

НАУКА **В мире**

Обзор журналов
Nature, PNAS, Science

Номер 32 (2)
9 июня 2015 года

Определить историю заражения вирусами
теперь можно по одной капле крови

стр. 9

Разработан метод, позволяющий увеличить
количество синтезируемого антиводорода

стр. 9

Обнаружены организмы,
заполняющие пробел между
прокариотами и эукариотами

стр. 29

Раскрыт секрет улыбочности
наций

стр. 41

Обнаружена первая полностью
теплокровная рыба

стр. 26



ЖУРНАЛ «НАУКА В МИРЕ» № 32 (2)

9 июня 2015 года

Издается еженедельно

УЧРЕДИТЕЛЬ

Общероссийская общественная организация
«Российская ассоциация содействия науке»

Свидетельство о регистрации СМИ:

Эл № ФС77-59570 от 10 октября 2014 года



РАСЧН

Российская ассоциация
содействия науке

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ ПРЕЗИДИУМА РАСЧН

Евгений Павлович ВЕЛИХОВ,

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

ПЛЕНУМ РАСЧН

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 РАСЧН, почетный
председатель Правления
Санкт-Петербургского союза ученых

Надежда Дмитриевна ВАВИЛИНА,

член Президиума РАСЧН, 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 РАСЧН, 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 РАСЧН, 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 РАСЧН, 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 РАСЧН

Административный директор

Светлана Александровна ХОЗИНСКАЯ

РЕДАКЦИЯ

Старший научный редактор

Владислав Владимирович СТРЕКОПЫТОВ

Редактор

Ирина Александровна БАННОВА

Редакторы-референты

Братцева А. Л., Завалишина С. А., Зворыкина С. В.,
Карпов Н. В., Лещанский И. Ю., Мохосоев И. М.,
Стрекопытов В. В., Степанова Е. М., Тиунова А. А.

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.

Россия живет скоростями

Наши мечты неудержимы — мы стремимся вперед со скоростью мысли. Мы способны быть в любом месте, двигаться в любом направлении, преодолевать огромные расстояния. Это энергия, которая движет жизнью, это то, чем живет каждый из нас.

ОАО «РЖД» Россия живет дорогами

Читайте в этом номере:

Информационное поле

5 От редакции

Самое интересное в рефератах

Топ-10 статей текущего номера

8 Новости • В России

В Казани разработан экспресс-анализ воды на наличие опасных токсинов

Вакцина БЦЖ остается безальтернативной

9 Новости • За рубежом

Определить историю заражения вирусами теперь можно по одной капле крови

Разработан метод, позволяющий увеличить количество синтезируемого антиводорода

10 Эксперты: Гигантский телескоп поможет найти обитаемые планеты

11 Трение поверхностей смоделировали на уровне атомов

Самый маленький градусник измерит температуру клетки

12 In Advance

Структурные и функциональные черты лимфатических сосудов центральной нервной системы

tRNA акцепторный ствол и антикодонные основания образуют независимые коды, связанные со сборкой белков

13 Ангиопоэтинподобный белок 4 – потенциальный ангиогенный фактор и новая терапевтическая мишень у пациентов с пролиферативной диабетической ретинопатией

14 Определяющий мужской пол фактор у комаров *Aedes aegypti*

Nature • PNAS • Science: рефераты статей

16 Астрономия

32 Медицина

17 Физика

35 Нейронауки и психология

20 Науки о Земле и экология

40 Социальные науки

24 Антропология и история

42 Технологии и материалы

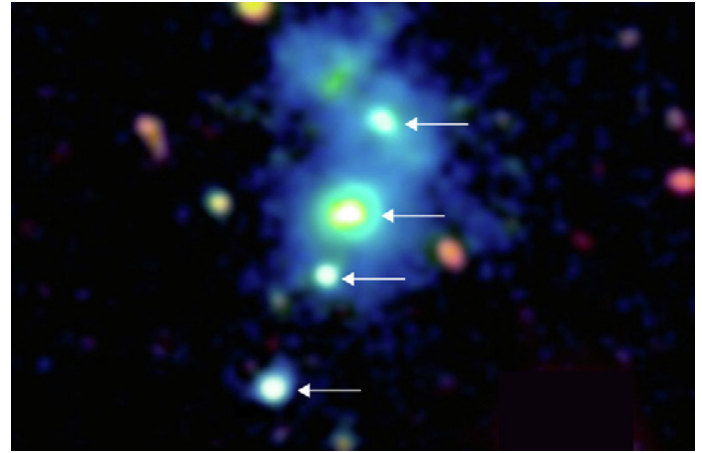
26 Биология

Самое интересное в рефератах

Топ-10 статей текущего номера

1. Впервые обнаружена система из четырех квазаров.

Астрофизики из Германии, США и Швейцарии впервые обнаружили систему из четырех квазаров и расположенных внутри них сверхмассивных черных дыр. Система квазаров обнаружена Обсерваторией Кека и находится на расстоянии 10 млрд световых лет от Земли в созвездии Рыси. Расчеты ученых показывают, что обнаруженные квазары в 100 млрд раз тяжелее Солнца. Во Вселенной нередки системы из двух квазаров, однако вероятность существования четырех связанных квазаров оценивалась специалистами как одна десятимиллионная. Открытие первого квартета квазаров может заставить астрономов пересмотреть свои модели формирования и эволюции самых массивных космических структур. *Реферат на с. 16.*



Четыре квазара (отмечены стрелками) / Hennawi & Arrighi-Battaia/ MPA



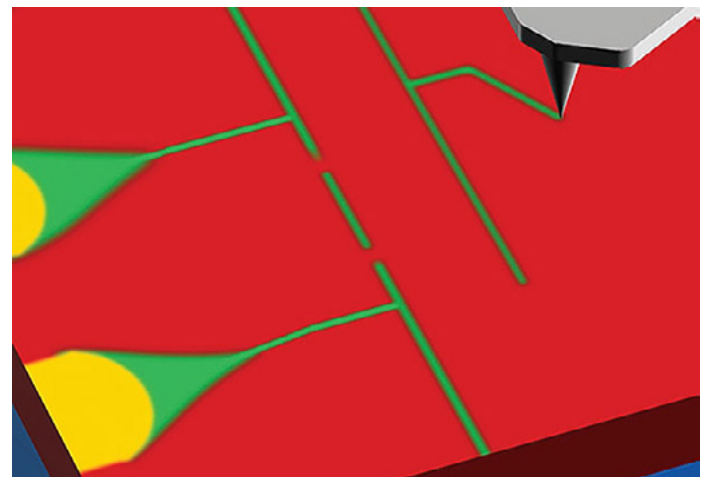
Галактика / mironov/Shutterstock

2. Галактики умирают от «удушья».

Исследователям из Кембриджского университета и Королевской обсерватории в Эдинбурге (Великобритания) удалось установить, отчего умирают галактики. На сегодняшний день существуют две основные гипотезы угасания галактик. Согласно первой из них, в этом виноваты сверхмассивные черные дыры, перемешивающие и разогревающие газы и выбрасывающие звездообразующий материал за пределы галактик. Вторая предполагает, что в галактику попадает все меньше и меньше холодного газа из межгалактической среды из-за каких-то внутренних блокирующих процессов. Авторы исследования нашли первые свидетельства в пользу справедливости второй гипотезы. Новое исследование показало, что галактики «задыхаются» – постепенно затухают, когда остаются без сырья для производства новых звезд – притока свежего газа из межгалактической среды. *С. 16.*

3. Физики получили куперовскую пару электронов без эффекта сверхпроводимости.

В основе всех сверхпроводников лежит попарное связывание электронов. Международной команде физиков под руководством Джереми Леви из Университета Питтсбурга впервые удалось получить куперовскую пару электронов вне явления сверхпроводимости. Это открытие подтвердило предсказанный еще в 1969 году эффект. Связанные в пары электроны были обнаружены в кристаллах титаната стронция (SrTiO_3) при помощи одноэлектронного транзистора. Открытие обеспечивает новое фундаментальное понимание механизма, который однажды сможет использоваться для проектирования материала, обладающего свойством сверхпроводимости при комнатной температуре. Открытие стало возможным благодаря новым технологиям, позволившим изготавливать сверхпроводящие одноэлектронные транзисторы на оксидном интерфейсе. *С. 18.*



Схематическая диаграмма одноэлектронного транзистора / Guanglei Cheng et al.

4. Под вулканом Йеллоустоун обнаружен второй резервуар магмы. Йеллоустоунский супервулкан находится в пределах крупнейшего в мире поля континентального силикатного вулканизма в шт. Вайоминг (США). В результате проведенных геофизических работ выяснилось, что под кальдерой вулкана присутствуют не одна, а две подземные магматические камеры, причем нижний резервуар базальтовой магмы примерно в 4,4 раза больше верхнего. Более ранние исследования зафиксировали наличие плюма расплавленной магмы, поднимающейся из мантии с глубины 60 км к магматическому очагу, который локализуется на глубине 10 км. Открытие второго резервуара не означает увеличения риска извержения супервулкана, а лишь дает представление о том, как тепло и расплавленные породы проникают из глубин Земли к ее поверхности и накапливаются в верхнем резервуаре магмы. С. 20.



Йеллоустоун: термальное озеро / Robert Heathman



AP Photo/Martin Meissner

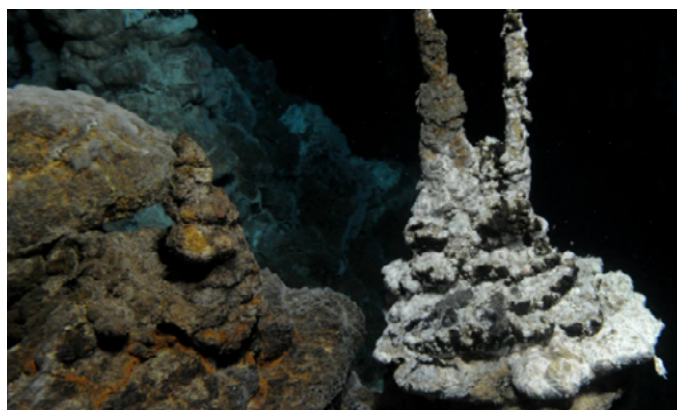
5. В первобытном обществе преобладало равенство полов. Антропологи полагают, что наличие или отсутствие родственных связей в том или ином лагере первобытных охотников-собирателей могут являться маркером равенства полов. Когда один из полов (как правило, мужчины) является доминантным, в лагере собираются только родственники по мужской линии, а чужаков стараются не допускать. Если же имеет место равноправие, то возможны самые разные варианты. Собранные данные показали, что в группе охотников-собирателей число не являющихся родственниками индивидов было примерно в четыре раза больше, чем в группе земледельцев. Таким образом, по мнению ученых, в самых ранних обществах решения принимались обоими полами, и лишь после перехода к земледелию возобладал патриархат. С. 24.

6. Обнаружена первая полностью теплокровная рыба. Обнаружена первая в мире теплокровная рыба – это обыкновенный, или красноперый опач (*Lampris guttatus*), которого за дисковидную форму тела также называют «луна-рыба». Как выяснилось, температура тела этой рыбы остается постоянной, даже когда она ныряет за добычей на большие глубины. Оказалось, что бонусное тепло вырабатывают, двигаясь очень быстро, плавники этой рыбы. Сохранять же это тепло помогает уникальное строение кровеносной системы. Сосуды, несущие от жабр холодную, насыщенную кислородом кровь, тесно соприкасаются с сосудами, идущими в обратном направлении и несущими теплую, но бедную кислородом кровь из глубин тела. В физике этот принцип называется «противоточным теплообменом». Таким образом, существовавшее до сих пор представление о том, что теплокровными являются только млекопитающие и птицы, похоже, придется пересмотреть. С. 26.



Один из авторов работы (Nick Wegner) с объектом исследования / NOAA Fisheries/Southwest Fisheries Science Center

7. Обнаружен организм, помогающий понять появление эукариот. Международный коллектив океанологов и биологов нашел на дне Атлантики крайне необычных архей, которые являются потомками «потерянного звена» в трансформации древних микробов в первых простейших. Новая группа микробов получила имя Lokiarchaeota. Судя по набору генов, локиархеи, обладают многими важными признаками эукариот, включая актиновый цитоскелет и способность к фагоцитозу. Микроорганизмы не имеют ядра, но обладают генами, которые есть только у эукариотов, в том числе отвечающими за функции, связанные с клеточной мембраной. По мнению специалистов, они и стали так называемым «стартовым комплектом», запустившим развитие более сложных бактерий, впоследствии приведшее к возникновению всего многообразия живых организмов на нашей планете. С. 29.



Гидротермальные постройки Замка Локи, давшие название новому организму / R.B. Pedersen/CGB University of Bergen, Norway



science photo/shutterstock

8. Найден способ устранения побочных эффектов при лечении болезни Паркинсона. Основным лекарством при болезни Паркинсона сейчас является леводопа (L -3,4-дигидроксифенилаланин, L -DOPA) – вещество, из которого образуется дофамин. Проблема в том, что при длительном применении возникают побочные эффекты, так называемая дискинезия – неконтролируемые движения тела, рук и ног. Причина этой дискинезии обусловлена суперчувствительностью рецепторов и повышенной нейрональной возбудимостью. В ходе экспериментов на мышах, крысах и обезьянах выяснилось, что, увеличив активацию β -аррестина2, можно снизить побочные эффекты леводопы и при этом сохранить терапевтические свойства препарата. С. 33.

9. Мозг мух обладает встроенным «компасом». Мозг многих животных обладает так называемым внутренним «компасом» – группами нейронов, которые позволяют животному мигрировать, искать пищу, исследовать новые территории и ориентироваться в пространстве. Однако ранее ученые не знали, каким образом насекомые воспринимают информацию об окружающей среде и осуществляют передвижение в ней. Американские ученые выяснили, что мозг мух-дрозофил, так же как мозг более сложно устроенных живых существ, имеет встроенный «компас», помогающий насекомым ориентироваться на местности. В эллипсоидном отделе головного мозга мух находятся нейроны, которые обрабатывают визуальную информацию об окружающем пространстве и приводят телодвижения насекомых в соответствие с этой информацией. С. 35.



Муха *Drosophila melanogaster* / Flickr/John Tann



Oneinchpunch/Bigstock

10. Раскрыт секрет улыбочности наций. Объектом нового международного исследования стали улыбки разных народов мира. В странах, населенных потомками иммигрантов, люди улыбаются чаще, чем в странах традиционного уклада. Об этом говорят результаты исследования международной команды ученых из США, Канады, Великобритании, Израиля, Индии и Индонезии. Психологи объясняют это, во-первых, смешением культур, а во-вторых, – необходимостью для выходцев из разных стран, живущих вместе, преодолевать языковой барьер, а значит, больше пользоваться невербальными коммуникативными сигналами, такими как улыбка. С. 41.

Новости • В России

В Казани разработан экспресс-анализ воды на наличие опасных токсинов

Технология ученых Казанского федерального университета (КФУ) позволяет за пятнадцать минут проверить любой водоем на наличие опасных для человека веществ и установить их концентрацию

По словам заведующего лабораторией экологической безопасности КФУ Олега Никитина, метод основан на анализе поведения низших ракообразных — дафний. Их выпускают в наполненный водой бокс, который оснащен видеокамерой и источником искусственного света. Данные в течение 15 минут анализирует компьютер с тестовой программой.

«Методика биотестирования водоемов сама по себе не нова, но классический метод с использованием дафний занимает двое суток, новейшие методы биотестирования с использованием светящихся бактерий занимают более тридцати минут, а наш метод с помощью программно-аппаратного комплекса занимает всего пятнадцать минут и не имеет аналогов в мире», — отметил Никитин.

Разработанный в КФУ метод позволяет выявить наличие в воде солей тяжелых металлов, пестицидов и цианотоксинов, которые появляются в водоемах в результате размноже-



Дафнии, в отличие от бактерий, — сложные многоклеточные организмы, и их реакция на загрязнители более понятна / HeadLine

ния сине-зеленых водорослей. «Компьютерная программа, которая анализирует поведение дафний, уже зарегистрирована в Роспатенте, готовятся документы для патентования самого аппаратного комплекса, который включает компьютер и бокс для исследований», — добавил ученый. Он считает, что разработка будет полезна экологам и сотрудникам коммунальных служб.

По материалам КФУ

Вакцина БЦЖ остается безальтернативной

Об этом было заявлено на съезде фтизиатров России, состоявшемся в конце мая в Воронеже

Десятилетия поиска новых подходов к решению проблемы борьбы с *M. tuberculosis* показывают, что каждое из направлений разработки современной вакцины сопряжено с определенными трудностями: слабая иммуногенность, ограниченное количество антигенов, распознаваемых иммунной системой, возможность восстановления патогенности вакцинного штамма и пр. По этой причине наиболее близкие по времени результаты клинических исследований ожидаются не ранее 2019 года, что дает веский аргумент практикующим врачам говорить об отсутствии альтернативы классической вакцины против туберкулеза, приготовленной из штамма

ослабленной живой коровьей туберкулёзной палочки.

В России массовая вакцинация против туберкулеза новорождённых проводится двумя препаратами: вакциной туберкулёзной (БЦЖ) и вакциной туберкулёзной для щадящей первичной иммунизации (БЦЖ-М), в том числе и производства НПО «Микроген». Отечественный субштамм БЦЖ (BCG-1 Russia) занимает при высокой иммуногенности среднее положение по патогенности среди других субштаммов. Это означает, что при высоких защитных свойствах вакцина, приготовленная из отечественного субштамма, почти не вызывает осложнения и неконтролируемые постпрививочные реакции.

В России ежегодный выпуск вакцины БЦЖ составляет порядка три млн доз, а вакцины БЦЖ-М порядка 8 млн доз для проведения профилактической иммунизации новорожденных, детей в возрасте 7 лет и подростков в возрасте 14 лет.

По материалам пресс-службы НПО «Микроген»

Новости • За рубежом

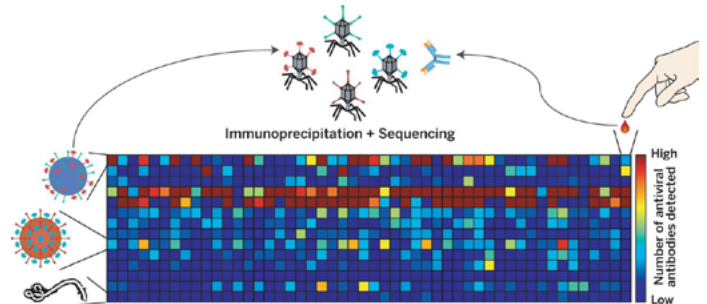
Определить историю заражения вирусами теперь можно по одной капле крови

Американские ученые разработали способ определения всех вирусов, которые когда-либо оставили свой отпечаток в иммунной системе человека

«Тесты на определение антител в периферической крови могут определить как текущие, так и прошедшие инфекции. Однако в настоящее время методы анализа сыворотки крови в большинстве своем ограничены тестированием на наличие одного вируса за раз и вследствие этого используются только для проверки отдельных клинических гипотез», — пишут в статье, опубликованной в журнале Science Стивен Элледж (Stephen Elledge) из Медицинской школы Гарвардского университета в Бостоне (США) и его коллеги.

Разработанный метод VirScan позволяет тестировать пациентов по образцу крови на наличие более 200 известных науке видов вирусов, заражающих человека. При попадании вируса в организм в первый раз, иммунная система реагирует выработкой специфичных антител. Даже после того, как инфекция проходит, выработка антител может продолжаться годами. Благодаря этому VirScan определяет текущую инфекцию и позволяет восстановить историю вирусных заболеваний человека. Даже в тех случаях, когда вирусная инфекция проходит бессимптомно, она влияет на работу иммунной системы, косвенно способствуя развитию таких заболеваний, как диабет 1-го типа, воспаление кишечника и астма, отмечают исследователи.

Для разработки нового теста Элледж и его коллеги синтезировали более 93 тысяч генетических последователь-



ностей, кодирующих характерные для вирусов белковые фрагменты. Ученые вставили полученные участки генетического кода в ДНК особых вирусов, которые поражают бактерий, — бактериофагов. В результате этой генетической модификации на поверхности белковых оболочек бактериофагов появились фрагменты вирусных белков. Каждый бактериофаг имел на своей поверхности только один вид таких фрагментов.

При проведении тестирования методом VirScan генетически модифицированные бактериофаги с вирусными фрагментами на поверхности взаимодействуют с антителами в образце крови пациента. Антитела связываются со «знакомыми» им участками белка. Затем ученые выделяют антитела и вымывают все лишнее, кроме сцепленных с ними бактериофагов. Далее расшифровка ДНК этих бактериофагов показывает, генетические последовательности каких вирусов у них есть. Точность своего метода ученые оценили в 95–100%.

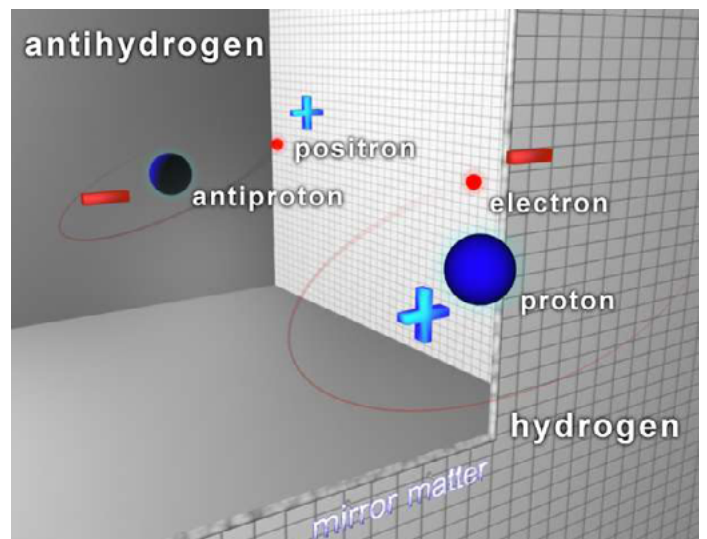
Источник: Stephen J. Elledge et al. Comprehensive serological profiling of human populations using a synthetic human virome. Science 5 June 2015: Vol. 348 no. 6239 DOI: 10.1126/science.aaa0698

Разработан метод, позволяющий увеличить количество синтезируемого антиводорода

Группа ученых-физиков из университета Кертина, Австралия (Curtin University) и университета Суонси, Великобритания (Swansea University) разработали теоретическую модель процесса, позволяющего увеличить на порядок эффективность синтеза антиводорода

Эти нововведения повысили связность между нейронами и, в конечном итоге, создали наш разум, однако эти же гены связаны и с развитием знаменитого нейродегенеративного синдрома — болезни Альцгеймера.

В работе, отчет о которой исследователи из группы Кунь Тана (Kun Tang) опубликовали в журнале Nature, ученые



Антиводород состоит из антипротона и позитрона / Phys.org

проанализировали последовательности ДНК 90 современных жителей Азии, Африки и Европы, стараясь отыскать в них ранее незамеченные свидетельства эволюции нашего мозга. Им удалось отделить эффекты, связанные с демографическими изменениями популяций, от тех, что возникли в результате непосредственного влияния естественного отбора. Кроме того, в анализ были включены и данные секвенирования ДНК трех останков древних людей, а также неандертальцев.

В итоге авторы провели поиск значимых изменений за последние почти полмиллиона лет — в том числе, и в период около 200 тыс. лет назад, когда анатомический облик людей стал современным. Основное их внимание привлекла серия

изменений в шести генах, активность которых резко изменилась в ту эпоху под действием естественного отбора, повысив связность между нейронами головного мозга и тем самым способствуя росту высших когнитивных способностей.

Однако, как заметили ученые в статье, эти же гены известны в качестве важных участников нейродегенеративных процессов, развивающихся иногда в старости и ведущих к болезни Альцгеймера. Возможно, эти данные позволят поставить точку в давней дискуссии о том, не является ли это заболевание уникальным для человека: видимо, является.

