



Ж

11

2013

ЖИЗНЬ И БИЗНЕС







Зарегистрирован
в Комитете РФ по печати
19 ноября 2003 г., рег. № 014823

НОМЕР ПОДГОТОВИЛИ:
Главный редактор
Л.Н.Стрельникова
Заместитель главного редактора
Е.В.Клещенко
Главный художник
А.В.Астрин

Редакторы и обозреватели
Б.А.Альтшулер,
Л.А.Ашкинази,
В.В.Благутина,
Ю.И.Зварич,
С.М.Комаров,
Н.Л.Резник,
О.В.Рындина

Технические рисунки
Р.Г.Бикмухаметова

Подписано в печать 16.11.2013

Адрес редакции
19991, Москва, Ленинский просп., 29, стр. 8
Телефон для справок:
8 (495) 722-09-46
e-mail: redaktor@hij.ru
<http://www.hij.ru>

При перепечатке материалов ссылка
на «Химию и жизнь — XXI век» обязательна.

© АХО Центр «НаукаПресс»



НА ОБЛОЖКЕ — рисунок А.Кукушкина

НА ВТОРОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ —
изображение Шивы и Парвати. Божес-
тва индуизма кажутся нам стран-
ными, но эта странность — просто
обыденность по сравнению с концепцией
массы в современной физике (см. ста-
тью «Дырка в эфире»).

*Может быть, величайшим триумфом челове-
ческого гения является то, что человек может по-
нять вещи, которые он уже не в силах вообразить.*

Л.Д.Ландау

Содержание

Нобелевская премия			
ДЫРКА В ЭФИРЕ. С.М.Комаров			2
История современности			
ИСТОРИЯ БОЗОНА ХИГГСА. О.О.Фейгин			6
Нобелевская премия			
В РАЗНЫХ МАСШТАБАХ. А.А.Вакулка			8
ПОБЕДА ПРАГМАТИЗМА. В.В.Рыбкин			9
Фотоинфо			
МУЗЕЙ НАУЧНОЙ СЛАВЫ. Е.Котина			12
Нобелевская премия			
ЛОГИСТИКА ПОД МИКРОСКОПОМ. Е.Клещенко			14
Тематический поиск			
НЕ ПРОСТО ПУЗЫРЬКИ			16
Биогенез			
ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЭУКАРИОТ. М.А.Никитин			18
Живые лаборатории			
КИСЛОРОДНЫЙ ПАРАДОКС. М.М.Борисова-Мубаракшина, М.А.Козулева			23
Земля и ее обитатели			
ХОЗЯЙСТВО НЕГУМАНОИДОВ. Н.Л.Резник			26
Нанофантастика			
ПЕРЕХВАТ. Андрей Лободинов			31
Наука и общество			
СМЕРТЬ НА КОЛЕСАХ. Л.Хатуль			34
Расследование			
НА ЧИСТУЮ ВОДУ. А.С.Ворох			35
Проблемы и методы науки			
ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ МОЗГ И СОЦИАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ. А.В.Шкурко			36
Страницы истории			
КОНРАД ЛОРЕНЦ О ЖИВОТНЫХ И ЛЮДЯХ. А.М.Черников, Е.В.Клещенко			40
Книги			
ИСТОРИЯ И ЕСТЕСТВЕННАЯ ИСТОРИЯ. К.Г.Михайлов			44
Другие вещи			
ПРИ СВЕЧАХ. М.Демина			48
Что мы едим			
ПЕЛЬМЕНИ. Н.Ручкина			54
Фантастика			
ПТИБА. Наталья Анискова, Майк Гелприн			56
Прогулки по истории химии			
ФЕРДИНАНД ТИМАН И СИНТЕЗ ДУШИСТЫХ ВЕЩЕСТВ. И.А.Леенсон			64
В ЗАРУБЕЖНЫХ ЛАБОРАТОРИЯХ	32	КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ	62
КНИГИ	61	ПИШУТ, ЧТО...	62
ИНФОРМАЦИЯ	53, 60	ПЕРЕПИСКА	64

Дырка в эфире

Кандидат
физико-математических наук
С.М. Комаров

Франсуа Энглер из Свободного университета Брюсселя и Питер Хиггс из Эдинбургского университета получили Нобелевскую премию 2013 года по физике за, как написано в пресс-релизе Шведской академии наук, «теоретическое открытие механизма, который вносит вклад в наше понимание того, как формируется масса субатомных частиц, недавно подтвержденное находкой предсказанной фундаментальной частицы в экспериментах ATLAS и CMS на Большом адронном коллайдере ЦЕРНа». Средства массовой информации формулируют несколько по-другому. Вот пример из сообщения ИТАР-ТАСС от 15 октября: «В 1964 году Хиггс предсказал обнаружение частицы, определяющей наличие массы у материи. Позже за этой частицей закрепилось название «бозон Хиггса», или «частица Бога». В июле 2012 года ученые Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН) объявили об открытии частицы, имеющей характеристики бозона Хиггса. В марте 2013 года они подтвердили свое открытие». Отличие этой прямолинейной формулировки от сдержанного и замысловатого сообщения Нобелевского комитета не случайно: если модель Энглера — Браута — Хиггса и отвечает за формирование массы, то отнюдь не у всей материи, да и масса эта оказывается не совсем тем, что под этим термином понимают, скажем, в школьном курсе физики, не говоря уж об обыденной жизни. Да и сам по себе вопрос о том, что есть масса, весьма запутан.

Изобретение массы

До начала XX века масса как показатель инерции, способности противостоять изменению скорости, считалась неотъемлемым свойством материи. «Протяженность, твердость, непроницаемость, подвижность и инертность целого происходят от протяженности, твердости, непроницаемости, подвижности и инерции частей, отсюда мы заключаем, что все малейшие частицы всех тел протяженны, тверды, непроницаемы, подвижны и обладают инерцией. Таково основание всей физики... Всеобщее тяготение подтверждается явлениями даже сильнее, нежели непроницаемость тел, для которой по отношению к телам небесным мы не имеем никакого опыта и никакого наблюдения. Однако я отнюдь не утверждаю, что тяготение существенно для тел. Под врожденною силою я разумею единственно только силу инерции. Она неизменна, а тяжесть при удалении от Земли уменьшается», — писал Исаак Ньютон в «Математических началах натуральной философии».

Под массой Ньютон понимал количество материи в теле, и ничего более. Но уже его поразило, что массы, стоящие во втором законе механики (связывающем силу и ускорение) и в законе тяготения, численно равны. Впоследствии эти массы получили название соответственно инерционной и гравитационной и долго фигурировали в физике под этими именами. Конец и представлению о двух массах, и о массе как неизменном свойстве материи наступил после открытия электрона и начала тщательного изучения его свойств. В 1901 году немецкий физик Вальтер Кауфман ставил опыты по разгону электрона электрическим полем. Источником электронов служил кусочек радия, испускавший лучи Беккереля, или бета-электроны, а детектором — фотопластинка. Эти опыты дали удивительный результат: отношение заряда к массе электрона уменьшалось



Художник В. Камаев



по мере приближения к скорости света! Иными словами, поскольку заряд постоянен, движение частицы изменяло ее массу. Эксперименты Кауфмана поначалу показали, что правильно описывает эту зависимость формула Макса Абрагама, где впервые предложена модель электрона как шарика, по поверхности которого размазан электрический заряд. Однако впоследствии верной была признана формула Лоренца: $m = m_0 / (1 - v^2/c^2)^{1/2}$. Поскольку аналогичным образом при больших скоростях преобразуется и расстояние, получилось, что электрон меняет свой размер вдоль направления движения. Это неизбежно приводит к тому, что у него появляется еще и поперечная масса, равная $m_0 / (1 - v^2/c^2)^{3/2}$, что совсем уж странно.

Масла в огонь разрастающегося кризиса физики подлил Эйнштейн, у которого масса оказалась просто неким коэффициентом, определяющим метрику четырехмерного пространства энергии-импульса; одной из его координат служит энергия, а тремя остальными — три компоненты вектора импульса: $m^2 c^4 = E^2 - p^2 c^2$. Для покоящегося тела получается знаменитое $E_0 = mc^2$, связывающее массу системы с ее внутренней энергией. После этого кризис достиг апогея, поскольку следствия противоречили не только житейскому опыту, но и существовавшему со времен Ньютона принципам физики. Так, оказалось, что безмассовая частица не может покоиться и всегда движется со скоростью света. Массивная же частица такой скорости достигнуть не может. Нагрев, увеличивая внутреннюю энергию, стал приводить к утяжелению тела, например масса утюга, нагретого до 200°C, увеличивается на 10⁻¹⁰ процента. Получается, будь во времена Ломоносова и Лаувазье более точные весы, доказать отсутствие теплорода было бы гораздо сложнее. Масса перестала быть аддитивной: массы целой вазы и получившихся при ее падении осколков не равны друг другу. И таких

примеров много, в чем можно убедиться, прочитав серию статей Л.Б.Окуня в журнале «Успехи физических наук» (например, 1989, т. 158, № 3). Анри Пуанкаре выразил сущность кризиса так: «Материя исчезает». Вот цитата из его книги «Последние мысли»: «Если и имеется некий атрибут, который органически должен быть присущ материи, то это, конечно, масса. Эта связь настолько существенна, что сами слова “масса” и “материя” воспринимаются почти как синонимы, — с весами в руках Лавуазье, показав неизменность массы, продемонстрировал неуничтожимость материи. Но вот мы пришли к тому, что масса — всего лишь только видимость и что многие факторы, и в первую очередь скорость, могут изменять ее. Одним ударом у материи была отобрана ее активная роль и отдана эфиру — этот истинный кладезь явлений, ранее относимых на счет массы. Теперь уже нет более прежней материи, а есть только дырки в эфире. А поскольку эти дырки не могут перемещаться без возмущения окружающего их эфира, то <...> хотя они и кажутся обладающими инерцией, в действительности эта инерция принадлежит эфиру».

Масса и философия

Бурные события в науке конца XIX века — открытие радиоактивности, X-лучей и релятивистских эффектов — породили смятение умов, которое, в свою очередь, привело к рождению новых философских концепций. К повествованию о массе имеет отношение прежде всего энергетизм, предложенный профессором Рижского и Гёттингенского университетов Вильгельмом Оствальдом, который в 1909 году получил Нобелевскую премию за исследования катализа. Он прямо указывал, что «пытается построить мирозерцание исключительно из энергетического материала, совершенно не пользуясь понятием материи».

Естественно, высказывания Маха, Пуанкаре, Оствальда и других философов-физиков не остались без внимания профессиональных философов. В 1908 году В.И. Ленин писал так: «“Материя исчезает” — это значит исчезает тот предел, до которого мы знали материю до сих пор, наше знание идет глубже; исчезают такие свойства материи, которые казались раньше абсолютными, неизменными, первоначальными (непроницаемость, инерция, масса и т. п.) и которые теперь обнаруживаются как относительные, присущие только некоторым состояниям материи». Философы-непрофессионалы тоже высказывались. «Энергетики, — писал Д.И. Менделеев, — все отрицают вещество, ибо, говорят они, мы знаем только энергию... следовательно, вещество есть только энергия. Такое, на мой взгляд, чисто схоластическое представление очень напоминает тот абстракт, по которому ничего не существует кроме “я”, потому что все проходит через сознание. Полагать можно, что подобные представления... удержаться не могут в умах сколько-либо здравых».

Не следует думать, что эти философские баталии закончились в начале XX века. Например, октябрьский номер журнала «Успехи физических наук» за 1952 год целиком посвящен обсуждению доклада философа И.В. Кузнецова «Против идеалистических извращений понятий массы и энергии». Обсуждение явно проходило в рамках компании по борьбе с так называемым реакционным эйнштейнианством, — явление, близкое к гонениям на генетику и кибернетику. Политическая составляющая этих дискуссий — отдельная тема, но подобный философский контекст явно указывает: проблема массы и ее происхождения была и остается ключевым вопросом физики.

Однако подобраться к его решению очень непросто. Ответом должна быть физическая модель, показывающая, как возникает инерция, то есть сопротивление изменению скорости, и как возникает гравитация, то есть, следуя Эйнштейну, искажение пространства-времени. К сожалению, вытекающее из уравнений Эйнштейна равенство, связывающее массу и энергию покоя помогает проводить расчеты, но нисколько не приближает к пониманию механизма как образования массы, так и проявления обоих указанных свойств. О том, каково современное состояние вопроса, Л.Б.Окунь писал в 1989 году так: «Мы знаем, что



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

основной вклад в массы протонов и нейтронов дают сильные взаимодействия, обусловленные глюонами, а не массы кварков, входящих в состав протонов и нейтронов <...> Существуют теоретические догадки, что в создании масс лептонов и кварков, а также W- и Z-бозонов решающую роль играют гипотетические частицы со спином, равным нулю. Поиски этих частиц — одна из основных задач физики высоких энергий». Представить себе механизм создания инерции за счет взаимодействия с другими частицами не трудно, это будет сделано ниже. А вот получить ту же инерцию, не говоря о гравитации, из достаточно загадочных и во многом виртуальных частиц, к тому лишенных собственной массы, каковыми оказываются глюоны, для обывденного сознания несколько сложновато. Поэтому в нем возникает мысль: ссылка на то, что массу образует совокупность вкладов разных видов внутренней энергии массивного тела, когда исчерпывающий список видов этой энергии и соответствующих им механизмов отсутствует, несколько похожа на забытые за триста лет скрытые свойства (см. «Химию и жизнь», 2013, № 10).

Важность же ясного ответа на вопрос о массе невозможно переоценить: поняв механизмы деформации пространства-времени и механизмы создания инерции, человечество овладеет фантастическими способами передвижения.

Электромагнитная масса

До настоящего времени есть две признанные научным сообществом попытки понять физической механизм образования массы, причем только инерционной. Первую предпринял в 1881 году будущий корифей, а тогда двадцатипятилетний физик Джозеф Томсон. Заинтересовавшись недавно опубликованными уравнениями Максвелла, которые показывают взаимное порождение электрических и магнитных полей при их движении, он решил задачу о движении в электромагнитном эфире сферы, по которой размазан электрический заряд. Результат оказался очень интересным: у сферы появилась дополнительная инерция. Ее происхождение таково. При начале движения возникает магнитное поле. Для его рождения требуется энергия, что и тормозит движение. При торможении, наоборот, поле должно исчезнуть; оно подпитывает сферу энергией, и та останавливается медленнее. А если ускорения нет, сфера, в соответствии с пришедшим из гидродинамики парадоксом Д'Аламбера, движется в эфире без трения, как в идеальной жидкости.

Поначалу Томсон предположил, что полученная электромагнитная масса — лишь добавка к механической массе. Однако после того как он открыл электрон, а Кауфман обнаружил релятивистские эффекты, возникла идея, что вся масса электрона имеет электромагнитное происхождение. После открытия протона физики пошли еще дальше и предположили, что вообще всякая масса есть проявление электромагнетизма. Эта-то идея и дала Пуанкаре основание говорить, что вся материя стала дырками в эфире.

Впрочем, открытие нейтрона, не обладающего зарядом, нанесло по идее сильный удар, массу стали опять приписывать неким внутренним особенностям строения, и сейчас считается, что электромагнитная масса — небольшая добавка к массе заряженных частиц. В физике твердого тела такая добавочная масса и вовсе принимает странные очертания, превращаясь в тензор, поскольку сопротивление движению электрона оказывается

зависимым от направления в кристаллической решетке. Такую массу договорились называть эффективной, и для всех очевидно, что возникает она не как внутреннее свойство электрона, а как свойство окружающей его среды. Точно так же можно было бы приписать гидродинамическую массу подводной лодке, выдав за нее сопротивление воды.

В общем, эта история показала, что масса как свойство инерции может происходить из разных источников. Происхождение же гравитационной массы электрона, то есть способности деформировать пространство-время, не обсуждается. Более того, некоторые исследователи задаются вопросом, а есть ли у нас опыты, которые доказывают, что электрон вступает в гравитационные взаимодействия? Вопрос не праздный, ведь если масса состоит из нескольких компонентов, так ли обязательно, чтобы все они включались в принцип эквивалентности масс? Например, то же гидродинамическое сопротивление движению подводной лодке, очевидно, сказывается на ее весе, но никак не на массе.

Угадывание формул

А вторая попытка найти массу как раз и связана с подходом Хиггса. Подход этот был сделан не от хорошей жизни: требовалось срочно спасти всю теорию элементарных частиц. Чтобы проследить за этой историей, заглянем в рабочий кабинет физика-теоретика.

Идея Томсона о том, что масса может быть следствием взаимодействия материального объекта с каким-то полем, не была забыта с появлением нейтрона. Более того, она очень востребована в современной физике элементарных частиц, базирующейся на методе теории поля.

В соответствии с ней окружающее нас пространство заполнено различными полями. По ним пробегают волны, образуется рябь, возникают вихри и уединенные волны (солитоны, они же цунами) — эти-то объекты и оказываются элементарными частицами. Задача теоретика — построить такие уравнения, которые верно опишут те или иные, а лучше все сразу проявления поля. Основным инструментом при этом служит уравнение Лагранжа, лагранжиан, которое определяет зависимость энергии какого-то объекта от состояния этого объекта. Состояние же задается так называемыми обобщенными координатами, которых в простейшем случае механического движения шесть — три пространственные координаты и три импульса (напомним, что в соответствии с диалектическим материализмом материя пребывает в состояниях со многими видами движения; например, химическое движение добавит в лагранжиан химический потенциал, зависящий от концентрации реагентов). Объект движется в обобщенном пространстве по мировой линии, а ее траектория соответствует минимуму лагранжиана. Найти минимум, ввиду сложности формул, никогда не удается, но зато можно разложить лагранжиан в ряд по малому отклонению координат от этого предполагаемого минимума и заняться анализом нескольких первых членов этого ряда. Коэффициент перед квадратичным по энергии поля членом разложения лагранжиана и будет массой объекта, взаимодействующего с этим полем. Зная устройство нашего мира, можно задать такой лагранжиан, чтобы перед квадратичным членом, отражающим электромагнитное поле, этот коэффициент получался равным нулю — тогда выйдет наш мир, в котором фотон имеет нулевую массу. Можно придумать и какой-то другой мир, где у фотона масса будет, это — не наш мир.

