращению жестокости к детям и поддержке родителей внутри групп населения с низким доходом. Требуется дальнейшие работы по изучению механизмов, лежащих в основе межпоколенческой передачи небрежного отношения и сексуального насилия над детьми.

*С. А. Завалишина*

## Влияние репутации и социальных знаний на кооперацию

The effects of reputational and social knowledge on cooperation. Edoardo Gallo, Chang Yan. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3647–3652.

Появление и существование кооперативного поведения является основополагающим для процветания общества. Кооперация в группе может создать профицит, выгодный для всех, но она часто бывает подорвана эгоистичными мотивами индивидов. Социологов интересует два вопроса: что вызывает появление кооперативного поведения, и как поддержать такое поведение в течение длительного времени. Недавние эксперименты показали, что кооперация возникает в динамических сетях, где субъекты могут выбирать свои связи. В этих исследованиях количество доступной информации о репутации субъектов было ограничено, как и информация о социальной структуре сети. Авторы данного эксперимента ставят перед собой цель выяснить значение социальных знаний и сведений о репутации для возникновения кооперации, а также определить структурные черты сети, связанные с кооперативной активностью. Общей структурой является группа субъектов, играющих несколько раундов игры «Дилемма заключенного» по сети. Каждый раунд состоит из стадии формирования сети, за которой следует стадия игры в сформированной сети. Переменными каждой комбинации условий являются знания о репутации и социальные знания. В базовой комбинации условий субъекты знают, только кто их соседи, и каковы были их предыдущие действия. Две следующие комбинации строятся на базовой с добавлением знаний о репутации и социальных знаний соответственно. Последняя ком-

бинация содержит социальные знания и знания о репутации каждого игрока. Результаты исследования показали, что доступность глобальных знаний о репутации повышает уровень успешной кооперации, а также уровень интенсивности связей и образования групп, в то время как глобальные социальные знания не имеют эффекта на эти совокупные показатели. В комбинации условий, в которых у субъектов был доступ к предыдущим 5 действиям каждого члена группы, был достигнут значительно более высокий уровень кооперации по сравнению с условиями, где члены группы имели доступ только к предыдущим 5 действиям своих соседей. Доступность глобальных социальных знаний связана с тенденцией субъектов предлагать связь субъектам, уже связанным с их соседями, что ведет к положительной корреляции между коэффициентом группирования и кооперации. Доступность глобальной социальной информации и информации о репутации влияет на распределение кооперации в группе. Наличие обоих типов информации позволяет кооперирующим игрокам удалить связи с предателями и отвергать их предложения о связях в будущих раундах игры. Таким образом, кооперирующие игроки способны сформировать общество, уровень кооперации в котором выше, чем в обществе предателей, что создает более высокий социальный выигрыш от внутренних взаимодействий. Открытым вопросом для будущих исследований остается стабильность и устойчивость таких выводов в зависимости от общего размера группы. Логично предположить, что сложность обработки информации о сети будет расти вместе с размером сети, затрудняя ее использование в процессе формирования. В то же время выгода от принадлежности к кооперирующей группе должна расти с ростом группы.

*Н. Ю. Колесникова.*

## Личные склонности ученых влияют на выбор узкоспециализированных или межотраслевых исследований

Different personal propensities among scientists relate to deeper vs. broader knowledge contributions. Thomas S. Batema, Andrew M. Hess. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3653–3658.

Сложно переоценить значимость научных исследований для планеты, экономики, общества, культуры и людей, которые ими занимаются. Ученые по-разному подходят к своей работе, опираясь не только на свой опыт, но и на личные предпочтения. Авторы статьи рассматривают, почему одни ученые публикуют более узкоспециализированные (далее — узкие) статьи, в то время как другие охватывают своими статьями сразу несколько областей знаний в межотраслевых (далее — широких) исследованиях. Для исследования из базы данных были отобраны 466 ученых, публиковавших исследования по диабету в течение последних 10 лет. Авторы рассмотрели индивидуальные характеристики человека и выделили наиболее важные черты для ученых. Первая пара характеристик включала добросовестность и открытость к знаниям. По гипотезе авторов, индивиды с высоким уровнем добросовестности склонны заниматься более узкими исследованиями, стараясь избегать больших затрат и рисков выхода за пределы своей специализации. С другой стороны, открытость к знаниям, для которой характерна независимость, широта взглядов и нетрадиционные подходы, должна мотивировать выход за отраслевые границы, способствовать широкому исследованию. Вторая пара личных характеристик включает ориентацию на результат (ОНР) и ориентацию на обучение (ОНО). ОНР связана с желанием продемонстрировать свои