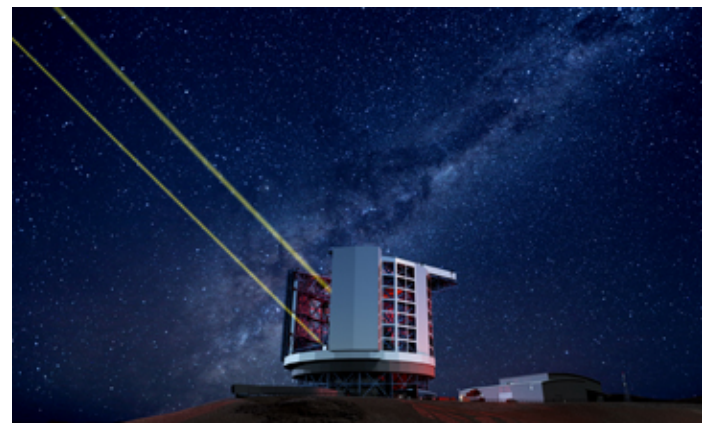
Источник: A.S. Kadyrov, C.M. Rawlins, A.T. Stelbovics, I. Bray, M. Charlton, Antihydrogen Formation via Antiproton Scattering with Excited Positronium. Physical Review Letters. DOI: 10.1103/PhysRevLett.114.183201

Эксперты: Гигантский телескоп поможет найти обитаемые планеты

Объявлено о начале строительства Гигантского Магелланового телескопа (The Giant Magellan Telescope), его миссия найти в космосе планеты, на которых присутствует жизнь

Проект реализуется учеными из США, Бразилии, Австралии, Южной Кореи и других государств. Телескоп построят в пустыне Атакама в Чили на вершине горы на территории обсерватории Лас-Компанас. Сообщается, что средства на первую фазу строительства — свыше пятисот миллионов долларов США — сообще выделили одиннадцать участников (правительства государств, частные инвесторы). Общий объем финансирования превысит один миллиард долларов.

Ожидается, что объект будет полностью введен в эксплуатацию в 2024 году и станет самым большим телескопом в мире. Его основное зеркало будет состоять из семи сегментов диаметром 8,4 метра каждый, соединенных по «принципу лепестков». Масса каждого «лепестка» — 17 тонн. Суммарный диаметр рефлектора составит 25,4 метра. Для сравнения — сейчас самым большим считается Канарский оптический телескоп с диаметром зеркала в 10,4 метра. По

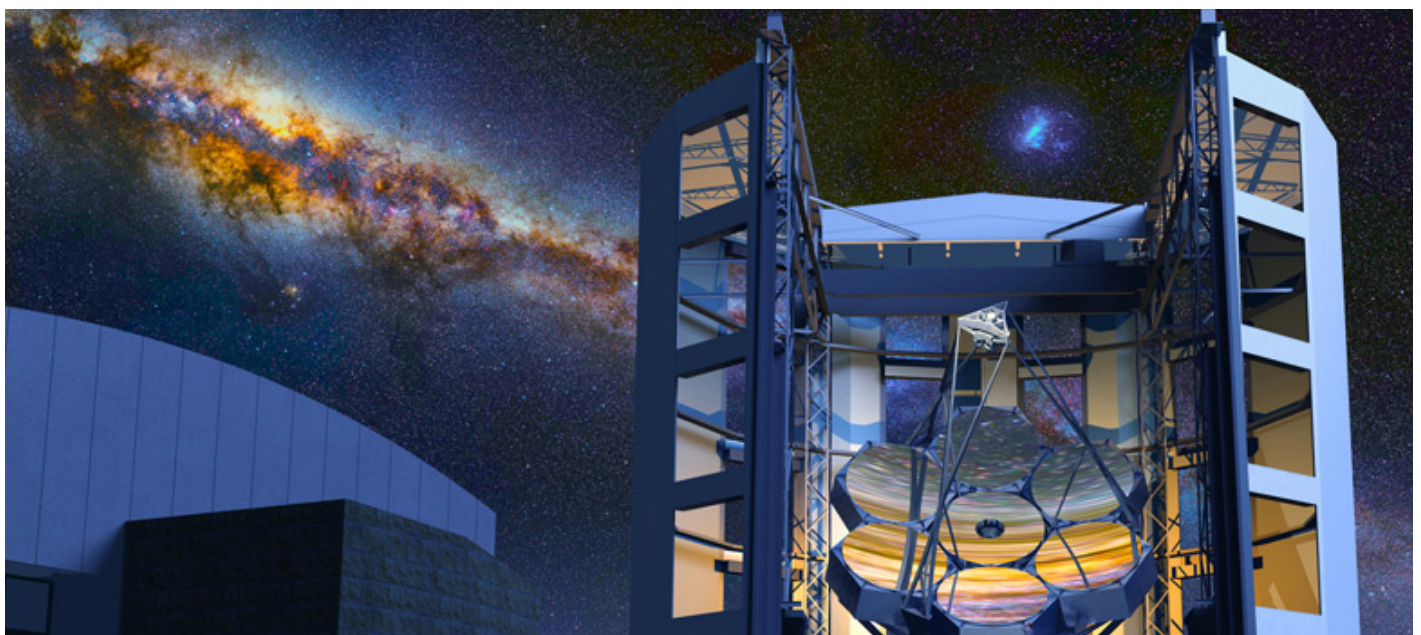


В Чили началось строительство самого крупного телескопа в мире / gmto.org

мнению специалистов, GMT сможет получать изображения в оптическом диапазоне с разрешением в десять раз выше, чем у знаменитого «Хаббла».

«Этот телескоп откроет новую эру в астрономии, — считает член совета директоров проекта, профессор Чикагского университета Венди Фридман. — Он поможет найти новые объекты Вселенной, испускающие свет, открыть тайны темной энергии и материи, и, возможно, обнаружит потенциально обитаемые планеты».

Источник: gmto.org



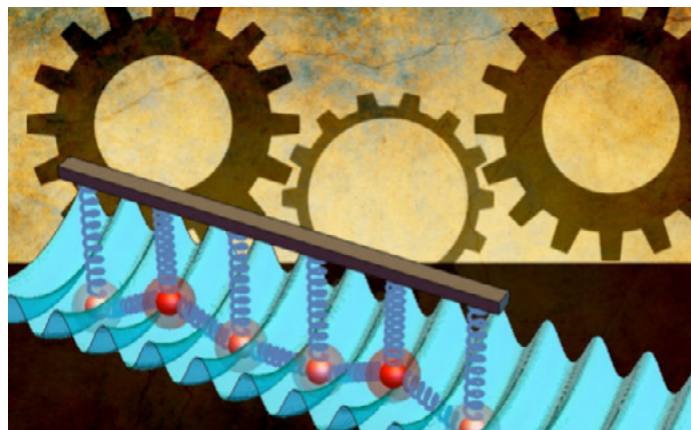
Трение поверхностей смоделировали на уровне атомов

Команда учёных из Массачусетского технологического института под руководством Владана Вулетича (Vladan Vuletić) провела эксперимент, в ходе которого смоделировала трение поверхностей, «спустившись» до масштаба отдельных атомов

Для проведения эксперимента использовались ионы в вакуумной ловушке. Одна трущаяся поверхность была проявлено рядом отрицательно заряженных ионов иттербия, удерживаемых в электрическом поле. Вторую же поверхность «изображали» фотоны из двух лазерных пучков. Интерференционные картины, созданные двумя лазерами, сформировали ландшафт сил, похожий на тот, что возникает между перемычками рифлёного металла.

Когда команда заставила ряды ионов скользить по второй «поверхности», то давление света на ионы симитировало межатомные силы, которые создают трение между двумя твёрдыми поверхностями. Такая система ионной симуляции впервые была предложена итальянским физиком-теоретиком Эрио Тозатти в 2011 году. По его словам, главным преимуществом данной методики является тот факт, что экспериментаторы могут изменять параметры системы, такие как расстояние между атомами, температура среды, скорость воздействий и так далее. Это невозможно сделать, экспериментируя с настоящими твёрдыми поверхностями.

Сначала группа исследователей попытались провести эксперимент с одним ионом, а затем с ионами, разделёнными интервалами, эквивалентными расстоянию между гребнями волны света. Последний опыт в точности смоделировал ситуацию, в которой два одинаковых материала скользят по поверхности друг друга. Но затем учёные незначительно из-



Новый эксперимент демонстрирует возможность скольжения двух поверхностей относительно друг друга практически без трения скольжения / Christine Daniloff/MIT

менили расстояния между ионами, и оказалось, что в такой ситуации трение падает очень существенно — почти в 10 раз. То есть поведение системы точно продемонстрировало эффект сверхгладкости.

Устройство, созданное командой Вулетича, является гибридом двух технологий — захвата ионов электрическими полями и захвата нейтральных атомов лазерами — которые часто используются в качестве «квантовых тренажёров» для таких явлений, как сверхпроводимость, или в качестве испытательных стендов для квантовых компьютеров будущего. И хотя в данном эксперименте учёные рассматривали исключительно явления классической физики, в ближайшем будущем они планируют изучить квантово-механические эффекты, возникающие при трении поверхностей в данной системе. По словам авторов исследования, именно разносторонний взгляд на это явление поможет раскрыть секреты явления сверхгладкости.

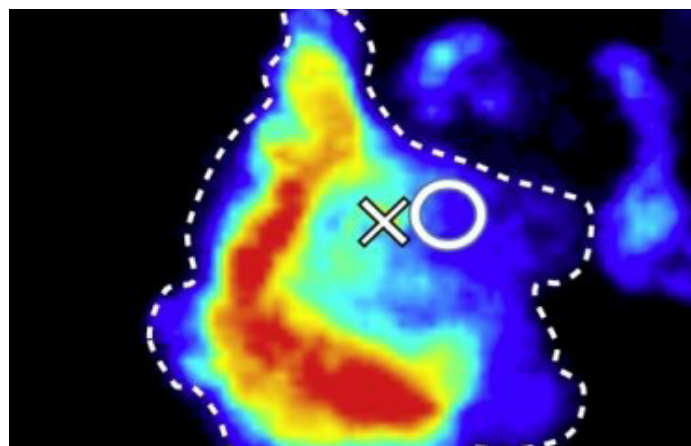
Источники: A. Bylinskii, D. Gangloff, V. Vuletić. Tuning friction atom-by-atom in an ion-crystal simulator. *Science*. 5 June 2015: Vol. 348 no. 6239 pp. 1115-1118. DOI: 10.1126/science.1261422, MIT News

Самый маленький градусник измерит температуру клетки

Ученые из Ноттингемского университета (Великобритания) и Автономного университета Барселоны (Испания) разработали точный термометр, который способен отслеживать мельчайшие изменения в температуре в микроскопических объектах

Разработчики поясняют, что размеры термометра, действительно, крайне малы — он состоит лишь из нескольких атомов. Такие чувствительные термометры наноразмеров очень важны в химических, биологических, физических исследованиях и диагностике различных заболеваний.

«В этой работе мы приводим полную характеристику тех приборов, что оценивают температуру с максимальной точностью и описываем возможные ошибки, которые могут сопровождать измерения. В конечном счете, мы соединили инструменты термодинамики и квантовой метрологии, которая имеет дело с ультраточными измерениями квантовых систем, чтобы создать свой термометр», — пояснил руководитель Ноттингемской группы коллаборации Джерардо Адессо (Gerardo Adesso).



Ученые описали максимально возможную точность измерения температуры в условиях ограниченного времени / ScientificRussia.ru

Авторы работы также продемонстрировали, как, пожертвовав частью точности, можно повысить другие характеристики термометра — например, сделать его одинаково чувствительным к широкому диапазону температур.

Источник: Science News

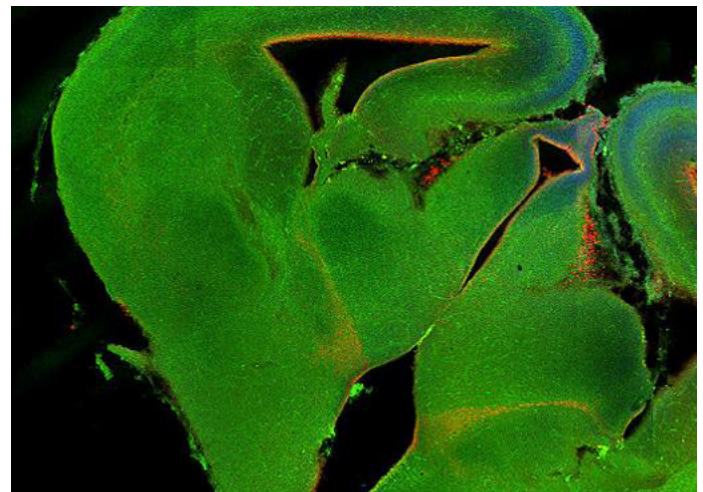
In Advance

Nature Advance • Нейрофизиология

Структурные и функциональные черты лимфатических сосудов центральной нервной системы

Structural and functional features of central nervous system lymphatic vessels. Antoine Louveau, Igor Smirnov, Timothy J. Keyes, et al. Nature (2015) doi:10.1038/nature14432. Published online 01 June 2015.

Лимфатическая система – это часть сосудистой системы позвоночных животных и человека, дополняющая сердечно-сосудистую систему. Она играет важную роль в обмене веществ и очищении клеток и тканей организма. Именно благодаря лимфатической системе по организму распространяются лимфоциты – главные клетки иммунной системы, обеспечивающие сопротивляемость различным инфекционным заболеваниям. Ранее ученые полагали, что в головном мозге лимфатическая система отсутствует, а иммунный ответ там вырабатывается как-то по-другому. Например, считалось, что лимфоциты появляются в тканях мозга человека лишь во время болезни, а в остальное время их там нет. Однако группа американских исследователей под руководством Антуана Луво из Виргинского университета выяснила, что это совсем не так. Лимфатические сосуды, которые удалось увидеть в тканях мозга, стали настоящим открытием. На самом деле, эти очень тонкие сосуды проходят в непосредственной близости от кровеносных, потому и не были замечены учеными ранее. В синусах есть иммунные клетки и молекулярные маркеры, свойственные лимфатическим сосудам. После того как исследователи ввели контрастное вещество в субарахноидальное пространство головного мозга мышей, которое представляет собой полость между мягкой и паутинной мозговыми оболочками головного и спинного мозга, заполненное спинномозговой жидкостью, вещество распространилось из



Мозг мышинного эмбриона, окрашенный флуоресцентным красителем / Joseph Elsbernd/Flickr

этого пространства и вскоре оказалось в синусах. Значит, спинномозговая жидкость проходит через синусы. Более того, краситель оказался и в шейных лимфатических узлах. Авторам работы удалось показать, что жидкость из лимфатических узлов может переходить в мозговые синусы. Это значит, что лимфатическая система все-таки присутствует в головном мозге млекопитающих, иммунный ответ на инфекционные заболевания в мозге вырабатывается так же, как и в других частях организма, а иммунные клетки – лимфоциты – присутствуют там постоянно. Выяснилось, что синусы твердой оболочки выполняют функцию лимфатических сосудов и служат резиденцией иммунных клеток. Токсины, скапливающиеся в спинномозговой жидкости, могут выводиться из нее через синусы. Открытие лимфатических сосудов, связанных с центральной нервной системой, обещает прогресс в лечении таких болезней, как болезнь Альцгеймера и рассеянный склероз. Исследователи считают, что обнаруженные ими лимфатические сосуды играют роль в развитии всех нервных заболеваний, имеющих иммунный компонент. Но конкретные механизмы, безусловно, еще предстоит изучить и описать.

PNAS Early Edition • Биология

тРНК акцепторный ствол и антикодоновые основания образуют независимые коды, связанные со сборкой белков

tRNA acceptor stem and anticodon bases form independent codes related to protein folding. Charles W. Carter, Jr. and Richard Wolfenden. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print June 1, 2015, doi:10.1073/pnas.1507569112.

Первые живые клетки на Земле содержали в себе не только РНК, но и белки, которые могли существовать в горячей воде первичного океана планеты и без которых сборка этих сложных молекул была бы невозможной. Авторы исследования считают, что жизнь на ранней Земле была «миром белков и РНК», а не просто «миром РНК». Сотрудничество между РНК и пептидами, скорее всего, было необходимо для спонтанного развития того многообразия и химической сложности, которые характерны для современного мира живых существ. Как объясняют исследователи, проблема заключается в том, что молекулы белков сохраняют стабильность только в очень узком диапазоне базовых химических параметров. Если хотя бы один из них нарушается, то трехмерная молекула белков обычно распадается или деформируется. Однако первичный океан Земли, скорее всего, был слишком теплым для того, чтобы молекулы белков в нем могли нормально существовать. Биологи из университета Северной Каролины (США) решили проверить это, изучив, как ведут себя аминокислоты при высоких температурах. Эти эксперименты привели к неожиданным результатам. Оказалось, что степень различий в физических свойствах аминокислот и то, как они взаимодействовали с нуклеотидами, были примерно одинаковыми и при 25 °С (оптимальной температуре для жизни), и при 100 °С, что говорит о возможности существования трехмерных молекул белков в горячем первичном океане Земли. Подтверждение этому ученые нашли в транспортных молекулах РНК (тРНК), которые захватывают аминокислоты и переносят их к центру сборки белков в клетке. Как оказалось, тРНК содержат в себе две системы распознава-



Условия зарождения жизни на Земле 4 млрд лет назад глазами художника / pgsd.org

ния аминокислот, одна из которых ориентируется на размер их молекул, а вторая — на то, насколько хорошо они отталкивают воду. Первая находится на «хвосте» тРНК, за который цепляется аминокислота, и состоит из четырех генетических фрагментов, комбинация которых позволяет закодировать 24 разных размера молекул. Вторая расположена в верхней части тРНК, в так называемом антикодоне из трех нуклеотидов, который цепляется за декодируемую цепочку генетической информации. Существование подобной двойной системы отбора аминокислот, как считают авторы статьи, говорит о том, что эволюция белков шла в два этапа во время зарождения жизни. Первый из них завершился еще до появления ДНК, и в то время молекулы белков были устроены достаточно просто — в виде одиночных линий и простых двумерных конструкций. Для сборки таких структур было достаточно знать размеры аминокислот, которые, по всей видимости, кодировались в РНК молекулах организмов. Данные белки, судя по всему, играли вспомогательную роль и помогали клетке стабилизировать РНК-молекулы. Появление нового носителя информации — ДНК — и связанной с ним возможности различать аминокислоты и по степени их гидрофобности позволило жизни сделать качественный шаг вперед и начать использовать сложные трехмерные белковые структуры, в результате чего жизнь приобрела тот облик, которым она обладает сегодня.

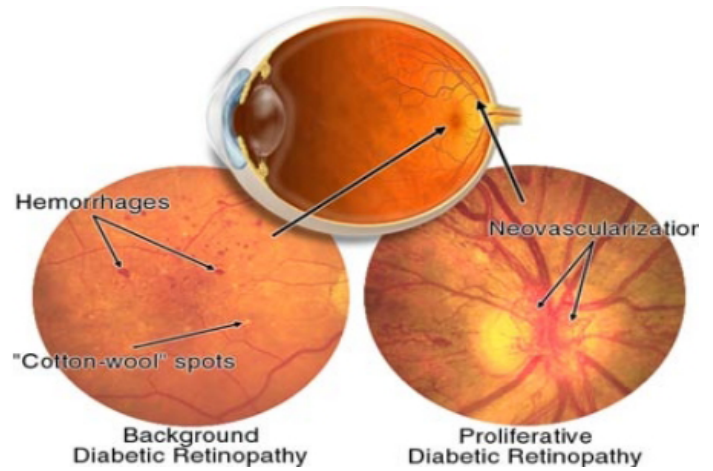
PNAS Early Edition • Медицина

Ангиопоэтинподобный белок 4 – потенциальный ангиогенный фактор и новая терапевтическая мишень у пациентов с пролиферативной диабетической ретинопатией

Angiopoietin-like 4 is a potent angiogenic factor and a novel therapeutic target for patients with proliferative diabetic retinopathy. Savalan Babapoor-Farrokhraha, Kathleen Jee, Brooks Puchnera, et al. PNAS Early Edition. 2015. Published ahead of print May 26, 2015, doi:10.1073/pnas.1423765112.

Развитие диабета сопровождается многочисленными нарушениями в работе организма. В частности, из-за повышенного уровня сахара в крови происходит деформация и разрушение капиллярных сосудов в сетчатке глаза, что приводит к развитию диабетической ретинопатии – заболевания, от которого страдают около половины диабетиков. Диабетическая ретинопатия является наиболее частой причиной потери зрения у взрослых лю-

дей работоспособного возраста в США. Заболевание развивается, когда нормальные кровеносные сосуды в глазу постепенно замещаются аномальными хрупкими кровеносными сосудами, которые пропускают кровь в глаз, повреждая светочувствительную сетчатку и вызывая слепоту. Обычно при этом заболевании пациентам проводят лазерное укрепление кровеносных сосудов. Однако такой метод снижает остроту периферического зрения. В ходе исследования авторы наблюдали за ростом в условиях хронического или эпизодического недостатка кислорода здоровых и диабетических клеток, извлеченных из капилляров глаза. При нехватке кислорода клетки сетчатки глаза и прочие ткани начинают выделять большое количество молекул гормона VEGF, заставляющего организм выращивать новые капилляры. Ученые давно знают об этом эффекте, и в последние годы было создано несколько препаратов, основанных на блокировании фактора роста эндотелия сосудов VEGF, – бевацизумаб, ранибизумаб и афлиберцепт. Подобные лекарства замедляют развитие ретинопатии, но не останавливают ее, что заставило авторов проверить, существуют ли какие-то другие факторы, способствующие развитию болезни. Как показали эксперименты, сосуды начинают расти даже в тех случаях, когда ученые добавляли в пробирку жидкость, извлеченную из глаз диабетиков с крайне низкой концентрацией VEGF в крови. Причиной этого роста был другой гормон – ангиопоэтин-4 (ангиопоэтинподобный белок 4), который тоже участвует в формировании новых сосудов. Когда уче-



Развитие пролиферативной диабетической ретинопатии / retinacareresearchinstitute.com

ные заблокировали его работу, рост сосудов резко прекратился. Это дает надежду на то, что медикам удастся в ближайшие годы создать препарат, который будет одновременно подавлять работу и VEGF, и ангиопоэтина-4. Подобные лекарства могут оказаться полезными не только для диабетиков, но и для людей, страдающих от макулодистрофии, – разрушения сетчатки по причинам, не связанным с диабетом.

Science Advances • Биология

Определяющий мужской пол фактор у комаров *Aedes aegypti*

A male-determining factor in the mosquito *Aedes aegypti*. Andrew Brantley Hall, Sanjay Basu, Xiaofang Jiang, et al. *Science Advances*. Published Online 21 May 2015. DOI: 10.1126/science.aaa2850.

Ученые обнаружили ген, который определяет развитие самцов у комара *Aedes aegypti*, который известен тем, что переносит желтую лихорадку, лихорадку денге и другие заболевания. Уже несколько десятилетий ученые знали, что определяющий пол ген у этого вида комаров находится на определенном участке хромосомы 1, получившем название локус M. Однако определить конкретный ген долгое время не удавалось. Как выяснилось сейчас, в результатах секвенирования генома *A. aegypti*, опубликованных в 2007 г., данный ген вообще отсутствовал. Для решения задачи авторам пришлось секвенировать тысячи фрагментов ДНК самцов и самок комаров *A. aegypti*, выделяя те, которые наиболее часто встречаются у самцов. Таких фрагментов оказалось 164. После этого ученые сопоставили их с данными о том, какие гены активны при развитии эмбрионов самцов, и в итоге определили один конкретный ген, получивший название *Nix*. Детальная последовательность событий, приводящих к появлению самцов, остается неясной, но активность этого гена лежит в начале этой цепочки. У половины эмбрионов женского пола, которым вводили фрагмент ДНК, содержащий ген *Nix*, развивались мужские половые органы. Ген *Nix* может быть применен при генетических стратегиях контроля численности комаров. Уже сейчас для снижения их количества в природу выпускают генетически модифицированных



Комар *Aedes aegypti* / James Gathany

комаров, один из генов которых приводит к ранней смерти потомства. Но половина таких комаров, получаемых в лабораториях, оказывается самками, которых выпускать нельзя, так как они сами будут пить кровь и распространять болезни. Эксперимент еще не закончился. Окончательной его целью является создание с помощью CRISPR-Cas9-системы трансгенных линий, у которых ген *Nix* экспрессируется и превращает самок в безвредных самцов. Наконец, дальнейшее исследование механизма управления полом позволит добиться того, чтобы модифицированные комары приносили только мужское потомство, что поможет снизить их численность. В настоящий момент такой метод уже разработан для борьбы с одним из вредителей сельского хозяйства – средиземноморской плодовой мухой (*Ceratitis capitata*).