Не нужно думать, будто теоретик изначально знает, какую реальность он описывает. Как пишет историк науки В.П.Визгин («Успехи физических наук», 2001, 171, 12, 1347—1363), Ричард Фейнман, рассказывая о законе релятивистской квантовой механики, открытом Максом Планком, прямо отмечает: «Угадывание уравнений — по-видимому, очень хороший способ открывать новые законы». Л.И.Мандельштам, открывший в 1913 году инерцию электрона в совместных опытах с Н.Д.Папалекси, писал, что всякая теория состоит из физической интерпретации и уравнений; без первой части она иллюзорна, без второй — вообще не существует.

Таким образом, можно констатировать, что к середине XX века физики вполне отошли от ньютоновского «гипотез не измышляю» и вернулись к картезианскому «мыслью, значит, существую». Этот подход породил афоризмы вроде «если теория не подтверждается экспериментом, тем хуже для эксперимента» и анекдоты, например, такой: профессор объясняет физический смысл некой кривой, к нему подходит ассистент и говорит, что слайд перевернут. Ошибку исправляют, и профессор столь же убедительно объясняет перевернутую кривую.

Если вспомнить историю, то окажется, что начало такому опережению теории положил Максвелл, который вывел свои знаменитые уравнения, в значительной степени руководствуясь соображениями симметрии. В последующей теории поля симметрия и ее нарушение играют решающую роль, будучи, наряду с перенормируемостью, важнейшим свойством лагранжиана. Например, в нашем мире движение вправо или влево от центра координат ничем, в сущности, не отличается. Значит, лагранжиан, описывающий наш мир, должен быть симметричен, не меняться при условии, если мы перемножим все координаты на отрицательное число. Нарушение симметрии должно обязательно быть оправданно и подтверждаться экспериментами. Если в результате решения получаются какие-то нефизические величины, стремящиеся к бесконечности, это считается недостатком теории. В случае, когда такие расходимости удается устранить введением в лагранжиан конечного числа членов, теория называется перенормируемой, и считается, что ее можно использовать для описания реальности.

Так вот, когда были открыты слабые взаимодействия, появилась серьезная коллизия: устойчивость теории требовала, чтобы переносчики этого взаимодействия, промежуточные векторные бозоны, а их целых три, различающиеся зарядами: W^+ , W^- и Z^0 , были безмассовыми. Однако безмассовый бозон, вроде фотона, означает, что соответствующее взаимодействие распространяется на огромные расстояния, а слабое взаимодействие работает на расстояниях порядка радиуса нуклона (подробности этой истории можно прочитать в статье В.А.Рубакова, «Успехи физических наук», 2012, 182, 10, 1017—1025).

Механизм Энглера — Браута — Хиггса

Для спасения теории возникла мысль: нужно, чтобы лагранжиан был симметричным, а решение — основное состояние системы — оказалось несимметричным. В принципе представить такую ситуацию нетрудно, более того, решение — спонтанное нарушение симметрии было уже описано в середине XX века сначала в теории сверхтекучести Ландау — Боголюбова, а затем в теории сверхпроводимости Гинзбурга — Ландау.

Вот как демонстрирует спонтанное нарушение симметрии академик В.А.Рубаков в упомянутой статье. Кусок железа при охлаждении ниже температуры Кюри спонтанно обретает намагниченность. При этом он разбивается на домены, внутри каждого из которых магнитное поле ориентировано вдоль определенного направления кристаллической решетки. Если бы внутри такого домена жили существа, они бы обнаружили, что их мир не симметричен: имеется выделенное направление. Однако в среднем по этому куску железа мир симметричен. Более того, пока к нему не приложат внешнее поле, которое выстроит магнитные поля всех доменов в одну сторону, кусок железа не будет магнитом. Каждый домен представляет собой спонтанное нарушение симметрии, выражающееся в том, что он принимает одно из множества возможных направлений магнитного момента.

В формализме теории поля, введенном Энглером, Браутом и Хиггсом, это рассуждение обретает такой вид.

Пусть у нас есть поле ϕ (его называют затравочным). Его лагранжиан имеет вид

$$L = 1/2 (d\phi)^2 + 1/2 (d\chi)^2 + V(\phi).$$

Первый член соответствует кинетической энергии, остальные — потенциальной, причем третий член — некая функция, описывающая потенциальную яму, в которой находится система. Система же лежит на дне этой ямы, в минимуме потенциала,

и совершает небольшие колебания вокруг него. Эту функцию можно разложить по малому параметру — отклонению от минимума. Получится уравнение

$$V(\phi) = 1/2 m^2 \phi^2 + 1/4 g \phi^4.$$

Для сохранения симметрии относительно изменения знака ϕ — а это неперенормированное условие наличия минимума потенциала в точке, где $\phi=0$ — члены с нечетными степенями приравнены к нулю. Старшие члены также обнулены, иначе теория получится неперенормированной. Физический смысл коэффициентов m и g таков: m характеризует крутизну потенциальной ямы, то есть сколь трудно систему сдвинуть в сторону от равновесия. Это инерционная масса. А g — некая константа связи.

Если $m^2 > 0$, то минимум находится в точке $\phi=0$. Такой случай не позволяет создавать массу у изначально безмассовых частиц. Если же затравочная масса представляет собой мнимое число, то есть $m^2 < 0$, тогда ситуация меняется: у потенциала появляются два минимума в точках $\phi = \pm (|m|^2/g)^{1/2}$. Но система может оказаться только в одном из них. Предположение о мнимой массе выглядит достаточно экзотично, но в результате получилось то, что нужно: симметричный лагранжиан привел к решению со спонтанным нарушением симметрии. Основное состояние в теории поля — это вакуум. Система выбирает один из возможных вакуумов. Второй эквивалентен первому, но означает другой мир. Число n означает, что энергия этого вакуума отлична от нуля и это — среднее значение такой энергии. Отличие среднего значения вакуума от нуля соответствует бозе-конденсации неких частиц. Если представить, что конденсат — идеальная жидкость, то при движении объекта сквозь него будут работать законы гидродинамики: при ускорении и торможении возникнет сила трения, а при равномерном движении из-за парадокса Д'Аламбера трения не будет.

Если теперь построить лагранжиан для неких безмассовых частиц и предположить, что они взаимодействуют с затравочным полем, то окажется, что у них появляется масса, равная произведению константы такого взаимодействия на среднее значение поля. Если нет спонтанного нарушения симметрии, среднее значение поля обнуляется и масса не возникает, аналогично — если нет взаимодействия между полем и этими частицами.

Для спасения теории было предложено два затравочных поля, состоящих из реальной и мнимой частей, — в сущности, четыре разных поля. В результате хитрых манипуляций три поля были «съедены» промежуточными бозонами, приобретшими в результате массу, а оставшееся породило то, что и называют бозонами Хиггса. При этом теоретикам удалось сохранить безмассовость фотона и отсутствие у него заряда. Развитие теории позволило с помощью механизма Хиггса обеспечить массу такому лептону, как электрон, а нейтрину оставить без массы. Далее, тот же механизм привел к появлению массы у кварков. Самое интересное, что значения константы связи для промежуточных бозонов можно вывести из экспериментов, и их подстановка в формулы дала массы W - и Z -бозонов. Когда их открыли в 1983 году в ЦЕРНе, значения масс — 80 и 92 ГэВ — оказались удивительно близки к рассчитанным: 78,6 и 89,3 ГэВ. Столь блестящее совпадение убедило физиков в справедливости механизма Хиггса, и для полноты счастья оставалось только найти тот самый четвертый бозон, бозон Хиггса, чем и занялись на Большом адронном коллайдере.

Помимо расчета массы бозонов, удалось рассчитать и среднюю энергию затравочного поля. Она оказалась большой — 122 ГэВ. После определения этого числа, в теории массы электронов, кварков, а так же самих бозонов Хиггса остался один неизвестный параметр — константа взаимодействия частицы с полем Хиггса. Определить его из теории нельзя. Зато можно, приписав полную массу частицы именно этому взаимодействию, вычислить простой постановкой в соответствующую формулу. Так, для электрона константа оказывается мала, $5 \cdot 10^{-6}$. Поскольку кварки — базовые блоки, из которых строятся нуклон, а вещество состоит из нуклонов и электронов, то возникает искушение сказать: всё, найдено, как образуется масса всего сущего. Однако это оказывается совсем не так, что и выражено в аккуратной формулировке Нобелевского комитета.



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Прежде всего, нуклоны — а с учетом того, что электрон в 1636 раз легче протона, его массой можно пренебречь — состоят из двух легчайших кварков: u и d . Их суммарная масса около 10 МэВ. А масса нуклона около 1 ГэВ. Если масса кварков берется из взаимодействия с полем Хиггса, то вопрос, откуда берутся остальные 99% массы нуклона, решается, как уже было сказано, за счет некоей внутренней энергии, прежде всего глюонов, связывающих кварки воедино. Однако есть еще и лишняя электромагнетизма темная материя, у которой масса явно возникает по какому-то иному механизму, а ее вклад в массу Вселенной гораздо больше, чем у вещества и электромагнитных излучений. Тот факт, что масс становится все больше и больше и механизм их получения различается, настораживает, ведь это усложнение картины, а правильным в физике считается упрощение.

Нельзя не заметить, что поле Хиггса как генератор массы подозрительно похоже на электромагнитный эфир Томсона как генератор электромагнитной массы электрона. Сто лет спустя масса опять оказалась не свойством частицы, а свойством окружающей ее среды, снова получилась дырка в эфире, правда на сей раз хиггсовом, с гораздо менее ясным физическим смыслом. Кроме того, приписывание полю Хиггса происхождения всей массы электрона повторяет ошибку вековой давности и выглядит скорее как некий акт волюнтаризма, нежели физический расчет, основанный на эксперименте. Ну а вопрос о том, как такая хиггсова масса осуществляет деформацию пространства-времени для обеспечения гравитации, не рассматривается вовсе. Очевидно, что модель Хиггса, хоть и помогла спасти теорию слабого взаимодействия, не дала ответ на вопрос о том, что есть масса во всей полноте ее проявлений. А без этого ответа представление о мире никак нельзя признать полным. Поскольку бозон Хиггса был последней частицей, необходимой для завершения Стандартной модели, возникает мысль, что она в принципе не способна дать ответа. Тогда впереди ожидается новый цикл отрицания отрицания, в ходе которого наше представление об окружающей реальности может сильно поменяться.

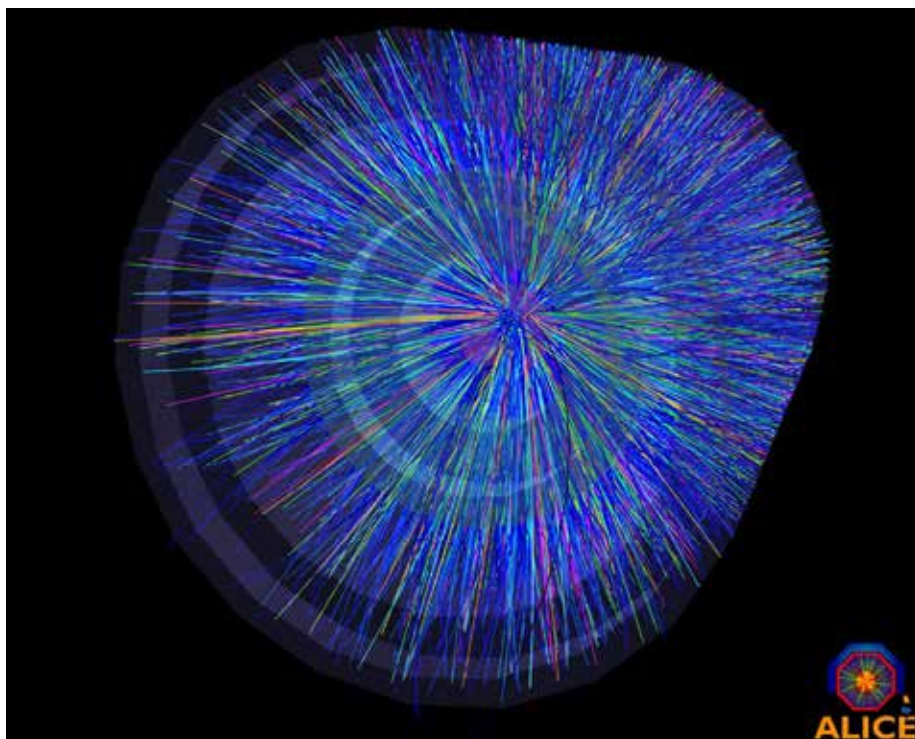
Это было мнение журналиста, автора настоящей статьи. А вот мнение ведущего специалиста по физике элементарных частиц В.А.Рубакова, высказанное в упомянутой выше его статье: «С «технической» точки зрения Стандартная модель внутренне не противоречива. Это означает, что в ее рамках можно — хотя бы в принципе, а как правило, и на практике — вычислить любую физическую величину (разумеется, относящуюся к тем явлениям, которые призвана описывать Стандартную модель...). Тем не менее, многие, хотя и не все, теоретики считают положение дел в Стандартной модели не вполне удовлетворительным, мягко говоря. И связано это в первую очередь с проблемой ее энергетического масштаба». (Он на 17 порядков меньше, чем гравитационный масштаб.) «Несмотря на все усилия, до сих пор никаких экспериментальных указаний на «новую физику» получено не было. Это вообще-то уже начинает внушать тревогу: а правильно ли мы все понимаем?»

История бозона Хиггса

О.О.Фейгин

Если говорить образно, то после открытия бозона Стандартная модель стала похожа на здание, строители и архитекторы которого совсем не знают, откуда они берут материалы. И вот, руководствуясь этой аналогией, мы должны признать, что бозон Хиггса оказался тем кирпичиком, после положения которого стало ясно, что это здание построить по ранее утвержденному плану невозможно.

А.А.Ростовцев



Гонка за бозоном

Летом прошлого, 2012 года по локальной компьютерной сети, связывающей международное детище ЦЕРНа — Большой адронный коллайдер, или просто БАК с двумя сотнями научных центров мира, прошла долгожданная весть: обнаружены следы новой частицы — бозона Хиггса. После первых восторженных сообщений началась тщательная проверка результатов, занявшая около года, и вот — признание свершившегося факта Нобелевским комитетом.

В физике элементарных частиц об открытии новой частицы судят по результатам ее гибели и превращению в какие-то известные частицы. Пересчитав их с помощью детекторов и определив энергию, можно вычислить тип и массу частицы, рожденной в столкновениях быстрых электронов или протонов.

В отношении массы бозона Хиггса теория не дает ответа. Однако можно дать оценку для интервала, в котором следует искать эту частицу. С самого момента признания механизма Энглера — Браута — Хиггса этот интервал был очень широк — от 300 МэВ до 1 ТэВ, потом он постепенно сокращался. Поначалу физики недооценили трудность проблемы. Академик Л.Б.Окунь вспоминает, как в 1981 году был уверен, что мощности существовавших на тот момент ускорителей вполне хватит. Тем не менее даже построенный в 1983 году в ЦЕРНе Большой электрон-позитронный коллайдер (LEP) с этим делом не справился. Он закончил работу в 2001 году, достигнув энергии столкновения частиц в 208 ГэВ. В ходе работы было зафиксировано несколько признаков неизвестной частицы с массой 114 ГэВ. Однако при детальном анализе

экспериментаторы признали, что все наблюдаемые события (так в атомной физике называются столкновения, генерация и распад частиц) не выходят из границ прогнозируемого уровня фона.

В последующие годы эстафету поиска хиггсовского бозона подхватил некогда знаменитый Теватрон (Tevatron) из Национальной ускорительной лаборатории имени Энрико Ферми близ Чикаго, известной во всем мире как «Фермилаб». К 2004 году команда американских физиков провела повторную обработку всех имеющихся данных и сумела существенно уточнить верхнюю границу массы хиггсона, опустив ее до 251 ГэВ.

Следующий шаг в конце первого десятилетия XXI века сделала группа российских физиков из подмосковного Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ, Дубна). На основании сравнения сводных данных ЦЕРНа, Фермилаба и анизотропии космического реликтового излучения ученые сумели дать в 2009 году уточненную оценку массы хиггсона в пределах 118(+2) ГэВ.

Работы российских физиков сильно помогли их заокеанским коллегам, и в 2010 году в экспериментах на Теватроне впервые получили обнадеживающие результаты. Правда, несколько неожиданные. Оказалось, что обнаруженная небольшая разница в продуктах распада В-мезона в виде мюонов и антимюонов может быть интерпретирована как признак существования целых пяти разновидностей бозона Хиггса. Так в физику элементарных частиц вошло «семейство Хиггса» — заряженные положительно и отрицательно скалярные (легкий и тяжелый), а также псевдоскалярные бозоны. Тем не менее после многих бурных де-

Так выглядело одно из событий, связанное с рождением бозона Хиггса, зафиксированное детектором ALICE. Линии — траектории разлета частиц после столкновения двух протонов

батов семейству Хиггса так и не удалось обрести «права гражданства» в мире официальной науки...

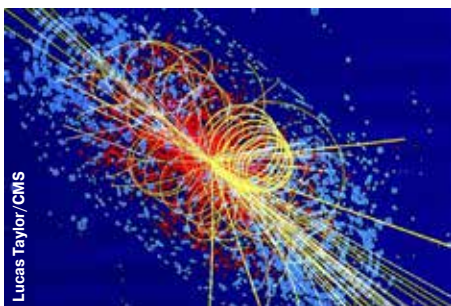
Сенсация в ЦЕРНе

До самого последнего момента судьбоносного пресс-релиза, зафиксировавшего открытие бозона Хиггса, продолжалось драматическое состязание двух больших научных коллективов. Со специалистами БАКа соревновались их американские коллеги из Фермилаба, и, хотя их рабочий инструмент — Теватрон — был остановлен осенью 2011 года после 28 лет успешной эксплуатации, они упорно продолжали анализировать данные о 500 триллионах столкновений элементарных частиц, которые за последнее десятилетие произошли в их коллайдере.

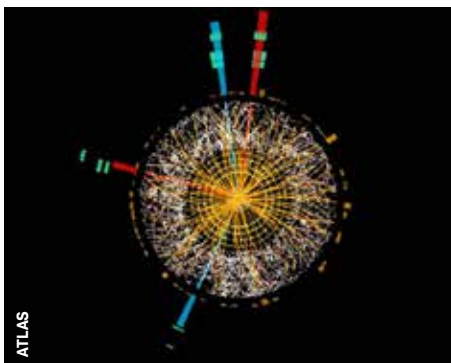
Увы! Мощности Теватрона все же немного не хватило, и пальма первенства окончательно перешла к БАКу.