успехи другим, и значит, диктует выбор уже знакомых заданий, с которыми индивид может успешно справиться. ОНО связана со стремлением научиться чему-то новому и с готовностью работать в незнакомой отрасли знаний, где индивид не имеет преимуществ. Авторы предположили, что ОНР будет благотворно влиять на узкие исследования, а ОНО — на широкие исследования. Третья пара характеристик включает соревновательность и исследовательское поведение в работе. Более высокий уровень соревновательности должен мотивировать более узкие исследования, так как они менее затратны, менее рискованы и имеют большую вероятность успеха. Исследовательское поведение, предполагающее стремление к новым знаниям через новые комбинации и применение новых подходов к работе, а так же синтез идей, должно способствовать более широкому исследованию и негативно сказаться на специализации исследований. Авторами было проведено 2 исследования. Результаты исследований подтвердили предположение о том, что особенности характера ученого определяют узость или широту сферы опубликованных исследований. Открытость к знаниям — единственная черта, которая помогает и в узких, и в широких исследованиях. Добросовестность мешает широте исследований, в то время как ОНО помогает ОНР, а соревновательность способствует узкой направленности. Тенденции, раскрытые этим исследованием, помогут ученым делать осознанный выбор исследовательских целей и процессов на индивидуальном, групповом и административном уровне. Следующие, важные для данной темы исследования должны выяснить: 1) не только прогнозы, но и последствия узости или широты исследований, 2) факторы, влияющие на причины и последствия таких исследований и 3) вертикальную и горизонтальную связь областей знаний.

*Н. Ю. Колесникова.*



# Технологии и материалы

## Квадратный лед в графеновых наноканалах

Square ice in graphene nanocapillaries. G. Algara-Siller, O. Lehtinen, F. C. Wang, R. R. Nair, U. Kaiser, H. A. Wu, A. K. Geim, I. V. Grigorieva. Nature. 2015. Vol 519. No 7544. P. 443–445.

Вода в объеме существует во многих формах, включая жидкое, газообразное и многочисленные кристаллические и аморфные состояния. Вода, абсорбированная на границах и заключенная в микроскопических порах менее заметна, но встречается столь же повсеместно. Эта вода низких размерностей определяет свойства различных явлений, наблюдаемых в материаловедении, геологии, биологии, трибологии и нанотехнологиях. Теоретические исследования предполагают много возможных фаз для абсорбированной и захваченной воды, но экспериментальное изучение ее кристаллической структуры оказывается сложным. Описано получение с по-

мощью просвечивающей электронной микроскопии изображений высокого разрешения воды, запертой между двумя листами графена. Эта конфигурация представляет собой архетипический пример гидрофобного захвата. Полученные данные показывают, что захваченная таким образом в наноканалах вода формирует при комнатной температуре «квадратный лед» – фазу, имеющую симметрию, принципиально отличную от обычной тетраэдрической геометрии водородных связей между молекулами. Квадратный лед имеет высокую плотность упаковки со значением постоянной решетки 2.83 Å и может собираться в двух- и трехслойные кристаллиты. Моделирование методами молекулярной динамики показывает, что квадратный лед должен присутствовать в гидрофобных наноканалах вне зависимости от их атомного состава. Полученные данные подтверждают предложенное ранее объяснение просачивания воды через гидрофобные наноканалы существованием льда низкой размерности при комнатной температуре.

*А. В. Якименко*

## Изолинии производительности и хранения электроэнергии, вырабатываемой солнечными электростанциями

Solar electricity supply isolines of generation capacity and storage. Wolf Grossmann, Iris Grossmann, Karl W. Steininger. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3663–3668.