Vol. 521. No 7551, 14 мая 2015 года и
Vol. 521. No 7552, 21 мая 2015 года



Vol. 112. No 19, 12 мая 2015 года и
Vol. 112. No 20, 19 мая 2015 года



Vol. 348. No 6236,
15 мая 2015 года



Nature · PNAS · Science: рефераты статей

16 **Астрономия**

17 **Физика**

20 **Науки о Земле и экология**

24 **Антропология и история**

26 **Биология**

32 **Медицина**

35 **Нейронауки и психология**

40 **Социальные науки**

42 **Технологии и материалы**

Астрономия

Квартет квазаров, заключенный в гигантскую небулу, помогает понять странные массивные структуры в удаленных частях Вселенной

Quasar quartet embedded in giant nebula reveals rare massive structure in distant universe. Joseph F. Hennawi, J. Xavier Prochaska, Sebastiano Cantalupo, Fabrizio Arrighi-Battaia. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 779–783.

Авторы работы впервые в истории обнаружили квартет квазаров, расположенных в непосредственной близости друг от друга. Квазары сами по себе — достаточно редкое явление, представляющее собой краткий этап эволюции галактики, к тому же они располагаются на расстояниях в сотни миллионов световых лет друг от друга. Квазары подпитываются падающей на сверхмассивную черную дыру материей, расположенную в центре галактики. Во время этой фазы они становятся наиболее яркими объектами во Вселенной, сияющими в сотни раз ярче своих галактик (которые сами по себе содержат сотни миллиардов звезд). Однако эти ярчайшие эпизоды длятся лишь малую часть жизни галактик, так что у астрономов считается большой удачей наблюдать за этим необычным явлением. Исследователи подсчитали, что вероятность обнаружить сразу четверку квазаров — один шанс на десять миллионов. Около сотни квазаров ранее были обнаружены в паре, и только дважды исследователям удалось зафиксировать трио. Квартет, расположенный в районе галактики SDSS J0841+3921 в созвездии Рыси, окружен гигантской туманностью из холодного плотного водорода, которая излучает свет из-за того, что подвергается влиянию интенсивного сияния квазаров. Участок Вселенной, где был обнаружен квартет, напоминает современное массивное скопление галактик или галактический кластер, расположенный на расстоянии

10 млрд световых лет от Земли. Так что полученные астрономами изображения запечатлели область, которая находилась в этом регионе не более чем через 4 млрд лет после Большого взрыва. Исследователи полагают, что некоторые физические процессы могут сделать деятельность квазаров более вероятной (при наличии специфических условий). А значит, их в дальнейшем будет легче найти. Так, возможно, квазары возникают, когда сталкиваются или сливаются несколько галактик: эти происшествия могут эффективно направить газ на центральную черную дыру. Такие «встречи» с большей вероятностью произойдут в плотном протокластере, заполненном галактиками. При этом гигантская эмиссионная туманность является крайне важной составляющей системы, так как ее наличие указывает на огромные количества плотного холодного газа. Сверхмассивные черные дыры могут сиять только как квазары, если в окружающей среде есть газ, который они могут поглотить. С другой стороны, учитывая современные представления о таком массивном сооружении, как Вселенная, наличие гигантской туманности в протокластере оказалось совершенно неожиданным. Модели космического образования структур, основанные на выполненных суперкомпьютером моделированиях, прогнозируют, что массивные объекты ранней Вселенной должны быть заполнены разжиженным газом, температура которого составляет около 10 млн градусов, в то время как в этой гигантской туманности, очевидно, присутствует газ в тысячи раз плотнее и холоднее. Авторы считают, что чрезвычайно редкие события иногда могут опровергать общепринятые теории. Таким образом, открытие первого квартета квазаров может заставить астрономов пересмотреть свои модели эволюции квазаров и формирования самых массивных космических структур.

В.В. Стрекопытов

«Удушье» как первичный механизм прекращения звездообразования в галактиках

Strangulation as the primary mechanism for shutting down star formation in galaxies. Y. Peng, R. Maiolino, R. Cochrane. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 192–195.

Галактики часто делят на два крупных класса: звездообразующие (живые, обогащенные холодным газом, главным образом, водородом, являющимся главным звездообразующим веществом) и потухшие (мертвые, пассивные, обедненные газом). Первичный механизм, приводящий к прекращению звездообразования в галактиках и их угасанию, пока до конца не понятен. На сегодняшний день существуют две основные гипотезы угасания галактик. Согласно первой из них, в этом виноваты сверхмассивные черные дыры, перемешивающие и разогревающие газы и выбрасывающие звездообразующий материал за пределы галактик. Вторая предполагает, что в галактику попадает все меньше и меньше холодного газа из межгалактической среды из-за каких-то внутренних блокирующих процессов. Авторы исследования нашли первые свидетельства в пользу справедливости второй гипотезы. Они считают, что стареющие галактики прекращают производить новые звезды и умирают из-за «удушья» — прекращения притока свежего газа из межгалактической среды. Звезды в течение своей жизни вырабатывают большое количество астрономических металлов — элементов тяжелее гелия, большая часть которых выбрасывается в межзвездную среду после взрыва сверхновой. Авторы отмечают, что совокупная масса метал-

лов в мертвых галактиках будет сильно различаться для одной и для другой гипотезы. Если почти все запасы звездообразующего вещества будут уничтожены черной дырой, доля металлов будет относительно низкой, так как в этих галактиках не будет новых поколений звезд. В случае с постепенным «удушением» галактик доля металлов, наоборот, будет относительно высокой, так как новые светила в них будут рождаться до тех пор, пока умирающая галактика не исчерпает всех запасов холодного газа. Руководствуясь этой идеей, авторы сравнили доли металлов в 26 тысячах живых и уже умерших галактиках средних размеров, чьи снимки и спектры были получены в рамках Слоановского цифрового небесного обзора (Sloan Digital Sky Survey, SDSS). Было обнаружено, что при примерно равной звездной массе доля металлов в потухших галактиках заметно выше, чем в живых. Данная закономерность четко соблюдается, по крайней мере, для галактик, обладающих звездной массой менее 10^{11} масс Солнца. Это не соответствует гипотезе внезапного выброса газа за пределы галактик, но хорошо сочетается со сценарием их постепенного «удушения». В пользу второй гипотезы говорит и возраст звезд в пределах изученных галактик. Судя по среднему возрасту звезд в умерших галактиках, смерть от «удушения» наступает примерно через 4 млрд лет после полного прекращения притока свежего газа из межгалактической среды для крупных звездных семей, и через 2 млрд — для галактик, аналогичных Млечному Пути. Пока не понятно, какой из факторов является причиной наступления «удушья» — высокое давление и температура в крупных скоплениях галактик, приливные силы, образование кольца из горячего газа, вокруг галактики или другие физические факторы.

В.В. Стрекопытов

Физика

Кристаллография коррелированных неупорядоченных структур

The crystallography of correlated disorder. David A. Keen, Andrew L. Goodwin. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 303–309.

Простые локальные нарушения кристаллической решетки могут привести к существенным изменениям состояния вещества. Во многих случаях наличие неупорядоченности, будь оно химическое, электронное, магнитное или геометрическое, влияет на физические и химические свойства вещества. Классическая кристаллография может исследовать очень сложные структуры, например многокомпонентные комплексы рибосом, причем с очень высоким разрешением. Но этого недостаточно для неупорядоченных систем, даже если они просты, как, например, водяной лед. Описать структуру водяного льда классическая кристаллография исчерпывающим образом не может. В частности потому, что ориентация молекул воды в структуре льда не является периодической. Современной кристаллографии представляют интерес структуры, занимающие среднее поло-

жение между случайным расположением молекул, как в жидкости, и строгим порядком, как в кристаллах. Коррелированный беспорядок никогда не имеет четких кристаллографических сигнатур, причем неважно, какие вещества рассматриваются, и взаимодействуют ли они физически или химически. Такое определение подсказывает общий язык для неупорядоченных состояний, который поможет понять, проследить и эксплуатировать беспорядок, ответственный за многие интересные физические свойства. Помимо вопросов, касающихся коррелированной неупорядоченности, имеются необычные состояния вещества, обладающие неупорядоченностью переменных размеров. Поскольку коррелированные неупорядоченности находятся в сложных системах, то требуется эффективный анализ данных, базирующийся на различных методах: комбинированном анализе тонкой структуры поглощения рентгеновских лучей, общем и диффузном рассеянии одного кристалла. Даже общие структурные модели нуждаются в основательной обработке данных. Важнейший шаг к этой цели — изучение коррелированной неупорядоченности, что и является целью современной кристаллографии.

И. Ю. Лещанский

Изучение перепутанных состояний спинового и координатного движения с помощью сжатых волновых пакетов осцилляторов

Spin-motion entanglement and state diagnosis with squeezed oscillator wavepackets. Hsiang-Yu Lo, Daniel Kienzler, Ludwig de Clercq, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 336–339.

Создание и изучение неклассических состояний спиновых систем, связанных с гармоническим осциллятором, позволяет понять природу декогерентности и квантово-классических переходов. Двумя наиболее часто рассматриваемыми состояниями гармонического осциллятора являются сжатые состояния и суперпозиции когерентных состояний с противоположной фазой, обычно называемые состояниями «кота Шредингера» (КШ). Сжатые состояния вызывают редукцию флуктуаций в одной квадратуре осциллятора ниже уровня неопределенности основного состояния. В работе демонстрируются суперпозиции сжатых волновых пакетов, которые создаются приложением силы к одиночному иону в ловушке. Эта сила зависит от внутреннего псевдоспина иона. В результате ион фиксируется в сжатом вакуумном состоянии с редукцией квадратурной дисперсии на 9 дБ. Состояния КШ обеспечивают дополнительную чувствительность к влиянию окружения при разделении компонент смешанного состояния в фазовом пространстве. Путем мониторинга спиновой эволюции при увеличении связи с осциллятором оказывается возможно непосредственно наблюдать сжатие первоначального состояния. При этом получается дополнительная информация о первоначальном состоянии из анализа распределения вероятности заселе-

ния смещенных сжатых состояний, образующих суперпозицию. Сжатое вакуумное состояние $|\xi\rangle$ образуется при действии оператора сжатия S на основное состояние $|0\rangle$ движения частицы, где $\xi = r \exp(i\phi)$, r и ϕ — вещественные параметры, определяющие величину и направления сжатия в фазовом пространстве. Для создания сжатых состояний движения с уменьшенной квадратурной дисперсией по отношению к основному состоянию волнового пакета использовалось действие бихроматического светового поля, обеспечивавшего связь движения иона с его спиновыми состояниями, которые подвергались непрерывной оптической накачке. В экспериментах использовались одиночные ионы $^{40}\text{Ca}^+$ в линейной ловушке Пауля с расстоянием 185 мкм между ионом и электродом, совершавшие механические колебания в аксиальной моде с частотой вблизи $\omega/2\pi = 2,1$ МГц. Эта мода хорошо отделяется от всех других мод. Псевдоспиновые состояния системы, связанные с внутренними электронными состояниями иона, кодировались в виде $|\downarrow\rangle = |S_{1/2}, M_J = 1/2\rangle$ и $|\uparrow\rangle = |D_{3/2}, M_J = 3/2\rangle$. Когерентные манипуляции, включающие приготовление сжатых состояний и силы, зависящей от псевдоспина, производились при квадратурных переходах между этими уровнями, осуществлявшихся при действии лазерного излучения с длиной волны 729 нм и с величиной параметра Лэмба-Дике $\eta = 0,05$ для аксиальной моды колебаний иона. Сигналом образования состояний КШ является отсутствие перекрытия между двумя первоначально смешанными волновыми пакетами. Наблюдались четкие различия между смещениями волновых пакетов, ориентированных в фазовом пространстве вдоль и против направления сжатия. Помимо фундаментального значения, результаты работы представляют большой интерес для квантовой метрологии и обработки квантовой информации.

Г. В. Дедков

Спаривание электронов без сверхпроводимости

Electron pairing without superconductivity. Guanglei Cheng, Michelle Tomczyk, Shicheng Lu, Joshua P. Veazey, Mengchen Huang, Patrick Irvin, Sangwoo Ryu, Hyungwoo Lee, Chang-Beom Eom, C. Stephen Hellberg, Jeremy Levy. Nature. 2015. Vol. 521. P. 196–211.

Титанат стронция SrTiO₃ – первый и наиболее известный полупроводник, обладающий свойством сверхпроводимости. Он демонстрирует крайне низкий для сверхпроводимости порог плотности носителей заряда, и имеет диаграмму состояний, похожую на диаграмму состояний высокотемпературных сверхпроводников. Эти два фактора указывают на необычный механизм спаривания электронов. SrTiO₃ переходит в сверхпроводящее состояние при температуре около 300 мК и плотности электронов не менее 10¹⁷ см⁻³. Избыточные электроны вносятся в полупроводник примесью (Nb или La). В эксперименте использовались одноэлектронные транзисторы на основе SrTiO₃ и тонкого слоя алю-

мината лантана LaAlO₃. Граница раздела SrTiO₃ и LaAlO₃ создает двумерный слой электронов, сверхпроводящие свойства которого управляются электрическим полем. Электростатическое управление потоком электронов показало ряд резонансов проводимости электронных пар, которые становятся неустойчивыми при напряженности магнитного поля выше 1–4 Тл. Для магнитных полей напряженностью ниже критического значения эти резонансы оказались нечувствительными к магнитному полю. Спаривание электронов без сверхпроводимости можно описать с помощью феноменологической модели Ферми-Хаббарда. Электронные пары устойчивы до температуры 900 мК, что гораздо выше температуры сверхпроводящего перехода (около 300 мК). Эти эксперименты показали существование устойчивой фазы, в которой вне состояния сверхпроводимости образуются локальные электронные пары. Способность одноэлектронного транзистора удерживать электроны и способствовать их спариванию делает такую структуру идеальной лабораторией для исследования сильно коррелированных электронных фаз в твердых веществах.

И.Ю. Лещанский

Неджоулевая магнитострикция

Non-Joulian magnetostriction. Harsh Deep Chopra and Manfred Wuttig. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 340–343.

Эффект джоулевой магнитострикции (ДМ) состоит в том, что при помещении в магнитное поле магниты испытывают анизотропное расширение (или сжатие). Отличительным признаком ДМ является сохранение объема. В более общем смысле это свойство относится к ферромагнитным, пьезоэлектрическим и ферроупругим доменам во всех функциональных материалах. В работе сообщается об экспериментальном обнаружении «гигантской» неджоулевой магнитострикции (НДМ) без сохранения объема. В то время как деформация при ДМ обусловлена вращением вектора намагниченности, НДМ вызвана плавной (с низким полем) переориентацией магнитноупругих независимых жестких микроячеек, определяющих адаптивную сотовую структуру магнетика. Изучались монокристаллические образцы сплавов Fe-Ga, Fe-Ge и Fe-Al в виде круговых дисков с диаметром 5 мм и толщиной 0,4–0,5 мм с направлением нормали [001] к плоскости диска. Образцы отжигались при температуре 1033 К в течение 30 мин, а затем охлаждались со скоростью 10 К/мин. Кривые намагничивания измерялись при комнатной температуре, используя магнетометр с вибрирующим образцом. Магнитострикционные измерения производились стандартным датчиком деформаций. Доменная структура исследовалась методом коллоидного интерференционного контраста с высоким разрешением. Детальное описание метода приводилось авторами ранее. Для сплавов Fe_{73,9}Ga_{26,1}, когда поле прикладывалось вдоль осей [100] и [110], продольная магнитострикция составляла

~2 × 10⁻⁴ и 10⁻⁴, соответственно. В поперечном направлении (при том же направлении поля) величина магнитострикции составляла 0,16 × 10⁻⁴. Угловая зависимость магнитострикции во всех направлениях является положительной, т.е. объем образца возрастает при любом направлении магнитного поля, в соответствии с эффектом НДМ, причем образцы, деформированные в направлении [100], сохраняли одноосную симметрию. Если же поле прикладывалось в направлении [110], то образцы приобретали форму с осью симметрии четвертого порядка, продольная и поперечная магнитострикция составляли ~ (1,1–1,2) × 10⁻⁴, а магнитострикция в направлении [100] равнялась 1,3 × 10⁻⁴. Для сплава Fe_{82,9}Ga_{17,1} наблюдалось аномальное поведение продольной магнитострикции: ее максимум соответствовал направлению осей легкого намагничивания, в отличие от обычных ферромагнетиков. Эксперименты демонстрировали высокую повторяемость результатов (в том числе и в других лабораториях). Измерения магнитострикции сплавов Fe-Ge и Fe-Al также показали необычность магнитных характеристик: кривые намагничивания были обратимы, линейны, без наличия гистерезиса и идентичны вдоль всех кристаллографических ориентаций, как будто материал является аморфным. Насыщение характеризовалось сравнительно низкой энергией магнитной анизотропии порядка 102–103 Дж/м³, в то время как обычные магниты на основе Fe, Co или Ni имеют гистерезисные кривые намагничивания и на два-четыре порядка величины более высокие значения энергии магнитной анизотропии. Применение материалов с высокой магнитострикцией одновременно в продольном и в поперечном направлении позволит полностью заменить прежние более затратные композитные аналоги.

Г.В. Дедков

Теплоемкость и скорость звука в конкурирующей фазе высокотемпературных сверхпроводников

Specific heat and sound velocity at the relevant competing phase of high-temperature superconductors. Chandra M. Varma and Lijun Zhu. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6331–6335.

Множество экспериментов подтвердило идею о том, что высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП) обусловлена взаимодействием с электронами квантово-механических нулевых флуктуаций конкурирующей фазы с нарушенной симметрией. Однако сосуществование фазы с нарушенной симметрией и сверхпроводящей фазы (СФ) имеет термодинамический смысл лишь в том случае, когда выигрыш в свободной энергии для конкурирующей фазы имеет величину, сравнимую с той, которая достигается в СФ в области сосуществования фаз. В свою очередь, выигрыш в энергии должен быть связан с изменением удельной теплоемкости при переходе. Однако удивительным фактом является отсутствие таких изменений в теплоемкости при температуре образования псевдощели, T^* . Так, очень точные измерения скорости звука в образцах $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ выявили фазовый переход в конкурирующую фазу, который не идентифицируется при измерениях теплоемкости. В работе показано, что эта особенность согласуется с предложенной формой порядка, в которой спонтанные токи образуют петлевую структуру внутри каждой элементарной ячейки, когда уменьшение свободной энергии соответствует уменьшению при образовании сверхпроводящего конденсата вследствие аномальных флуктуа-

ций в области перехода, но соответствующие изменения теплоемкости не наблюдаются. Как показано в работе, изменение скорости звука вблизи фазового перехода пропорционально величине $\gamma(T) = -C_v/T$, если температура перехода линейно зависит от деформации, где C_v – удельная теплоемкость. Точность измерения $\gamma(T)$ на два порядка выше, чем при измерениях теплоемкости, поэтому использование этого соотношения в экспериментах, в которых измеряется скорость звука, позволяет критически анализировать различные модели конкурирующих фаз. Изменения в скорости звука, совместимые с положением на фазовой диаграмме, в соответствии с предыдущими измерениями авторов при температурах T^* и T_c (критическая температура ВТСП) выполнялись для образцов $YBa_2Cu_3O_{6+\delta}$ высокого качества с разным уровнем легирования δ . Наибольший интерес представляют результаты при $\delta = 0,97$, т.е. близко к величине пика T_c и к температуре квантового перехода T^* (68 К), поскольку в этом случае теоретически ожидалось более высокое изменение скорости звука. Результаты экспериментов хорошо согласуются с моделью конкурирующей фазы с петлевым упорядочением токов, которое наблюдалось ранее при рассеянии поляризованных нейтронов (Bourges P. and Sidis Y., 2011). В числе других возможных моделей для описания результатов экспериментов анализировались и были отвергнуты модели Изинга и волн зарядовой плотности. Авторы рассмотрели также другие типы переходов, наблюдавшиеся в некоторых купратах, и показали, что необходимое уменьшение свободной энергии в этом случае составляет лишь 1/40 от экспериментально измеренной величины. Недостатком модели петлевых токов является отсутствие щели в отсутствие легирования.

Г.В. Дедков

Упругие и капиллярные взаимодействия на нематических пленках

Elastocapillary interactions on nematic films. Iris B. Liu, Mohamed A. Gharbi, Victor L. Ngo, Randall D. Kamien, Shu Yang, and Kathleen J. Stebe. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6336–6340.

Упорядочение коллоидных ансамблей можно осуществлять приложением внешних полей, но в исследованиях, проводящихся в последнее время, все чаще стали использоваться и взаимодействия, при которых частицы погружены в мягкие материалы. Важными примерами являются частицы в жидких кристаллах (ЖК) и капиллярные взаимодействия между частицами на жидких межфазных границах. Поля кривизны на межфазных границах раздела могут ориентировать частицы вдоль хорошо определенных направлений и приводить в движение в результате действия упругих и капиллярных сил. В работе изучаются взаимодействия коллоидных частиц на свободной поверхности нематических ЖК и показано, что капиллярные и упругие эффекты дополняют друг друга, и каждый играет важную роль, хотя *a priori* капиллярные силы должны доминировать. Например, для частицы с радиусом $R \sim 10^{-5}$ м на нематической ЖК пленке со средней упругой константой $K \sim 10^{-11}$ Н и с поверхностным натяжением $\gamma \sim 10^{-2}$ Н/м отношение капиллярной и упругой сил равно 10^3-10^4 . Однако более тщательное изучение величины этих взаимодействий для цилиндрических микрочастиц с длиной L и радиусом R свидетельствует об обратном. При погружении в ориентированную гибридную пленку нематика, цилиндрические частицы соединяются в цепочки за счет упругих дипольных взаимодействий и ориентируются в направ-

лении директора ЖК. Соответствующие упругие энергии и моменты сил, вращающих частицы, имеют величину порядка $\sim KL$. На жидких интерфейсах микрочастицы продолговатой формы нарушают структуру границы раздела с характерной величиной деформации $H_p \ll R$ и с величиной капиллярной энергии $\sim \gamma H_p^2$. Соответственно, отношение капиллярной и упругой сил становится значительно меньше. Для проведения экспериментов методом фотолитографии изготавливались массивы цилиндрических частиц с радиусом 5 мкм и длиной 25 мкм из эпоксидного фоторезиста SU-8. Для улучшения прикрепления к поверхности ЖК частицы обрабатывались распылением пленки хрома. Пленки нематических ЖК наносились на стеклянные подложки (предметные стекла микроскопа). Исследовались искажения свободной поверхности и дефекты пленок ЖК с плоским и искривленным рельефом, создаваемые присутствием микроцилиндров. Наблюдалось упорядочение цилиндрических частиц при котором они соединялись друг с другом своими торцевыми поверхностями под действием капиллярных сил и ориентировались в направлении легкой оси поля директора ЖК под действием упругих сил. Толщина пленок, на которых наблюдалась ориентация, примерно соответствовала длине цилиндрических частиц (25 мкм). На искривленных поверхностях, однако, капиллярные силы превышали упругие силы, заставляя частицы перемещаться вдоль градиента кривизны. Экспериментальные результаты полностью соответствуют теоретической модели, учитывающей упругую и капиллярную составляющие энергии взаимодействия. Полученные результаты имеют высокое практическое значение для процессов самосборки и ориентирования мягких функциональных материалов.

Г.В. Дедков

Науки о Земле и экология

Магматическая система Йеллоустоун: от мантийного плюма до верхней коры

The Yellowstone magmatic system from the mantle plume to the upper crust. Hsin-Hua Huang, Fan-Chi Lin, Brandon Schmandt, Jamie Farrell, Robert B. Smith, Victor C. Tsai. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 773–776.