Летом 2011 года БАК наконец-то вышел на «малую крейсерскую скорость», и вскоре сразу две рабочие группы заявили о признаках частицы Хиггса в районе массы 130—150 ГэВ. Теоретики также бурно обсуждали имеющиеся данные и в результате на конференции по высоким энергиям в Гренобле торжественно закрыли верхний диапазон от 150 до 400 ГэВ, оставив там лишь несколько очень узких «окон».

Между тем БАК продолжал наращивать мощности, и все понимали, что дело



Lucas Taylor/CMS
 Результат моделирования столкновения частиц, которое рождает бозон Хиггса



ATLAS
 Бозон Хиггса распадается на четыре лептона 18 мая 2012 года

близится к развязке. К осени 2011 года интервал «доверительной массы» сузился до беспрецедентных 114—141 ГэВ, а высокоэнергетический участок — от 141 до 443 ГэВ — был исключен. Остались только три узких интервала между 220 и 320 ГэВ. Перед тем как уйти на рождественские каникулы, коллаборация творческих коллективов БАКа представила предварительные результаты обработки данных 2011 года. Глубоко разочаровав научных комментаторов отсутствием определенности, физики ЦЕРНа еще раз сузили доверительный интервал массы до 116—130 ГэВ. Интересно то, что несколько независимых измерений указывало на совсем уж конкретные значения — от 124 до 126 ГэВ. Эти предновогодние оценки вызвали большой интерес в сообществе физиков-элементарщиков, но в очередной раз разочаровали интересующую публику. Для вынесения вердикта о существовании частицы Хиггса явно требовался больший объем данных, и директор ЦЕРНа Рольф-Дитер Хойер торжественно провозгласил по этому поводу новогодний тост.

Пожелание доктора Хойера исполнилось. Тем не менее 2 июля 2012 года европейским физикам пришлось сильно поволноваться. В этот день сразу две научные коллаборации из Фермилаба и ЦЕРНа заявили, что по результатам анализа данных, оставшихся от Теватрона, имеются признаки неизвестной частицы в массовом диапазоне 115—135 ГэВ. Споры об этом фантомном следе длятся до сих пор, то затухая, то разгораясь вновь. Постепенно мнение ученых все же склоняется к тому, что статистические за-

кономерности не позволяют безусловно говорить об открытии частицы Хиггса.

И вот наконец наступила судьбоносная дата — 4 июля 2012 года. Именно тогда на научном семинаре, проходившем в знаменитом «деревянном» конференц-зале ЦЕРНа, были впервые изложены предварительные результаты экспериментов на датчиках-мишенях БАКа ATLAS и CMS. Оба детектора наблюдали новую частицу с массой около 125—126 ГэВ, что делало ее тяжелойшей из когда-либо обнаруженных бозонов. Началась кропотливая работа по дальнейшей обработке данных, и в итоге в марте 2013 года международная команда специалистов ЦЕРНа окончательно пришла к единому выводу, что в июле 2012 года на детекторах БАКа наблюдалась именно та микрочастица, существование которой предсказал в свое время профессор Хиггс.

Как видно, LEP лишь немного недотянул до нужной энергии. Поэтому есть мысль: после окончания работ на БАКе снова в этом же туннеле смонтировать электрон-позитронный коллайдер и создать в нем фабрику по производству бозонов Хиггса с тем, чтобы провести тщательные исследования этого загадочного поля.

Модель Вселенной Хиггса

Итак, одна из основных целей создания БАКа считается достигнутой, и в результате множества экспериментов зафиксирована частица нужной массы. Какой модели физической реальности соответствует новорожденный хиггсон и что это может означать в дальнейшей судьбе нашего мира?

Прежде всего это значение массы не запрещает существование суперсимметрии, теория которой, по мнению многих физиков, должна прийти на смену Стандартной модели. В суперсимметричных моделях (в отличие от Стандартной) есть ограничения на массу легчайшего из бозонов Хиггса: 130 ГэВ. Новый бозон с массой 126 ГэВ отлично укладывается в отведенные для него рамки. Большое значение масса бозона Хиггса имеет для космологии. Об этом неоднократно в свое время писал академик Я.Б.Зельдович. В частности, нельзя исключать, что абсолютный минимум энергии, в котором пребывала Вселенная в момент своего рождения, перестал быть таковым и мы живем в метастабильном мире, который в любой момент может туннелировать в состояние абсолютного минимума энергии. Масса бозона Хиггса поможет оценить вероятность такой ситуации, ведь в нее входит значение энергии поля, приобретаемое в ходе спонтанного нарушения симметрии. Само по себе это нарушение способно разбить Вселенную на домены с разными направлениями избранной оси и, соответственно с разными вакуумами. Эти домены будут разделены стенками, однако астрономы их не видят. Возможно, они исчезли без следа, а возможно, причина иная.



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Относительно оптимистичный сценарий будущего Вселенной, где есть массивный бозон Хиггса, на суд научной общественности представил американский физик-теоретик Джозеф Ликкен из Фермилаба. Его версия растягивает катастрофические события на многие миллиарды лет, что, впрочем, не меняет конечный результат — гравитационное схлопывание Мироздания и рождение в пучинах ложного вакуума нового мира. Получается, что теория Ликкена лишь несколько ускоряет «кончину» Вселенной, ведь ее ускоренное расширение под действием темной энергии все равно неминуемо приведет к «Большому Разрыву», или превращению нашего мира в «холодную мертвую пустошь».

Картина может сильно измениться, если, например, справедливы предположения, что нарушение симметрии электромагнитно-слабого взаимодействия связано не с хиггсоном, а с голдстоуновским бозоном в мире сверхтяжелых (более 10 ГэВ) частиц. Космологические следствия из подобных моделей еще не изучены и представляют собой обширную область для дальнейших исследований.

Между тем у частицы Хиггса сохранилось еще много тайн, к примеру, взаимодействуя с тяжелыми кварками, она теоретически может неограниченно увеличивать свою массу. Тут обязательно нужна какая-то частица-партнер, которая обеспечивала бы определенное экранирование поля Хиггса. Поиски этой загадочной микрочастицы будут важнейшей задачей после долгого профилактического перерыва в работе БАКа, который должен продлиться до 2015 года.

Кроме того, не все ясно с топологией частицы: пока предполагается, что этот микробоъект — точечное образование. Но какова его структура на сверхмалых расстояниях? Ко всему прочему, в праздничных речах и поздравлениях руководства ЦЕРНа как-то само собой возникает вопрос: а был ли открытый бозон действительно частицей, следующей из механизма Энглера-Браута-Хиггса? Ведь существуют теоретические разработки и для других скалярных частиц в диапазоне масс до 1 ТэВ. И это один из самых трудных вопросов для современной физики.



В разных масштабах

А.А.Вакулка,

PhD, Институт Йожефа Стефана, Любляна



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

Те, кто исследует живые системы, различают эксперимент *in vivo* и *in vitro*: с целым живым существом и «в стекле», по-русски — в пробирке, вне организма.

Теперь к ним добавился новый метод познания: эксперимент *in silico*, то есть «в кремнии», из которого сделаны компьютерные микросхемы. В биохимии это стало возможным благодаря достижениям лауреатов Нобелевской премии по химии 2013 года. Ее получили Мартин Карплус, Майкл Левитт и Арье Варшель за то, что с помощью классических и квантово-механических методов заложили фундамент для моделирования сложных химических систем, в том числе биомолекул.

Сейчас сочетание классического и квантового подходов считают стандартом, но нынешние нобелевские лауреаты впервые совместили их, используя оба метода для расчета одной системы. Авторы популярного пресс-релиза на сайте Нобелевской премии проиллюстрировали это забавными картинками: на первой Ньютон (классическая механика) швыряет яблоко в кота Шредингера (квантовая механика), на второй кот сидит на коленях у Ньютона, открытый ящик стоит под яблоней, и все счастливы.

В чем была сложность одновременного использования классического и квантового подходов? Модели, описывающие молекулы с помощью классической механики, рассматривают атомы и группы атомов как целое — у них гораздо меньше степеней свободы, и их проще просчитать с помощью компьютера. Квантово-химические модели описывают отдельно электроны и ядра, и это дает такое количество вариантов, что самые мощные компьютеры в состоянии сделать расчеты лишь для простых молекул. Нобелевские лауреаты разработали комбинированный подход, при котором центральную часть системы описывают квантово-химическими методами, а остальную часть с помощью классических законов, причем оба описания физически связаны.

Основные квантово-химические методы заложили Вальтер Кон и Джон Погл, за что в 1998 году получили Нобелевскую премию. А сама квантовая химия выросла из квантовой механики, разработанной в первой трети XIX века и отмеченной пятью Нобелевскими премиями с 1918 по 1933 год (в 1933 году ее получили Эрвин Шредингер и Поль Дирак).

Однако можно считать, что эта история начинается с 1869 года, когда Ян Дидерик Ван-дер-Ваальс сделал важнейшее открытие — показал существование слабых межмолекулярных и межмолекулярных взаимодействий, которые происходят между мгновенными, или наведенными диполями. Благодаря ему в поле зрения ученых попали эти слабые силы — порядка всего нескольких десятков тысяч джоулей на моль вещества (для сравнения: энергия связи в молекуле O_2 в пятнадцать раз больше). Полученные Ван-дер-Ваальсом потенциалы взаимодействия молекул, равно как и электростатический потенциал Кулона, в 1946 году использовали три группы ученых, которые создали первые алгоритмы моделирования молекулярных систем. Лидером стала группа Фрэнка Уэстхаймера, пытавшаяся применить некоторые разделы физики (электростатику и статистическую механику) к органическим молекулам.

Все эти исследования привели к пониманию, как можно определить потенциал межмолекулярного взаимодействия, а

появление компьютеров позволило этому направлению развиваться дальше. Нормана Эллинджера считают пионером расчетной химии (computational chemistry), поскольку он первым создал алгоритм и написал первые компьютерные программы для оптимизации структуры молекул. Так возникли методы ММ (молекулярной механики). В них атомы принимают за точечные заряженные массы, а программа ищет минимум потенциальной энергии для разного расположения этих точечных зарядов в пространстве, подбирает длину связи, валентные углы, торсионные углы, силовые константы связей, величины парциальных зарядов и параметры Ван-дер-Ваальса.

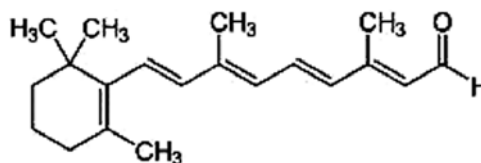
Особенно интересно применение методов молекулярной механики к биологически активным органическим молекулам, например белкам. Молекулярная масса некоторых из них составляет миллионы атомных единиц массы — например, молекула титина, играющего важную роль в сокращении поперечно-полосатых мышц. Очевидно, что изучение структуры белков — приоритетная задача. Используя алгоритмы Уэстхаймера и Эллинджера, другая группа ученых (Джордж Немети и Гарольд Шерага) занялась исследованием молекул белков. Как уже упоминалось, методы молекулярной механики работают по принципу поиска минимума энергии. Найдя структуру, соответствующую такому минимуму энергии, программа определяет ее как наиболее вероятную. Следующий шаг — это применение методов квантовой механики для расчета межмолекулярных и внутримолекулярных потенциалов.

Именно в этой области работал один из нобелевских лауреатов Арье Варшель. Ему и Шнеиру Лифсону принадлежит приоритет в развитии метода силового поля (consistent force field, CFF), основанного также на поиске минимума потенциальной энергии системы атомов.

Арье Варшель родился в 1940 году в подмандатной Палестине. Он успел повоевать, а дослужившись до капитана, в 1966 году поступил в университет Технион в Хайфе. Получив в 1969 году докторскую степень, Варшель приехал в лабораторию Мартина Карплуса в Гарвардском университете проходить постдокторскую стажировку. С 1976 года он работает в университете Южной Калифорнии, где с 1984 года становится профессором. Основная область его научных интересов — применение вычислительных методов для выяснения структурной функции биологических молекул.

Мартин Карплус родился в 1930 году в Вене, а в 1938-м переехал с матерью и братом в США, спасаясь от нацистов. В 1951 году он закончил Гарвардский колледж, в 1953-м получил докторскую степень в Калифорнийском технологическом институте, где работал с двукратным нобелевским лауреатом Лайнусом Полингом. Возможно, именно Полинг оказал большое влияние на ранние работы Карплуса.

Во время совместной работы в начале 70-х годов XX века Варшель и Карплус занимались моделированием молекул с большим количеством сопряженных кратных связей.



Они написали программу, которая могла вычислять спектры подобных молекул и представляла собой комбинацию классического метода расчета и квантово-механического подхода: π -электроны описывались с помощью квантовой механики, а σ -электроны — с помощью молекулярной механики. Это была первая работа, которая показала, что можно использовать оба подхода одновременно. Карплус и Варшель сформулировали принцип, согласно которому электроны можно разделить на те, что будут включены в классическую модель, и те, что будут описаны квантово-химическими методами. Кроме того, они создали схемы обмена энергией между классической и квантово-химической подсистемами, а также между ними и окружением молекулы.

Позднее, в 1976 году, Варшель и Майкл Левитт использовали тот же принцип для моделирования реакций молекулы лизоцима. Майкл Левитт родился в 1947 году в Претории (Южная Африка). В 1964 году он переезжает в Великобританию. Докторскую степень Левитт получил в 1971 году в колледже Гонвилл-энд-Киз, а перед этим некоторое время стажировался в Институте Вейцмана в Реховоте (Израиль), где его куратором был Арье Варшель. С 1987 года Левитт — профессор структурной биологии медицинской школы Стэнфордского университета.

Победа прагматизма

Кандидат химических наук

В.В.Рыбкин

Технологический университет Карлсруэ

Не знаю, как в этом году восприняли профессиональные сообщества Нобелевскую премию по физике, но могу точно сказать, что сообщество «теоретических и вычислительных химиков» отнесется к премии Мартина Карплуса, Майкла Левитта и Арье Варшеля неоднозначно. С одной стороны, приятно, что премию присудили теоретикам, это происходит нечасто (в последний раз в 1998 году ее получили Вальтер Кон за развитие теории функционала плотности и Джон Поппл за разработку вычислительных методов квантовой химии). А с другой — многие считают многоуровневое моделирование с использованием классической механики делом не очень серьезным. Не так давно на Европейской летней школе по квантовой химии один из профессоров сказал буквально следующее: «Девяносто процентов подобных расчетов — ерунда». Редко кто говорит это вслух, но это не значит, что так не думают.

В пресс-релизах много раз писали, что Карплус, Левитт и Варшель подружили Ньютона и Шредингера, соединив в своих расчетах классическую и квантовую механику. Однако на самом деле подружить их нельзя: либо одно, либо другое. Причем в реальности, конечно, Шредингер — то есть для расчетов химических превращений надо использовать квантовую механику: принцип неопределенности, волны вероятности, туннелирование и т. д. Потому что молекулы — это не шарики-атомы, соединенные палочками-связями, а куда более сложные объекты. Наука давно установила этот факт и, казалось бы, сделала шаг вперед, но вдруг через 40 лет после открытия квантовой механики вновь появляется Ньютон. Поэтому работы нобелевских лауреатов по химии 2013 года — шаг назад с точки зрения точной физической теории. И некоторых пуристов из числа химиков-теоретиков.

Вообще говоря, суть теоретической химии неплохо отражает высказывание английского физика-теоретика Поля Дирака:

Троим ученым — Варшелю, Карплусу и Левитту — удалось, комбинируя классический (молекулярная механика) и квантово-механический подходы, добиться успехов в расчете сложных молекул. Спектры (π -электронные и колебательные), полученные с помощью этого метода, хорошо согласуются с экспериментальными данными. В этом, возможно, и состоит главное достижение авторов.

Вообще, зачем считать эти самые структуры белков и прочих макромолекул? Ведь некоторые расчетные данные не подтверждены реальными экспериментами и наверняка не будут подтверждены. Или нам уже достаточно одного только эксперимента *in silico*? На этот счет существуют разные мнения. Очевидно, наиболее правильный научный подход состоит в сбалансированной комбинации «эксперимент — расчет — теория — практическое применение», поскольку ни одна из этих составляющих сама по себе не дает ответа на вопрос «почему»? Расчет структуры белков и других биомолекул нужен для понимания особенностей их строения и той роли, которую они играют в организме. Что может быть важнее, чем устройство деталей, из которых сделаны мы сами? Впрочем, не менее важно научиться создавать новые молекулы с нужной нам биологической активностью — идеальные лекарственные средства.

НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ

«Основные физические законы, необходимые для построения математической теории большей части физики и всей химии, полностью известны, трудность только в том, что точное применение этих законов приводит к слишком сложным уравнениям». Основное занятие теоретических химиков — упростить эти «слишком сложные уравнения», соблюдая баланс между точностью и доступностью. Поэтому они имеют дело с моделями, использующими среди прочего и классическую физику.

Две развилки

Соотношение «классического» и «квантового» в теоретическом моделировании несколько сложнее, чем писали в популярных релизах о Нобелевской премии. Это соотношение имеет как минимум два измерения (см. схему).

Для начала уточним термины: молекулы состоят не из атомов, а из ядер и электронов. Движение ядер определяет геометрическую форму молекул и в конечном счете отвечает за химические реакции, поэтому ядра часто продолжают называть атомами. Почти любая теория предполагает, что в некоем приближении (известном как приближение Борна — Оппенгеймера) ядра и электроны движутся раздельно. Ядра движутся медленно, а электроны перестраиваются за ними почти мгновенно — фактически следуют за ядрами. При этом и те, и другие все-таки не движутся независимо друг от друга: полная энергия электронов служит потенциальной энергией ядер. Это значит, что взаимодействие ядер друг с другом определяется электронами. Поэтому, чтобы решить задачу о движении ядер, необходимо сначала решить задачу о движении электронов. Взаимодействие между ядрами (и не только) принято называть потенциальной энергией ядер, или просто потенциалом. Это слово мы и будем использовать в дальнейшем.