В некоторых регионах и странах производство электроэнергии на основе солнечного излучения составляет конкуренцию традиционным источникам. Производство электроэнергии на основе солнечного излучения – наиболее быстро растущая технология. Между 1976 и 2013 годами мощности солнечных электростанций росли вдвое за каждые 2 года. При каждом удвоении мощности стоимость падала на 20%. Строительство крупных солнечных установок началось по всему миру. Поскольку солнечная энергия может быть доступна повсеместно, возникает необходимость ее рационального распределения при помощи распределенных сетей. Создание таких сетей – естественный следующий шаг, позволяющий поставлять электроэнергию с низкой стоимостью. Все сети нуждаются в перераспределении мощностей и хранении электроэнергии, особенно если в сети включены кроме солнечных, еще и ветровые и геотермальные источники. Недавнее резкое падение стоимости производства солнечной электроэнергии, сопровождаемое быстрым ростом инвестиций в солнечные энергетические установки, требует новых инструментов планирования и управления глобальными распределенными сетями производства электроэнергии. Главная задача – найти способы преодоления периодичности выработки солнечной энергии, то есть обеспечить оптимальное соотношение между производством электроэнер-

гии  $G$  и ее хранением  $S$  при минимальной стоимости. Изолиния  $G$ - $S$  – это минимальная кривая, вдоль которой нагрузка постоянна. Иначе говоря, это нижняя граница вероятного расположения всех  $G$  и  $S$ , которые позволяют обеспечить заданную нагрузку. Изолиния показывает вероятный минимум комбинации  $G$  и  $S$ , которая называется «подходящими парами». В целом изолинии  $G$ - $S$  дают простой и наглядный способ представления пригодности подключения к сети различных производителей солнечной электроэнергии, учитывая их географическое расположение, временные зоны, разницу между летней и зимней инсоляцией и ее флуктуации. Очевидно, что солнечный свет подвержен суточным и сезонным циклам, что вызывает сильную взаимную зависимость между  $G$  и  $S$ . Реальная нагрузка имеет определенные вариации в зависимости от времени суток и географического положения. Для глобальных сетей изолинии  $G$ - $S$  имеют форму гиперболы. Величины  $G$  и  $S$  существенно зависят от заданной нагрузки. График соотношения между подходящей производительностью  $G$  и соответствующей минимальной величиной  $S$  имеет вид гладких изолиний, которые можно точно вычислить и математически аппроксимировать аналитическими функциями. Изолинии между  $G$  и  $S$  позволяют поддерживать решение нескольких задач: оптимизировать величины производства и хранения, оценить оптимальность расположения солнечных парков, оптимально распределить солнечные парки по временным зонам для оптимизации их работы, а также управлять хранением электроэнергии в ситуациях падения инсоляции. Изолинии  $G$ - $S$  – эффективный инструмент для управления выбором подключаемых производителей, а также для снижения стоимости электроэнергии, получаемой из распределенных больших сетей и от малых местных установок.

*И. Ю. Лещанский*

## Новый режим переноса тепла наноразмерных источников: коллективная диффузия усиливает эффективность диссипации

A new regime of nanoscale thermal transport: collective diffusion increases dissipation efficiency. Kathleen M. Hoogeboom-Pota, Jorge N. Hernandez-Charpaka, Xiaokun Gu, et al. PNAS. 2015. Published ahead of print March 23, 2015, doi:10.1073/pnas.1503449112.

Несмотря на то, что установление механизмов теплопереноса наноразмерных тепловых источников представляет фундаментальный интерес, эта проблема остается актуальной в течение нескольких десятилетий. Передача тепла в наномасштабе существенно отличается от таковой для макроскопических тел. Скорость теплоотдачи зависит от распределения средней длины свободного пробега (СДСП) носителей тепла и их энергетической дисперсии, размеров тепловых источников и расстояний между ними. В работе обнаружен новый режим теплопередачи, в котором охлаждение источников тепла происходит быстрее в том случае, когда они расположены ближе друг к другу. Увеличение скорости охлаждения возможно при условии, что расстояние между тепловыми источниками сравнимо с СДСП фононов, которые доминируют в процессе переноса тепла. В эксперименте авторов периодическая решетка нанопроволок никеля прямоугольного профиля с периодом 13,5 нм формировалась на поверхности сапфировых и кремниевых подложек методом электронно-лучевой литографии. Линейный размер нанопроволок  $L$  изменялся от 750 до 30 нм, а расстояние  $P$  между ними равнялось  $P = 4L$ . Система нагревалась импульсом лазера с длиной волны 800 нм и длительностью