Йеллоустоунский супервулкан находится в пределах крупнейшего в мире поля континентального силикатного вулканизма. Кальдера супервулкана, обладающая крутыми стенами и пологим дном, располагается в Йеллоустонском национальном парке, в северо-западной части штата Вайоминг (США). В статье рассказывается о результатах новых геофизических исследований подземной системы магматических очагов Йеллоустоунской кальдеры. В результате проведенных работ выяснилось, что под кальдерой, имеющей размеры 55 x 72 км, присутствуют не одна, а две подземные магматические камеры, причем нижний резервуар базальтовой магмы примерно в 4,4 раза больше верхнего и лишь ~ 2 % его материала пребывает в расплавленном состоянии. Более ранние исследования зафик-

сировали наличие плюма расплавленной магмы, поднимающейся из мантии с глубины 60 км к магматическому очагу, который локализуется на глубине 10 км, и содержит 10 000 км³ расплавленной породы. Обнаруженный в результате исследований промежуточный резервуар, находится на глубине 20–50 км и является «связующим звеном» между магматическим плюмом и верхнекоровым магматическим очагом. Последний раз Йеллоустоунский вулкан извергался 640 тыс. лет назад. Согласно статистическим данным, извержения Йеллоустоунской кальдеры происходят примерно один раз в 600 тыс. лет. Если ученые не ошибаются в своих расчетах, то человечество стоит «на пороге» очередного извержения супервулкана, последствия которого могут быть весьма печальными для земной цивилизации: согласно прогнозам, после взрыва Йеллоустоуна на Земле смогут выжить лишь около 10 % людей. Таким образом, если наша цивилизация и не погибнет, то будет отброшена в своем развитии на много лет назад. Открытие поможет разработать более корректные компьютерные модели, описывающие поведение Йеллоустонского супервулкана, что позволит точнее оценить опасность его извержения в ближайшем столетии.

В.В. Стрекопытов

Сельскохозяйственные инсектициды угрожают поверхностным водам в мировом масштабе

Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. Sebastian Stehle, Ralf Schulz. PNAS. 2015. Vol. 112. No 18. P. 5750–5755.

Современные сельскохозяйственные технологии представляют серьезную угрозу для окружающей природной среды. В частности, инсектициды, являющиеся сильными биологически активными веществами, могут приводить к нарушениям экологической целостности водных и наземных экосистем. Несмотря на то, что инсектицидами обрабатываются огромные площади сельхозугодий по всему миру, до сих пор не проводилась всесторонняя оценка их влияния на поверхностные воды. В данной работе производится обобщение результатов 838 прошедших экспертную оценку исследований (>2,500 участков в 73 странах) и впервые в глобальном масштабе оценивается воздействие конкретных токсических сельскохозяйственных пестицидов на поверхностные воды. Авторы проверили, превышают ли измеренные концентрации инсектицидов (ИКИ) их регламентированный пороговый уровень (РПУ), и как риски загрязнения зависят от развития новых инсектицидов с течением времени и строгости природоохранного законодательства. Проведенный анализ показал, что для ~ 90 % площадей, занятых под сельскохозяйственные культуры, системный мониторинг не осуществляется вовсе. Например, отсутствуют данные ИКИ по России, странам постсоветского пространства, по большим ре-

гионам Африки и северо-запада Южной Америки, несмотря на то, что сельскохозяйственные угодья занимают в данных регионах большие территории. Что еще важнее, из 11 300 ИКИ 52,4 % (5915 случаев, 68,5 % участков) превысили РПУ по поверхностным водам (РПУ_{пв}), либо по донным отложениям. Это указывает на значительный риск для окружающей среды. Пробы донных отложений по сравнению с пробами воды отражают результаты воздействия инсектицидов на окружающую среду в течение более длительных промежутков времени, а также: 1) подтверждают данные, полученные для воды, 2) указывают на высокую гидрофобность многих инсектицидов, 3) подразумевают наличие длительных (хронических) рисков для организмов, живущих в донных отложениях. Превышения ИКИ над РПУ_{пв} значительно выше для инсектицидов нового поколения (пиретроидов), их уровень высок даже в странах со строгим природоохранным законодательством. На сегодняшний день сельскохозяйственные угодья занимают ~ 40 % поверхности мировой суши. Согласно прогнозам, сельскохозяйственное производство должно претерпеть в ближайшие десятилетия значительную интенсификацию. Результаты исследования предполагают необходимость внесения изменений в текущие правила использования сельскохозяйственных пестицидов по всему миру, а также указывают на важность научных исследований, посвященных действию пестицидов в реальных условиях окружающей среды. Без этого невозможно будет решить двойную проблему обеспечения растущего человеческого населения достаточным количеством пищи (проблема продовольственной безопасности) и предотвращения глобальных экологических последствий высокоинтенсивного сельского хозяйства, основанного на агрохимии.

В.В. Стрекопытов

Повышение эффективности восстановления экосистемы посредством координации в пространственном и временном аспектах

Enhancing ecosystem restoration efficiency through spatial and temporal coordination. Thomas M. Neeson, Michael C. Ferris, Matthew W. Diebel, Patrick J. Doran, Jesse R. O'Hanley, Peter B. McIntyre. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 6236–6241.

Фрагментация среды обитания – существенный фактор снижения биоразнообразия и качества экосистемных услуг. Создание ландшафтных коридоров и устранение плотин в настоящее время являются наиболее популярными стратегиями смягчения эффекта фрагментации среды. Несмотря на глобальные планы по сохранению экосистемы и определению приоритетных направлений инвестирования, выбор локальных стратегий, как правило, продиктован местной политикой. Однако когда меры по устранению конкретных проблем плохо скоординированы, они могут оказаться совершенно неэффективными для достижения глобальных целей. В данном исследовании оценивается влияние координирующих мероприятий на пространственном и временном уровне для максимизации восстановления целостности водной экосистемы. Задача исследователей состояла в оценке оптимальных стратегий устранения барьеров для 661 притока Великих Лаврентьевских озер, которые фрагментированы сотнями тысяч плотин и переходов. Великие озера составляют 21 % мирового запаса пресной воды. Популяции мигрирующих рыб, значимых как для рыболовства, так и для экосистемных процессов, страдают от нарушения жизненного цикла, возникающего вследствие фрагментации рек.

Несмотря на то, что внимание исследователей по-прежнему сконцентрировано на плотинах как ключевых барьерах речной сети, улучшение проходимости водопропускных труб также имеет большое значение для эффективного восстановления связей Великих озер. Ученые взяли за основу концепт обратных инвестиций для оценки стоимости координации усилий по охране окружающей среды во временной и пространственной перспективе. Единовременные крупные инвестиции в восстановление среды до 10 раз более эффективны, чем небольшие ежегодные отчисления. Таким образом, координация устранения барьеров по всему бассейну рек в 9 раз более эффективна и экономически выгодна, чем оптимизационная стратегия локального планирования, независимая от каждого водосбора. Совокупная проходимость плотин и переездов через реки на Великих озерах составляет менее 14 % доступности водных каналов для мигрирующих рыб. Разработанная в ходе исследования модель показывает, что стратегическая оптимизация удаления барьеров может восстановить доступ рыб к их основным местам обитания в притоках. Однако стоит учесть, что оптимизация удаления только плотин, без учета переездов через реки, сократит потенциальный доступ рыб к местам нереста на 24 % по сравнению с комплексным подходом, в то время как, удаление исключительно дорожных переездов окажется на 88 % менее эффективно. Результаты исследований свидетельствуют о драматических экономических и экологических перспективах игнорирования комплексной оценки факторов окружающей среды, что должно послужить достаточным стимулом для дальнейшего применения координационных усилий в пространственных и временных масштабах при восстановлении крупных экосистем.

Е.М. Степанова

Материальный след наций

The material footprint of nations. Thomas O. Wiedmann, Heinz Schandl, Manfred Lenzen, Daniel Moran, Sangwon Suh, James West, Keiichiro Kanemoto. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6271–6276.

Акцентирование политики на безопасности природопользования обусловлено тенденциями зависимости от международной торговли, импорта сырья, дефицита отдельных ключевых ресурсов и роста цен на первичные сырьевые ресурсы. С целью решения задачи по оценке необходимого количества природных ресурсов для поддержания современной экономики, ученые применили экономическую модель «затраты-выпуск» с использованием подробной базы данных глобальных материальных потоков для расчета потребностей стран за период двух десятилетий. Индикатор, называемый «материальный след», обеспечивает возможность оценки ресурсопотребления и перспектив фактического природопользования наций. Система измерения ресурсоотдачи, используемая до настоящего времени, предполагает, что некоторые развитые стра-

ны постепенно снижают (относительный декаплинг) или ограничивают (абсолютный декаплинг) использование природных ресурсов на протяжении длительного времени при стабильном экономическом росте. Немногие страны в состоянии удовлетворять свои потребности за счет внутреннего ресурсопотребления, т.е. их текущий уровень потребления ресурсов стал возможен благодаря расширению международной торговли. Учеными был проведен анализ временных рядов материального следа и материальных потоков сетей глобального производства и потребления 186 стран. Путем вычисления сырьевого эквивалента международной торговли удалось выявить, что использование странами зарубежных ресурсов в среднем примерно в 3 раза больше, чем физическая величина остальных товаров внешней торговли. С ростом благосостояния страны, как правило, уменьшение удельной доли потребления внутреннего сырья происходит благодаря международной торговле, в то время как общая масса ресурсопотребления в целом только увеличивается. Данные исследований ставят под сомнение исключительное право на использование современных показателей ресурсоэффективности.

Е.М. Степанова

Переоценка углеводородных маркеров в архейских породах

Reappraisal of hydrocarbon biomarkers in Archean rocks. Katherine L. French, Christian Hallmann, Janet M. Hope, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 5915–5920.

Появление кислородного фотосинтеза знаменует собой начало нового этапа в эволюции сложных форм жизни на Земле, однако не понятно, когда точно произошло это событие. Ранее сообщалось, что обнаруженные в архейских породах Австралии углеводородные биомаркеры указывают на то, что кислородный фотосинтез и эукариоты появились на планете на 300 млн лет раньше Великой кислородной катастрофы, произошедшей ~ 2,4 млрд лет назад. Авторы решили проверить это парадоксальное заключение и отобрали сверхчистые пробы из керна архейских пород кратона Пилбара (Австралия). Получение вытяжек и гидропиролитов также осуществлялось в условиях беспрецедентной чистоты. Измеренные

концентрации гопана и стерана в этих пробах полностью соответствуют бланковым значениям. В большинстве проб, анализируемых с точностью до 10^{-15} г/г породы, данные углеводороды отсутствовали полностью. Что касается максимальных зафиксированных значений, то они составили для гопана $37,9 \times 10^{-12}$ г/г породы, а для стерана – $32,9 \times 10^{-12}$ г/г породы. Авторы предполагают, что ранее опубликованные значения концентраций углеводородных маркеров, более чем на порядок отличавшиеся от бланковых образцов, были получены на основе анализа проб, подвергшихся поверхностному загрязнению, а гопан и стеран в архейских породах не являются сингенетичными. Это подтверждает и анализ проб, отобранных из того же стратиграфического горизонта архейских пород, но за пределами участка сверхчистого отбора. Здесь содержания гопана и стерана составили 389,5 и $1039,0 \times 10^{-12}$ г/г породы соответственно. Таким образом, утверждение о том, что фотосинтез и эукариоты появились на Земле 2,7 млрд лет назад, скорее всего, является ошибочным.

В.В. Стрекопытов

Метаболические и трофические взаимодействия определяют продуктивность метана арктической микробиотой торфяников в ответ на потепление

Metabolic and trophic interactions modulate methane production by Arctic peat microbiota in response to warming. Alexander Tødsdal Tveit, Tim Ulrich, Peter Frenzel, Mette Marianne Svenning. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2507–E2516.

Арктические вечномёрзлые почвы заключают в себе огромные запасы органического углерода. Ключевую роль в процессах высвобождения этого органического почвенного углерода из бескислородных торфяных почв играют метаногенные микроорганизмы. Согласно прогнозам климатических моделей, температуры у поверхности Земли в Арктике вырастет на 2–11 °С в зимний период и на 1–6 °С – летом. Ясно, что по мере роста глобальных температур выделение метана (CH_4) – одного из важнейших парниковых газов – в арктических регионах будет только увеличиваться, однако как при этом будет меняться механизм микробиологического разложения почвенного углерода и какие организмы будут играть ведущую роль в этом процессе, до конца не ясно. В бескислородных условиях торфяников растительные полимеры разлагаются в результате многоэтапного процесса гидролиза и ферментации, в котором участвуют, как минимум, четыре различных типа микроорганизмов – первичные и вторичные ферментеры, а также две группы метаногенов. Авторы изучили процесс выделения метана микробиотой арктических торфяников в бескислородной среде при температурном градиенте от 1 до 30 °С с помощью методов метатранскриптомного, метагеномного и целевого метаболического профилирования, выявив критические температуры,

при которых происходят резкие изменения в анаэробных метаболических процессах разложения углерода. Обнаружилось, что при температуре 4 °С уровень продуктивности CH_4 составил 25 % от аналогичного показателя при 25 °С. По мере повышения температуры наблюдался быстрый рост продуктивности, связанный с изменениями структуры микробного сообщества, нарушением метаболической сети почвенного органического углерода и трофическими взаимодействиями. При температурах ниже 7 °С фактором, ограничивающим биогенную продуктивность метана, является синтрофическое пропионовокислородное окисление. Выше этого температурного барьера таким фактором становится гидролиз полисахаридов. Подобная смена процессов связана со смещением биогенной активности по мере роста температур от фирмикот (Firmicutes) к анаэробным грамотрицательным бактериям Bacteroidetes. Также при потеплении наблюдается смена формит- и водородпотребляющих Methanobacteriales метаногенными археями Methanomicrobiales, а ацетотрофные Methanosarcinaceae сменяются на Methanosaetaceae. Метаногенезис на основе метиламинов, являющийся, скорее всего, следствием деградации клеток бактерий, усиливается с ростом температур, сопровождаясь увеличением количества хищных простейших из царства Cergozoa. Авторы делают вывод о том, что микробиота арктических торфяников быстро реагирует на рост температуры среды. Эта реакция выражается в метаболических и трофических взаимодействиях при сохранении общей высокой продуктивности метана. Адаптация микробного сообщества при этом происходит в виде смены видов, а каскадный эффект доступности субстрата определяет функциональные изменения внутри микробиоты. Данная работа является первым температурно-градиентным исследованием арктических торфяных почв, проведенным с использованием интегрированных омикских технологий.

В.В. Стрекопытов

Комплексная оценка жизненного цикла сценариев мирового производства электроэнергии подтверждает глобальную экологическую выгоду от применения низкоуглеродных технологий

Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. Edgar G. Hertwich, Thomas Gibon, Evert A. Bouman, Anders Arvesen, Sangwon Suh, Garvin A. Heath, Joseph D. Bergesen, Andrea Ramirez, Mabel I. Vega, Lei Shi. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6277–6282.

В настоящее время сдвиг в сторону низкоуглеродных источников электроэнергии принято считать ключевым элементом стратегии смягчения последствий изменения климата, поскольку это позволит существенно снизить загрязнение окружающей среды, вызванное сжиганием ископаемого топлива. При этом множество современных исследований посвящено технологиям, позволяющим снизить негативное воздействие на климат в совокупности с минимальными финансовыми издержками. В данном исследовании авторами представлена первая глобальная комплексная оценка жизненного цикла (LCA) долгосрочной, широкомасштабной реализации по-

лучения электроэнергии из возобновляемых источников, а также улавливания и хранения диоксида углерода для последующего использования в качестве ископаемого топлива. Осуществлен анализ влияния на окружающую среду и ресурсные потребности глобального широкомасштабного развертывания системы на основе различных низкоуглеродных технологий производства электроэнергии в соответствии со сценарием международного энергетического агентства (МЭА) «BLUE Map». Кроме того, выполнено его сравнение с базовым сценарием МЭА. Выполненная оценка учитывала ежегодное обновление мощностей и структуры мировой энергетики. Согласно базовому сценарию МЭА, выбросы загрязнителей воды и воздуха к 2050 г. вырастут более чем в 2 раза, в то время как следование сценарию «BLUE Map» позволит удвоить поставки электроэнергии при стабилизации или даже некотором снижении загрязнения окружающей среды. Установлено, что для создания фотоэлектрических систем необходимо в 11–40 раз больше меди, а для строительства ветряных электростанций – в 6–14 раз больше железа по сравнению со стандартными технологиями. Тем не менее, для создания низкоуглеродной энергетической системы, способной обеспечить мировые потребности в электроэнергии к 2050 г., достаточно объема мирового производства меди в течение ближайших двух лет и железа в течение одного года.

Д.Р. Низин



Антропология и история

Создатели протоориньякской культуры и их причастность к исчезновению неандертальцев

The makers of the Protoaurignacian and implications for Neandertal extinction. S. Benazzi, V. Slon, S. Talamo, F. Negrino, et al. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 793–796.

Заселение Западной Европы людьми современного типа (*Homo sapiens*) и вытеснение ими неандертальцев маркируется распространением верхнепалеолитической ориньякской культуры (Aurignacian), создателями которой традиционно считают предков современных людей. Ориньяк пришел на смену неандертальской среднепалеолитической мустьерской культуре (Mousterian). В разных районах Европы переход от среднего к верхнему палеолиту происходил неодновременно. Нередко он сопровождался появлением «промежуточных» культур, которые трактуются либо как свидетельства культур неандертальцев, либо как начальные этапы становления ориньякской культуры (протоориньяк). Одна из самых ранних версий протоориньякской культуры появилась на юге и юго-востоке Западной Европы около 42 тыс. лет назад. Предполагается, что создателями протоориньякской культуры были *Homo sapiens*, пришедшие в Западную Европу с Ближнего Востока. Однако полной уверенности в этом нет, поскольку костных останков протоориньякцев найдено очень мало. С достаточной точностью к протоориньякским слоям «привязаны» всего лишь два молочных резца — найденный в 1976 г. в местонахождении Бомбрини левый нижний боковой молочный резец и найденный в 1992 г. в пещере Фумане правый верхний боковой молочный резец. Оба местонахождения расположены в Северной Италии. Принадлежность этих зубов сапиенсам или неандертальцам до сих пор не была точно установлена. Авторы изучили морфологию зубов, а из одного из них (происходящего из пещеры Фумане) сумели извлечь фрагменты древней ДНК. Зубы неандерталь-

цев отличаются от зубов сапиенсов более тонкой эмалью. Чтобы оценить исходную толщину эмали у зуба из Бомбрини, потребовалось тщательное изучение характера его истертости и моделирование аналогичной степени износа для зубов современных людей. В итоге выяснилось, что по этому признаку зуб из Бомбрини попадает в диапазон изменчивости сапиенсов и сильно отличается от типичных неандертальских зубов. Зуб из Фумане сохранил совсем немного древней ДНК. Тем не менее, авторам удалось собрать из прочтенных фрагментов полный митохондриальный геном, который сохраняется лучше, чем ядерный, поскольку присутствует в каждой клетке в большом количестве копий. На основе анализа митохондриальной ДНК было построено генеалогическое древо протоориньякского человека из Фумане. При построении древа использовались митохондриальные геномы 54 современных людей, 10 древних сапиенсов, 10 неандертальцев, 2 денисовцев, а также гейдельбергского человека из Сима де лос Уэсос. Митохондриальный геном человека из Фумане относится к гаплогруппе R, к которой принадлежат многие современные обитатели различных районов Евразии, а также большинство палеолитических евразийских сапиенсов, включая человека из Усть-Ишима, жившего 45 тыс. лет назад. По современным уточненным оценкам, возраст слоев, содержащих зуб из Фумане, — 41–38 тыс. лет, зуб из Бомбрини — 40–35 тыс. лет. Таким образом, это самые древние на сегодняшний день бесспорные свидетельства присутствия *Homo sapiens* в слоях с протоориньякской материальной культурой. Распространение протоориньякской культуры, начавшееся около 42 тыс. лет назад, перекрывается во времени с исчезновением в Южной Европе неандертальских культур. Поэтому полученные результаты являются вполне ожидаемыми. Они не меняют имеющиеся представления о хронологии заселения сапиенсами Европы и о вытеснении ими неандертальцев, а просто делают чуть более обоснованными и менее гипотетическими.

В.В. Стрекопытов

Равенство полов позволяет объяснить уникальную социальную структуру первобытных групп охотников-собирателей

Sex equality can explain the unique social structure of hunter-gatherer bands. M. Dyble, G. D. Salali, N. Chaudhary, A. Page, D. Smith, J. Thompson, L. Vinicius, R. Mace, A. B. Migliano. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 796–798.

Социальная организация ранних мобильных сообществ охотников-собирателей обладала некоторыми специфическими особенностями, в частности, – большой «текучестью» и низкой степенью родственных связей между их членами. Для них были характерны: совместное добывание пищи, а также аллопарентальная забота о потомстве. При наличии очевидных преимуществ проживания одной большой семьей до сих пор остается загадкой причина нахождения в первобытных группах «чужаков», не связанных ни с кем из членов группы родственными связями. Авторы исследования считают подобные факты достоверным свидетельством существования равенства полов в первобытных группах охотников-собирателей, которое исчезло только при переходе к регулярноному сельскому хозяйству. В качестве маркера влияния мужчин и женщин в обществе авторы выбрали принятие решения о том, чьи родственники должны жить в одном лагере охотников-собирателей. Когда главную роль в сообществе играет один из полов, в совместно проживающую группу объединяются лишь родственники по одной линии, а чужаки не допускаются. И, наоборот, при равенстве полов формируются крупные сообщества. Чтобы проверить свою гипотезу, авторы в течение двух лет наблюдали за жизнью двух народов – паланан-акта (Филиппи-

ны) и пигмеев мбенджеле (Центральная Африка). Для сравнения ученые собрали данные по соседям паланан-акта – земледельцам паранан, чью культуру отличает патриархат. Наблюдения подтвердили исходную гипотезу: количество не являющихся родственниками индивидов среди охотников-собирателей оказалось примерно в 4 раза выше, чем у земледельцев (16,7% против 4,2%). В результате наблюдений также было замечено, что равенство полов способствует более широким социальным связям и большему разнообразию брачных партнеров. Кроме того, равенство полов и расселение родственников по разным местам расширяют количество поселений, где у человека есть близкие. Это способствует взаимопомощи и обмену информацией на расстоянии, таким образом подстегивая развитие человеческого общества. По мнению авторов, именно равенство полов помогло человеку вырваться вперед по сравнению с другими приматами. К примеру, шимпанзе живут в агрессивных группах, где главенствующую роль играют самцы. В результате эти обезьяны видят в своей жизни слишком мало самцов-чужаков, чтобы научиться новым навыкам. Переход к патриархату у *Homo sapiens*, вероятно, произошел уже в неолите при появлении земледелия и скотоводства. Тогда люди впервые научились аккумулировать экономически значимые ресурсы (зерно, скот), брать несколько жен и использовать накопленные ценности для создания союзов с родственниками мужского пола. Остается понять, насколько корректно делать выводы о социальной структуре первобытных сообществ на основе наблюдений за жизнью современных охотников-собирателей. Дело в том, что эгалитарность последних часто связана с распадом традиционной культуры под влиянием современной цивилизации.

В.В. Стрекопытов

Химическое послание в бутылках шампанского 170-летнего возраста, поднятых со дна Балтийского моря, проливает свет на вкусы прошлого

Chemical messages in 170-year-old champagne bottles from the Baltic Sea: Revealing tastes from the past. Philippe Jeandet, Silke S. Heinzmann, Chloé Roullier-Gall, et al. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 5893–5898.