Тут и возникает первая «квантово-классическая» развилка: как рассчитывать взаимодействие между ядрами? Можно честно решить квантовую электронную задачу (рассчитав потенциал «квантовый»), а можно заменить каким-нибудь классическим потенциалом: представить, что ядра взаимодействуют друг с другом как массы на пружинках, как точечные заряды и т. п. Параметры такого силового поля обычно определяют на основании экспериментальных данных. Решением электронной задачи занимается квантовая химия, а классическими потенциалами — молекулярная механика.



Методы молекулярного моделирования

Определившись с потенциалом, мы оказываемся у второго переключателя: а как рассматривать ядра — как классические или как квантовые объекты? Возникают два направления: квантовая динамика ядер и классическая динамика, также известная как молекулярная динамика. Направо пойдешь — точность потеряешь, налево — простоту.

А теперь вернемся к схеме. Все, что связано с классическим потенциалом (с силовыми полями вместо электронов) называется молекулярной механикой (ММ). ММ противопоставляют методам квантовой химии, которая в основном занимается электронами и с помощью которой получают квантовый потенциал. Все, что связано с классическим (по Ньютону) движением ядер — называется молекулярной динамикой (МД): МД с силовыми полями принято называть классической МД, а с квантовым потенциалом — полуклассической МД. Специфического названия для квантовой динамики ядер нет. Так и говорят: квантовая динамика ядер. Таким образом, поле молекулярного моделирования можно условно разделить на четыре квадрата:

- 1) классические ядра — классический потенциал (классическая МД),
- 2) квантовые ядра — классический потенциал (квантовая динамика в классическом потенциале),
- 3) классические ядра — квантовый потенциал (полуклассическая МД),
- 4) квантовые ядра — квантовый потенциал (неэмпирическая квантовая динамика).

При этом сложность концепций и расчетов увеличивается слева направо и снизу вверх. Можно добавить еще и третье измерение — если молекулу разбить на участки, то каждый из них будет описываться по-разному. Например, активный центр фермента описывают более точной моделью, а остальное — менее точной. В принципе можно комбинировать все четыре квадрата, но обычно химики-теоретики используют два левых — это так называемые методы QM/MM (квантовая механика/молекулярная механика). Эти методы можно было бы назвать — полуклассическая МД/классическая МД. Но химики, даже теоретические, не всегда отличаются строгим и унифицированным подходом к терминологии.

Из двух зол

Одна из главных характеристик любой модели — это ее точность. Как обстоят дела с точностью в наших квадратах? Накопленный опыт показывает, что движение ядер не всегда, но в целом неплохо описывается классическими траекториями:

все-таки ядра похожи на шарики, только слегка размытые, размазанные в пространстве. Ключевое слово — «похожи», а не в точности подобны. Таким образом, для качественного описания молекул классические ядра годятся, однако получить химическую точность (сопоставимую с экспериментом) с помощью молекулярной динамики невозможно.

Что же касается классических потенциалов — силовых полей, то на высокую точность они тоже не рассчитаны. Сама идея представить взаимодействие между ядрами в виде простой математической формулы уже предполагает значительную погрешность. Вот пример. Возьмем экспериментальные данные (скажем, колебательный спектр молекулы) и, используя стандартные процедуры, получим на их основе параметры силового поля. А теперь с помощью этого силового поля теоретически рассчитаем тот же колебательный спектр. Он окажется уже другим, хотя и будет сильно напоминать исходный. За простоту пришлось заплатить точностью. Более того, поскольку поля эмпирические, результаты во многом зависят от качества экспериментальных данных и соответствия поля объекту исследования. Так, поля, созданные для биомолекул, не дадут надежных результатов, скажем, для растворов электролитов.

Так что все квадраты, кроме полностью квантового, — это методы для полуколичественных или даже качественных расчетов. И только квантовой динамике с квантовым потенциалом доступна химическая точность.

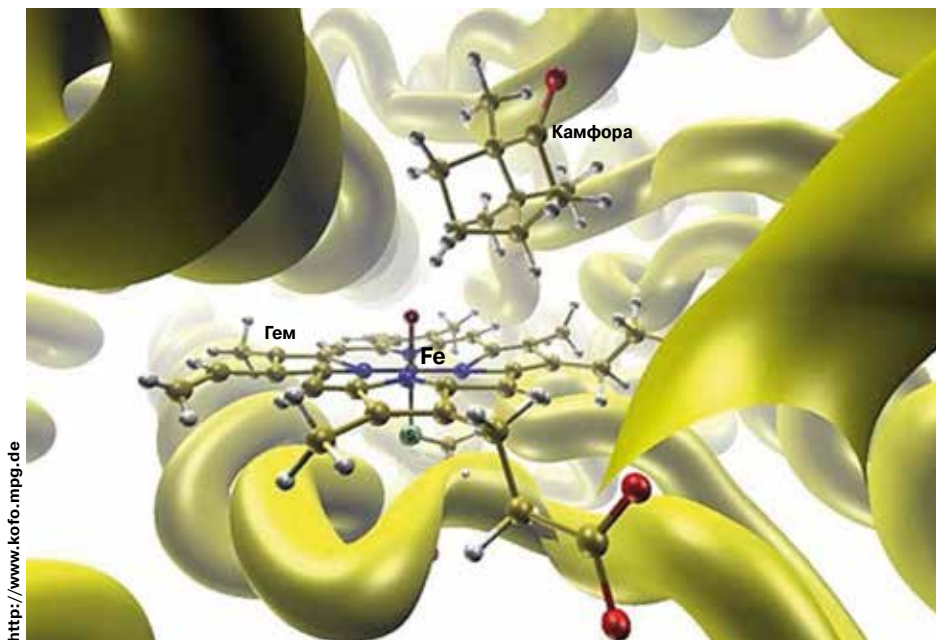
Кроме точности, однако часто говорят и о предсказательной силе модели. Казалось бы, в нашем случае это одно и то же: точные результаты — точные предсказания. Тем не менее высокоточные расчеты настолько сложны, что, используя даже современные суперкомпьютеры, исследователи вынуждены в лучшем случае ограничиваться системами из нескольких десятков атомов. А это значит, что предсказательная сила точных квантовых моделей для сложных химических систем (биомолекул, растворов, полимеров и пр.) фактически равна нулю. Приходится выбирать не между точными и неточными расчетами, а между тем, чтобы считать хоть как-то или не считать вовсе. Для практикующих химиков ответ очевиден: считать. И здесь QM/MM — пожалуй, лучшее, что есть в их практической инструментарии.

Прагматичный Нобелевский комитет

Нобелевскую премию как раз и дали за QM/MM, молекулярную динамику и классические силовые поля. То есть за все поле схемы, кроме высокоточных квантовых методов. Вот это-то и смущает многих теоретиков, которые убеждены, что все слишком приближенные методы — временное явление (или вообще зло). Что рано или поздно настанет то прекрасное время, когда не будет ни шариков, ни палочек и все будут использовать только строгие квантовые подходы — венец теоретической мысли в химии. Однако Нобелевский комитет объявил, что венец — это упрощенные и более прагматичные методы.

Надо признать, что все к этому шло. Квантовая динамика — это здорово, но ее повсеместное использование — туманная перспектива в далеком будущем. Как писал классик: «Жаль только, жить в эту пору прекрасную уж не придется ни мне, ни тебе». А между тем QM/MM расчеты становятся все популярнее, их результаты более востребованы, чем результаты строгих квантовых расчетов. Их охотно принимают к печати общехимические журналы вроде «Angewandte Chemie» или JACS (Journal of American Chemical Society). Расчеты биологических систем с помощью QM/MM, пускай и не очень точные (или даже очень неточные), оказываются интереснее, чем квантовая динамика — точная, но применимая только к малым и часто уже неплохо изученным молекулам. И в этом, несомненно, есть прагматическая логика химического сообщества: оно продолжает считать свою науку экспериментальной и требует от теории не столько точности и концептуальной новизны, сколько доступности и соответствия актуальным задачам.

Камфора в свете QM/MM



По просьбе редакции автор предыдущей статьи привел пример задачи, решенной с помощью методов, за которые дали Нобелевскую премию. Работа выполнена немецкими учеными и опубликована в 2004 году в журнале *Journal of American Chemical Society* (т. 126, с. 4017).

Камфора $C_{10}H_{16}O$ — природное вещество, кетон терпенового ряда, входящий в состав многих эфирных масел и широко применяемое в медицине. Хотя камфора и природного происхождения, но для многих организмов, в том числе человеческого, она чужеродное соединение (ксенобиотик). Любые ксенобиотики организм постепенно разлагает и выводит, даже если они дают лекарственный эффект.

Важнейший инструмент разрушения чужеродных веществ — это семейство ферментов под общим названием «цитохром P450». Они относятся к классу гемопротеинов, то есть белков, содержащих гем, а точнее, хорошо известный комплекс порфирина с двухвалентным железом, отвечающий за перенос кислорода в крови, активный центр гемоглобина (самого знаменитого гемопротеина). Есть и другие важные представители этого класса белков. Например, цитохром P450 — универсальный инструмент разрушения ксенобиотиков: он обнаружен почти во всех живых организмах и способен окислять разные органические вещества, вставляя атом кислорода между атомами углерода и водорода: $C-H + O = C-OH$. Эти ферменты P450 так и называют — универсальная монооксигеназа

(добавляющая один атом кислорода). Как известно, за очищение организма человека отвечает печень, в клетках которой как раз и функционирует монооксигеназная система.

Задача

Почти как в сказке: в белке «карман», в кармане — порфирин, в порфирине — железо, на железе — атом кислорода. Эта связь железо-кислород и есть «игла» — смерть ксенобиотика. В карман попадает вода и камфора, одну из связей которой и окисляет тот самый расположенный на железе кислород. Вопрос состоит в том, как это происходит: в одну или две стадии. Или кислород сразу встраивается между углеродом и водородом через треугольное переходное состояние (C-H-O), или имеет место двухступенчатый механизм, известный как повторное связывание. Сначала камфора отдает атом водорода кислороду, а образовавшийся радикал отсоединяется от активного центра. А затем присоединяется к центру с другой стороны, забирая и водород, и кислород, то есть гидроксильную группу —OH. Экспериментальные наблюдения не дают полной картины, а в чем-то и противоречат друг другу. Поэтому понять, как именно происходит окисление, можно было только с помощью компьютерного моделирования.

Решение

Наша задача — типичный случай для QM/MM. Размер системы «вода, белок и субстрат (камфора)» огромен, около 24



НОБЕЛЕВСКИЕ ПРЕМИИ

тысяч атомов. О строгих и точных квантовых расчетах можно забыть сразу. Это с одной стороны. А с другой, активный центр содержит атом железа, который, как все соединения переходных металлов, имеет сложное электронное строение. Сложное строение имеют и радикалы (соединения с неспаренным электроном), которые могут образовываться в качестве промежуточных продуктов. В такой системе заменять электроны пружинками — все равно что запускать слона в посудную лавку, слишком уж тонкая эта задача. Нет, здесь с электронами надо разбираться по-честному, с помощью квантовых расчетов, а не классических силовых полей. Конечно, можно использовать и силовое поле, но результаты не добавят ясности, а только напустят еще больше тумана.

Ответ на вызов — «разделяй и властвуй», то есть QM/MM. Активный центр и субстрат — а это несколько десятков атомов — описываются с помощью квантового потенциала. Все остальное — белковый «карман» и растворитель — с помощью классических силовых полей. Таким образом, достигается баланс между точностью и полнотой описания.

Все выглядит довольно просто. Однако на деле практика QM/MM расчетов сопряжена с огромным количеством проб и ошибок, а также калибровок теоретических методов — только тогда результатам расчетов можно будет доверять хотя бы на качественном уровне.

Ответ

Ответ однозначен: реакция проходит в две стадии, то есть механизм окисления камфоры включает повторное связывание. Не вдаваясь в тонкости, скажем, что исследователям удалось объяснить все экспериментальные наблюдения, которые, как казалось до моделирования, противоречили друг другу. Причем задача определения механизма монооксигенирования камфоры важнее, чем кажется на первый взгляд: не будем забывать, что P450 — это универсальный фермент, который окисляет множество ксенобиотиков и присутствует в огромном количестве самых различных живых организмов.

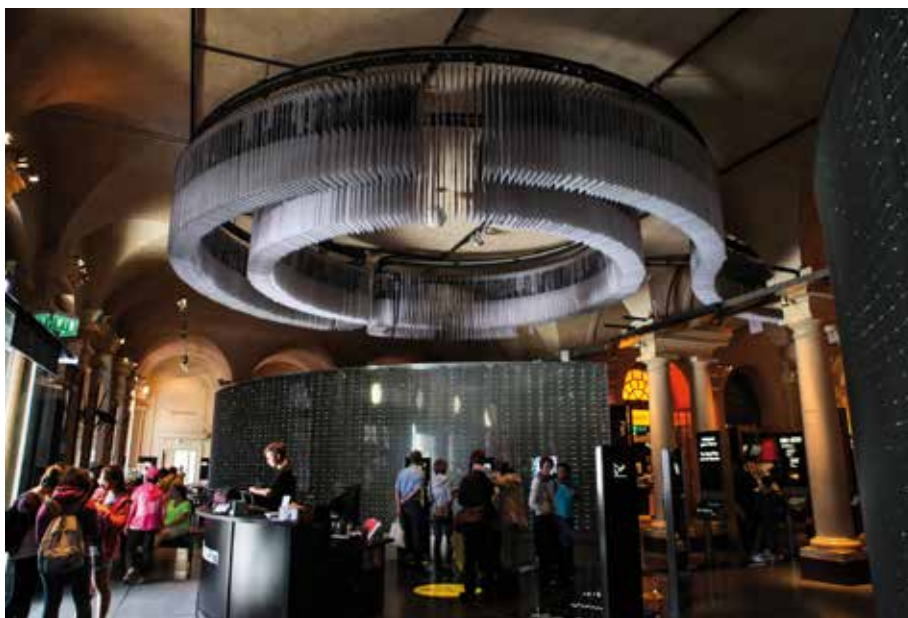
Музей научной славы



Гамла Стан, Старый город Стокгольма. Любимая туристами Стортorget — Торговая площадь, где есть фонтан и скамейки с видом на старинные дома, воспитанные собаки послушно следуют за хозяевами и акробат жонглирует ножами, стоя на моноцикле. Среди множества древних достопримечательностей тут есть одна, посвященная новейшей истории, — Нобелевский музей.

Экспозиция не слишком обширна — Политехнический музей куда больше, но быстро ее не обойти. Информация, сконцентрированная в этих небольших залах, раскрывается вам навстречу, будто распаковывается огромный архив. Здесь по-новому оцениваешь объем знаний, накопленных человечеством, и понимаешь, как много интересного сам еще не успел узнать.

Под потолком центрального зала ползает по замысловатой кривой, как живая, бесконечная стопка листов. На некоторых участках движение замедляется, между листами появляется разрыв — посетитель видит имя и фотографию, год вручения премии, официальную формулировку заслуг. Наверное, можно было бы предьявлять посетителям эти восемьсот с лишним портретов с помощью мультимедийных средств, но механическое устройство сильнее притягивает взгляды.



Есть там и зал, посвященный жизни Альфреда Нобеля, и кинозал, где непрерывно показывают фильмы, и те самые интерактивные мультимедийные средства, и фотовыставка, и сувенирно-книжная лавка. Нам больше всего понравилась выставка, где представлены личные вещи лауреатов или просто предметы, имевшие отношение к их «нобелевской» работе.



Эта моделька вращается так стремительно, что глаз видит только размазанное пятно. Однако короткие вспышки света вновь делают ее видимой (и даже фотографируемой), как если бы она замерла неподвижно. Простая и остроумная иллюстрация к достижению Ахмеда Зевайла — лауреата премии по химии «за изучение переходных состояний химических реакций с помощью фемтосекундной спектроскопии» (1999).



Красные линии и спиральные ленты изображают структуру рибосомы, машины белкового синтеза. За исследования рибосомы получили Нобелевскую премию 2009 года Венкатраман Рамакришнан, Томас Стейц и Ада Йонат — именно она сумела с помощью низкотемпературной белковой кристаллографии определить положение ниточек в этом клубке.



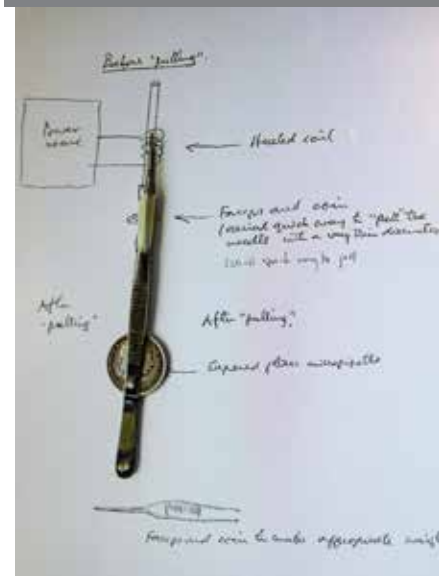
Нобелевская премия 1983 года по физиологии и медицине никогда не будет забыта молекулярными биологами. Барбара Мак-Клинток открыла мобильные элементы генома, изучая окраску зерен у кукурузы.



Барри Маршалл (премия по физиологии и медицине 2005 года) отважно поставил эксперимент на себе, приняв внутрь культуру *Helicobacter pylori*, чтобы доказать, что эта бактерия вызывает язву желудка. А держали страшное существо, добытое из организма больного, вот в таком флаконе.