25 фс. Сапфир для такого излучения прозрачен, а кремний имеет пренебрежимо малое поглощение. Поскольку лазер нагревает нанопроволоки на поверхности холодной подложки, изменение интенсивности переноса тепла от нагретых участков при изменении их размера или взаимных расстояний непосредственно связано с разным режимом теплопередачи. Скорость охлаждения измерялась по тепловому расширению структуры при нагреве. Для этого использовался источник когерентного УФ излучения с длиной волны 29 нм (на основе многофотонной конверсии 800 нм излучения титан-сапфирового лазера). УФ излучение дифрагировало на решетке нанопроволок Ni, причем интенсивность дифракции зависела от теплового расширения или сужения (при охлаждении) структуры. Сигнал регистрировался цифровой камерой как функция временной задержки между импульсом накачки и зондирующим УФ импульсом. Так как отражательная способность материалов в УФ диапазоне не зависит от температуры, изменение сигнала дифракции однозначно связано с деформацией поверхностного профиля решетки. Для интерпретации различных режимов теплопередачи было рассмотрено несколько теоретических моделей: 1) модель независимых тепловых источников; 2) модель, учитывающая взаимодействие фононов между ближайшими нанопроволоками (однофононное приближение) и 3) более сложная мультифононная модель, учитывающая распределение СДСП фононов. Модель 3 позволила впервые оценить вклад в теплопроводность фононов с величиной СДСП около 14 нм, что дало возможность сравнить данные измерений с теоретически ожидаемыми, полученными на основе расчетов методом функционала плотности. Результаты работы открывают новые возможности для конструирования тепловых наноструктурированных материалов и устройств, в которых имеет место передача тепла.

Г. В. Дедков

## Структура неметаллической хиральной частицы $Au_{133}(SR)_{52}$ в разных масштабах

Structural patterns at all scales in a nonmetallic chiral  $Au_{133}(SR)_{52}$  nanoparticle. Chenjie Zeng, Yuxiang Chen, Kristin Kirschbaum, Kannatassen Appavoo, Matthew Y. Sfeir, Rongchao Jin. Sci. Adv. 2015. No 1: e1500045. P. 1–6.

Атомная структура наночастиц имеет первостепенное значение в приложениях, связанных с каталитическими процессами и биомедициной, а также для фундаментальных исследований квантовых размерных эффектов в частицах ультрамалого размера. Наночастицы золота, «защищенные» каркасом тиолат-лигандов ( $-SR$ ), где  $S$  — сера, а  $R$  — углеводородный радикал, являются базовыми элементами нанотехнологических разработок. Множество новых наноматериалов с различными функциональными характеристиками создается путем модификации поверхностной структуры наночастиц золота. В данной работе методами рентгеновской кристаллографии изучена иерархия структурного упорядочения сверхжесткой хиральной наночастицы золота «магического» размера, состоящей из 133 атомов, окруженной защитным каркасом из 52 тиолат-лигандов. Электрически нейтральная частица (энантиомер)  $Au_{133}(SR)_{52}$  была получена путем термической реакции молекулярно-чистых частиц  $Au_{144}(SCH_2CH_2Ph)_{60}$  с избытком бутилбензолтиола (4-*tert*-butylbenzenethiol) при 80 °C. Диаметр внутренней частицы равен 3 нм (включая оболочку лигандов), внутренний диаметр металлического ядра из атомов Au равен 1,7 нм. 133 атома золота упакованы в четырех оболочках: центральный атом окру-

жен оболочками из 12, 42, 52 и 26 атомов. Центральный атом и 12 ближайших соседей образуют правильный икосаэдр. Атомы золота в каждой тетраэдрической ячейке упакованы слоистым образом ( $a-b-c$ ). Расстояние между центральным атомом и атомами икосаэдра равно 0,276 нм, а расстояние между атомами самого икосаэдра равно 0,292 нм, т. е. радиальные атомные связи короче. Четвертая оболочка из 26 атомов Au вместе с 52 тиолат-лигандами, образуют основной каркас 26- $S$ -Au- $S$ . 52 тиолат-лигандов образуют основную оболочку в равном соотношении. Мономерные звенья —  $S$ -Au- $S$  самоупорядочиваются в красивый узор из спиральных полос на сферической поверхности ядра  $Au_{107}$ . Каждая полоса состоит из 6 звеньев, параллельных друг другу и образует форму спиральной лестницы с шириной 0,49 нм. Экстраординарная стабильность частицы  $Au_{133}(SR)_{52}$  обусловлена ее геометрической структурой. Для диагностики металлических свойств  $Au_{133}(SR)_{52}$  использовался метод фемтосекундной переходной спектроскопии в УФ и в видимом диапазоне спектра. Частица имеет полосы поглощения на длине волны 336, 421, 503, и 712 нм, значительно отличающиеся от полосы поглощения плазмонов 520 нм, характерной для сферических наночастиц золота. Наблюдавшаяся релаксационная динамика не зависела от интенсивности лазерного возбуждения, что также резко отличается от поведения металлических наночастиц. Таким образом, характер релаксационных процессов в частице  $Au_{133}(SR)_{52}$  свидетельствует о ее неметаллических свойствах. Наряду с определением структурного порядка наночастиц  $Au_{133}(SR)_{52}$ , результаты работы открывают новую стратегию их самосборки.