В 2010 г. на глубине 50 м в Балтийском море водолазы обнаружили около 160 бутылок игристого вина производства престижных домов шампанских вин «Вдова Клико» (Veuve Clicquot Ponsardin (VCP)), «Хайдсик» (Heidsieck) и «Жугляр» (Juglar) емкостью 750 мл каждая, закупоренных, предположительно, в 30–40-е годы XIX века. Установить марки удалось благодаря характерной маркировке на пробках. Напитки, как отмечают ученые, содержались в превосходных условиях: на дне Балтики стабильно низкая температура и ограничен доступ солнечного света. Это позволило шампанскому сохранить все свои свойства, а экспертам – продегустировать вино, созданное в XIX веке. Как сообщили виноделы, в шампанском преобладали острые, дымные и кожистые ароматы. Содержание алкоголя в нем оказалось равным 9%, что значительно меньше, чем в его современных версиях, где содержание спирта оценивается в 12%. Специалисты связывают это с особенностями технологии ферментации, существовавшей в XIX веке. Судя по большим долям ионов металлов в шампанском, оно было изготовлено из мелких ягод, чей сок хранился в деревянных бочках во время первичного брожения. Пребывание в бочках оставило в вине следы в виде особых карбоновых кислот. Это открытие тоже было неожиданным для технологов, так как сегодня вино-

делы не используют подобные сосуды при изготовлении игристых вин. Метод магнитно-ядерного резонанса показал, что игристые вина прежде были гораздо более сладкими, чем нынешние образцы. Скорей всего, в процессе производства они подслащивались виноградным сиропом. Шампанское содержит малое количество уксусной кислоты (показателя порчи вина), что говорит о том, что оно прекрасно сохранилось. Однако старое шампанское стало значительно менее шипучим, – скорее всего, за 170 лет углекислый газ ушел сквозь пробки из бутылок в воду. Виноделы отметили, что в вине не содержится вредных микроорганизмов, что означает отличную гигиену труда, существовавшую на производстве этого напитка. Также анализы показали, что в вине, поднятом с морского дна, содержались довольно высокие концентрации металлов, таких как железо и медь. Это может указывать на то, что виноделы XIX века использовали в довольно больших количествах соки из второго отжима винограда, которые считаются менее качественными. Найденные на дне Балтики великолепно сохранившиеся бутылки «Вдовы Клико» помогли технологам раскрыть два «секрета» знаменитого шампанского начала XIX века – выдержку в деревянных бочках и добавление виноградного сиропа. Интересно, что не только ученые, но и специалисты по виноделию провели свои эксперименты, вдохновившись данной находкой. Представители знаменитого дома Veuve Clicquot, который сегодня производит элитное шампанское, сообщили, что они поместят в то же место на морское дно 350 бутылок со своими винами и будут пробовать напитки на вкус каждые три года. Характеристики этих «выдержанных океаном» напитков сравнят с теми, что хранятся в погребах Veuve Clicquot при стандартных условиях. Возможно, этот эксперимент позволит современным виноделам разработать новый метод хранения игристых и прочих вин.

В.В. Стрекопытов

Биология

Общая эндотермия у мезопелагической рыбы, опаха, *Lampris guttatus*

Whole-body endothermy in a mesopelagic fish, the opah, *Lampris guttatus*. Nicholas C. Wegner, Owyn E. Snodgrass, Heidi Dewar, John R. Hyde. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 786–789.

Рыбы являются хладнокровными существами, и температура их тела, а значит и активность, зависят от условий окружающей среды. Поэтому хищные обитатели холодных вод, как правило, спокойны и медлительны. Большую часть времени они экономят силы, внезапно нападая из засады. Известно, что тунцы, марлины и некоторые акулы могут временно повышать собственную температуру на несколько градусов во время охоты. Повышенная внутренняя температура тела, в особенности сердца и мозга, является безусловным преимуществом обитателей холодноводных глубин. Сердце работает существенно хуже и медленнее в холодной воде, это снижает скорость метаболизма, реакции замедляются. То же касается и работы мозга, служащего регулятором поведения, и работы глаз как датчиков внешних стимулов. Эффективность их деятельности в холодной воде заметно снижается. Авторы обнаружили первую полностью теплокровную рыбу – обыкновенного опаха (*Lampris guttatus*). До сих пор было известно, что эта крупная рыба с массивным овальным телом, которую еще называют «лунная рыба», обитает на глубинах от 50 до 400 м при температуре воды ниже 10 °С, где питается кальмарами и крилем. Внимание ученых привлекло необычное строение кровеносной системы опаха: сосуды, несущие кровь от тканей к жабрам, обвиты сосудами, идущими в противоположном направлении. У этих рыб вены и артерии тесно сплетены в так называемую «чудесную сеть» (*rete mirabile*). Ранее «чудесную сеть» находили у морских птиц (она помогает им снижать теплотери от плавания в холодной воде) и у китов. Согревает она и мускулы тунца и макрели. Од-

нако только у опахов этот теплообменник окружает жабры. Кроме того, его изолирует слой жира толщиной около 1 см. Так как при насыщении кислородом кровь теряет энергию и охлаждается, подобная система похожа на природный радиатор, в котором более теплая кровь, покидая мышцы, помогает разогреть охлажденную кровь, бегущую от жабр. Таким образом, у опаха поддержание повышенной температуры обеспечивается двумя взаимодополняющими способами. Первый из них – это организация передачи тепла от теплых сосудов к холодным до контакта с холодной водой в жаберной полости, а второй – теплоизоляция контактирующих с водой тканей. Это открытие заставило исследователей по-новому взглянуть на биологию и образ жизни обитателя океанических глубин. Наблюдая поведение опаха в природе, они заметили, что рыба постоянно двигает плавниками и, по всей видимости, за счет мышечных сокращений нагревает кровь. Производя замеры температуры разных частей тела опаха после подъема на борт судна, авторы обнаружили, что средняя температура тела рыбы примерно на 5 °С больше, чем вода на глубине, где она была поймана. Затем в грудную мышцу опаха был имплантирован температурный датчик, что позволило производить замеры температуры в естественной среде обитания рыбы в течение нескольких часов. Даже после того, как опух достиг глубоких слоев с температурой не выше 4 °С, его мышцы оставались разогретыми до 14 °С. Высокая температура тела должна обеспечивать ряд преимуществ, в том числе в скорости плавания и выносливости. Кроме того, еще в 2009 г. было обнаружено, что глаза и мозг опаха дополнительно разогреваются с помощью специальных мышц. Эти данные позволяют предположить, что кажущаяся неуклюжей и неповоротливой рыба, на самом деле является активным хищником, который с помощью острого зрения, быстрой реакции и повышенной выносливости может выслеживать и преследовать глубоководных кальмаров.

В.В. Стрекопытов

Об оптимальном размере клетки

On being the right (cell) size. Miriam B. Ginzberg, Ran Kafri, Marc Kirschner. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 771–779.

Для разных типов клеток животных характерны различные размеры. Высокая точность регуляции размера клеток проявляется, например, в единообразии размеров клеток одной ткани, тогда как различия в размерах могут говорить о неопластическом росте. Отчасти размер клеток определяется внеклеточными сигналами: ростовыми факторами и цитокинами, однако отдельные клетки отклоняются от задаваемой ими нормы. Каким образом физиологические программы дифференцировки клеток определяют их размер, – один из важнейших нерешенных фундаментальных вопросов клеточной биологии. В данном обзоре представлены доказательства того, что отдельные клетки способны определять и регулировать свой размер для поддержания однородности популяции, в частности, – через регуляцию частоты деления. В одной из рассмотренных работ на примере лимфоцитов одного возраста было установлено, что более крупные клетки

делятся чаще, чем мелкие. На примере различных экспериментов с модификациями размеров клеток было показано, что некоторые ткани легко приспосабливаются к этим изменениям, тогда как в других тканях клетки функционируют нормально только при сохранении определенного размера. Например, было показано, что способность β-клеток поджелудочной железы вырабатывать инсулин более сильно коррелирует с их размерами, чем с метаболической активностью. В адипоцитах характер экспрессии генов и уровни метаболизма также различаются в зависимости от их размеров, вероятно из-за того, что при увеличении размера возрастает и площадь взаимодействия клетки с внеклеточным матриксом. Это взаимодействие активирует дополнительные сигнальные пути, стимулирующие определенные транскрипционные факторы. Проанализированные данные говорят о глубине и значении этой регуляции и о необычности ее механизмов, однако на данный момент остаются невыясненными два вопроса: 1) от каких факторов зависит средний размер клетки в линии дифференцировки; 2) каким образом клетки приспосабливаются к внешним стимулам, влияющим на их размер.

А.Л. Братцева

Ключевая роль YAP в поддержании тонуса тканей и формы тела у позвоночных

YAP is essential for tissue tension to ensure vertebrate 3D body shape. Sean Porazinski, Huijia Wang, Yoichi Asaoka, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 217–221.

Позвоночные обладают уникальной пространственной организацией тела, в основе которой лежат верные расположение и форма органов и тканей. Морфогенез тканей, в свою очередь, зависит от генерации силы, передачи ее через ткань и от реакции ткани и внеклеточного матрикса на силовые воздействия. Хотя и принято считать, что форма тела наземных животных обусловлена гравитацией, отсутствуют наглядные доказательства координации морфогенеза и развития правильной формы тела через гравитацию. В данном исследовании описана уникальная мутантная японская медака (*Oryzias latipes*), чувствительная к деформации посредством

гравитации. Ее эмбрионы обладают уплощенным телом вследствие нонсенс-мутации гена YAP – ядерного фактора сигнального пути Hippo, регулирующего размер органов через пролиферацию. Было установлено, что у этих эмбрионов нарушен актомиозин-зависимый тонус тканей. Это обуславливает их уплощение, и неправильное расположение, и, как следствие, уплощение тела. Авторы также исследовали функцию YAP в объемных сфероидов клеток пигментного эпителия сетчатки человека и установили, что YAP контролирует тонус тканей через взаимодействие с мишенью – белком ARHGAP18-активатором Rho-ГТФаз. В отличие от нормальных сфероидов, сфероиды с нокадаун YAP схлопывались при центрифугировании. В них также наблюдалось пониженное содержание транскриптов *ARHGAP18*. Полученные результаты указывают на ранее неизвестную роль YAP в поддержании формы тела и могут быть использованы для получения сложных органов с оптимальной конфигурацией тканей из эмбриональных стволовых клеток.

А.Л. Братцева

Регуляторы ранней стадии перепрограммирования идентифицированы с помощью проспективной изоляции и масс-цитометрии

Early reprogramming regulators identified by prospective isolation and mass cytometry. Ernesto Lujan, Eli R. Zunder, Yi Han Ng, Isabel N. Goronzy, Garry P. Nolan, Marius Wernig. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 352–356.

Перепрограммирование соматических клеток в плюрипотентное состояние, как правило, представляет собой малоэффективный процесс, в котором принимают участие гетерогенные популяции непродуктивных и продуктивных интермедиатов. Согласно проведенным ранее исследованиям, перепрограммирование состоит из ранней стохастической и поздней детерминированной стадии. Попытки идентификации поверхностных маркеров популяций интермедиатов осуществлялись в предположении, что в процессе перепрограммирования клетки постепенно теряют свойства донорских клеток и приобретают свойства индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (иПСК). На основании известных в то время маркеров плюрипотентности удалось охарактеризовать интермедиаты поздней стадии. Ран-

няя стохастическая стадия при этом осталась практически не изученной. В рамках проведенного исследования, авторы демонстрируют, что маркеры эпителиальных и индуцированных стволовых клеток, такие как *EpcAM* и *SSEA1*, на ранних этапах не являются предикторами перепрограммирования. Вместо этого, клетки, склонные к раннему перепрограммированию, экспрессируют уникальный набор поверхностных маркеров, включающий *CD73*, *CD49d* и *CD200*. Следует учитывать, что данные маркеры отсутствуют как в фибробластах, так и в иСК клетках. На основании методов проспективной изоляции и масс-цитометрии одиночных клеток авторами было установлено, что интермедиаты являются промежуточным звеном между молчанием донорских клеток и приобретением ими маркеров плюрипотентности во время ранней стадии перепрограммирования. Профилирование экспрессии позволило также обнаружить раннюю повышающую регуляцию транскрипционных регуляторов *NrOb1* и *Etv5* в состоянии перепрограммирования, которое предшествует активации ключевых регуляторов плюрипотентности, таких как *Rex1*, *Dppa2*, *Nanog* и *Sox2*. Таким образом, проведенное исследование раскрывает ранние стадии многоступенчатого процесса, приводящего, в конечном счете, к приобретению клетками плюрипотентности.

Д.Р. Низин

Рекурсивный сплайсинг в длинных генах позвоночных

Recursive splicing in long vertebrate genes. Christopher R. Sibley, Warren Emmett, Lorea Blazquez, Ana Faro, Nejc Haberman, Michael Briese, Daniah Trabzuni, Mina Ryten, Michael E. Weale, John Hardy, Miha Modic, Tomaz Curk, Stephen W. Wilson, Vincent Plagnol, Jernej Ule. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 371–375.

Принято считать, что сплайсинг удаляет последовательности интронов из прекурсоров матричной РНК. Однако, три интрона *Drosophila melanogaster*, длиной более 24 тысяч пар нуклеотидов (т.п.н.) каждый, содержат криптоический сайт, известный как сайт рекурсивного сплайсинга (RS-сайт). Это позволяет им принимать участие в рекурсивном сплайсинге – многоступенчатом процессе удаления интронов. RS-сайты этих интронов содержат 3» сплайсинг-сайт, за которым следует последовательность, восстанавливающая 5» сплайсинг-сайт сразу после сплайсинга первой части интрона, что позволяет продолжить сплайсинг второй его части. Тем не менее, рекурсивный сплайсинг и его механистические основы в других ви-

дах практически не изучены. В данном исследовании авторы идентифицировали высоко консервативные RS-сайты генов, экспрессируемых в клетках мозга млекопитающих и кодирующих белки, ответственные за развитие нейронов. Помимо этого, RS-сайты были обнаружены в некоторых длиннейших интронах позвоночных. Для описания рекурсивного сплайсинга у позвоночных авторами введено понятие «RS-экзона» – последовательности, следующей за RS-сайтом. Как правило, происходит исключение RS-экзона из доминирующей изоформы мРНК за счет конкуренции с восстановленным 5» сплайсинг-сайтом, находящимся после первой стадии сплайсинга на месте RS-сайта. Включение же RS-экзона в последовательность осуществляется, если предшествующим криптоическим промоторам или экзонам не удалось восстановить эффективный 5» сплайсинг-сайт. Большая часть RS-экзонов содержит преждевременный стоп-кодон, включение которого может существенно снизить стабильность мРНК. Таким образом, за счет создания бинарного переключателя сплайсинга, RS-сайты разграничивают изоформы мРНК, развивающиеся из длинных генов путем связывания криптоических элементов, включающих RS-экзоны.

Д.Р. Низин

Полногеномная идентификация рекурсивного сплайсинга с нулевым числом нуклеотидов в *Drosophila*

Genome-wide identification of zero nucleotide recursive splicing in *Drosophila*. Michael O. Duff, Sara Olson, Xintao Wei, Sandra C. Garrett, Ahmad Osman, Mohan Bolisetty, Alex Plocik, Susan E. Celniker, Brenton R. Graveley. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 376–379.

Рекурсивный сплайсинг представляет собой процесс, при котором удаление длинных интронов происходит в несколько стадий за счет повторного сплайсинга в 5» сплайсинг-сайтах, восстанавливаемых после сплайсинга. Впервые рекурсивный сплайсинг был обнаружен у *Drosophila melanogaster* в гене *Ultrabithorax (Ubx)*. Интрон длиной 73 тысячи пар нуклеотидов (т.п.н.) в *Ubx* содержит два альтернативных микроэкзона — mI и mII, каждый из которых включает в себя консенсус последовательности 5» сплайсинг-сайта GTAAGA, расположенный непосредственно за 3» сплайсинг-сайтом. Данный интрон также содержит так называемую храповую точку (ratchet point) — экзон с нулевым числом нуклеотидов, со-

стоящий из совмещенных 3» и 5» сплайсинг-сайтов. Проведенные ранее исследования позволили предсказать большое число потенциальных храповых точек, однако, существование лишь некоторых из них удалось подтвердить экспериментально. В рамках данной работы авторы идентифицировали 197 экзонов с нулевым числом нуклеотидов в 130 интронах 115 генов на основании последовательностей РНК, полученных из 183 индивидуальных образцов *D. melanogaster*. Последовательный характер рекурсивного сплайсинга подтверждается существованием структур типа лассо, содержащих удаленный интрон. Также установлено, что рекурсивный сплайсинг является конститутивным процессом, а последовательность и функции храповых точек у *Drosophila* представляют собой эволюционно консервативные параметры. Помимо этого, авторы идентифицировали четыре гена человека, подверженных рекурсивному сплайсингу. Полученные результаты свидетельствуют о том, что рекурсивный сплайсинг, часто встречающийся у *Drosophila*, имеет место и в организме человека. Кроме того, он позволяет получить представление о механизмах, участвующих в процессе удаления ряда длинных интронов.

Д.Р. Низин

Сравнительный анализ наблюдений за животными с помощью датчиков выявил экологическое значение эндотермии у рыб

Comparative analyses of animal-tracking data reveal ecological significance of endothermy in fishes. Yuuki Y. Watanabe, Kenneth J. Goldman, Jennifer E. Caselle, Demian D. Chapman, Yannis P. Papastamatiou. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 6104–6109.

Большинство рыб являются хладнокровными существами, однако среди них есть такие, организм которых поддерживает внутреннюю температуру тканей на уровне выше температуры окружающей водной среды. К таким рыбам относятся тунцы и некоторые акулы (например, белые акулы). Внутренний разогрев у них происходит в основном за счет движения мускулов. Они также обладают сетью артерий и вен, которая позволяет им повышать внутреннюю температуру при плавании. Эта особенность под названием эндотермия является удивительным примером конвергентной эволюции, учитывая то, что костные и хрящевые рыбы начали дивергировать 450 млн лет назад. Авторы исследования задались вопросом отно-

сительно экологических преимуществ эндотермии у рыб. В частности, решено было проверить, позволяет ли наличие разогретых мышц получать преимущества в скорости движения. Чтобы получить необходимые данные, авторы изучили уже имеющуюся информацию и собрали новую, используя датчики, прикрепленные к акулам по всему миру. По результатам работы они сделали вывод, что теплокровные рыбы плавают быстрее, чем хладнокровные. Эндотермические рыбы тратят больше энергии при каждом движении, чем хладнокровные. С одной стороны, это повышает физиологические расходы, но с другой — повышает скорость плавания и расширяет круг миграции. Авторы предполагают, что это позволяет эндотермам быть более эффективными охотниками, обитать на огромной территории, имея преимущества перед другими видами в разнообразии источников питания. Описанная функция обнаружена у четырех видов акул и пяти видов тунца. Исследование позволяет в какой-то мере понять, почему эти рыбы эволюционировали до развития эндотермической системы. Сейчас исследователи планируют собрать данные по другим группам рыб, проанализировать их и сравнить с точки зрения скорости и движения.

В.В. Стрекопытов

Сильная селективная очистка аллелей на X-хромосоме у человекообразных приматов

Extreme selective sweeps independently targeted the X chromosomes of the great apes. Kiwoong Nam, Kasper Munch, Asger Hobolth, Julien Yann Dutheil, Krishna R. Veeramah, August E. Woerner, Michael F. Hammer, Great Ape Genome Diversity Project, Thomas Mailund, Mikkel Heide Schierup. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6413–6418.

Уникальный характер наследования X-хромосомы играет роль в ее подверженности естественному отбору, отличной от таковой у аутосом, что может приводить к ускоренной эволюции. Авторы провели сравнительный анализ полиморфизма ДНК X-хромосом 10 различных видов человекообразных приматов, включая человека. Исследование показало, что у большинства присутствуют участки длиной порядка 1 000 000 пар оснований, в которых варибельность нуклеотидов составляет менее 20% по сравнению со средним показателем. Такие зоны были найдены исключительно на X-хромосоме.

В подобных участках можно встретить более высокую частоту однонуклеотидных полиморфизмов, при внутривидовом анализе — повышенный уровень дифференциации популяций, а также увеличенное соотношение смысловых и бессмысловых замен по сравнению с остальной последовательностью X-хромосомы. Было показано, что степень уменьшения разнообразия не соответствует прямому отбору, действию одного только фонового отбора или мягкой форме селективной очистки. Таким образом, авторы предполагают, что в конкретных участках генома у некоторых видов, независимо друг от друга происходила селективная очистка аллелей. Единственный генетический признак, который был сильно связан с отсутствием варибельности — это положение экспрессирующихся в семенниках ампликонных генов, в районе которых степень генетического разнообразия была сильно понижена. Авторы предполагают, что такие гены могут отвечать за селективную очистку в виде мейотического дрейфа, вызванного внутригеномным конфликтом при мейозе с образованием мужских гамет.

А.Э. Ходосевич

Отсутствие синапсиса в процессе мейоза запускает многопоколенное подавление экспрессии трансгена в *Caenorhabditis elegans*

Lack of pairing during meiosis triggers multigenerational transgene silencing in *Caenorhabditis elegans*. Luciana E. Leopold, Bree N. Heestand, Soobin Seong, Ludmila Shtessel, Shawn Ahmed. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E2667–E2676.

Однокопийные трансгены в *Caenorhabditis elegans* могут подвергаться эффективному и необратимому процессу эпигенетического подавления экспрессии генов с помощью малых РНК (RNAe). RNAe обеспечивается за счет относящегося к семейству Piwi белка группы Argonaute 1 (PRG-1) и соответствующих малых некодирующих РНК, которые взаимодействуют с Piwi (piRNA), а также за счет белков, которые усиливают и реагируют на продукцию «вторичных» малых интерферирующих РНК (siRNA). В данной работе описывается родственный, siRNA-опосредованный, процесс подавления экспрессии генов, называемый «многопоколенный RNAe»

(multigenerational RNAe, multiRNAe), который может происходить с трансгенами, которые находятся в гемизиготном состоянии на протяжении нескольких поколений. Подавление экспрессии трансгенов, содержащих в качестве эпитопной метки GFP или mCherry, возможно с помощью multiRNAe, тогда как экспрессия трансгенов, содержащих GFP и идеальный связывающий сайт для piRNA, необратимо подавляется путем RNAe. В работе показано, что как для инициации, так и для поддержания multiRNAe необходимы PRG-1 и участвующий в биогенезе «вторичных» малых интерферирующих РНК белок *Caenorhabditis elegans* RDE-2. Несмотря на то, что подавление экспрессии за счет RNAe необратимо, экспрессия гемизиготных трансгенов, подавленная multiRNAe может быть восстановлена, если трансгены станут гомозиготными. MultiRNAe усиливается, когда в мейозе прекращается синапсис хромосомы, несущей трансген. Многопоколенные RNAe могут широко применяться для обратимого или необратимого подавления экспрессии однокопийных трансгенов в экспериментальной биологии. Анализ такого пути дает возможность понять некоторые процессы эпигенетического подавления экспрессии в геноме в зародышевых клетках и эмбрионах.

А.Э.Ходосевич

Сложные археи, которые заполняют пробел между прокариотами и эукариотами

Complex archaea that bridge the gap between prokaryotes and eukaryotes. Anja Spang, Jimmy H. Saw, Steffen L. Jørgensen, Katarzyna Zaremba-Niedzwiedzka, Joran Martijn, Anders E. Lind, Roel van Eijk, Christa Schleper, Lionel Guy, Thijs J. G. Ettema. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 173–179.