ФОТОИНФОРМАЦИЯ



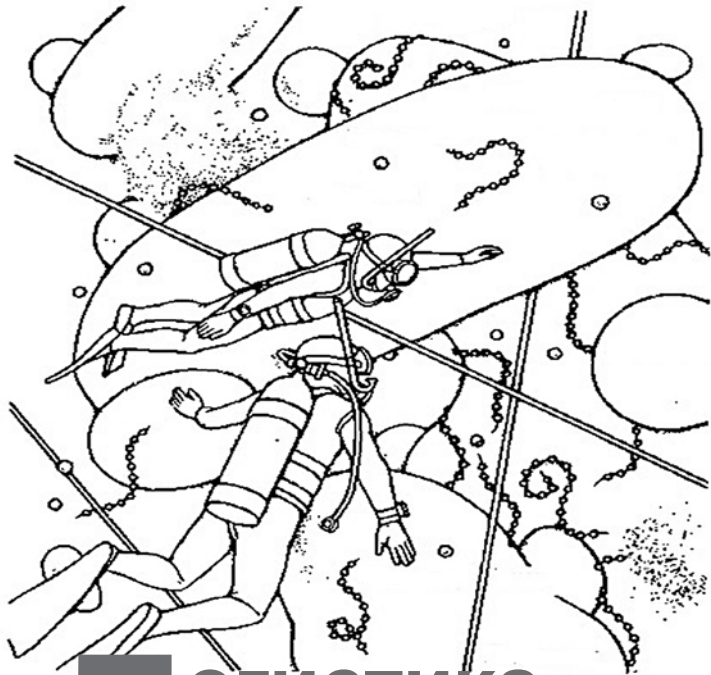
Сэр Джон Гёрдон, в 2012 году вместе с Синъя Яманака получивший премию по медицине, — человек, который впервые вырастил животное из ядра неполовой клетки другого животного — для своих ювелирных микроманипуляций с икринками шпорцевых лягушек использовал очень несложные приспособления: пинцет с тонкими кончиками и монетку в качестве опоры. Кстати, семплеры — автоматические пипетки, точно такие, какими работали сотрудники Синъя Яманака, получая индуцированные плюрипотентные стволовые клетки, — на выставке также имеются.



Оборудование для получения графена. На держателе для скотча можно разобрать подпись владельца: «Kostya Novoselov».

А пишущую машинку, на которой, приезжая в Стокгольм, печатал стихи и эссе Иосиф Бродский, мы не смогли увидеть. Но она там тоже есть.

Е. Котина



Логистика под микроскопом

Эукариотическая клетка устроена намного сложнее, чем бактериальная (см. статью «Происхождение эукариот» в этом же номере). Главное отличие состоит в том, что она разделена мембранами на отсеки — компартменты. Двойной мембраной окружено ядро — хранилище ДНК, архив генетической информации. Здесь распаковываются нужные в данный момент гены, информация переписывается с них на матричную РНК. Вокруг ядра — лабиринт эндоплазматического ретикулума. Сюда попадают молекулы мРНК, и рибосомы синтезируют на них аминокислотные цепочки белков. Reticulum по-латыни «сеточка» — на клеточных срезах эти мембраны, окружающие ядро, действительно похожи на сеть. Еще ближе к периферии располагаются плоские цистерны комплекса Гольджи (аппарата Гольджи) — складские помещения, где хранятся и сортируются биомолекулы, прежде чем занять свое место в архитектуре клетки или отправиться за ее пределы. Кроме того, белки в аппарате Гольджи подвергаются различным модификациям, «созревают». В цитоплазме перемещаются небольшие пузырьки лизосом — мусороперерабатывающие заводы клетки. Лизосомы содержат кислый раствор с ферментами, разрушающими белки, углеводы, липиды и нуклеиновые кислоты. Митохондрии и (у растений) хлоропласты — бывшие симбионты клетки, а теперь ее энергетические станции и фабрики по производству сахаров из углекислого газа. Разделение клетки на изолированные отсеки, или компартиментализация — важнейшее достижение эукариот. Эффективность и безопасность лизосомы или митохондрии напрямую связаны с тем, что они не сообщаются с цитоплазмой.

Естественно задать вопрос: а где в этих отсеках двери? Допустим, в ядерной мембране есть крупные поры. Но каким образом белок попадает из эндоплазматического ретикулума в комплекс Гольджи, а оттуда — наружу, за внешнюю мембрану, если это, например, гормон, который должен секретироваться?

Ответ можно было увидеть еще в середине прошлого века на электронных микрофотографиях. Когда нужно переправить вещество из отсека в отсек, мембрана выпячивается и образует пузырек, который плывет к другой мембране и сливается с ней, выплескивая содержимое по другую сторону — в другом отсеке

Нобелевскую премию по физиологии и медицине получили Джеймс Ротман (Йельский университет), Рэнди Шекман (Университет штата Калифорния, Беркли; Медицинский институт Говарда Хьюза) и Томас Зюдоф (Медицинский институт Говарда Хьюза, Стэндфордский университет) «за открытие системы везикулярного транспорта — основной транспортной системы в наших клетках».

или за пределами клетки. (Конечно, электронная микроскопия показывала этот процесс стоп-кадрами, а не в режиме реального времени. Были даже споры, действительно ли эти мембранные кружочки — пузырьки или, может быть, срезы трубочек.) «Пузырек» по-латыни «везикула», отсюда «везикулярный транспорт».

Возможно, лучшее описание этих процессов — «Путешествие в мир живой клетки» Кристиана Де Дюва, получившего Нобелевскую премию 1976 года за открытия важнейших клеточных структур вместе с Джорджем Паладе и Альбером Клодом. Эта замечательная научно-популярная книга вышла на русском языке в 1987 году, и несколько поколений будущих биологов увлеченно следило за похождениями наноразмерного дайвера, посещающего мембранные лабиринты клетки. Вот, например, как он пишет о выбросе секретированного вещества наружу — экзоцитозе, с точки зрения путешественника, сидящего в пузырьке. «Когда же наконец открывается выход из клетки, то это происходит с необыкновенной стремительностью. Экзоцитарная разгрузка секреторных гранул представляет собой взрывной процесс. Гранулы скапливаются и толкают друг друга, стремясь возможно скорее попасть на периферию клетки. (...) И вот уже обратно в целительное, успокаивающее внеклеточное море, где мы вновь созерцаем покрытую углублениями движущуюся поверхность клеточной мембраны с ее извивающимися отростками и колышущейся вуалью...» Де Дюв, вероятно, одобрил бы решение Нобелевского комитета в этом году. Не дожил он совсем немного: в мае, в возрасте 95 лет, добровольно ушел из жизни (в Бельгии разрешена эвтаназия).

Общее представление о пузырьковом транспорте нужно было конкретизировать. Одним из самых важных вопросов было: как пузырек находит свою цель? Мембран в клетке много, откуда везикула знает, с какой из них надо слиться, а с какой — ни в коем случае, чтобы не выплеснуть нужный фермент в мусорный бак лизосомы?

Читатель, знакомый с молекулярной и клеточной биологией, сразу ответит: наверное, в мембранах есть какие-то белки, которые специфически связываются друг с другом? В самую точку. Открытие этих белков, изучение их работы — заслуга лауреатов 2013 года.

Начиналось это в 70-е годы — никаких банков генных и белковых последовательностей, технологии секвенирова-



Транспортные потоки в клетке (из книги Кристиана Де Дюва)

ния ДНК в зачаточном состоянии. Рэнди Шекман работал с лабораторными штаммами дрожжей — их клетки выделяют гликопротеины во внешнюю среду, но при некоторых мутациях не могут этого делать, секреторные пузырьки накапливаются в цитоплазме. (Вообще-то такие мутанты должны сразу погибать, но бывают формы, у которых мутация проявляет себя лишь при определенных температурах, для нормальных дрожжей не опасных: такую линию можно разводить в лаборатории.) Шекман собрал коллекцию мутантов с нарушениями на разных стадиях везикулярного транспорта и определил более двадцати генов, отвечающих за этот процесс. Что касается слияния мембраны с мембраной, были на особом подозрении два гена, *sec17* и *sec18*.

Примерно тогда же, в 70—90-е годы, Джеймс Ротман изучал везикулярный транспорт в клетках млекопитающих. Для этого он развивал метод «восстановления *in vitro*» (*in vitro reconstitution*) — своего рода промежуточный этап между биохимией клетки и биохимией отдельных молекул, опыты с изолированными внутриклеточными структурами, к которым легко добавлять активные вещества и которые можно детально исследовать, «разбирая на части». Он работал с препаратами клеток, зараженных вирусом везикулярного стоматита. (Вирус получил название от совсем других пузырьков: тех, что появляются на слизистой оболочке рта больного.) Для Ротмана вирус стоматита был удобен тем, что заставляет клетку производить и выводить наружу свой белок, тем же путем, что ее собственные белки внешней мембраны. При этом белок транспортировался из эндоплазматического ретикула в комплекс Гольджи происходило опять-таки только при определенной температуре — когда аминокислотная цепочка белка была правильно уложена, следовательно, транспорт можно было запустить в удобное время.

Ротман изучал перемещения вирусного белка из компартмента в компартмент, образование секреторных везикул и их слияние с мембраной. Ему удалось выделить белки, вовлеченные в эти процессы. Среди них оказались два белка, гомологичных продуктам дрожжевых *sec18* и *sec17*, — их назвали NSF (N-ethylmaleimide-sensitive factor) и SNAP (soluble NSF-attachment protein). Шекман и Ротман с соавторами в 1992 году опубликовали совместную работу, где описывали клонирование *sec17* и подтверждали эквивалентность его продукта и SNAP. Это значило, что подобные белки были еще у общего предка млекопитающих и дрожжей и что они весьма важны для клетки. И неудивительно: что может быть важнее транспорта?

Используя два первых белка как «наживку», Ротман идентифицировал в тканях мозга млекопитающих другие белки, получившие общее название SNARE (SNAP receptor). Сами белки были известны и ранее, но Ротман доказал, что они отвечают за слияние мембран. Три из них — SNAP-25, синтаксин и VAMP, он же синаптобrevин — были найдены в равных ко-



НОБЕЛЕВСКАЯ ПРЕМИЯ

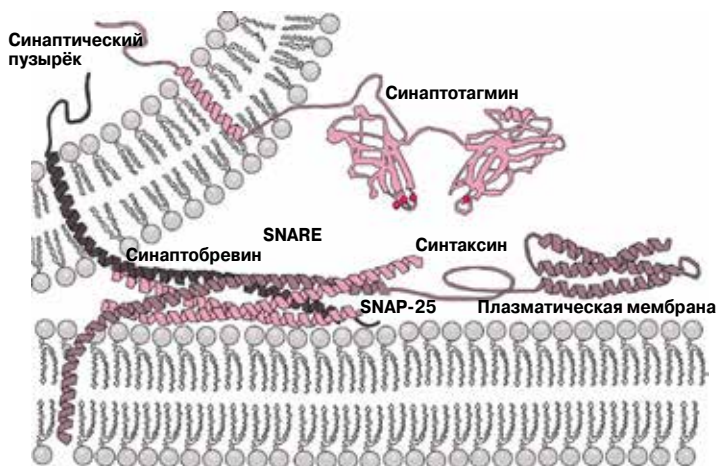
личествах; это говорило о том, что они что-то делают вместе. Синаптобrevин содержался в мембране везикул, синтаксин и SNAP-25 — в плазматической мембране. Теперь мы знаем, как именно они взаимодействуют, подтягивая пузырек к мембране, точно причальные канаты корабль к пристани. (Белок NSF на рисунке не показан; есть мнение, что он разделяет SNARE-комплекс, когда слияние мембран завершено.) В разных мембранах — разные SNARE, так обеспечивается точная доставка пузырьков посылок по адресу.

Перед тем как перейти к работам третьего лауреата, Томаса Зюдофа, спросим, почему Ротман искал белки в тканях мозга? Да потому, что там везикулярный транспорт играет важнейшую роль: обеспечивает передачу сигнала от нейрона к нейрону через синапс. Если вдоль нервного окончания сигнал передается за счет быстрого изменения потенциала на мембране, то от клетки к клетке — старым добрым способом: одна клетка выбрасывает вещество, которое взаимодействует с рецепторами другой.

Участок, где окончание передающего нейрона тесно контактирует с мембраной принимающего, называется синапсом, промежуток между мембранами — синаптической щелью. В эту щель везикулы первого нейрона выбрасывают нейромедиаторы. Рецепторы на мембране второго нейрона взаимодействуют с ними, и это служит знаком — срочно разрядить собственную мембрану, передавать сигнал дальше. (Или наоборот, не разряжать мембрану, не реагировать на другие возбуждающие сигналы — медиаторы бывают и тормозными.)

Понятно, что выбрасывать медиатор надо в строго определенный момент, с точностью до долей миллисекунды. Де Дюв не зря пишет о стремительности экзоцитоза. Каким образом он запускается точно вовремя, объяснил Томас Зюдоф. Известно было, что это как-то связано с внутриклеточной концентрацией ионов кальция, с активностью каналов, пропускающих Ca^{2+} внутрь нейрона. Зюдоф обнаружил два белка, комплексин и синаптотагмин, которые выступают посредниками между ионами кальция и комплексом SNARE. У мышей с неактивным геном комплексина высвобождение медиатора из нервных окончаний неэффективно из-за нечувствительности к кальцию. Причина в том, что этот белок препятствует слиянию мембран до кальциевого сигнала. Синаптотагмин же в присутствии кальция взаимодействует с фосфолипидами мембраны, а также с белками SNARE, заменяя комплексин и тем самым давая команду к слиянию. Зюдоф также обнаружил SM-белок, взаимодействующий с синтаксином, — первый представитель еще одной группы белков, необходимой для секреции нейромедиаторов.

О некоторых примерах практического использования открытий лауреатов мы расскажем в следующем материале. Здесь только заметим, что белки SNARE — мишени токсинов ботулизма и столбняка, с нарушениями везикулярного транспорта связаны развитие диабета второго типа и некоторые формы врожденной эпилепсии. И конечно, нельзя забывать о фундаментальном значении этих открытий. Мы живем и мыслим благодаря маленьким пузырькам в наших клетках.



Е. Клещенко

Не просто пузырьки

«И в чем тут польза для человечества?» — этот вопрос часто задают после объявления Нобелевской премии по физиологии и медицине. Какие-то пузырьки в клетках, какие-то белки помогают мембранам сливаться — любопытно, но что нам дает это знание? «Тематический поиск» в этом номере посвящен полезным задачам, которые решают исследователи везикулярного транспорта.

Нет ничего удивительного в том, что от везикулярного транспорта зависит работа нервных клеток. Как мы рассказывали в статье про Нобелевскую премию, один нейрон посылает другому сигнал, выбрасывая молекулы нейромедиаторов в синаптическую щель. И когда слияние пузырьков, содержащих медиаторы, с внешней мембраной по тем или иным причинам не происходит или происходит не так, как надо, последствия могут быть печальными.

О ботулизме «Химия и жизнь» писала много раз: бактерия *Clostridium botulinum* в пище, преимущественно в консервах, ее опаснейший нейротоксин, бледность, рвота, тахикардия, параличи и парезы, возможность летального исхода из-за нарушений дыхания. Чаще всего встречаются ботулотоксины А, В, Е и F. Они проникают в клетку и действуют как ферменты-протеазы, расщепляя в определенных точках белки комплекса SNARE, те самые, что отвечают за слияние мембран. Наиболее распространённый — А, который откусывает «хвост» из девяти аминокислот от белка SNAP-25. Его раньше всех начали использовать в медицине и косметологии, и он же — потенциальное биологическое оружие. Удар по передаче нервных импульсов в организме — вариант беспроигрышный.

Ясно, что детекция ботулотоксина человечеству очень нужна. Между тем его до сих пор выявляют методом, который из вежливости можно назвать классическим: заражают исследуемым материалом мышей. Чтобы определить тип токсина, берут несколько мышей и вводят каждой вместе с материалом антитоксическую сыворотку против одного из типов: которая из мышей не умрет, тот токсин и содержится в пробе. Ждать результата приходится один-два дня. Сегодня исследователи предлагают множество более современных методов, обнаруживающих белки или ДНК опасной клостридии. Однако они, как правило, достаточно сложны и дороги.

Остроумный способ детекции ботулотоксина А разработала команда ученых из Марселя. Метод выявляет не сам токсин, а его ферментативную активность. В основу положили метод поверхностного плазмонного резонанса (surface plasmon resonance, SPR) — он позволяет выявлять связывание с сенсорным чипом обычных биомолекул, не несущих никаких флуоресцентных или радиоактивных меток. И приборы, и чипы для SPR уже существуют, но в данном случае чип покрывают молекулами SNAP-25, а затем омывают его раствором исследуемого материала. Если в нем содержится ботулотоксин А, он отщепляет кончики от молекул белка. Затем омывают чип другим раствором, который содержит моноклональные антитела мыши, полученные против укороченного SNAP-25, — они взаимодействуют с ним, но не с целым белком. Чтобы увеличить чувствительность метода, можно потом еще добавить антитела козы против мышиных антител, тогда на каждой молекуле, пострадавшей от нейротоксина, повиснет еще более объемный белковый комплекс. Другой вариант — продлить инкубацию с пробой: если ботулотоксин там есть, за более продолжительный срок его разрушительная деятельность станет заметнее. Чипы, покрытые SNAP-25, производить несложно, кроме них,



оператору потребуются только антитела. Конечно, все это не бесплатно, но стоимость высокотехнологичных приборов и материалов со временем всегда снижается.

Продолжительность анализа зависит от концентрации токсина: 55 фемтомолей (предел чувствительности для биотеста на мышах) выявляются за пять минут, 0,4 фемтомоля — за пять часов. Добавим, что метод чувствителен к ботулотоксину А, но не к В, Е и С. Это тоже плюс: тип токсина определить важно, а для других типов можно сделать аналогичные технологии.

Christian Lévêque et al. A substrate sensor chip to assay the enzymatic activity of Botulinum neurotoxin A. «Biosensors and Bioelectronics», 2013, 49, 276–281, doi: 10.1016/j.bios.2013.05.032

Колет, режет, больше нет сил терпеть — это так называемая острая боль. Несчастный пациент чувствует ее периодически — сейчас болит, через десять минут уже нет. Но если этот временной промежуток сокращается, человеку кажется, что боль постоянна. Разного рода хроническими болями страдают диабетики, больные артритом и мигренями. Бывает и так, что после сложной операции из-за мучительных болей невозможно выполнять упражнения, чтобы восстановить физическую форму. Диагностировать, что именно болит, при хронических болях становится сложнее, а значит, начинается бесконечная беготня от одного врача к другому.

В этом случае обычно назначают анальгетики короткого действия, но у них много побочных эффектов, и повторно их уже пить не получается. Сегодня, чтобы снять болевые спазмы и хотя бы на время вернуть пациента к нормальной жизни, учатся применять производные нейротоксина ботулизма. Многие страшные яды удаётся превратить в лекарства, направив их биоактивность в полезное русло.