Г. В. Дедков

## Легированные углеродные материалы — надежные катализаторы реакции выделения кислорода в кислотных топливных элементах

N-doped carbon nanomaterials are durable catalysts for oxygen reduction reaction in acidic fuel cells. Jianglan Shui, Min Wang, Feng Du, Liming Dai. *Science Advances* 2015;1:e1400129 27 February 2015.

Реакция выделения кислорода важна во многих областях, например в энергетике (топливные элементы, металл-воздушные батареи, солнечные элементы). В частности, катодное выделение кислорода играет существенную роль в топливных элементах, генерирующих электроэнергию химическим выделением кислорода и последующим окислением топлива до воды. Катодное выделение кислорода в них является фактором, ограничивающим производительность таких элементов. Требуется эффективные катализаторы для реакции выделения кислорода на катоде. Традиционно лучшим катализатором для топливных элементов признается платина,

хоть она и имеет недостатки: непостоянство во времени, эффект отравления CO, эффект перехода метанола. Открыт новый класс неметаллических катализаторов, основанных на углеродных наноматериалах. Массив прилегающих друг к другу углеродных нанотрубок, легированных азотом, может работать в качестве неметаллического электрода в реакции каталитического выделения кислорода. Причем его активность в три раза выше, а временная стабильность лучше, чем у коммерческих платиновых электродов. Также новые электроды не имеют эффектов перехода метанола и отравления CO. Атомы углерода, ближайшие к атомам примеси азота, имеют существенно более высокий положительный заряд, уравнивающий атом азота. Процесс окисления-восстановления ведет к переносу заряда, внесенного примесью, что и определяет электрохимические свойства материала. Поскольку углерод гораздо более устойчив к коррозии в кислотах, чем большинство переходных металлов, то композиты на его основе более надежны в работе, особенно с чистыми газами  $H_2$  и  $O_2$  в кислотных топливных элементах, эффективны и недороги, поэтому могут заменить платину в практических конструкциях топливных элементов.

*И. Ю. Лещанский*

## Устройства и агрегаты из динамических ДНК создаются комплементарными по форме 3D-компонентами без спаривания оснований

Dynamic DNA devices and assemblies formed by shape-complementary, non-base pairing 3D components. Thomas Gerling, Klaus F. Wagenbauer, Andrea M. Neuner, Hendrik Dietz. *Science*. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1446–1452.

Сегодня в большинстве опытов с наномашинками на базе ДНК используется особый класс методов их сборки, известный в научном сообществе под собирательным названием «ДНК-оригами». В этой методике основой для любых деталей биомашин служит длинная одинарная цепочка ДНК, которая сплетается в нужный трехмерный предмет при помощи коротких «шпильки» из нескольких нуклеотидов — кирпичиков ДНК. Подобные наноконструкции весьма ограничены в своем применении, и их форму и функцию можно задать лишь один раз при первоначальной сборке. Проблема заключается в самой технологии сборки: для соединения деталей «оригами» и сплетения одиночной цепочки ДНК используются прочные химические связи между самими нуклеотидами, которые крайне сложно разорвать. Авторы исследования нашли решение этой проблемы, применив те же принципы, которые живые клетки используют при сборке сложных белковых молекул и транспортировке нуклеотидов к месту сборки цепочек ДНК. Авторы создали методику, которая позволяет создавать наномашинки из коротких молекул ДНК, способных самостоятельно пересобираться и менять свою структуру, что позволит инженерам осуществлять сборку сложных и многофункциональных роботов из уже готовых деталей. Они использовали в качестве базовых эле-