В статье сообщается об обнаружении микроорганизмов из надцарства архей, более близких к эукариотам, чем любые другие прокариоты. Новая группа микробов получила имя Lokiarchaeota, происходящее от названия гидротермальных образований – Замок Локи (Loki's Castle) – расположенных на глубине 2352 м. в зоне Срединно-Атлантического хребта между Гренландией и Норвегией, рядом с которыми были обнаружены микроорганизмы. Судя по набору генов, локиархеи обладают многими важными признаками эукариот, включая актиновый цитоскелет и способность к фагоцитозу. Скорее всего, именно благодаря этой способности предкам эукариот удалось захватить бактериального симбионта, давшего начало митохондриям. Открытие подтвердило, что эукариоты не просто имели общего предка с современными археями (что соответствует «трехдоменному» древу жизни), а произошли от одной, вполне определенной, группы архей, что соответствует «двухдоменному» древу и формально заставляет считать эукариот подгруппой архей. Происхождение эукариот – одна из самых интригующих проблем эволюционной биологии. Для объяснения отдельных этапов становления эукариотической клетки и всего процесса в целом предложены сотни гипотез. Геном эукариот явно имеет химерное происхождение: часть генов досталась им от архей, другая – от бактерий. Гены архейного происхождения выполняют в эукариотической клет-

ке в основном «центральные» функции (такие как работа с генетической информацией и синтез белка), гены бактериального происхождения отвечают в основном за «периферические» функции (обмен веществ, взаимодействие с внешней средой). По-видимому, предок эукариот (та клетка, которая приобрела митохондриального симбионта) был близок к археям, а бактериальные гены он получил путем горизонтального переноса. ДНК локиархей содержат в себе целый набор генов, которые ранее никогда не находили ни у архей, ни у бактерий, и которые являются основой для всех существующих сегодня многоклеточных существ, растений и простейших. В их число входят гены, отвечающие за транспортировку белков через ядерную и клеточную мембрану, а также за ряд других необычных для микробов функций. Локиархеи и их предки должны быть в чем-то похожи по образу своей жизни на амёб и других простейших – у них, скорее всего, есть гибкая клеточная оболочка и мембрана, формой которой они умеют управлять, они умеют захватывать частички пищи и «переваривать» их. Данное умение эволюционные биологи считают ключевым фактором в эволюции многоклеточной жизни. В геноме локиархей имеется 5 генов, кодирующих белки, похожие на эукариотические актины и актиноподобные белки (ARPs). Эти белки («локиактины») намного ближе к актинам эукариот, чем открытые ранее у других архей гомологи актина – так называемые кренактины. У новых микроорганизмов также обнаружено большое разнообразие особых регуляторных белков (малых ГТФаз из надсемейства Ras), играющих у эукариот важную роль в регуляции работы актинового цитоскелета, а также в таких процессах, как фагоцитоз и везикулярный транспорт. Авторы считают, что открытие локиархей поможет понять, как бактерии, не имеющие ядра, – прокариоты – стали эукариотами, содержащими ДНК внутри ядра.

В.В. Стрекопытов

Экологические условия определяют разделение звуковой среды у рыб

Environmental constraints drive the partitioning of the soundscape in fishes. Laëtitia Ruppé, Gaël Clément, Anthony Herrel, Laurent Ballesta, Thierry Décamps, Loïc Kéver, Eric Parmentier. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 6092–6097.

В последнее время увеличивается количество сообщений о рыбах, использующих звуки для коммуникации. Однако, остается неизвестным, как различные виды рыб «делают» звуковую среду, и каким образом они избегают ошибок при обмене сообщениями. Различные механизмы снижения интерференции звуковых сигналов были описаны у птиц, млекопитающих и лягушек, но мало известно о том, за счет чего снижается уровень помех у рыб. Как организована акустическая коммуникация рыб в природных сообществах до сих пор не было изучено; как правило, исследования проводились на одном или двух видах рыб. В данной работе авторы провели классификацию акустических сигналов, издаваемых в сообществе

рыб на глубине 120 м у побережья Содвана Бэй (Южная Африка) и попытались понять, каким образом различные виды рыб делят акустическую среду. В ходе исследования авторы записали 2793 звуков, которые были сгруппированы по сходству их акустических характеристик. Представляется важным подчеркнуть, что эти данные демонстрируют невероятное разнообразие звуков, издаваемых рыбами и китообразными. Дальнейший анализ позволил выявить 16 различных сигналов, которые могут принадлежать разным рыбам, однако поскольку звуки были зафиксированы на большой глубине, было невозможно визуально идентифицировать до вида рыб, издающих эти звуки. Проведенный количественный анализ звуковой активности показал четкие отличия между дневными и ночными группами рыб. Кроме того, было обнаружено, что звуковые характеристики сигналов перекрываются сильно в течение дня, но в ночное время они четко разделены по пиковой частоте и периодичности импульсов. По-видимому, это означает, что в ночное время, при отсутствии зрительных ориентиров, четкость звуковых сообщений становится более важной.

С.В. Зворыкина

Выбор сайта интеграции ВИЧ-1 определяется структурой ядра

Nuclear architecture dictates HIV-1 integration site selection. Bruna Marini, Attila Kertesz-Farkas, Hashim Ali, Bojana Lucic, Kamil Lisek, Lara Mangano, Sandor Pongor, Roberto Luzzati, Alessandra Recchia, Fulvio Mavilio, Mauro Giacca, Marina Lusic. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 227–231.

Одним из важных аспектов взаимодействия между ВИЧ типа 1 (ВИЧ-1) и его целевыми клетками является столкновение вирусной комплементарной ДНК (кДНК) со сложной структурой ядра. Были проанализированы списки человеческих генов, являющихся мишенями для ВИЧ-1 из шести различных исследований, содержащие 1136 уникальных сайтов интеграции гена в активированных Т-клетках (лимфоцитах, развивающихся в тимусе), несущих антиген CD4 (кластер дифференциации 4); 126 из этих генов повторялись в двух списках, 24 – в трех, а 6, по крайней мере, – в четырех списках. В общей сложности – 156 генов, которые были названы повторяющимися генами интеграции ВИЧ (RIG). RIG были ранжированы по частоте и нанесены на карту хромосом человека. Применив трехмерную флуоресцентную гибридную *in situ* (FISH), авторы оценили положение RIG и зон с высокой плотностью интеграции ВИЧ-1 в первичных Т-клетках CD4, полученных от здоровых доноров. Когда радиальные расположения сигналов RIG FISH были уложены в три зоны равной площади, наблюдался отчетливый градиент локализации сигнала, который уменьшался по направлению от ядерной оболочки к внутренней части. Таким образом, авторы визуализировали положение собственной ДНК ВИЧ-1 в зараженных ядрах первичных Т-клеток CD4. В случаях, когда интеграция была нарушена,

вирусная кДНК передвигалась вокруг ядра. Большинство мишеней ВИЧ-1 широко распространены в различных типах клеток. Однако между ними существуют тонкие различия. Чтобы понять особенности хроматина RIG, было проведено сравнение имеющихся данных о последовательности иммунопреципитации хроматина (ChIP-seq), полученного в Т-клетках CD4 для RIG, «холодных» генов (транскрипционно неактивных генов, не являющихся мишенью для ВИЧ-1) и списка генов, соответствующих 1000 наиболее экспрессирующихся (активных) и 1000 наименее экспрессирующихся (молчащих) генов из атласа экспрессии генов (GNF SymAtlas). Гетерохроматиновые домены, ассоциированные с ядерной ламиной (LAD), содержат примерно 4000 транскрипционно неактивных генов. Транскрипционно активные гены на ядерной периферии часто связаны с комплексом ядерной поры (NPC). Также было проверено, является ли локализация ВИЧ-1, когда вирус возвращается из транскрипционно неактивного состояния в активное. Полученные результаты показывают, что гены клеток, которые являются мишенями для ВИЧ-1, не распределены случайным образом, будучи расположенными в пределах 1 мкм от края ядра; эти гены значительны в метках открытого хроматина, они отсутствуют в LAD и связаны с NPC. Почему вирусная ДНК интегрируется в компартмент NPC? Возможно, что вирус просто интегрируется в первые регионы открытого хроматина, когда направляется в ядро. Наконец, при добавлении трехмерной визуализации процесса интеграции ВИЧ-1, полученные результаты также показывают, что локализация ДНК ВИЧ-1 в тесном соотношении с ядерной порой имеет функциональную значимость, поскольку это является важным для продуктивной экспрессии генов ВИЧ-1.

Н.В. Карпов

Изменение pH приводит к нестабильности амилоидных фибрилл и образованию олигомеров

pH-induced molecular shedding drives the formation of amyloid fibril-derived oligomers. Kevin W. Tipping, Theodoros K. Karamanos, Toral Jakhria, Matthew G. Ladanza, Sophia C. Goodchild, Roman Tuma, Neil A. Ranson, Eric W. Hewitt, Sheena E. Radford. PNAS. 2015. Vol. 112. No 18. P. 5691–5696.

В настоящее время широко известны заболевания, молекулярной причиной которых является образование и накопление в клетках токсичных белковых агрегатов. Образование амилоидов происходит вследствие формирования ансамбля различных агрегатов, вызывающих возникновение патологических каскадов и заболеваний. Инициация этого процесса вызвана самосборкой частично развернутых или внутренне разупорядоченных белковых предшественников, приводящей к образованию набора промежуточных олигомерных продуктов. Эти олигомеры, предшествующие образованию зрелых амилоидных фибрилл, обычно рассматриваются в качестве токсичных агентов при развитии амилоидных заболеваний. В целом, в настоящее время принято считать амилоидные фибриллы в качестве прямых или косвенных агентов, вызывающих амилоидные заболевания. В связи с тем, что образование амилоидов находится под кинетическим контролем, то небольшие изменения в популяции амилоидного предшественника могут вызвать сильные изменения скорости образования фибрилл. В то же время, кинетическая стабильность амилоидных фибрилл может быть увеличена в результате изменений аминокислотной последовательности белка или добавки небольших молекул или молекулярных шаперонов. Такое увеличение стабильности фибрилл может защитить от проявления их токсичности,

преимущественно в связи с подавлением образования олигомеров. Однако механизмы токсичности амилоидов и природа белковых агрегатов, ответственных за нарушение функционирования клеток, остаются невыясненными. В настоящей работе авторы использовали в качестве модельной системы β 2-микроглобулин (β 2m) и показали, что стабильность амилоидных фибрилл находится в сильной зависимости от pH и мягкое подкисление усиливает образование на основе фибрилл ненативных олигомеров, которые могут разрушить мембрану и вызвать изменение функционирования клеток. Было показано, что нарушение целостности мембран амилоидными фибриллами вызвано распадом мембраноактивных олигомеров в процессе, зависимом от pH. Используя методы регистрации флуоресценции тиюфлавина Т, ЯМР-спектроскопии, электронной микроскопии и флуоресцентной корреляционной спектроскопии, авторы показали, что разборка фибрилл при pH 6,4 приводит к формированию сферических олигомеров, разрушающих синтетические мембраны. В то же время, напротив, диссоциация фибрилл при pH 7,4 вызывает образование нетоксичных нативных мономеров. Химическая сшивки с белком теплового шока HSP70 повышают кинетическую стабильность фибрилл и снижает их способность вызывать разрушение мембран и нарушение функции клеток. Полученные в настоящей работе результаты подчеркивают значение pH в определении стабильности образующихся фибрилл. На основе полученных результатов авторы высказали предположение, что попадание фибрилл в кислые внутриклеточные компартменты может приводить к возникновению амилоидных заболеваний в результате индуцированного pH распада токсичных видов олигомеров, а белок теплового шока HSP70 может защищать клетки от вредного воздействия фибрилл β 2m.

И.М. Мохосоев

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-Hapak, et. al. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 803–808.

Авторы сообщают о разработке прототипа вакцины от рака из мутировавших белков опухоли. Результаты исследования могут стать 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 включает защитную систему. 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 авторы уже демонстрировали, что вакцина из мутировавших белков опухоли провоцирует сильную иммунную реакцию у мышей, а теперь показали, что то же возможно и для человека. Ученые секвенировали геном опухоли в образцах, взятых у трех пациентов с меланомой, после чего каталогизировали мутантные белки в каждом образце. Затем 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 дендритных иммунных 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.

В.В. Стрекопытов

Клинические улучшения при псориазе при специфическом воздействии на интерлейкин IL-23

Clinical improvement in psoriasis with specific targeting of interleukin-23. Tamara Kopp, Elisabeth Riedl, Christine Bangert, Edward P. Bowman, Elli Greisenegger, Ann Horowitz, Harald Kittler, Wendy M. Blumenschein, Terrill K. McClanahan, Thomas Marbury, Claus Zachariae, Danlin Xu, Xiaoli Shirley Hou, Anish Mehta, Anthe S. Zandvliet, Diana Montgomery, Frank van Aarle, Sauzanne Khalilieh. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 222–226.

Псориаз — хроническое воспалительное заболевание кожи, поражающее 2–3% мирового населения. Установление иммунологических причин псориаза позволило разработать более узконаправленные и эффективные методы лечения. Объектом последних исследований стала общая для интерлейкинов IL-12 и IL-23 субъединица (IL) – 12/23p40. Полученные данные позволяют рассматривать IL-23 как перспективную терапевтическую мишень при псориазе. В данном исследовании было испытано действие тильдракизумаба — моноклонального антитела, специфически связывающего субъединицу IL-23p19 и нейтрализующего функцию

IL-23. Клинические испытания I фазы проводились в 3 стадии на пациентах с различными степенями тяжести бляшковидного псориаза. На 1 стадии случайным больным внутривенно вводили плацебо или тильдракизумаб в дозах 0,1, 0,5, 3 и 10 мг/кг массы тела на нулевой, 56 и 84 дни эксперимента. На 2 стадии плацебо и препарат в дозах 3 и 10 мг/кг вводили на 1, 28 и 56 дни. На 3 стадии применяли плацебо и тильдракизумаб в дозах 0,05 и 0,1 мг/кг на 1, 56 и 84 дни. На 196 день испытаний при дозировках 3 и 10 мг/кг на 1 стадии, а также на 3 стадии наблюдалось уменьшение пораженной площади на 75% и снижение индекса тяжести заболевания до уровня PASI75. На 2 стадии 10 из 15 испытуемых при дозировке 3 мг/кг и 13 из 14 человек, принимавших дозу 10 мг/кг, достигли PASI75 на 112 день испытаний. Несмотря на возможные побочные эффекты (головную боль, кашель, ринофарингит, судороги у одного из испытуемых), больные в целом нормально переносили тильдракизумаб даже в максимальной испытанной дозе. Полученные результаты говорят о клинической эффективности тильдракизумаба в лечении псориаза.

А.Л. Братцева

Сигнальные пороги и негативная селекция В-клеток острого лимфобластного лейкоза

Signalling thresholds and negative B-cell selection in acute lymphoblastic leukaemia. Zhengshan Chen, Seyedmehdi Shojaee, Maik Buchner, et al. Nature. 2015. Vol. 521. No 7552. P. 357–361.

Острый лимфобластный лейкоз (ОЛЛ) представляет собой самый распространенный вид рака у детей, а также нередко встречается у взрослых. Несмотря на то, что за последние четыре десятилетия число положительных исходов для пациентов с ОЛЛ значительно возросло, лечение ОЛЛ, вызванного онкогенными тирозинкиназами, по-прежнему остается клинической проблемой. Это связано с тем, что в клетках ОЛЛ, положительных по филадельфийской хромосоме, происходит имитация конститутивной активности сигнализации через пре-В-клеточные рецепторы (пре-BCR). Именно поэтому в настоящее время усилия исследователей по большей части сосредоточены на разработке более эффективных ингибиторов тирозинкиназы (ИТК). В предшествующих исследованиях авторам удалось идентифицировать повышенную регуляцию экспрессии протоонко-

гена *BCL6* в ответ на лечение с помощью ИТК в качестве основного механизма лекарственной устойчивости для ОЛЛ, положительного по филадельфийской хромосоме. В данной работе учеными предложена стратегия для преодоления лекарственной устойчивости клеток ОЛЛ, основанная на фармакологической гиперактивации SYK. Путем проверки различных компонентов сигнализации пре-BCR в BCR-ABL1 клетках мышей, было установлено, что для индуцирования гибели клеток необходимо и достаточно постепенного повышения активности тирозинкиназы Syk. По своей сути гиперактивность Syk функционально эквивалентна активации самореактивных BCR в клетках ОЛЛ. При этом, несмотря на онкогенную трансформацию, базовый механизм негативной селекции в клетках ОЛЛ продолжает функционировать. Проведенные исследования также выявили важность роли генов *Pecam1*, *Cd300a* и *Lair1* в процессе калибровки силы онкогенной сигнализации, заключающуюся в рекрутинге ингибирующих фосфатаз *Ptpn6* и *Inpp5d*. Полученные результаты представляет собой перспективную стратегию для преодоления лекарственной устойчивости клеток ОЛЛ, положительных по филадельфийской хромосоме.

Д.Р. Низин

Диабет-ассоциированная дисрегуляция O-GlcNAcylation в сердечной митохондрии крыс

Diabetes-associated dysregulation of O-GlcNAcylation in rat cardiac mitochondria. Partha S. Banerjee, Junfeng Ma, Gerald W. Hart. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 6050–6055.

Авторы сообщают об обнаружении причинно-следственной связи между хроническим повышенным уровнем сахара в крови и разрушением митохондрий. Открытие проливает свет на ранее не изученную связь и может в итоге привести к разработке новых методов лечения и профилактики диабета. Прежние эксперименты показали, что высокий сахар в крови пациента большого диабетом изменяет активность митохондрии, которая перерабатывает питательные вещества в полезную энергию для клеток. Чтобы выяснить, почему так происходит, авторы сравнили ферменты в митохондриях из сердец крыс больных диабетом с ферментами митохондрий крыс со здоровым сердцем. Исследовательская группа в течение 30 лет изучала использование клетками молекул O-GlcNAc, чтобы установить, как происходит

обработка питательных веществ и энергии. В первую очередь их интересовали различия в уровнях двух ферментов, которые добавляют белкам и удаляют из них молекулу O-GlcNAc. Выяснилось, что уровни фермента O-GlcNAc трансферазы, который добавляет O-GlcNAc в белки, выше в митохондриях крыс с диабетом, в то время как уровни ферментов, удаляющих O-GlcNAc, ниже. Также обнаружилось, что дислокация одного из ферментов в митохондриях у мышей с диабетом отличается. Выработка энергии требует сложного взаимодействия между комплексами ферментов в мембранах митохондрий, каждый из которых играет свою роль. O-GlcNAc трансфераза обычно содержится в одном из таких комплексов, однако у мышей с диабетом большая его часть перемещается внутрь митохондрии. В итоге, изменения связанной с O-GlcNAc активности приводят к сокращению эффективности процесса выработки энергии, и митохондрия начинает вырабатывать больше тепла и вредных молекул в качестве побочного продукта процесса. Печень запускает антиоксидантный процесс для нейтрализации свободных радикалов, который включает увеличение выработки глюкозы с последующим ростом уровня сахара в крови.

В.В. Стрекопытов

Таргетинг β-аррестина2 в лечении L-DOPA-индуцированной дискинезии при болезни Паркинсона

Targeting β-arrestin2 in the treatment of L-DOPA-induced dyskinesia in Parkinson's disease. Nikhil M. Urs, Simone Bido, Sean M. Peterson, Tanya L. Daigle, Caroline E. Bass, Raul R. Gainetdinov, Erwan Bezard, Marc G. Caron. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2517–E2526.

Основным лекарством при лечении моторных симптомов болезни Паркинсона является леводопа (L-3,4-дигидроксифенилаланин, L-DOPA) – вещество, из которого образуется дофамин. Проблема заключается в том, что при ее длительном применении возникают побочные эффекты, так называемая L-DOPA-индуцированная дискинезия, проявляющаяся в виде неконтролируемых движений тела, рук и ног. Причина этой дискинезии обусловлена суперчувствительностью рецепторов и повышенной нейрональной возбудимостью. При болезни Паркинсона человек теряет способность двигаться. Заболевание

развивается из-за гибели в головном мозге нейронов, выделяющих дофамин. Он действует на другие нервные клетки через рецепторы, связанные с G-белком. Эти рецепторы находятся на поверхности клеток и передают сигнал внутрь них. Ранее ученые выяснили, что механизмы работы дофаминовых рецепторов различаются в зависимости от того, какое вещество действует на рецептор. Внутри клетки могут активироваться так называемые G-белки или β-аррестины. Последние являются уникальными белками, имеющими множество клеточных функций. В ходе экспериментов на мышах, крысах и обезьянах выяснилось, что, увеличив активацию β-аррестина2, можно снизить побочные эффекты леводопы, и при этом сохранить терапевтические свойства препарата. Сейчас многие компании разрабатывают такие лекарства, которые усиливают один внутриклеточный путь и блокируют другой. Действие β-аррестина2 основано именно на снижении сверхчувствительности рецепторов. Авторы планируют продолжать исследовать механизмы работы дофаминовых рецепторов и тестировать новые лекарства на генетически модифицированных животных.

В.В. Стрекопытов

Интерлейкин IL-33 активирует строму опухоли, что способствует формированию кишечных полипов

IL-33 activates tumor stroma to promote intestinal polyposis. Rebecca L. Maywald, Stephanie K. Doerner, Luca Pastorelli, Carlo De Salvo, Susan M. Benton, Emily P. Dawson, Denise G. Lanza, Nathan A. Berger, Sanford D. Markowitz, Heinz-Josef Lenz, Joseph H. Nadeau, Theresa T. Pizarro, Jason D. Heaney. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2487–E2496.

Эпителиальные опухолевые клетки развиваются в микросреде внеклеточного матрикса, ростовых факторов и цитокинов, вырабатываемых неэпителиальными клетками стромы. В ответ на паракринные сигналы со стороны опухолевого эпителия клетки стромы вносят в микросреду опухоли изменения, способствующие ее росту и метастазированию. В данном исследовании показана роль интерлейкина IL-33 в регуляции активации стромальных клеток и формировании полипов в кишечнике. Экспрессию IL-13 удалось индуцировать в эпителии колоректальных аденом и карцином человека, тогда как его рецептор IL1R1 локализовался преимущественно в строме аденом и в строме и эпите-

лии карцином. Подавление чувствительности к IL-33 с помощью нейтрализующих антител и генетических манипуляций у мышей с мутацией *Apc*, гена супрессора опухолей, и опухолями в кишечнике ингибировало пролиферацию, запускало апоптоз и подавляло рост сосудов в аденоматозных полипах, что приводило к уменьшению размера опухоли и числа метастазов. Как и в аденомах человека, IL-33 у мышей локализовался в эпителиальных опухолевых клетках, а его рецептор – в стромальных клетках полипов с мутацией *Apc*: субэпителиальных миофибробластах и тучных клетках. *In vitro* обработка субэпителиальных миофибробластов человека IL-33 индуцировала выработку стимулирующих опухолевый рост компонентов внеклеточного матрикса. В отсутствие IL-33 замедлялось накопление тучных клеток в полипах, а также была подавлена экспрессия тучными клетками цитокинов и протеаз, стимулирующих рост полипов. Полученные данные позволяют заключить, что IL-33, вырабатываемый эпителием опухоли и участвующий в реакции заживлении ран, стимулирует рост полипов через координированную активацию клеток стромы и формирование благоприятной для опухоли микросреды.

А.Л. Братцева

Сигнальная ось интерлейкин-6/интерлейкин-21 имеет решающее значение в патогенезе легочной артериальной гипертензии

Interleukin-6/interleukin-21 signaling axis is critical in the pathogenesis of pulmonary arterial hypertension. Takahiro Hashimoto-Kataoka, Naoki Hosen, Takashi Sonobe, Yoh Arita, Taku Yasui, Takeshi Masaki, Masato Minami, Tadakatsu Inagaki, Shigeru Miyagawa, Yoshiki Sawa, Masaaki Murakami, Atsushi Kumanogoh, Keiko Yamauchi-Takahara, Meinoshin Okumura, Tadimitsu Kishimoto, Issei Komuro, Mikiyasu Shirai, Yasushi Sakata, Yoshikazu Nakaoka. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2677–E2686.

Легочная артериальная гипертензия (ПАГ) – серьезное заболевание, характеризующееся артериопатией малых и средних дистальных легочных артерий. Это связано, прежде всего, с артериальной мускуляризацией, концентрическим утолщением интимы и формированием плексиформных поражений. Принято считать, что воспалительные процессы и аутоиммунитет вносят решающий вклад в патогенез ПАГ. Интерлейкин 6 (IL-6) представляет собой многофункциональный провоспалительный цитокин, содержание которого в сыворотке крови повышается у пациентов с ПАГ. Хотя повышенный уровень IL-6 в сыворотке крови коррелирует с плохим

прогнозом у больных с ПАГ, по-прежнему неясно, каким образом IL-6 содействует ПАГ. В данном исследовании авторы идентифицировали IL-21 в качестве нижележащей мишени IL-6 сигнализации в ПАГ. Было установлено, что блокировка эффектов цитокина IL-6 с помощью моноклональных анти-IL-6-рецептор антител MR16-1, позволяет смягчить индуцируемую гипоксией легочную гипертензию (НПН), а также предотвратить индуцируемое гипоксией накопление Th17 клеток и M2 макрофагов в легких. Выявлена повышающая регуляция экспрессии генов IL-17 и IL-21 – генов-сигнатур Th17 клеток, в легких мышей, подвергнутых воздействию гипоксии и получавших контрольное антитело; данный процесс не наблюдается в легких мышей, получавших MR16-1. Хотя блокировка IL-17 с помощью анти-IL-17A нейтрализующих антител не оказывает какого-либо влияния на НПН, мыши, дефицитные по IL-21, оказались устойчивы к НПН. Также в их легких не выявлено значительного накопления M2 макрофагов. Кроме того, следует отметить, что в легких пациентов с идиопатической ПАГ, перенесших трансплантацию легких, обнаружено значительный рост экспрессии маркеров IL-21 и M2 макрофагов. Таким образом, IL-21 способствует развитию ПАГ за счет поляризации M2 макрофагов и нижележащей сигнализации через IL-6, а сигнальная ось IL-6/IL-21 может выступать в качестве потенциальной мишени для лечения ПАГ.