Обычно выделяют семь или восемь типов этого токсина: А, В, С1, С2, D, Е, F, G. Ботулиническим нейротоксином типа А, он же BoNT/A, раньше лечили дистонию — постоянное или спазматическое сокращение мышц, а теперь ищут у него новые анальгезирующие свойства. Молекула ботулотоксина А состоит как бы из трех частей — доменов. Каждая выполняет свою функцию. Легкая цепь специфически расщепляет белок SNAP-25, о чем мы рассказали в предыдущей заметке. Две тяжелые цепи крепятся к легкой дисульфидными мостиками и нековалентными связями; их задача — найти холинэргические синапсы, то есть места контакта нейронов, через которые передается нервный импульс при помощи нейромедиатора ацетилхолина.

Изучать обезболивающие свойства BoNT/A ученые всего мира начали давно. Известно, что он борется с мигренью, снижает боли в суставах и спине, блокируя выработку нейромедиаторов. Эти вещества передают нервное возбуждение, взаимодействуя с рецепторами клетки. В тот момент, когда на болевой рецептор (ноцицептор) садится медиатор, происходит перераспределение электронной плотности в молекулах и меняется его пространственная структура, открываются ионные



каналы. Сигнал передается через сенсорные нейроны спинного мозга, доходит в головной, и человек чувствует боль.

Ученые из Орхусского медицинского университета (Дания) в статье, напечатанной в журнале «Current Opinion in Anaesthesiology» предположили, что нейротоксин может нарушить этот процесс. Когда он расщепляет SNAP-25, это блокирует слияние везикулы — хранилища медиатора — с пресинаптической мембраной нервного окончания. Таким образом, нейромедиатор не может добраться до болевого рецептора, передать импульс, и мышцы расслабляются — на некоторое время пациент может вздохнуть спокойно.

Сильные головные боли, головокружение, повышенная чувствительность к звукам и свету, рвота — симптомы мигрени, хронического нервно-сосудистого расстройства. Около 15% населения мира страдают этим недугом. Для лечения назначают бета-адренергические блокаторы, блокаторы кальциевых каналов, трициклические антидепрессанты и противосудорожные препараты. Клинические испытания, проведенные Орландо Колхадом с коллегами (результаты опубликованы в «Brazilian Journal of Anesthesiology»), показали, что ботулотоксин А гораздо эффективнее. Двойное слепое плацебо-контролируемое исследование длилось три месяца. У некоторых пациентов сильные приступы стали реже к 60-му дню, а кто-то начал поправляться уже через месяц.

Артрит — еще одно заболевание, которое можно лечить нейротоксином BoNT/A, делая инъекции внутрь сустава. Марен Маховальд и Джасвиндер Сингх из Университета Миннесоты и Миннеапольского медицинского центра отметили, что всего 100 единиц, введенные в лодыжку, и 25 единиц — в плюснефаланговые соединения уменьшали боль на 40% и сохраняли результат на 15—18 месяцев, при этом никаких серьезных побочных эффектов не наблюдалось.

Подобным же образом — инъекциями в ткани — уменьшают боли и при невралгии тройничного нерва или боли в шее. Сейчас тестируют различные дозировки токсина и исследуют другие типы BoNT. Так например, исследователи из Университета Дублина установили, что нейротоксин ботулизма типа Е лучше расщепляет SNAP-25, не образуя комплексов с соседними белками группы SNARE. Поэтому действует он быстрее, чем BoNT/A. Чтобы создать эффективное лекарство от боли, ученые комбинируют разные типы токсина.

Bao-Lin Guo et al. *A closer look to botulinum neurotoxin type A-induced analgesia.* «Toxicon», 2013, 71, 134—139, doi: 10.1016/j.toxicon.2013.05.011

Все знают, что память с возрастом слабеет. Но ухудшение начинается уже в середине жизни — труднее становится учить языки, никак не вспоминаются фамилия известного актера, название книги... Ученые из КНР, не первый год занимающиеся возрастными нарушениями памяти, решили исследовать самые ранние этапы ослабления памяти, первые шаги «под горку». Понятно, что профилактику, какой бы она ни была, лучше начинать, пока процесс не зашел далеко.

В качестве модели взяли молодых мышей, в возрасте шести месяцев, и солидных годовалых. (Нормальная продолжительность жизни мыши в неволе — два-три года.) Интересно, что самцов перед опытом содержали в одиночных клетках: когда мыши мужского пола начинают выстраивать иерархию, это отражается на их умственных способностях. Способность к обучению и силу памяти проверяли в шестилучевом радиальном лабиринте — конструкции из коридоров в форме снежинки, заполненных водой. Мыши должны были запомнить, в конце какого из коридоров находится платформа, на которую можно выбраться и отдохнуть от плавания. Она всегда оставалась в одном и том же месте, но мышь коварный экспериментатор выпускал в разных точках лабиринта. Каждой мышке давали по четыре попытки в день, и еще пятую — через полчаса, чтобы проверить память. Подсчитывали число ошибок и время, которое требовалось, чтобы найти платформу, отдельно для обучения и отдельно — для проверки памяти.

В результатах ничего особо неожиданного не было. У всех мышей от первого дня к десятому снижалось и число ошибок, и время выполнения задания. При этом молодые превосходили старших на небольшую, но статистически значимую величину. Через некоторое время после тестирования подопытных умерщвляли (такого рода эксперименты для мышей всегда кончаются плохо) и определяли в различных участках мозга содержание белков SNAP-25 и Munc18-1, которые были у исследователей «на подозрении» по их предыдущим опытам. О SNAP-25 мы рассказали уже достаточно; Munc18-1 также регулирует слияние мембран. Про оба белка известно, что их нехватка почти сводит на нет синаптическую передачу сигнала (кстати, это показал в том числе и нобелевский лауреат Томас Зюдюф). Сходное действие оказывает их избыток. Параллельно определяли содержание тиреоидных гормонов в плазме крови — изменения их концентрации могут влиять на умственные способности.

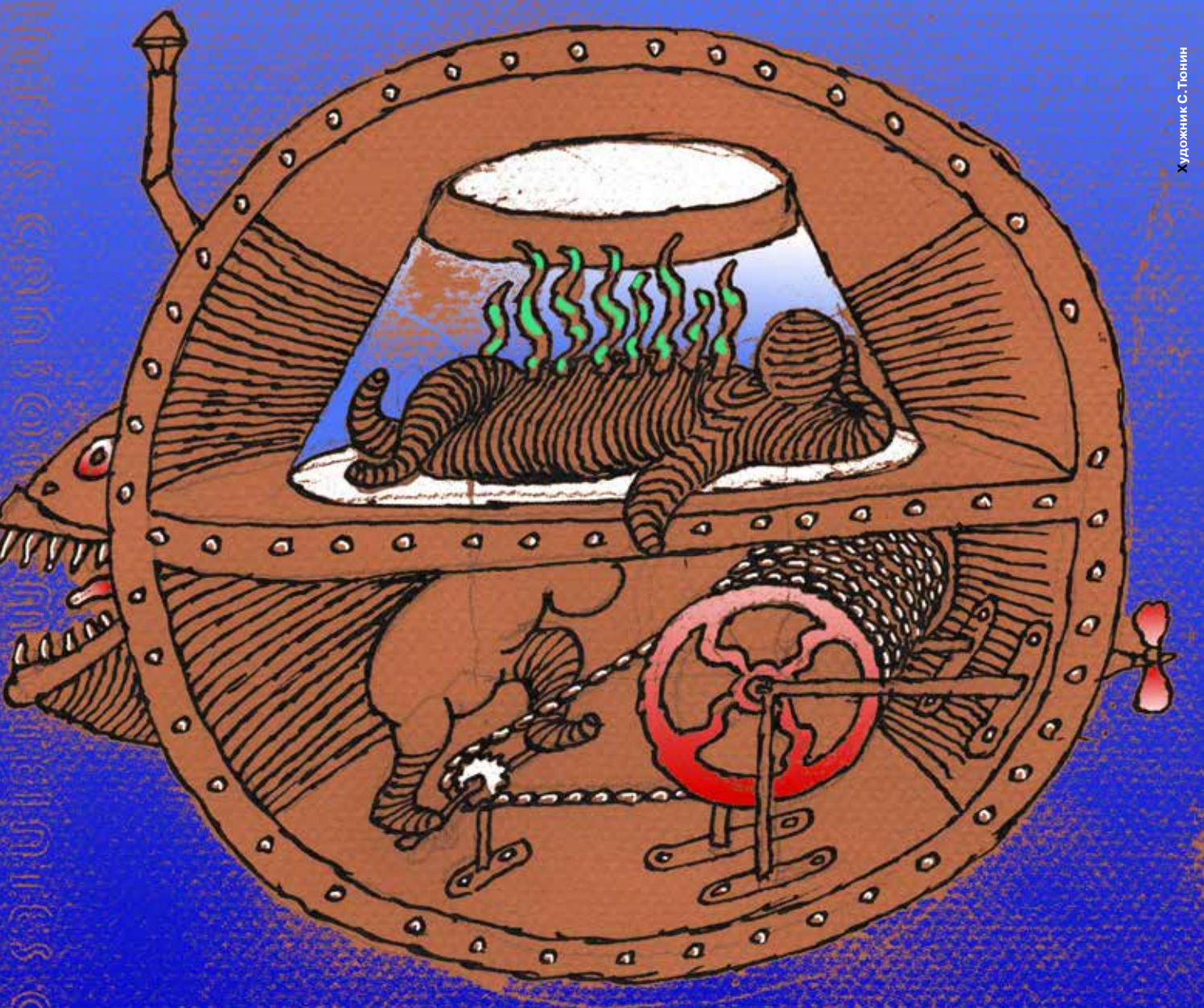
Выяснилось, что ухудшение памяти и способности к обучению у стареющих мышей сопровождаются снижением уровня триодотиронина Т3 в крови и увеличением содержания SNAP-25 и Munc18-1 в гиппокампе. Ученые даже рискнули предположить, что тиреоидные гормоны как раз и действуют на память, изменяя количество этих белков.

Конечно, от этих данных до лекарства против забывчивости еще далеко. Но пока можно пользоваться проверенным рецептом: чаще упражнять память, чтобы она не ухудшалась.

Lei Cao et al. *Reduced thyroid hormones with increased hippocampal SNAP-25 and Munc18-1 might involve cognitive impairment during aging.* «Behavioural Brain Research», 2012, 229, 1, 131—137 doi: 10.1016/j.bbr.2012.01.014.

Lei Cao et al. *The reduced serum free triiodothyronine and increased dorsal hippocampal SNAP-25 and Munc18-1 had existed in middle-aged CD-1 mice with mild spatial cognitive impairment.* «Brain Research», доступно онлайн с 14 октября 2013 года, doi: 10.1016/j.brainres.2013.09.034

Выпуск подготовили
Е.Клещенко, С.Фролова



Происхождение эукариот

М.А.Никитин

Бактерии и археи населяют всю поверхность планеты, толщу и дно океанов и несколько километров земной коры. Однако рекорды размеров и сложности принадлежат другому домену живых организмов — эукариотам. К ним относятся животные и растения, водоросли, грибы и разнообразные одноклеточные организмы — инфузории, амёбы, жгутиконосцы и другие. Клетки эукариот отличаются от клеток бактерий и архей во многих отношениях. Они крупнее примерно в десять раз, содержат ядро, отделяющее геном и его транскрипцию от процессов цитоплазмы. В клетках эукариот имеются сложные

системы мембранных цистерн и пузырьков — эндоплазматический ретикулум, аппарат Гольджи, лизосомы и другие вакуоли. Пузырьки управляемо отшнуровываются от мембран в одних местах и сливаются с ними в других. Белки цитоскелета — актин и тубулин — поддерживают форму клетки, а связанные с ними моторные белки — миозин, динеин, кинезин — перемещают органеллы внутри клетки и обеспечивают движение всей клетки. Если повредить мембрану бактериальной клетки, то все ее содержимое начнет вытекать наружу. Из поврежденной эукариотической клетки вытекают только вода и малые молекулы, а крупные белки и РНК остаются внутри, потому что они прикреплены к цитоскелету.

На уровне внутриклеточной молекулярной машинерии между бактериями и эукариотами также есть существенные отличия. Рибосомы эукариотической клетки крупнее, чем бактериальные, содержат больше белков и узнают матричные РНК по наличию кэпа — специальной модификации 5'-конца мРНК. Кроме кэпа эукариотические мРНК имеют полиадениловый хвост на 3'-конце, и, в отличие от бактериальных, каждая из них



кодирует только один белок. Дыхательные цепи и мембранные АТФазы убраны с плазматической мембраны в специальные органеллы — митохондрии и пластиды. Геном эукариот состоит из нескольких линейных молекул ДНК — хромосом, намотанных для компактности на специальные белковые «катушки» — гистоны. Размер генома может достигать десятков миллиардов пар нуклеотидов, что на четыре порядка больше, чем у бактерий. Геном часто переполнен некодирующими последовательностями разных типов, из которых шире всего распространены так называемые сплайсеосомные интроны. При делении клетки цитоскелет разделяет реплицированные хромосомы по дочерним клеткам — эти сложные перемещения напоминают эпизод классического балета.

Наконец, в жизненном цикле многих эукариот есть половой процесс, собирающий гены двух родителей в одной клетке, и мейоз — специальное деление, при котором хромосомы, происходящие от разных родителей, обмениваются отдельными участками, после чего диплоидная клетка делится на четыре гаплоидных (с одиночным хромосомным набором). Благодаря мейозу образуются половые клетки.

Таким образом, эукариотическая клетка гораздо сложнее организована, чем бактериальная, и ее появление было таким же крупным эволюционным событием, как переход от РНК-мира к первым клеткам.

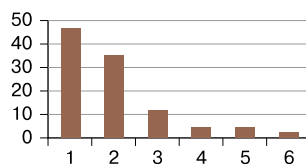
Первым шагом к пониманию происхождения эукариотической клетки стало обнаружение сходства между митохондриями и свободноживущими аэробными бактериями, а также между пластидами и цианобактериями. Первые работы в этом направлении появились еще в конце XIX века, а в современном виде теорию симбиогенеза сформулировала Линн Маргулис в 1970-х годах. К тому времени уже было обнаружено, что пластиды и митохондрии имеют собственную миниатюрную генетическую систему, включающую в себя кольцевую молекулу ДНК, а также особые рибосомы — мельче, чем в цитоплазме эукариот, и похожие на бактериальные. Органеллы никогда не образуются «с нуля», а только путем роста и деления существующих. Все это указывает на происхождение пластид и митохондрий от бактериальных симбионтов, когда-то поселившихся в цитоплазме эукариотической клетки.

Тогда же, в 1970-е, предпринимались попытки расширить теорию симбиогенеза и на другие системы эукариотической клетки. Несколько раз сообщалось об обнаружении собственной ДНК в центриолях — центрах организации тубулинового цитоскелета, в гидрогеносомах и пероксисомах, — специальных вакуолях, осуществляющих реакции с выделением водорода и утилизацию перекиси водорода. С применением более совершенных методов эти открытия пришлось «закрыть», но оказалось, что пероксисомы и гидрогеносомы почему-то

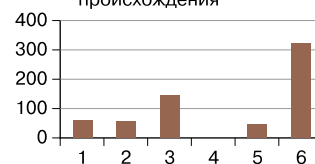
получают новые липиды для мембран по одной молекуле через специальную систему транспортных белков — ту же, что доставляет липиды в митохондрии. В то же время обычные вакуоли получают новые липиды в виде целых мембранных пузырьков. Эта особенность пероксисом может означать, что они произошли от митохондрий путем крайнего упрощения и полной потери генома.

Гораздо сложнее было установить природу ядерно-цитоплазматического компонента (ЯЦК) эукариотической клетки — то есть «хозяина» митохондрий и пластид, или всей остальной части клетки, кроме них. Сегодня, когда прочитаны последовательности геномов более чем тысячи видов бактерий и архей, появилась возможность методами сравнительной геномики искать прокариотные гомологи каждого из тысяч эукариотических белков (см., например, А.Марков, А.Куликов, «Происхождение эукариот: выводы из анализа белковых гомологий», в сборнике «Происхождение и эволюция биосферы», 2005, Новосибирск: ИК РАН, http://evolbiol.ru/markov_kulikov.htm). Краткие результаты такого поиска представлены на рисунке. (Домены — относительно независимые части белковой молекулы. Новые белки могут возникать путем комбинирования старых доменов, и общие домены бывают в очень разных белках. Поскольку перестановки и новые комбинации доменов происходили много раз в эволюции эукариот, проследить эволюционную судьбу доменов проще, чем судьбу целых белков.)

Домены архейного происхождения



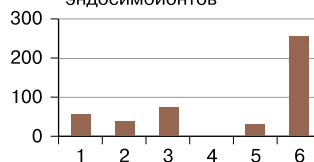
Домены бактериального происхождения



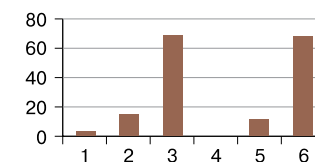
2

Вот как распределяются по функциональным группам «архейные» и «бактериальные» домены эукариотических белков: 1 — синтез белка, 2 — репликация, транскрипция, модификация и организация нуклеиновых кислот, 3 — сигнальные и регуляторные белки, 4 — белки, связанные с образованием и функционированием мембранных пузырьков, 5 — транспортные и сортировочные белки, 6 — метаболизм (http://evolbiol.ru/dok_ibr2009.htm)

Домены, предположительно унаследованные от эндосимбионтов

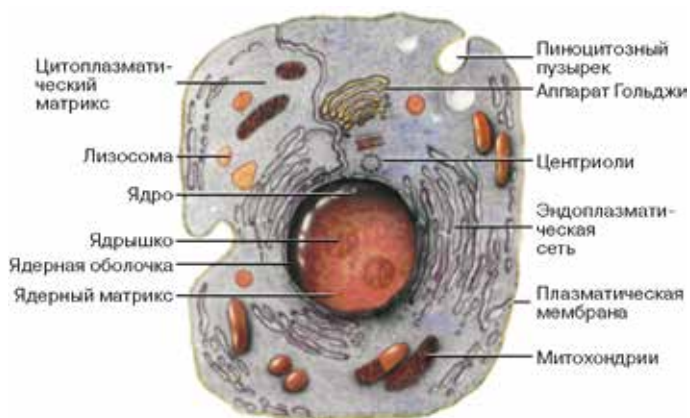


Домены, заимствованные у других бактерий



3

Это распределение по функциональным группам эукариотических белковых доменов, возможно унаследованных от эндосимбионтов (митохондрий и хлоропластов) и заимствованных у других бактерий. Обозначения те же, что на рис. 2 (http://evolbiol.ru/dok_ibr2009.htm)



1
Эукариотическая клетка

Хорошо видно, что доля архейных белков максимальна в обслуживании базовых генетических процессов эукариотических клеток — репликации, транскрипции, трансляции, репарации. Гены с этими функциями реже всего подвергаются горизонтальному переносу и, скорее всего, были унаследованы эукариотами напрямую. Гены бактериального происхождения, относящиеся к этим функциональным группам, в основном работают в митохондриях и пластидах и явно перенесены из их геномов. Это значит, что предок ЯЦК, скорее всего, был близок к археям.