ментов не нуклеотиды или «шпильки» из них, а готовые блоки из молекул ДНК. Эта технология позволила сделать конструкции более гибкими. Подобные блоки могут соединяться с другими блоками при определенных условиях и формировать произвольные трехмерные структуры, а затем распасться на части при изменении температуры, химического состава среды или других параметров. Эти строительные блоки можно запрограммировать так, что их сборка будет осуществляться только определенным образом, что позволит собирать сложных, крайне подвижных и многофункциональных нанороботов, способных самособираются из набора ДНК-частиц после прибытия к «месту работы», а затем разбираться на части, когда необходимость в них закончится. На основе разработанного принципа были созданы гомо- и гетерогенные многомерные объекты, включая микрометровые одно- и двухжильные нити и решетки, а также трансформируемые объекты. Для демонстрации их работоспособности авторы собрали несколько ДНК-«трансформеров», способных работать в качестве двигателя, рук-манипуляторов и других инструментов. Наблюдения, произведенные с помощью электронной микроскопии, одномолекулярной флуоресцентной резонансной спектроскопии и электрофоретического анализа показывают, как работой таких устройств можно управлять, меняя концентрации ионов в растворе, что позволяет их включать или выключать, а изменение температуры заставляет таких «трансформеров» менять форму и пересобираться, поставляя энергию для таких преобразований. Главным плюсом новой технологии является ее простота для инженеров — подобных роботов можно собирать прямо на компьютере, используя специальный язык программирования, подобный машинному языку процессора. Как надеются ученые, эта гибкость и удобство помогут вывести технологию ДНК-роботов на уровень практического применения.

*В. В. Стрекопытов*



## Стабильное разложение воды солнечным светом на полупроводниковых фотоанодах, защищенных прозрачной пленкой каталитической окиси никеля

Stable solar-driven oxidation of water by semiconducting photoanodes protected by transparent catalytic nickel oxide films. Ke Sun, Fadl H. Saadi, Michael F. Lichterman, William G. Hale, Hsin-Ping Wang, Xinghao Zhou, Noah T. Plymale, Stefan T. Omelchenko, Jr-Hau He, Kimberly M. Papadantonakis, Bruce S. Brunschwig, Nathan S. Lewis. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3612–3617.

Окисление воды до  $O_2$  — критически важный процесс для производства топлива под воздействием солнечного света, включая виды топлива на углеродной основе, путем разложения двуокиси углерода, а также производство  $H_2$  разложением воды. Многие технически важные полупроводники — кремний, вещества групп 3-6, например арсенид галлия GaAs, а также вещества групп 2-6, например теллурид кадмия CdTe, имеют оптимальную ширину запрещенной зоны, пригодную для их использования в интегрированных генераторах топлива на основе солнечной энергии. Однако эти материалы в общем неустойчивы и быстро корродируют или пассивируются при работе в качестве фотоанода в водных электролитах. Обычно поверхность нестабильного полупроводника покрывается слоем частично прозрачного проводящего металла или оксида, который служит либо барьером Шоттки, либо является прозрачным электропроводным контактом фотоэлектрода, обеспечивая функцию разделения зарядов. Блок анодов в целом должен быть химически устойчивым по отношению к электролитам и потенциалам электродов. Для этих применений исследованы металлы, металлические сплавы, полупроводники, прозрачные электропроводные