Д.Р. Низин

Нейронауки и психология

Прижизненный имиджинг поведения взрослорожденных нервных стволовых клеток в интактном и поврежденном мозге *Danio rerio*.

Live imaging of adult neural stem cell behavior in the intact and injured zebrafish brain. Joana S. Barbosa, Rosario Sanchez-Gonzalez, Rossella Di Giaimo, Emily Violette Baumgart, Fabian J. Theis, Magdalena Götz, Jovica Ninkovic. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 789–793.

Стволовые нервные клетки (СНК), рождающиеся во взрослом мозге, необходимы для поддержания гомеостаза мозга на протяжении всей жизни, а также для восстановления поврежденной мозговой ткани. В мозге взрослой рыбки *Danio rerio* взрослорожденные СНК (вСНК) представлены более широко, чем в мозге взрослых млекопитающих, и, кроме того, способны реагировать на повреждения мозга, восстанавливая сами нейроны и клеточную архитектуру. В мозге *D. rerio* вСНК расположены близко к дорзальной поверхности конечного мозга, что позволяет наблюдать их неинвазивными методами *in vivo* имиджинга как в интактном мозге, так и при повреждениях. Авторы разработали протокол, позволяющий отслеживать судьбу индивидуальных вСНК в течение долгого времени. Для этого использовали *D. rerio*, полученную скрещиванием слабоокрашенной линии с трансгенной линией, несущей зеленый флуоресцентный белок (GFP) под промотором глиального фибриллярного кислого белка (*gfap:GFP*), экспрессирующегося в вСНК. Далее в эти клетки путем электропорации были введены плазмиды, кодирующие красные флуоресцентные белки (*tdTomato*, *mCherry*, или RFP). Авторы обнаружили, что 85% таких меченых клеток с радиальной морфологией были иммунопозитивны по белку GFAP, и их пролиферация не отличалась от пролиферации

всего пула *gfap:GFP*-положительных вСНК. Авторы наблюдали через истонченную поверхность черепа за судьбой 109 индивидуальных вСНК в течение месяца. Было обнаружено, что в интактном мозге большинство вСНК (61%) оставались покоящимися. 14 вСНК претерпели деление за время эксперимента, причем лишь 1 клетка разделилась симметрично, с образованием 2 новых вСНК. Остальные 13 клеток разделились асимметрично, с образованием одной вСНК клетки (с радиальной морфологией и экспрессией *gfap:GFP*) и одной клетки, лишенной радиальной морфологии. Часть дочерних клеток, утративших радиальные отростки, при этом не окрашивались по нейрональному маркеру *HuC/D*, что указывает на их принадлежность к промежуточным клеткам-предшественникам. 17% наблюдаемых клеток, потерявших признаки вСНК, экспрессировали нейрональный маркер *HuC/D*, что указывает на возможность прямого превращения вСНК в нейроны, без процесса деления. Таким образом, в интактном мозге новые нейроны могут образовываться как прямым превращением стволовых клеток в постмитотические нейроны, так и через стадию промежуточных клеток-предшественников, увеличивающих количество нейронов. Авторы выявили дисбаланс между процессами прямого превращения, уменьшающими запас стволовых клеток (17%), и процессами деления, создающими новые стволовые клетки наряду с клетками-предшественниками и нейронами (12%), постепенно уменьшающий запас стволовых клеток. При повреждении мозга пролиферация вСНК возрастала в 2 раза за счет вовлечения покоящихся клеток. Помимо асимметричного деления, в поврежденном мозге наблюдалось симметричное, но, в отличие от интактного мозга, оно давало 2 клетки-предшественника, мигрировавших в паренхиму. В целом, полученные результаты показывают изменение поведения вСНК при повреждении мозга и еще более быстрое истощение пула вСНК при травме по сравнению с контролем.

А.А. Тунова

Нейронная динамика ориентации по визуальным ключам и угловой интеграции пути

Neural dynamics for landmark orientation and angular path integration. Johannes D. Seelig, Vivek Jayaraman. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 186–191.

Многие животные ориентируются в пространстве, пользуясь комбинацией визуальных ключей и интеграции пути – отслеживания своего положения через постоянный мониторинг собственных движений. В мозге млекопитающих существуют «клетки направления головы», которые интегрируют эти 2 потока информации, определяя положение головы животного относительно визуальных меток и сохраняя в то же время оценку направления по сигналам от собственных движений животного. Авторы исследовали соотношение ориентации по визуальным ключам и по угловой интеграции пути, используя 2-хфотонный кальциевый имиджинг мозга плодовой мушки *Drosophila melanogaster*. Дрозофила с закрепленной головой двигалась по поверхности вращающегося шара, помещенного

в арену виртуальной реальности. Авторы показали, что интеграция потоков информации происходит за счет популяционного ответа нейронов, дендриты которых покрывают эллипсоидное тело центрального комплекса мозга дрозофилы. Эта популяция нейронов кодирует направление движения мушки путем отслеживания визуальных меток в окружающей среде, если они есть, или, в темноте, основываясь на сигналах о собственных движениях мушки. При отсутствии как визуальных, так и основанных на собственных движениях ключей, нейронная сеть сохраняет репрезентацию ориентации животного путем поддержания непрерывной активности, служащей возможным субстратом для кратковременной памяти. Некоторые признаки популяционной динамики активности этих нейронов и их круговое анатомическое расположение свидетельствуют в пользу теоретической модели «кольцевого аттрактора» – схема, в которой нейроны располагаются по кругу на основании предпочитаемых направлений, а сила связи между каждой парой нейронов определяется их угловым расхождением. Предполагается, что таким образом организованы сетевые структуры мозга, поддерживающие в мозге функции ориентации.

А.А. Тунова

Нейроны голода и жажды передают обучающие сигналы негативной валентности

Neurons for hunger and thirst transmit a negative-valence teaching signal. J. Nicholas Betley, Shengjin Xu, Zhen Fang Huang Cao, Rong Gong, Christopher J. Magnus, Yang Yu, Scott M. Sternson. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 180–185.

Гомеостаз представляет собой биологический принцип регуляции физиологических показателей для удержания их в пределах нормы. Отклонение гомеостатических показателей вызывает поведенческие реакции, критические для выживания организма, но мотивационные процессы, через которые опосредуются физиологические потребности, остаются не вполне понятными. Авторы исследовали мотивационные характеристики двух отдельных популяций нейронов, регулирующих гомеостаз энергии и жидкости, на трансгенных мышах путем глубокого *in vivo* имиджинга мозга. У трансгенных мышей в гипоталамических AGRP нейронах экспрессировался светочувствительный белок канал-родопсин 2 (ChR2). AGRP нейроны составляют популяцию клеток, которые активируются и тормозятся при гормональных сигналах о дефиците и избытке энергии соответственно. Ингибирование активности AGRP нейронов подавляет пищевое поведение, а активация – стимулирует, что свидетельствует о роли этой популяции в мотивационных процессах, вызванных гомеостатическим дефицитом. Авторы исследовали роль AGRP нейронов в пищевом поведении, обучая мышей в модели обусловленного предпочтения вкуса. Мышам предоставляли возможность пробовать 2 геля разного вкуса, и при потреблении одного из них стимулировали AGRP нейроны. При тестировании мыши предпочитали тот гель, потребление которого не сопровождалось ранее фотостимуляцией AGRP нейронов.

Аналогично этому, в модели обусловленного предпочтения места мыши предпочитали ту часть челночной камеры, пребывание в которой не сопровождалось фотостимуляцией AGRP нейронов. На основании этих данных авторы заключают, что активация этой популяции нейронов имеет негативную валентность. Эти данные подтверждаются также результатами, полученными на модели инструментального пищевого поведения. При фотостимуляции AGRP нейронов у сытых мышей, ранее обученных нажимать на рычаг для получения пищевого подкрепления, поведенческая активность и потребление пищи сначала возрастали, но затем снижались до начального уровня. Для исследования эндогенной активности AGRP нейронов у мышей в свободном поведении авторы использовали трансгенных животных, экспрессирующих в этих нейронах кальциевые индикаторы GCaMP6f или GCaMP6s. Глубокий кальциевый имиджинг мозга осуществлялся с помощью миниатюрного микроскопа, закрепленного на голове животного. Авторы обнаружили, что активность AGRP нейронов была выше у голодных мышей, чем у сытых; подача пищи немедленно снижала активность 96% нейронов, которая постепенно возобновлялась при удалении пищи до насыщения животного. Параллельно были проведены эксперименты с фотостимуляцией субфорникального органа (SFO), опосредующего питьевое поведение. Авторы показали, что стимуляция нейронов SFO приводит к увеличенному потреблению воды и, так же как стимуляция AGRP нейронов, к избеганию места в челночной камере. Таким образом, нейроны, чувствительные к физиологическим потребностям, обуславливают предпочтение к сигналам среды, ассоциированным с пищей или водой, что достигается снижением интенсивности сигналов негативной валентности при восстановлении гомеостаза.

А.А. Тунова

Гистамин в базолатеральной миндалине улучшает обучение пассивному избеганию независимо от гиппокампа

Histamine in the basolateral amygdala promotes inhibitory avoidance learning independently of hippocampus. Fernando Benetti, Cristiane Regina Guerino Furini, Jociane de Carvalho Myskiw, Gustavo Provensi, Maria Beatrice Passani, Elisabetta Baldi, Corrado Bucherelli, Leonardo Munari, Ivan Izquierdo, and Patrizio Blandina. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2536–E2542.

Открытия последних лет показали, что целый ряд структур участвует в компенсации нарушений памяти после повреждений регионов мозга, специализированных относительно интеграции и/или сохранения определенных воспоминаний. В числе таких структур – дорсальный гиппокамп и базолатеральная миндалина (BLA). Авторы провели серию экспериментов, чтобы исследовать, как гистаминовое истощение мозга, полученное путем введения в латеральный желудочек мозга *α*-флуорометилгистидина (*α*-FMHis), – ингибитора гистидиндекарбоксилазы, предшественника гистамина, – нарушает формирование памяти при обучении «пассивному избеганию» (step-down inhibitory avoidance). Кроме того, было изучено индуцированное обучением фосфорилирование CREB (cyclic AMP response element-binding protein) в мозге нормальных и гистамин-истощенных крыс и проверено, возможно ли преодолеть *α*-FMHis-индуцированную амнезию с помощью локальных инфузий гистамина в BLA или в область CA1 гиппокампа. Результаты этих исследований, во-первых, показали, что целостность гистаминергических систем мозга является необходимым условием для формирования долговременной, но не кратковременной памяти в задаче «пассивного избегания». Во-вторых, обнаружено, что фосфорилирование циклического аде-

нозин монофосфата (цАМФ), важнейшего медиатора, участвующего в формировании долговременной памяти, коррелировано как анатомически, так и по времени с гистамин-индуцированным восстановлением памяти, что указывает на активное участие гистамина в CA1 гиппокампа и BLA в разных фазах консолидации памяти. В-третьих, показано, что введение экзогенного гистамина либо в CA1 гиппокампа, либо в BLA мозга гистамин-истощенных, и, следовательно, амнестичных крыс, восстанавливает долговременную память. Однако, «временное окно» сохранения памяти было разным для этих двух структур головного мозга: недолгим (сразу после обучения) для BLA и продолжительным (до 6 ч) для CA1. Более того, долговременная память, которая была сформирована сразу после обучения, восстанавливалась гистамином только в BLA. Полученные данные свидетельствуют о важной роли гистаминергической системы в пластичности мозга, необходимой для обеспечения запоминания эмоционально важных событий при участии альтернативных наборов структур мозга. Следовательно, результаты данного исследования указывают на то, что гистаминергическая система включает в себя параллельные, скоординированные пути, которые обеспечивают компенсаторную пластичность, когда одна из структур мозга повреждена. Таким образом, несмотря на современные взгляды, по которым BLA приписана, по существу, модулирующая функция при формировании памяти в задаче «пассивного избегания», полученные в этой статье доказательства показывают, что BLA непосредственно участвует в консолидации памяти при обучении в этой задаче. Осторожная интерпретация этих результатов, по мнению авторов, заключается в том, что после местной активации гистаминергической системы, BLA берет на себя функцию гиппокампа в процессе консолидации памяти, и роль гиппокампа оказывается не критичной для формирования долговременной памяти.

С.В. Звoryкина

Специализация и интеграция функциональных связей между таламусом и корой у младенцев

Specialization and integration of functional thalamocortical connectivity in the human infant. Hilary Toulmin, Christian F. Beckmann, Jonathan O’Muircheartaigh, Gareth Ball, Pumza Nongena, Antonios Makropoulos, Ashraf Ederies, Serena J. Counsell, Nigel Kennea, Tomoki Arichi, Nora Tusor, Mary A. Rutherford, Denis Azzopardi, Nuria Gonzalez-Cinca, Joseph V. Hajnal, A. David Edwards. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6485–6490.

Связи между таламусом и корой головного мозга появляются незадолго до рождения. Несоответствующее норме развитие мозга в течение этого периода может лежать в основе некоторых болезней. Чтобы определить связи таламуса и коры на момент рождения доношенного ребенка, использовался метод функциональной магнитно-резонансной томографии (fMRI). У 66 младенцев, 47 из которых имели высокий уровень риска развития нейрокогнитивных нарушений в связи с рождением до 33 недели беременности, а 19 были доношенные, измерили сигнал, зависящий от уровня содержания кислорода в крови (BOLD). Авторы разби-

ли таламус на сегменты на основании функционально определенных отделов коры, используя как анализ независимых компонент (ICA), так и метод связей зон интереса. После разделения коры с помощью ICA и последующего сегментирования таламуса на основе доминантных связей с отделами коры, была обнаружена почти точная копия функционального разделения таламуса и коры во взрослом мозге. Дополнительный анализ позволил увидеть, что сигнал BOLD в гетеромодальной ассоциативной коре обычно был представлен в таламусе шире, чем аналогичный сигнал первичной сенсорной коры. Что интересно, при большей недоношенности функциональная связь между таламусом и латеральной первичной сенсорной корой была повышена, а между таламусом и корой в предлобной, островковой и передней поясной областях – понижена. Данная работа позволяет предположить, что в раннем младенчестве функциональная интеграция путем образования связей между таламусом и корой зависит от значительно функционального перекрытия в топографической организации таламуса, и преждевременное рождение ухудшает развитие таких таламо-кортикальных связей, изменяя созревание систем, отвечающих за когнитивные функции.

А.Э. Ходосевич

Определение своего местоположения и направления движения у мышей связано с работой разных когнитивных систем

Place recognition and heading retrieval are mediated by dissociable cognitive systems in mice. Joshua B. Julian, Alexander T. Keinath, Isabel A. Muzzio, Russell A. Epstein. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E6503–E6508.

Для восстановления своих координат устройству навигации необходимо определить свое текущее положение и сторону, в которую они направлены. Животным и человеку тоже свойственно решать подобные задачи. Прежние эксперименты показывают, что дети младшего возраста и грызуны используют геометрическую форму окружения, чтобы понять свое расположение после потери ориентации в пространстве. Вместе с тем, они часто не обращают внимания на сигналы, не связанные с геометрическими характеристиками, даже когда те содержат в себе значимую информацию. До сих пор мало изучен вопрос о том, управляют ли

этими двумя процессами одни и те же когнитивные системы или разные, в частности, у мышей. В отличие от предыдущих работ, авторы исследования создали среду из 2 экспериментальных камер, где животным нужно было одновременно узнать место, в котором они находятся, и восстановить направление своего движения внутри него. В ходе двух экспериментов выяснилось, что при дезориентации мыши используют как информацию о геометрических свойствах места, так и информацию иного рода. Причем, для определения местоположения мыши следуют ориентирам, связанным не только с геометрическими свойствами камеры, но не делают этого, когда определяют сторону, в которую они направлены. Результаты позволяют предположить, что у мышей существуют отдельные системы для распознавания места и направления движения, которые по-разному реагируют на геометрические и негеометрические сигналы. Подобное разделение систем может также лежать в основе человеческого поведения, связанного с ориентацией в пространстве.

С.А. Завалишина

Нейронная среда, поддерживающая базовые синаптические функции и активность нейронов человека *in vitro*

Neuronal medium that supports basic synaptic functions and activity of human neurons *in vitro*. Cedric Bardy, Mark van den Hurk, Tameji Eames, Cynthia Marchand, Ruben V. Hernandez, Mariko Kellogg, Mark Gorris, Ben Galet, Vanessa Palomares, Joshua Brown, Anne G. Bang, Jerome Mertens, Lena Böhnke, Leah Boyer, Suzanne Simon, Fred H. Gage. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E2725–E2734.

Технологии перепрограммирования человеческих клеток представляют новую альтернативу моделированию неврологических заболеваний *in vitro* за счет доступа к живым нейронам пациентов. Электрическая активность нейронов – это квинтэссенция функционирования нервной системы *in vivo*. В связи с этим, авторы проверили активность нейронов в питательной среде, используемой для их культивирования. Было показано, что стандартная классическая питательная среда, так же как и сыворотка, уменьшают формирование

потенциала действия и синаптическую передачу. Чтобы устранить эту проблему, была создана новая среда для культивирования нейронов (включает в себя базовую среду BrainPhys с бессывороточными добавками), в которой авторы оптимизировали концентрации неорганических солей, нейроактивных аминокислот и энергетических субстратов. Далее, было показано, что среда надлежащим образом обеспечивает активность нейронов и поддержание их жизнедеятельности в культуре клеток. Долговременное нахождение в этой питательной среде также способствовало увеличению количества нейронов, проявлявших синаптическую активность. Несмотря на то, что среда была разработана для культивирования нейронов человека, авторы продемонстрировали приемлемость ее использования для соответствующих клеток грызунов. Усовершенствование базовой питательной среды BrainPhys для применения в поддержании нейрофизиологической активности – очень важный шаг в направлении уменьшения разрыва между физиологическими условиями в мозге *in vivo* и нейрональных моделей *in vitro*.

А.Э.Ходосевич

Восприятие собственного движения при аутизме нарушается воздействием зрительных помех, но оптимально совмещается с различными сенсорными сигналами

Self-motion perception in autism is compromised by visual noise but integrated optimally across multiple senses. Adam Zaidel, Robin P. Goin-Kochel, Dora E. Angelaki. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. P. 6461–6466.

Сенсорная обработка при расстройствах аутистического спектра (ASD) проявляется в повышенной способности выполнения простых и низкой эффективностью выполнения сложных заданий. Эти наблюдения привели к возникновению гипотез о том, что при ASD происходит нарушение сенсорной чувствительности. Несмотря на противоречивые экспериментальные данные, такая точка зрения продолжает оказывать широкое влияние на возникновение дальнейших теорий, например таких, которые предполагают ошибочное объединение информации сигналов различных модальностей сенсорной системой при ASD. Низкая эффективность выполнения заданий, при которых кроме зрительных раздражителей производится

дополнительное воздействие помехами для повышения сложности задания, часто трактуется в пользу теории о нарушении способности объединения восприятия различных раздражителей. В данном исследовании было показано, что, скорее повышенная восприимчивость к раздражителю, чем отсутствие сенсорной чувствительности может служить отличительным признаком ASD. Зрительное восприятие движения через облако точек при отсутствии помех не страдало, тогда как дополнительное воздействие с помощью помех оказывало значительное влияние на подростков с ASD, по сравнению с контрольными испытуемыми. Поразительно, что люди, имеющие расстройства аутистического спектра, показали отсутствие нарушений в мультисенсорной (зрительно-вестибулярной) чувствительности, даже в присутствии помех. В то же время, когда вестибулярное воздействие проводилось одновременно с воздействием зрительных помех, подростки с ASD действовали иначе, чем члены контрольной группы, показывая пониженную приспособляемость. Полученные результаты подвергают сомнению широко распространенные теории о нарушении сенсорной чувствительности при ASD. Скорее, такие результаты указывают на повышенную чувствительность к помехам при восприятии сигналов и показывают повышенную зависимость от поступающих сенсорных данных.

А.Э. Ходосевич

Возрастные изменения в рабочей памяти и способность человека не обращать внимания на отвлекающие факторы

Age-related changes in working memory and the ability to ignore distraction. Fiona McNab, Peter Zeidman, Robb B. Rutledge, Peter Smittenaar, Harriet R. Brown, Rick A. Adams, Raymond J. Dolan. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E6515–E6518.

С возрастом свойства рабочей памяти удерживать полученную информацию ухудшаются. Такое изменение, характерное для процесса нормального старения, может быть связано со сниженной способностью противостоять отвлекающим раздражителям. Важно выявить изменения в работе памяти, которые происходят у человека при нормальном старении. В исследовании использовались данные игры на смартфоне, собранные с участием 29 631 человек в возрасте от 18 до 69 лет. Выборка была разделена на 6 возрастных групп: 18-24, 25-29, 30-39, 40-49, 50-59 и 60-69 лет. Ресурсы платформы исследования (часть эксперимента с сайта www.thegreatbrainexperiment.com) позволили авторам сравнить влияние возраста на оперативную память в разных условиях: при отсутствии отвлекающих факторов, при появлении отвлекающих стимулов одновременно с предъявлением информации, которую необходимо было запомнить (стадия кодирования), и при возникновении подобных раздражителей во время того, как эти сведения нужно было удерживать в памяти (после кодирования). При всех 3 условиях выявлено, что, чем больше возраст, тем хуже уровень выполнения задания. Обнаружена значительная взаимосвязь между видом отвлекающих факторов (при кодировании или после него) и возрастом. Чем старше участник, тем меньше

его результаты игры в отвлекающих условиях после кодирования по сравнению с теми же показателями с отвлечением во время запоминания. Выявлено, что старение влечет за собой рост уровня влияния отвлекающих факторов на качество выполнения человеком задания. Такая корреляция подтвердилась при условии отвлечения внимания после стадии кодирования. Дополнительный анализ показал, что взаимосвязь между объемом рабочей памяти и действиями по игнорированию отвлекающих факторов во время предъявления новых данных увеличивается у возрастных групп от 30 до 60 лет. Отмечено, что способность удерживать в памяти сведения при отвлекающем раздражителе, возникающем после стадии кодирования, с течением жизни ослабляется, поэтому важно компенсировать эту особенность и тщательнее запоминать информацию непосредственно во время ее предъявления. Подобная необходимость ведет к тому, что рабочая память при выполнении задачи функционирует так, как она бы это делала при усвоении информации в отвлекающих условиях. Несмотря на общую тенденцию среди людей старшего возраста хуже справляться с тем, что их отвлекает во время какой-либо деятельности, связанной с запоминанием и удержанием в памяти информации, этот спад более выражен на фазе, следующей за восприятием сведений, чем в течение нее. Результаты проведенного исследования указывают на то, что повышенное сходство между работой оперативной памяти в момент запоминания, когда человека ничто не отвлекает, и в ситуации, когда такие раздражители есть, позволяет компенсировать недостаток в способности не замечать отвлекающие стимулы после запоминания. В работе продемонстрирован не только общий спад в функционировании оперативной памяти при нормальном старении, но и возрастные изменения в механизмах усвоения новых данных.

С.А. Завалишина

Дифференцированное влияние фруктозы на мозг, процесс возбуждения аппетита в ответ на пищевой стимул и выбора в пользу пищевого вознаграждения по сравнению с глюкозой

Differential effects of fructose versus glucose on brain and appetitive responses to food cues and decisions for food rewards. Shan Luo, John R. Monterosso, Kayan Sarpelleh, Kathleen A. Page. PNAS. 2015. Vol. 112. No 20. E6509–E6514.