Происхождение митохондрий благодаря сравнительной геномике удалось сильно уточнить. Их бактериальные предки относились к группе альфа-протеобактерий, причем в современном мире к ним ближе всего находятся пурпурные бактерии *Rhodospirillum*. Эти бактерии способны как к фотосинтезу, причем используют соединения серы для восстановления CO_2 , так и к аэробному дыханию на готовой органике, переключаясь между этими режимами метаболизма в зависимости от наличия кислорода и света. Большая часть их дыхательной цепи работает и в фотосинтезе, и в аэробном дыхании.

Некоторые эукариоты — паразитические простейшие *Giardia*, микроспоридии — не имеют митохондрий. Ранее считалось, что они никогда их и не имели, поскольку отделились от остальных в глубокой древности. Сегодня выясняется, что в их ядерном геноме есть гены альфа-протеобактериального происхождения, а значит, митохондрии у них были, но впоследствии исчезли.

Одна из малоизвестных функций митохондрий — сборка железосерных кластеров ферментов, в том числе работающих в цитоплазме (Tielens, A.G.M. et al, «Mitochondria as we don't know them», «Trends in Biochemical Sciences», 2002, 27, 564—572). Для этого требуется транспорт свернутых белковых глобул, содержащих железосерные кластеры, через митохондриальную мембрану. Это достаточно сложное и затратное приспособление, которое могло возникнуть, только если хозяин митохондрий сам не умел собирать железосерные кластеры.

Простейшее предположение о природе белков бактериального происхождения, работающих в цитоплазме эукариот, — что они все принадлежали предку митохондрий или пластид, — оказывается неверным. У эукариот насчитывается более 200 генных семейств бактериального происхождения, отсутствующих у альфа-протеобактерий и цианобактерий и, следовательно, приобретенных иными путями. Другие белки эукариот хотя имеют альфа-протеобактериальные гомологи, но ближе к белкам других групп бактерий. Например, все ферменты гликолиза эукариот наиболее сходны с белками бактерий-бродильщиков рода *Clostridium*.

Несколько белковых семейств эукариот, связанных со слиянием и отшнуровкой мембран, имеют архейное происхождение — например, адаптин N, синтаксин, а также белки, содержащие ароматический диаланиновый повтор, то есть те самые SNAP, за открытие которых вручили Нобелевскую премию 2013 года (см. статью в этом же номере). К сожалению, их функции в клетках архей неизвестны.

Помимо митохондрий для приспособления к кислороду нужны белки, защищающие цитоплазму, такие, как оксигеназы, пероксидазы, каталаза. Эукариоты получили все эти белки от бактерий, причем не родственных митохондриям.

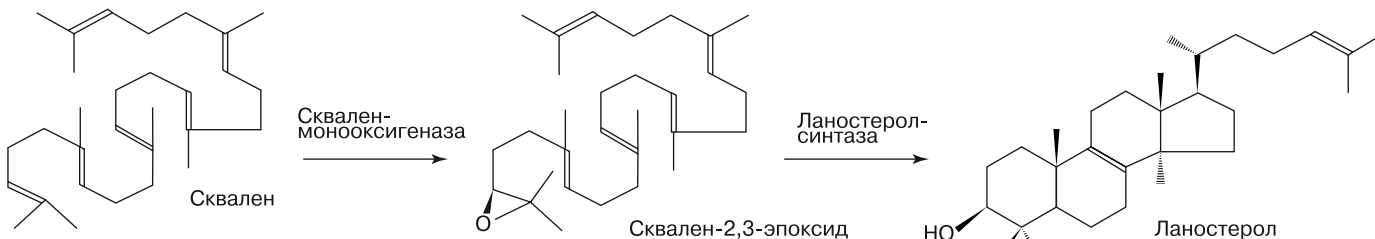
Этого и следовало ожидать — ведь чтобы получать выгоду от аэробного дыхания, надо сначала научиться защищаться от токсического действия кислорода, которое проявляется уже в очень малых концентрациях.

Мембраны эукариот, подобно бактериальным, состоят из сложных эфиров жирных кислот. Ферменты биосинтеза липидов соответственно могли быть получены только от бактерий. Отличительная черта мембран эукариотических клеток — вспомогательные липиды, стеролы, такие, как холестерин. Стеролы повышают текучесть мембран и поэтому необходимы для фагоцитоза и транспорта мембранных пузырьков. Следовательно, освоение биосинтеза стеролов должно было предшествовать появлению митохондрий. Предшественник всех стеролов — терпеновый углеводород сквален, который мы уже упоминали в главе, посвященной эволюции мембран. Синтез сквалена происходит у многих бактерий и архей, тогда как дальнейшие стадии синтеза стеролов характерны только для эукариот.

На первом шаге сквален-монооксигеназа катализирует присоединение кислорода к концевой двойной связи сквалена, образуя сквален-2,3-эпоксид. Для этой реакции требуется молекулярный кислород, хотя и в очень малой концентрации. Затем ланостерол-синтаза катализирует восстановление эпоксида, при этом неустойчивый продукт восстановления — радикал сквалена — перестраивает двойные связи в замкнутые кольца, образуя ланостерол (у животных и грибов) или циклоартенол (у растений и миксомицетов).

Из-за крайней важности стеролов для эукариотической клетки происхождение ферментов их биосинтеза внимательно исследовалось. Сходные ферменты, синтезирующие те же стеролы, были обнаружены у некоторых бактерий, например у *Methylococcus capsulatus* из гамма-протеобактерий (Lamb et al., «Molecular Biology and Evolution», 2007, 24, 8, 1714—1721, doi: 10.1093/molbev/msm090), *Gemmata obscuriglobus* из планктомицетов (Pearson et al., «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2003, 100, 26, 15352-15357, doi: 10.1073/pnas.2536559100) и у ряда микобактерий, например *Plesiocystis pacifica* и *Stigmatella aurantiaca*. Однако подробное исследование показало, что все эти ферменты бактерии получили горизонтальным переносом от эукариот уже после расхождения линий растений и животных (Desmond, Gribaldo, «Genome Biology and Evolution», 2009, 1, 364—381, doi: 10.1093/gbe/evp036). Первый шаг биосинтеза стеролов — присоединение кислорода к сквалену — мог быть поначалу одним из способов защиты от молекулярного кислорода, и лишь потом нашлось применение полученному сквален-2,3-эпоксиду.

Разумеется, это не всё. Большая часть эукариотических генов бактериального происхождения, не принадлежавших предкам митохондрий и пластид, кодирует защитные, рецепторные, транспортные, сигнальные и регуляторные белки. Сюда относятся, например, белки теплового шока Hsp90, белки TerC и Ttg2, связанные с устойчивостью к тяжелым металлам, семейство Ras, передающее сигналы в протеинкиназных путях, и др. Что интересно, белки, которые у эукариот обеспечивают взаимодействия между компонентами клетки, у бактерий нужны для связей между разными клетками в сообществе. Например, Tim44 эукариот обеспечивает транспорт белков через внутреннюю мембрану митохондрий из



4 Биосинтез ланостерола — предшественника других стеролов (Lamb et al, 2007)

цитоплазмы, а его бактериальные гомологи экспортируют белки из клеток во внешнюю среду. А значит, когда возникла эукариотическая клетка, под одной мембраной оказались уже отработанные системы связи клеток в сообществе.

Происхождение цитоскелетных белков проявилось буквально в последние три года. Ранее были известны белки FtsZ, отдаленно похожие по последовательности на тубулин, — они широко распространены у бактерий и архей, могут полимеризоваться в пластины и трубки и необходимы для деления прокариотических клеток. В 2012 году были найдены артубулины — близкие гомологи тубулина — у двух видов архей рода *Nitrosoarchaeum*, принадлежащих к группе *Thaumarchaeota*. Их функция пока неизвестна (Yutin, Koonin, «Biology Direct», 2012. 7, 10. doi: 10.1186/1745-6150-7-10).

Аналогичным образом у бактерий и архей широко распространены отдаленные гомологи актина — белки MreB, полимеризующиеся в тонкие нити и участвующие в перетяжке делящейся бактериальной клетки. Другие дальние гомологи актина кодируются плазмидами и служат для их расхождения при делении клетки. И только в 2009 году у нескольких видов группы *Crenarchaeota* были обнаружены кренактины — близкие гомологи эукариотического актина (Ettema et al, «Molecular Microbiology», 2011, 80, 4, 1052—1106, doi: 10.1111/j.1365-2958.2011.07635.x). Кренактины образуют нити, которые придают клеткам палочковидную форму, часто с разветвлениями. По своей последовательности кренактины близки не только к актинам, но и белкам Arp2/Arp3 (Actin-related proteins), которые у эукариот образуют разветвления актиновых филаментов. В некоторых случаях совместная полимеризация актина и Arp2/Arp3 на плазматической мембране достаточна для отщуровки фагоцитозного пузырька (Yutin et al, «Biology Direct» 2009. 4, 9. doi: 10.1186/1745-6150-4-9).

Наряду с артубулинами у *Thaumarchaeota* обнаружили гомологи еще одной эукариотической системы — ESCRT-III (endosomal sorting complex required for transport). Эта группа белков связана с мембранами комплекса Гольджи, эндоплазматического ретикулума и вакуолей и участвует в сортировке содержимого мембранных пузырьков. В клетках архей белки этого комплекса необходимы для деления клеток, заменяя отсутствующий FtsZ (Makarova et al, «Nature Reviews Microbiology», 2010, 8, 731—741, doi: 10.1038/nrmicro2406).

В геноме *Caldiarchaeum subterraneum*, прочитанном в 2010 году, были обнаружены гомологи эукариотической системы убиквитинной модификации белков. Эта система пришивает маленький белок убиквитин к различным клеточным белкам, что служит обычно меткой для их уничтожения в протеосоме, а также влияет на другие процессы, например перестройку хроматина. Кроме собственно убиквитина, в нее в минимальном варианте входят три фермента — E1, E2 и E3, — катализирующие разные стадии его присоединения. У бактерий известны отдаленные гомологи E1 и E2, но их функции не связаны с убиквитином, они катализируют включение серы при синтезе витамина B1 и молибденовых кластеров ферментов. Протеосомы были известны ранее у некоторых бактерий (*Mycobacterium tuberculosis*) и архей (*Haloferax volcanii*), но убиквитинной системы у этих видов нет. Протеосомы есть и у *Caldiarchaeum subterraneum*, они похожи на эукариотические также по наличию белка RPN11, который опознает убиквитиновые метки на белках (Nunoura et al, «Nucleic Acids Research», 2011. 39, 3204—3223. doi: 10.1093/nar/gkq1228).

Еще один обязательный компонент эукариотической клетки, гистоновые белки, тоже унаследован от архей. ДНК эукариот намотана на нуклеосомы — комплексы из восьми гистоновых белков, по две молекулы гистонов H2A, H2B, H3 и H4; гистон H1 соединяет соседние нуклеосомы в цепочку. У некоторых архей есть гены гистонов, более всего сходные с эукариотическими H3 и H4, и образуются маленькие нуклеосомы из четырех белковых молекул, которые тоже служат для компактной



укладки ДНК (Pereira et al, «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 1997, 94, 23, 12633—12637).

Распределение гомологов эукариотических систем среди различных архей позволило уточнить положение архейного предка эукариот. Современная система архей состоит из шести типов: *Crenarchaeota*, *Euryarchaeota*, *Nanoarchaeota*, *Thaumatoarchaeota*, *Aigarchaeota*, *Korarchaeota*. Большинство известных видов относится к первым двум типам. *Crenarchaeota* — в основном обитатели горячих источников, чаще кислых, среди них есть как автотрофные хемосинтетики, так и гетеротрофы, осуществляющие сульфатное дыхание. К *Euryarchaeota* принадлежит большинство метаногенов, они широко распространены в почвах, болотах и морских осадках и предпочитают умеренные температуры, а также фотосинтезирующие обитатели пересолённых лагун, такие, как *Halobacterium halobium*. Автотрофные археи *Thaumatoarchaeota*, окисляющие аммиак и широко распространены в почвах К *Aigarchaeota* относится единственный подробно изученный вид, выделенный из горячих кислых вод золотого рудника, сильно отличающийся от *Euryarchaeota* по молекулярным признакам. *Korarchaeota* — тоже малочисленная группа гетеротрофных архей из морских горячих источников, с тонкими длинными палочковидными клетками. *Nanoarchaeota* — очень мелкие шаровидные археи, живущие в симбиозе с другими археями в горячих источниках. Молекулярно-филогенетические методы показывают, что предком эукариот был ближе к четырем типам группы TACK (*Thaumatoarchaeota*, *Aigarchaeota*, *Crenarchaeota*, *Korarchaeota*), а два других типа архей — *Euryarchaeota* и *Nanoarchaeota* — отделились раньше (Guy et al, «Trends in Microbiology» 2011. 19, 12, 580—587, doi: 10.1016/j.tim.2011.09.002).

Таким образом, мы видим, что ядерно-цитоплазматический компонент эукариотической клетки сочетает в себе черты архей и различных неродственных групп бактерий. От архей унаследованы центральные информационные системы клетки, зачатки цитоскелета, зачатки систем управления мембранами и убиквитиновая система модификации белков. От бактерий произошли ферменты метаболизма сахаров, липидов и отчасти — стеролов, системы защиты от кислорода и всевозможные сигнальные и регуляторные белки. Очевидно, что приобретение митохондрий было далеко не первым шагом на пути происхождения эукариот: чтобы такой симбиоз стал механически возможен, необходимы механизмы фагоцитоза. А чтобы он был еще и полезен, надо уже иметь ферменты гликолиза, защиту от кислорода, системы транспорта веществ и передачи сигналов между симбионтом и хозяином.

Как мы можем описать появление эукариот, исходя из всего сказанного выше? Во-первых, симбиогенез, многочисленные переносы генов от разных бактерий и большая роль сигнально-регуляторных генов означают, что процесс происходил в сложном сообществе прокариот. Во-вторых, архейное происхождение базовых генетических систем эукариот свидетельствует о том, что у истоков процесса стояли археи. Из разнообразных экологических групп современных архей только одна — метаногены — живет в сложных сообществах, в тесном взаимодействии с бактериями. Остальные археи, как правило,



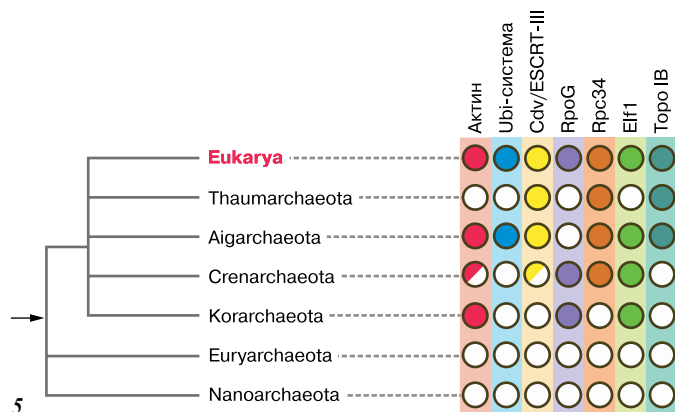
приспособлены к экстремальным местообитаниям, где образуют крайне бедные сообщества с малой ролью межвидовых взаимодействий. Отсутствие всяких следов метаногенеза у эукариот означает, что этот тип обмена веществ в какой-то момент эукариогенеза стал непригоден и был заменен другими. В качестве причины напрашивается появление кислородного фотосинтеза. Ферменты метаногенеза используют ионы двухвалентного никеля, которые очень уязвимы для кислорода.

Итак, скорее всего, эукариогенез начался с метаногенной археи, обитавшей в нижних слоях бактериального мата в симбиозе с ацетогенными бродильщиками, выделяющими водород. Появление кислородного фотосинтеза в верхнем слое того же мата вызвало крупный экологический кризис. Многие обитатели мата вымерли, другим же удалось создать свои или приобрести горизонтальным переносом чужие системы защиты от кислорода. Это произошло не мгновенно, процесс распространялся с поверхности в глубокие слои мата, и к моменту появления серьезных проблем у метаногенов их соседи сверху уже имели адаптации к кислороду. Многие прокариоты в состоянии стресса начинают активно поглощать ДНК из внешней среды, и таким способом наша архея приобрела гены, необходимые для защиты от кислорода, и новый метаболизм, скорее всего, молочнокислое брожение. Скваленмонооксигеназа, фермент синтеза стеролов, могла исходно служить для защиты от кислорода. Отсутствие клеточной стенки, актиновый цитоскелет для поддержания вытянутой и ветвистой формы клеток, стеролы и освобождение мембраны от энергетических функций позволили архее перейти к фагоцитозу и успешно конкурировать с соседями-бактериями. Такой способ питания усилил поток чужеродных генов в цитоплазму клетки, что, видимо, потребовало специализации РНК-полимераз — появления трех из одной предковой.

Тем временем в среднем слое мата, среди пурпурных фотосинтезирующих бактерий, было отработано аэробное дыхание, ценным субстратом для которого стали органические кислоты, выделяемые бродильщиками нижних слоев. Эти аэробы стали оптимальными партнерами для симбиоза с фагоцитирующими бродильщиками. Вероятно, сначала взаимодействие между ними было отработано на стадии простого соседства в мате, а затем продолжилось с переходом к эндосимбиозу.