оксиды, каталитические смеси переходных металлов, органические полимеры. Стабильность, электрические свойства, активность всех этих веществ в рассматриваемых применениях очень ограничены. Напыляемые пленки  $NiO_x$  оптически прозрачны, не отражают свет, электропроводны, устойчивы и очень активны как катализаторы при нанесении их на n-Si и  $np^+$ -Si фотоаноды, находящиеся в контакте с водным раствором KOH в процессе фотоэлектрического разложения воды. Для фотоанодов на основе  $np^+$ -Si они позволяют устойчиво производить  $O_2$  на протяжении более 1200 часов непрерывно при искусственном освещении, эквивалентном солнечному. Такой подход можно расширить на полупроводниковые материалы, используемые в коммерческих фотоэлектрических генераторах. Наиболее известен кремний с гетеропереходом, его типичная структура  $p^+-a-Si|j-i-a-Si|n-c-Si|j-i-a-Si|n^+-a-Si$ . Также используются структуры из n-i гидрогенизированного аморфного кремния (a-Si:H), а в фотоэлектрических преобразователях — монокристаллический CdTe n-типа. Все эти материалы имеют ширину запрещенной зоны 1-2 эВ, удобную для применения в интегрированных устройствах производства топлива под воздействием солнечного света. Способ защиты с помощью  $NiO_x$  эффективен и для фотоанодов на основе n-CdTe и a-Si:H. Это дает возможность эксплуатировать фотоаноды длительное время в условиях агрессивного электролита под воздействием солнечного излучения. Также эти пленки служат неотражающим покрытием, что повышает эффективность преобразования солнечного света. Пленки  $NiO_x$  показывают путь долговременной стабилизации самопассивирующихся полупроводников и позволяют рассматривать различные материалы фотоанодов для фотоэлектрических ячеек, использующих окисление воды в щелочной среде, что позволяет создать эффективные взрывобезопасные электролитические системы на основе солнечного света.

И. Ю. Лещанский

## Зрительный тест Тьюринга для компьютерных систем, распознающих изображение

Visual Turing test for computer vision systems. Donald Geman, Stuart Geman, Neil Hallonquist, Laurent Younes. PNAS. 2015. Vol. 112. No 12. P. 3618–3623.

С середины XX столетия идет активная дискуссия об искусственном интеллекте (ИИ) и способах его оценки. Алан Тьюринг предположил, что надежно проверить, способна ли машина «думать» или, по крайней мере, принимать решения почти как человек, позволит соответствующим образом созданный сценарий, в котором человек не может сказать, с кем он общается: с человеком или компьютерной программой. В «стандартной» интерпретации теста Тьюринга цель состоит в том, чтобы определить, насколько хорошо компьютер может имитировать человека в задачах связанных с интеллектуальным поведением, хотя практическая полезность «имитации» в качестве критерия эффективности ИИ остается под сомнением. Большинство современных исследований ИИ посвящены определению результативности машины в конкретных задачах, а не спорам о «мышлении» в целом или соревнованиям «по Тьюрингу» между людьми и машинами. В данной работе предложен новый вариант теста для систем компьютерного зрения — одной из самых оживленных областей современного исследования ИИ. Термин «компьютерное зрение» авторы используют как синоним семантической интерпретации изображений: «от образа к слову». В настоящее время системы компьютерного зрения тестируют по их точности в распознавании, локализации и классификации объектов по заданной заранее библиотеке объектов. Но обнаружение не означает понимание. Авторы статьи, учитывая способность

человека создать по изображению богатое описание объектов и сюжетную историю, предложили «зрительный тест Тьюринга»: систему оценок, в которой модуль запросов готовит письменный тест из последовательности бинарных вопросов, что позволяет исследовать способность системы не только распознавать объекты, но и идентифицировать их свойства и отношения. Модуль запросов предлагает вопрос; оператор (человек) либо дает правильный ответ или отклоняет вопрос как неоднозначный; модуль запросов через контролируемый промежуток времени предлагает следующий вопрос. Затем вопросы по одному вводят в систему компьютерного зрения. После того, как ответ системы записан, системе предоставляется правильный ответ и следующий вопрос. Модуль запросов использует статистические ограничения, выученные в ходе тестовых испытаний, чтобы произвести вопросы с принципиально непредсказуемыми ответами: ответ на вопрос, с учетом истории вопросов и ответов, практически с равной вероятностью может быть положительным или отрицательным. Цель тестирования — определить, насколько хорошо система компьютерного зрения может интерпретировать обычные изображения натуральных сцен, в частности, фотографий событий на городских улицах. Логика теста может быть легко распространена и на другие изображения. Таким образом, предложенный в статье вариант теста Тьюринга основан на ответах системы компьютерного зрения на серию бинарных вопросов, которые следуют за естественной сюжетной линией изображения: об имеющихся на изображениях людях и объектах, их деятельности, свойствах и связях между ними. Показателем эффективности системы компьютерного зрения является среднее количество правильных ответов за несколько прогонов теста с разными изображениями.