Ожирение является одной из основных проблем здравоохранения. Увеличение уровня потребления глюкозы в качестве подсластителя — один из немаловажных факторов, способствующих усугублению этой ситуации. Экспериментально выявлено, что фруктоза может подавлять голод хуже, чем глюкоза. Необходимо понять, как фруктоза по сравнению с глюкозой влияет на мозг, гормоны, возбуждение аппетита как реакцию на пищевой стимул, и поведение, связанное с вознаграждением едой. В исследовании приняло

участие 24 человек без проблем со здоровьем, которым демонстрировали изображения высококалорийной еды и вещей, не относящихся к еде. Данные записывались с помощью метода функциональной магнитно-резонансной томографии. После каждого блока участники оценивали степень голода и делали выбор между мгновенным пищевым или отсроченным денежным вознаграждениями. Измерение уровня гормонов производилось до эксперимента и через 30 и 60 мин. после приема воды. Обнаружено, что употребление фруктозы по сравнению с глюкозой ведет к меньшему росту уровня инсулина в плазме и большей реактивности мозга на пищевые стимулы в зрительной и левой глазнично-лобной коре. Согласно результатам, фруктоза больше повышает аппетит и потребность в еде. Данное вещество усиливает желание отказаться от отдаленной перспективы получения денег в пользу немедленного получения калорийной пищи. Результаты позволяют предположить, что прием человеком фруктозы в большей степени активизирует участки мозга, отвечающие за внимание и реакции на пищевые стимулы с подкреплением, чем глюкоза. Это может способствовать поведению, связанному со стремлением к пище.

С.А. Завалишина



Социальные науки

Многосторонняя программа обеспечивает долгосрочную помощь самым бедным (на примере шести стран)

A multifaceted program causes lasting progress for the very poor: Evidence from six countries. Abhijit Banerjee, Esther Duflo, Nathanael Goldberg, Dean Karlan, Robert Osei, William Parienté, Jeremy Shapiro, Bram Thuysbaert, Christopher Udry. Science. 2015. Vol. 348. No 6236. P. 772, 1260799-1–16.

Более одной пятой мирового населения живут менее чем на 1,25 долл. в день. Одной из задач, поставленной международным сообществом, является полная ликвидация к 2030 г. подобного состояния крайней нищеты. Авторы работы разработали уникальный эксперимент, в ходе которого они планировали разобраться в причинах крайней бедности и помочь представителям низших социально-экономических слоев общества. В эксперименте приняли участие 11 тыс. домохозяйств из 6 стран мира (Эфиопии, Ганы, Индии, Пакистана, Перу и Гондураса). Всем им был предоставлен полный пакет обеспечения, включая денежные средства, продукты питания, медицинские услуги, профессиональную подготовку и различного рода консультации. Люди не только получали еду и медицинскую помощь, но их также обучали основам финансовой грамотности, показывали, как открыть свой собственный счет, и кроме того предлагали выбрать, что они хотят получить – коров, коз, кур или пчелиные ульи. Итоги исследования показали, что по окончании эксперимента, когда испытуемых лишили всех благ, которыми они бесплатно пользовались на протяжении двух лет, люди самостоятельно начали улучшать свои условия жизни. Эффект сохранялся, как минимум, еще год по завершении опыта. Правительство Эфиопии планирует повторить эксперимент, и на

этот раз задействовать в нем около 3 млн человек. Правительства Пакистана и Индии также рассматривают возможность расширения и повторения эксперимента. Сама методика получила название Graduation program, поскольку была предназначена для того, чтобы показать людям путь выхода из состояния крайней нищеты. На протяжении двух лет с испытуемыми работали финансовые тренеры, которые обучали грамотному распоряжению денежными средствами. Уже через год после начала программы авторы исследования заметили увеличение активов на 14% и рост сбережений на 96% у основной группы, получавшей помощь, по сравнению с контрольной группой, в жизнь которой ученые не вмешивались. Программа была нацелена исключительно на самых нищих людей. Это преимущественно представители аграрных обществ и жители трущоб, которым для выживания необходима помощь со стороны. Результаты оказались весьма обнадеживающими повсюду, кроме Гондураса, где аграрным сообществам предоставили в пользование импортных кур, которые заразились местными инфекциями и умерли. Самый существенный результат реализованного подхода заключается в том, что люди не просто съедали выданный им скот, а учились использовать его и получать долгосрочный доход. Эксперимент обошелся в довольно крупную сумму. Всего на каждое домохозяйство было потрачено от 1455 долл. в Индии до 5962 долл. в Пакистане. Наиболее дорогими составляющими оказались обучение, консультации по различным вопросам и финансовый тренинг. Однако доход, полученный на каждый вложенный в программу доллар, составил, например, в Индии – 433 %, а в Эфиопии – 260%, что говорит о невероятной успешности программы. Авторы отмечают, что их методика не может быть панацеей от проблем мирового голода и нищеты, однако поможет решить проблему частично.

В.В. Стрекопытов

Способ представления событий определяет структуру языка: язык жестов как путь к общедоступным для понимания лингвистическим закономерностям

Event representations constrain the structure of language: Sign language as a window into universally accessible linguistic biases. Brent Strickland, Carlo Geraci, Emmanuel Chemla, Philippe Schlenker, Meltem Keleşir, Roland Pfau. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 5968–5973.

Согласно традиционной теории, возникшей еще во времена Аристотеля, существуют две категории глаголов: целевые (например, «решить», «продать») и нецелевые («думать», «бегать»). Действие, описываемое нецелевыми глаголами, может продолжаться неопределенное время. В данной работе показано, что выражение этого признака в жестовых языках универсально и даже люди, не знакомые с языком жестов, воспринимают данную информацию. В первых 5 проведенных экспериментах носители английского,

не владеющие языком жестов, успешно различали целевые и нецелевые глаголы в жестовых итальянском, голландском и турецком языках. Наблюдаемые результаты нельзя объяснить догадкой испытуемых об имитации действия, отраженного в высказывании, через жесты, так как в одном из экспериментов для интерпретации жестов на выбор были предложены глаголы, не отражающие смысл жеста, но большинство испытуемых, тем не менее, верно установило целевую или нецелевую природу представляемых действий. В 6 эксперименте с использованием псевдожестов была показана явная визуальная граница в конце каждого жеста, достаточная для выражения целевой природы глаголов, тогда как повторяющиеся жесты без четких границ отражали нецелевой характер действий. Эксперименты 7-10 показали справедливость этой закономерности для всех рассмотренных жестовых языков. Таким образом, полученные результаты говорят об универсальности понятия целевой природы глаголов для жестовых и вербальных языков, а также об общедоступности для понимания жестового выражения этой характеристики.

А.Л. Братцева

Ассортативность браков без определенных предпочтений при выборе партнера

Assortative mating without assortative preference. Yu Xie, Siwei Cheng, Xiang Zhou. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E5974–E5978.

Ситуации, когда брак заключаются между мужчиной и женщиной с близкими социальными характеристиками, встречаются в обществе довольно часто. Это явление, так называемая ассортативность, широко освещается в литературе в области социологии и экономики. Согласно таким источникам, индивид осознанно делает выбор супруга или супруги на основе сходства ценностей, интересов, образа жизни и др. Авторы исследования показали, что тенденция к ассортативности может возникать, даже когда люди не имеют сознательных предпочтений при выборе. Рассматривалась гипотетическая конечная совокупность с равным соотношением полов с применением методов микромоделирования. В 1-й

традиционной модели Гейла-Шепли, приводящей к образованию стабильных пар, мужчины делают предложения наиболее предпочтительным избранницам. Далее женщины отвергают все из них, кроме лучшего, а отвергнутые мужчины делают новые предложения до тех пор, пока все не будут состоять в браке. Люди в таких браках идеально подходят друг другу. Похожие результаты выявлены с вероятностным алгоритмом Гейла-Шепли, при котором пара может образовываться не каждый раз (человек вступает в брак или решает остаться один). Модель случайных встреч (наиболее реалистичная) предполагает, что индивиды не обладают полной информацией обо всех потенциальных партнерах. Брак заключается только, если оба партнера совпали в предпочтениях. При этом чем дольше человек не состоит в браке, тем слабее выражено сходство между супругами в будущем. Обнаружено, что ассортативность может быть основана не на рациональном выборе, а являться результатом динамики социальных структур.

С.А. Завалишина

Гетерогенность, сложившаяся в ходе длинной истории миграции, объясняет культурные различия в выражении эмоций и значении улыбок

Heterogeneity of long-history migration explains cultural differences in reports of emotional expressivity and the functions of smiles. Magdalena Rychlowska, Yuri Miyamoto, David Matsumoto, Ursula Hess, Eva Gilboa-Schechtman, Shanmukh Kamble, Hamdi Muluk, Takahiko Masuda, Paula Marie Niedenthal. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. E2429–E2436.

В странах, населенных потомками иммигрантов, люди чаще и охотнее улыбаются, чем в странах традиционного уклада. К такому выводу пришли авторы в ходе масштабного исследования, объектом которого стали эмоции и культура их выражения в разных странах мира. В анкетировании приняло участие 5000 человек из 32 стран. Им предлагалось ответить, как они будут себя вести в той или иной ситуации: когда счастливы, когда расстроены, когда чувствуют себя неловко. При этом учитывалось, насколько откровенно они будут проявлять эмоции в зависимости от того, находятся они одни или в обществе. Демонстрация эмоций оценивалась в диапазоне от «показать больше, чем вы чувствуете» до «скрыть свои эмоции за улыбкой». При анализе ответов исследователи учитывали историческую неоднородность населения стран, из которых происходили участники. Если на формирование нации практически не влияли иммигранты в последние 500 лет, ей присваивался коэффициент исторической гетерогенности 1. Такую «оценку» получили Китай и Япония. Если же влияние было существенным, то коэффициент увеличивался. Например, для Канады он составил 63, так как канадцы являются потомками приезжих из 63 различных стран мира. Когда ученые подсчитали результаты, они обнаружили,

что в странах, населенных потомками мигрантов, люди склонны к более экспрессивному проявлению эмоций. На следующем этапе исследователи сузили круг участников: они опросили 726 человек из девяти стран – США, Канады, Японии, Франции, Германии, Индии, Индонезии, Израиля, Новой Зеландии. Респондентам показывали фотографии улыбающихся людей и просили предположить, чем вызвана улыбка. Предлагались разные варианты ответов: «человек счастлив», «он хочет вам что-то продать», «он чувствует свое подчиненное положение» и др. Ответы участников ученые оценивали с учетом коэффициента исторической гетерогенности их страны. Оказалось, что люди из стран с большой долей иммигрантов чаще интерпретировали улыбку как проявление дружелюбного настроения, веря в ее искренность, в то время как люди из стран, лишенных влияния миграции, были склонны видеть в улыбке знак социальной иерархии, в частности заискивание перед вышестоящим начальством. Различия культуры эмоций авторы исследования связывают с эволюцией человека и историей развития стран. Иммигранты, приезжающие в многонациональные страны, вынуждены были преодолевать языковой барьер, для этого им приходилось усиливать мимику и чаще улыбаться. В странах закрытого типа, где превалирует одна нация, складывалась социальная иерархия, и было принято подавлять истинные чувства. Например, в Японии выработалась «служебная» улыбка: подчиненные скрывают с ее помощью свое расстройство или неловкость перед начальством. Под влиянием миграции в США и на Западе сформировалась культура более выразительной демонстрации эмоций, чем в Китае и других восточных странах. В будущем авторы планируют провести аналогичное исследование исключительно в США, чтобы проследить влияние иммиграции на улыбку американцев, живущих в разных штатах.

В.В. Стрекопытов

Технологии и материалы

Квантовая когерентная оптическая фазовая модуляция в сверхбыстром просвечивающем электронном микроскопе

Quantum coherent optical phase modulation in an ultrafast transmission electron microscope. Armin Feist, Katharina E. Echternkamp, Jakob Schauss, Sergey V. Yalunin, Sascha Schäfer, Claus Ropers. Nature. 2015. Vol. 521. No 7551. P. 200–212.

Предполагается, что когерентное управление квантовыми системами с помощью света окажется основополагающим в будущих технологиях связи и передачи информации, включая также квантовые вычисления и криптографию. Перенос оптической фазы с помощью квантовой волновой функции – основной аспект когерентных взаимодействий, который создает основу для передачи, синхронизации и изменения квантовых состояний.

Взаимодействие световой волны с электронами, входящими в структуру атомов и молекул твердых веществ – явление всеобщее, а противоположный случай – влияние свободных электронов на локальные оптические поля – не встречается в природе. Управление движением свободных электронов с помощью низкочастотных электромагнитных полей в объеме резонатора яв-

ляется основой работы ускорителей заряженных частиц. Здесь продемонстрировано когерентное управление квантовым состоянием множества электронов в луче электронного микроскопа. В эксперименте использовалось взаимодействие сверхкоротких электронных импульсов с оптическими ближними полями для получения осцилляции Раби во множестве состояний электронов. После такого взаимодействия суперпозиция моментальных состояний формирует последовательность электронных импульсов аттосекундной длительности. Продольные и поперечные составляющие моментов при взаимодействии в ближнем поле влияют друг на друга, а кулоновское взаимодействие в пересечении пучков приводит к корреляции множества электронов. Оба эти эффекта могут оказаться существенными для использования свободных электронов в квантовых информационных технологиях. Генерация аттосекундных электронных импульсов является непосредственным следствием оптической фазовой модуляции. Полученные результаты открывают возможность квантового управления тонкой структурой плотности электронов, а возможные применения этого эффекта простираются от ультрабыстрой электронной спектроскопии и микроскопии до лазеров на свободных электронах.

И. Ю. Лещанский

Поверхностная вибрационная спектроскопия неполярных сред на основе метода суммарных частот

Surface sum-frequency vibrational spectroscopy of nonpolar media. Shumei Sun, Chuanshan Tian, Y. Ron Shen. PNAS. 2015. Vol. 112. No 19. P. 5883–5887.

Метод вибрационной спектроскопии суммарных частот проявил себя как мощный и универсальный инструмент для изучения поверхностей веществ и поверхностей раздела сред с симметрией инверсии. Спектроскопия на основе нелинейного процесса генерации суммарных частот применима только для поверхностей в случае, когда можно пренебречь вкладом других составляющих в суммарный сигнал. Однако другие составляющие следует принимать в расчет в случае веществ с симметрией инверсии. Проблема состоит в нахождении поверхностного спектра в присутствии прочих составляющих, часть из которых неотделима от поверхност-

ных. Суммарный отклик в общем случае не обращается в нуль. При спектроскопии поверхности следует всегда знать, можно ли пренебречь общим откликом, либо можно ли его отличить от поверхностного отражения. Во многих случаях общим откликом просто пренебрегают. Строгая теория утверждает, что поверхностное отражение неотлично от общего отклика, если поверхностный резонанс не отличается от общего. Для неполярных веществ можно разделить общий и поверхностный спектры, особым образом произведя измерения спектров отражения и пропускания. Иначе говоря, для неполярных веществ имеется возможность выделить отдельно поверхностные составляющие из общего спектра с помощью комбинированных фазочувствительных спектроскопических измерений спектров отражения и пропускания. В качестве примера показано изучение поверхности бензола. Исследован первый реальный поверхностный спектр чистого жидкого бензола. Полученный результат также показывает, в каких случаях спектроскопии поверхностей общим откликом нельзя пренебречь.

И. Ю. Лещанский

Упорядоченный нанолит на основе бис(дипирринато)цинк(II) с функцией фоточувствительности

A photofunctional bottom-up bis(dipyrrinato)zinc(II) complex nanosheet. Ryota Sakamoto, Ken Hoshiko, Qian Liu, Toshiki Yagi, Tatsuhiro Nagayama, Shinpei Kusaka, Mizuho Tsuchiya, Yasutaka Kitagawa, Wai-Yeung Wong, Hiroshi Nishihara. Nature Communications. 2015. No 6:6713 | DOI: 10.1038/ncomms7713.

Двумерные полимерные нанолиты недавно привлекли много внимания, в частности - упорядоченные нанолиты вроде графена и халькогенидов металлов, полученные из первоначальных материалов с неупорядоченной структурой. Очевидная полезность графена стимулировала изучение других наноматериалов, например оксидов, сульфидов и гидроксидов металлов, которые демонстрируют полезные свойства, например полупроводимость. Эти наноматериалы также получают из неупорядоченных кристаллических исходных материалов. Другой тип наноматериалов синтезируется прямо из атомных, ионных и молекулярных компонентов. Здесь показаны проектирование и синтез упорядоченного нанолита, имеющего фотоактивную структуру в виде комплекса

бис(дипирринато)цинк(II). Самопроизвольное возникновение связи между лигандом и ионами металла позволяет формировать упорядоченный нанолит. Структура комплекса бис(дипирринато)цинк(II) работает не только как связующее звено, но также обладает сильным поглощением в видимой и инфракрасной части спектра. Молекулы образуют крупные домены, их размер более 10 мкм. Молекулярные слои могут последовательно нарастать один на другой. Спектроскопия в ультрафиолете и видимом свете показала полное формирование комплекса бис(дипирринато)цинк(II). Синтез на границе раздела двух жидкостей между лигандом и ионами цинка(II) дает многослойный нанолит, в то время как реакции на границе воздух-жидкость порождают однослойные нанолиты, либо нанолиты с небольшим количеством слоев. Нанолит из комплекса бис(дипирринато)цинк(II) легко наносится на различные подложки с помощью процесса Ленгмюра-Шеффера. Повторное нанесение такой однослойной наноструктуры на плоскую подложку дает нанолит, эффективно поглощающий видимый свет с длиной волны около 500 нм. Такой нанолит, нанесенный на прозрачный электрод из SnO₂, работает как фотоанод в фотоэлектрической ячейке, и таким образом является первым упорядоченным наноматериалом с функцией фоточувствительности.

И. Ю. Лещанский

Эффективное излучение света неорганическими и органическими полупроводниковыми гибридными структурами путем управления энергетическими уровнями

Efficient light emission from inorganic and organic semiconductor hybrid structures by energy-level tuning. R. Schlesinger, F. Bianchi¹, S. Blumstengel, C. Christodoulou, R. Ovsyannikov, B. Kobin, K. Moudgil, S. Barlow, S. Hecht, S.R. Marder, F. Henneberger, N. Koch. Nature Communications. 2015. No 6:6754 | DOI: 10.1038/ncomms7754.

Неорганические светоизлучающие полупроводники имеют ряд недостатков, например ограничения по частотному диапазону и диапазону излучаемых цветов. Новые гибридные структуры, объединяющие в себе неорганические и органические полупроводники, комбинируют высокую подвижность носителей заряда и большую плотность электронно-дырочных пар, свойственную неорганическим структурам, с последовательным переносом энергии в органических полупроводниках, что обеспечивает высокую эффективность излучения света. Более того, разнообразие методов химического синтеза органических полупроводников позволя-

ет оптимизировать свойства получаемых материалов, в частности точно регулировать длину волны излучаемого света. Эти особенности определяют роль органических полупроводников как излучателей света, в то время как неорганическим полупроводникам отводится роль источников возбуждения. Представлен технологичный метод оптимизации энергетических уровней гибридного полупроводника, состоящего из молекул ZnO с присоединенными к ним молекулами олигофенилена. ZnO преимущественно играет роль металлоорганического донорского монослоя. Ширина запрещенной зоны ZnO снижена до 2,2 эВ внесением металлоорганического донорского димера [RuCr*mes]₂, который при контакте с поверхностью оксида становится мономерным катионом [RuCr*mes]⁺. Нанесенный поверх него органический полупроводник выравнивает энергетические уровни. Применение подобных промежуточных слоев применимо для оптимизации энергетических слоев широкого спектра гибридных полупроводниковых структур, особенно тех, что содержат неорганические полупроводники с большой шириной запрещенной зоны. В целом излучающая способность гибридной структуры увеличена в 7 раз, что в комбинации с большой устойчивостью к условиям внешней среды и делает такие структуры пригодными для информационных дисплеев, технологий создания изображений и сверхбыстрой обработки данных.

И. Ю. Лещанский

Прямой ввод электрона в изолятор на основе оксида с использованием катодного буферного слоя

Direct electron injection into an oxide insulator using a cathode buffer layer. Eungkyu Lee, Jinwon Lee, Ji-Hoon Kim, Keon-Hee Lim, Jun Seok Byun, Jieun Ko, Young Dong Kim, Yongsup Park, Youn Sang Kim. Nature Communications. 2015. No 6:6785 | DOI: 10.1038/ncomms7785.

Многие неорганические оксиды (SiO_2 , HfO_2 , Ta_2O_5 , Al_2O_3) обычно используются в качестве изоляторов, поскольку между их собственной зоной проводимости и энергетическим уровнем металлических электродов имеется существенная разница в 3-4 эВ. Преодолеть такой энергетический барьер носители заряда могут только либо с помощью очень сильного электрического поля (7,5-10 МВ/см) в зоне соприкосновения изолятора с металлическим проводником, либо при поглощении электроном энергии фотона. Это происходит потому, что оксидные изоляторы имеют очень низкое сродство электронов и высокие энергетические уровни ионизации. Изучена электрическая проводимость струк-

туры вида «металл-изолятор-катодный буферный слой-металл» на примере $\text{Si-SiO}_2\text{-ZnO-Al}$, где Si сильно легирован фосфором. Во избежание побочных эффектов исследование проводилось в вакууме и в темноте. Слой ZnO, выполняющий роль катода, позволяет электронам переходить прямо в уровни проводимости различных неорганических изоляторов. Изучение вольт-амперных характеристик этой структуры показывает, что она является диодом, и через границу раздела ZnO и SiO_2 при приложении напряжения от -100 В до +100 В протекает постоянный ток в направлении от анода к катоду. Отношение прямого и обратного токов диода достигает 10^8 . Исследования показывают, что оксидные изоляторы можно использовать как простые в изготовлении, прозрачные и очень стабильные электронные клапаны. Используя этот подход, продемонстрирован диод, предназначенный для снятия электростатического заряда. В качестве активной зоны этот диод использует слой SiO_2 толщиной 100 нм, соотношение прямого и обратного токов в котором достигает 10^7 . Диод защищает тонкопленочные транзисторы на основе ZnO от электрического пробоя.

И. Ю. Лещанский

Жидкие кристаллы для органических тонкопленочных транзисторов

Liquid crystals for organic thin-film transistors. Hiroaki Iino, Takayuki Usui, Jun-ichi Hanna. Nature Communications. 2015. No 6:6828 | DOI: 10.1038/ncomms7828.

Кристаллические тонкие пленки органических полупроводников – подходящие материалы для полевых транзисторов и гибких печатных плат. Однако в настоящее время им свойственны два крупных недостатка, связанные с неоднородностью состава и плохой температурной устойчивостью. Жидкие кристаллы, упорядоченные в фазе смектита типа E, лишены обоих этих недостатков. Для увеличения подвижности носителей заряда органические полевые транзисторы создаются на основе поликристаллических тонких пленок, состоящих из малых молекул, модифицированных длинными углеводородными молекулами. Обычно трудности вызывает очистка

жидкого полимера от примесей, правильная ориентация молекул относительно электродов и кристаллизация в толще пленки. Подвижность носителей заряда и высокая температурная устойчивость – два конкурирующих параметра, которые совмещаются в пленках, сформированных их молекул, образующих π-подобные структуры. Такие однородные пленки, получаемые кристаллизацией тонкой пленки толщиной в одну молекулу, имеют высокую температурную устойчивость и выдерживают нагрев до 200 °С. Для сохранения высокой подвижности носителей заряда такую пленку следует отжечь. На основе такой пленки можно создать планарные полевые транзисторы структуры металл-диэлектрик-полупроводник, подвижность носителей в которых возрастает на порядок после термического отжига материала при 120 °С. Применение жидких кристаллов для получения структур полевых транзисторов может помочь преодолеть трудности создания электронных устройств на гибких подложках путем осаждения из раствора.

И.Ю. Лещанский

Еженедельный журнал Российской ассоциации содействия науке

НАУКА В мире

www.naukavmire.ru