С.В.Зворыкина

## Окислительно-восстановительный цикл Fe(II)/Fe(III) в магнетите Fe-метаболизующих бактерий

Redox cycling of Fe(II) and Fe(III) in magnetite by Fe-metabolizing bacteria. James M. Byrne, Nicole Klueglein, Carolyn Pearce, Kevin M. Rosso, Erwin Appel, Andreas Kappler. Science. 2015. Vol. 347. No 6229. P. 1473–1476.

Микроорганизмы играют роль первичного звена в биогеохимическом цикле железа. Многие бактерии используют Fe в качестве питательного вещества или акцептора (или донора) электронов. Fe(III)-редуцирующие бактерии, такие как *Geobacter sulfurreducens*, совмещают восстановление Fe(III) с окислением органического вещества или H<sub>2</sub> для сохранения энергии, а фототрофные Fe(II)-окисляющие *Rhodospseudomonas palustris* растут на свету, используя Fe(II) или H<sub>2</sub> в качестве донора электронов. Минерал магнетит (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), содержащий в своем составе и Fe(II) и Fe(III) в соотношении 1:2, является побочным продуктом метаболизма бактерий.

Однако до сих пор было неизвестно, могут ли бактерии с разным метаболизмом обмениваться между собой электронами разновалентного железа при изменении окислительно-восстановительных условий среды. Авторы провели магнитометрические и спектроскопические исследования бактерий *R. palustris* и выяснили, что они окисляют наночастицы магнетита, используя для этого солнечную энергию. Этот процесс может быть обратимым, если в системе присутствуют анаэробные Fe(III)-редуцирующие бактерии *G. sulfurreducens*. Результаты исследования показали, что ионы Fe, связанные в кристаллическом магнетите, могут являться как накопителями, так и источниками электронов, в зависимости от условий среды, то есть микрокристаллы магнетита работают подобно аккумулятору. В ходе эксперимента *G. sulfurreducens* отдавали электроны кристаллам, а *R. palustris* — забирали их у природного материала. Такой механизм был повторен в течение нескольких циклов, а это означает, что в перспективе биобатареи могут быть многоразовыми.

В. В. Стрекопытов

## Разложение солей металлов ближним инфракрасным излучением как способ получения аморфных электрокаталитических пленок

Near-infrared-driven decomposition of metal precursors yields amorphous electrocatalytic films. Danielle A. Salvatore, Kevan E. Dettelbach, Jesse R. Hudkins, Curtis P. Berlinguette. Science Advances 2015;1:e1400215 6 March 2015.

Аморфные металлические пленки имеют множество применений: транзисторы, гибкие электронные платы, а также устройства для электрокаталитического окисления воды и получения чистого водорода в качестве топлива. Аморфные металлические пленки более эффективны по сравнению с кристаллическими в катализе реакций выделения кислорода и водорода. Это важно для эффективного хранения топлива (водорода), а также электроэнергии, произведенной с помощью возобновляемых источников (солнечного света и ветра). Большинство пленок оксидов металлов создаются электроосаждением, распылением, термическим разложением

или разложением ультрафиолетовыми лучами металлосодержащих реактивов. Пленки, созданные этими методами, оказываются нетехнологичными или слишком дорогими. Здесь представлен ранее не опробованный метод создания аморфных металлических пленок, основанный на освещении ближним инфракрасным излучением солей переходных металлов. Этот способ отличается от фотохимического разложения комплексов металлов под воздействием ультрафиолета тем, что его движущей силой является температура, следовательно, ему не нужны фоточувствительные компоненты. Аморфную пленку на основе металла можно получить, подвергнув соль металла облучению ближним инфракрасным излучением в инертной или бескислородной среде. Исследованы соли FeCl<sub>3</sub>, Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>, a-FeO<sub>x</sub>, a-IrO<sub>x</sub>, a-NiO<sub>x</sub>, a-MnO<sub>x</sub>, a-CuO<sub>x</sub>, a-Fe<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>O<sub>x</sub>, Fe<sub>2</sub>Ni<sub>3</sub>. Процесс может проходить без доступа кислорода. Можно получить пленки сложного состава, даже на непроводящих или чувствительных к высокой температуре или ультрафиолетовому облучению субстратах. Рабочие температуры процесса ниже 200 °С. Способ пригоден для широкого применения, в том числе в непрерывном технологическом процессе.

И. Ю. Лещанский

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

# НАУКА В мире

[www.naukavmire.ru](http://www.naukavmire.ru)