Поток чужеродных генов неизбежно должен был заражать фаготрофную клетку новыми видами вирусов и мобильных элементов. Их давление могло вызвать ответ в виде образования ядра для защиты генетического материала. Разделение клетки на компартменты, один из которых специализируется на хранении ДНК, известно и у бактерий группы *Planctomycetes* (Fuerst, Sagulenko, «Frontiers in Microbiology», 2012, 3, 167, doi: 10.3389/fmicb.2012.00167). К сожалению, чтение и аннотация их геномов пока не закончены.

У бактерий и архей синтез белков, закодированных в матричной РНК, начинается еще до того, как эта мРНК будет полностью синтезирована. Поэтому интроны встречаются у бактерий и архей в небольшом количестве, и только в генах рибосомных и транспортных РНК. В этом случае после окончания синтеза РНК у интрона есть время, чтобы вырезать себя



5 Гомологи различных эукариотических систем рассеяны по разным группам архей. Ubi — убиквитинная система модификации белков; ESCRT-III — система деления клетки (у архей) и система сортировки мембранных пузырьков (у эукариот); RpoG и Rps34 — вспомогательные субъединицы РНК-полимераза; Elf1 — фактор элонгации транскрипции; TopoIB — топоизомераза IB (Bernander et al, «Communicative and Integrative Biology», 2011, 4, 6, 664—667)

из нее. При попадании интронов в белок-кодирующие гены бактерий вырезание интрона из мРНК будет осложнено — «голова» интрона окажется в рибосоме еще до того, как «хвост» будет достроен, интрон не сможет вырезаться из мРНК, и синтезированный с нее белок будет дефектным.

Появление ядра, разделившего трансляцию и транскрипцию, сняло эти ограничения, и началось бурное размножение интронов в белок-кодирующих генах предка эукариот. Мутации интронов часто нарушали их способность к самовырезанию и приводили к появлению большого количества дефектных белков. Это вызвало давление отбора на появление системы контроля качества мРНК (nonsense-mediated decay) и специализацию части интронов на вырезании других, поврежденных интронов. Так возникли малые ядерные РНК, составляющие основу сплайсосомы.

Новые мобильные элементы резко активизировали рекомбинацию, что, возможно, привело к распаду кольцевой ДНК на линейные хромосомы. Их концы при репликации могли сначала защищать мобильные элементы, размножающиеся параллельно делению клетки, подобно тому, как это сейчас происходит у ряда насекомых. Затем на основе обратной транскриптазы ретротранспозонов возникла теломераза.

После установления симбиоза с митохондриями протоэукариоты стали высокоэффективными хищниками: аэробное дыхание повышает эффективность использования пищи почти в 20 раз по сравнению с гликолизом. Они смогли выйти на поверхность мата и начать фагоцитировать цианобактерий. Так часть эукариот приобрела второй тип эндосимбионтов — хлоропласты. Они стали водорослями и ушли из бактериального мата в толщу океана, другие же остались гетеротрофами и продолжили питаться бактериями. В дальнейшем среди эукариот появились крупные хищные формы, такие, как инфузории, приспособившиеся к питанию другими эукариотами, в первую очередь водорослями. Они вместе со своей добычей составили новую экосистему открытого моря, независимую от занявших мелководья бактериальных матов. Наличие цитоскелета и сложной системы регуляции генов позволило эукариотным клеткам объединиться в крупные многоклеточные организмы. За этим последовали радикальное усложнение биосферы («кембрийский взрыв») и ускорение эволюции, и с тех пор облик Земли определяют многоклеточные растения и животные.



Кислородный парадокс

Кандидат биологических наук

М. М. Борисова-Мубаракшина

Кандидат биологических наук

М. А. Козулева

Институт фундаментальных проблем

биологии РАН, Пущино



ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

«Кислородный парадокс представляет собой парадокс эволюции самой по себе. Эволюционное давление позволило найти лучший выход из плохой ситуации: механизм, благодаря которому нежелательное токсическое действие активных форм кислорода снижается, а сами они используются на благо организма», — писал Джон Скандалиос, кафедра генетики Университета Северной Каролины («Brazilian Journal of Medical and Biological Research», 2005, 38, 7)

Зачем растению антиоксиданты?

Проблемы для всех, кто живет в кислородной атмосфере, создают активные формы кислорода: радикалы — супероксидный радикал $O_2^{\cdot -}$, гидроперекисный радикал HO_2^{\cdot} и самый сильный окислитель гидроксильный радикал HO^{\cdot} , — а также реакционно-способные молекулы, прежде всего перекись водорода H_2O_2 и синглетный кислород 1O_2 (у него электроны, возбужденные светом, пребывают в состоянии с большей энергией, чем у обычного кислорода).

У всех аэробных организмов, в том числе и у человека, активные формы кислорода возникают при дыхании. Их источником служат в первую очередь митохондрии — «теплоэлектростанции» клетки, где углеводы окисляются кислородом с запасанием энергии в удобной форме молекул АТФ. Совсем не так обстоит дело у растений, которые сами вырабатывают кислород в процессе фотосинтеза в хлоропластах. Занятие это весьма небезопасное, связанное с поглощением квантов света, перераспределением энергии и работой с высокорекреационными соединениями. Фотосинтетические компоненты клеток, обладающие сильным восстановительным потенциалом, отдают свои электроны и энергию не только на главное занятие — усвоение углекислого газа, но и на восстановление выделившихся молекул кислорода. При этом и образуются его активные формы. Так хлоропласты наряду с митохондриями оказываются важными продуцентами активных форм кислорода. В нормальных условиях на этот побочный процесс в хлоропластах расходуется от 5 до 10% всех электронов, необходимых для фотосинтеза. При стрессе же, как показывают наши исследования (М. М. Мубаракшина et al., «Journal of Experimental Botany», 2010, 61, 3577—3587; И. А. Найдов и др., «Биохимия», 2012, 77, 179—189), их доля может достигать и до 50% — такое происходит, когда отключается антиоксидантная защита.

Чтобы нейтрализовать активные формы кислорода, растения синтезируют большое количество антиоксидантов и тратят много сил на поддержание их работы. Это и высокомолекулярные соединения — ферменты, специально предназначенные для нейтрализации определенных форм кислорода, и другие вещества, например полифенолы, которые, столкнувшись с окислителем, принимают удар на себя. Это и низкомолекулярные антиоксиданты — растворимые в

воде аскорбиновая кислота (витамин С) и глутатион, а также растворимые в мембранных липидах токоферол (витамин Е), убихинон и пластохинон, каротиноиды и флавоноиды.

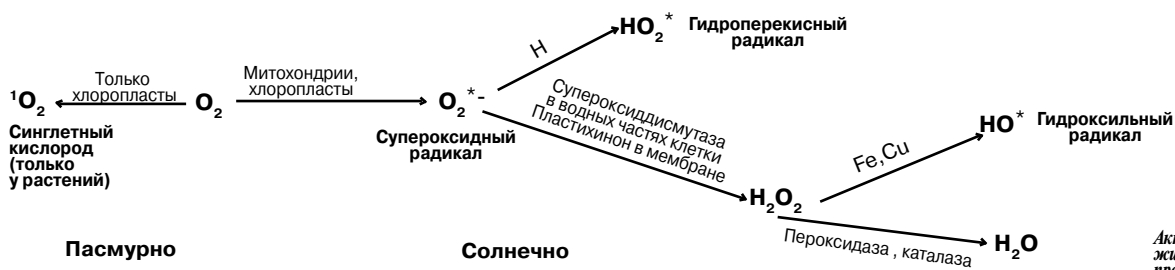
Чемпионы по содержанию витамина С в хлоропластах — альпийские растения. Это и понятно: в горах, под яркими солнечными лучами с высокой долей ультрафиолета, образуется больше активных форм кислорода, а значит, и антиоксиданта нужно больше.

Передача сигнала

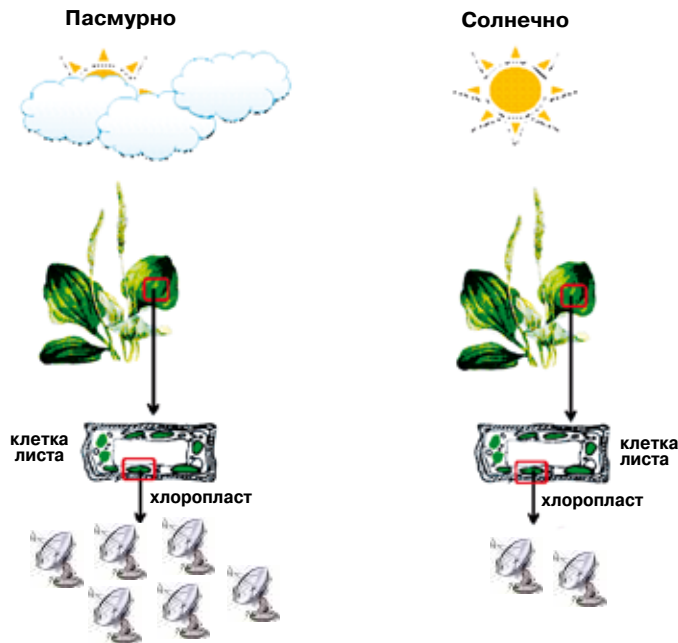
Активные формы кислорода способны нанести живой клетке большой вред — на их счет повреждение липидных мембран, дезактивация ферментов и даже нарушения в ДНК. Более того, производство этих форм может оказаться для клетки фатальным: если их образуется слишком много, будет запущен процесс самоуничтожения клетки — апоптоз. Довольно долго считалось, что активные формы кислорода — абсолютное зло и без них жизнь растения была бы существенно проще. Однако по мере накопления данных ученые все чаще задавали вопрос: почему за миллиарды лет эволюции не удалось отладить процесс фотосинтеза и избавиться от активных форм кислорода, зачем растение расходует столько энергии и вещества сначала на их синтез, а потом на нейтрализацию? Ответ был найден в 90-х годах XX века. Оказалось, что активные формы кислорода приносят не только вред: они играют важную сигнальную роль, сообщая растению о том, что в окружающей среде произошли некие изменения и возникли условия для стресса, с которым надо бороться. Разобраться, как работает механизм оповещения, нелегко, и все же в некоторых случаях это удалось сделать.

Прежде всего, необходимо было понять, какие из перечисленных веществ годятся на роль передатчика сигнала и откуда такой сигнал может идти. Сложилось мнение, что главными действующими лицами здесь могут быть супероксидный радикал и перекись водорода: именно в хлоропластах их образуется много. Второй источник — дыхание клетки: на образование супероксидного радикала идет по крайней мере 2—5% электронов, проходящих по дыхательной электрон-транспортной цепи в митохондриях. Есть и другие источники, вклад которых меньше.

Интересно, что синглетный кислород — эксклюзивный продукт жизнедеятельности фотосинтетических организмов, поскольку образуется при взаимодействии O_2 с возбужденными энергией солнечного света молекулами хлорофилла, которого у других организмов нет. Супероксидный радикал же генерируется при одноэлектронном восстановлении молекулярного кислорода O_2 высокорекреационными соединениями — этот процесс идет у любых живых существ в митохондриях, а у растений — еще и в хлоропластах. Он порождает другие активные формы, например с протоном — гидроперекисный радикал. Два супероксидных радикала в реакции друг с другом и протонами дают перекись водорода. Такой реакции помогают специальные ферменты супероксиддисмутазы, ускоряющие ее примерно в десять тысяч раз. Природа позаботилась о том, чтобы этот крайне важный антиоксидантный фермент



Активные формы кислорода в живом организме многообразны и превращаются друг в друга



1
 В тени растению требуется гораздо больше антенн в хлоропласте для приема света, чем на солнце. Но если их будет слишком много, свет наделяет беды

присутствовал во всех органеллах клетки, где образуется супероксидный радикал. Но для дисмутации недостаточно присутствия фермента — нужны протоны, а свободные протоны есть только в водных участках клетки, но не в липидных мембранах. Однако при фотосинтезе много супероксидных радикалов образуется именно внутри мембран хлоропластов, где расположено большинство переносчиков электронов (M.A.Kozuleva et al "FEBS Letters", 2011, 585, 1067—1071). Как же клетка защищается от них? В мембранах хлоропластов растворены специальные вещества — пластохины, участвующие в переносе электронов при фотосинтезе. Не так давно было обнаружено, что восстановленный пластохион в мембранах служит источником не только и электронов, но и протонов, которые идут на образование перекиси водорода из супероксидных радикалов, помогая таким образом защитить мембраны (M.M.Mubarakshina, B.N.Ivanov, «Physiologia Plantarum», 2010, 140, 103—110).

В дальнейшем при наличии металлов переменной валентности, таких, как железо или медь, перекись водорода может дать начало гидроксильному радикалу (так называемая реакция Фентона). Это крайне опасно: гидроксильный радикал, как мы уже говорили, очень сильный окислитель.

Супероксиддисмутазы предназначены для борьбы с супероксидным радикалом, а с менее реакционно-способной перекисью борются каталазы и пероксидазы. Последние в норме должны ускорять окисление перекисью низкомолекулярных антиоксидантов и таким образом ее деактивировать. Однако в некоторых случаях пероксидаза на мембране клетки начинает работать в обратном направлении — производить перекись.

Благодаря антиоксидантам концентрации активных форм кислорода в норме невелики, тем не менее различие между ними существенное: содержание перекиси в хлоропластах исчисляется десятками наномолей, а радикалов в тысячи

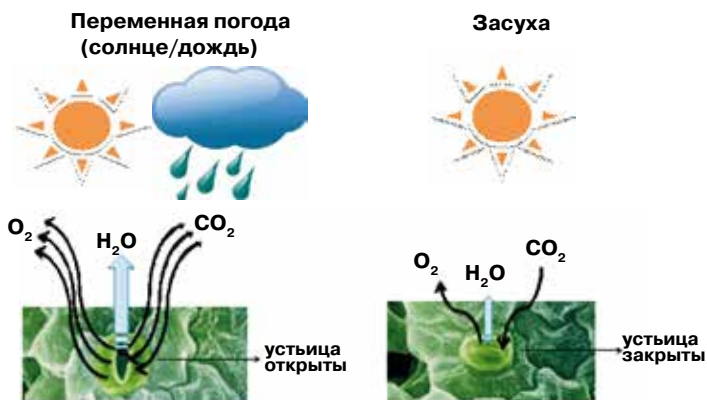
раз меньше. Столь же сильно отличаются времена жизни. У радикалов — доли микросекунды, поскольку они обладают неспаренным электроном и легко вступают в реакцию с первым попавшимся объектом. Так, гидроксильный радикал со временем жизни порядка наносекунд практически не успевает никуда переместиться от места своего образования и вступает в реакцию с ближайшим компонентом клетки. Более долговечный супероксид-радикал, живущий микросекунду, может преодолеть большее расстояние и в принципе способен передать сигнал от одного компонента клетки другому. К тому же он умеет преодолевать мембраны по так называемым анионным каналам. Однако при наличии супероксиддисмутаза этот радикал очень быстро превращается в перекись водорода. Перекись, живущая в тысячи раз дольше (миллисекунды), может переносить информацию гораздо дальше, например от занятого фотосинтезом хлоропласта — ядру клетки (M.M.Borisova-Mubarakshina et al., «Biochimica et Biophysica Acta», 2012, 1817, 1314—1321), а также на расстояния, разделяющие десятки клеток. Поэтому из всех активных форм кислорода, появляющихся в клетке растения, именно перекись водорода служит основной сигнальной молекулой.

Перекись водорода, которая образуется в хлоропластах (или в других органеллах клетки), должна проникнуть через их мембраны, чтобы отправиться в путь, — только тогда она сможет дойти до ядра либо попасть в другую клетку. Не так давно мы обнаружили, что проникновению помогают аквапорины — специальные белки в мембранах, обеспечивающие прохождение сквозь нее молекул воды. Поскольку молекулы H_2O и H_2O_2 близки по размеру, перекись может воспользоваться этим путем. При удачном стечении обстоятельств, если перекись достигнет ядра, то оно получит информацию о стрессе и в ответ активируются десятки генов; синтез компонентов растительной клетки перенастроится так, чтобы растение выжило в изменившихся условиях. По дороге перекись способна активировать некоторые ферменты или окислить липиды мембраны, сделав ее более проницаемой. При этом из клетки смогут в большем количестве выходить ионы кальция, а изменение их концентрации — известный физиологам способ регулирования поведения растения. Сигнальную роль перекись выполняет в клетках не только растений, но и бактерий, животных и человека.

Жизнь с кислородным парадоксом

Первое полезное свойство активных форм кислорода заметили уже давно. Это окислительный взрыв. Если растение атаковано патогенами, в месте повреждения происходит мощный выброс этих химически активных веществ — ответный удар. Активные формы кислорода могут либо уничтожить врага, либо доставить ему немало неприятностей. Кроме того, вокруг места атаки гибнут клетки, создавая полосу «выжженной земли», — мертвые клетки, заполненные ядовитыми веществами, защищают здоровые ткани от вторжения.

В повседневной жизни растений роль активных форм кислорода проявляется прежде всего в реакции на избыточное освеще-



Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки РФ № 2012-1.2.2-12-000-1013-068



ЖИВЫЕ ЛАБОРАТОРИИ

органелл, а также запуск специфических процессов, связанных со сменой времен года. Например, всего лишь несколько лет назад было обнаружено, что осенний листопад инициируется повышенной продукцией активных форм кислорода в черешке листа. Перед листопадом прекращается биосинтез хлорофилла и накапливаются каротиноиды — из-за них листья желтеют или краснеют. В это время органические вещества, синтезированные за лето, транспортируются из листа в стебли и корни, подготавливая растение к зимнему периоду. Массовое же опадание листьев начинается после резкого снижения температуры, первых заморозков, вызывающих холодовой стресс. Однако если во время других стрессовых условиях сигнал переносят активные формы кислорода, образованные в органеллах клетки (в основном в хлоропластах), то во время листопада они образуются на внешней мембране клеток.

Изучение сигнальных свойств активных форм кислорода — относительно новое направление исследований, до полного понимания детальных механизмов еще далеко. Однако каждое растение живет в постоянном стрессе: то ему света слишком много, то мало, то жарко, то холодно, то вода залила, то засуха одолела. Более того, человек постоянно пытается усложнить жизнь окультуренным растениям: в промышленных масштабах он хочет занять малопригодные для земледелия засушливые или засоленные земли, а на личном подворье — вырастить какой-нибудь экзотический цветок с далекого юга. Поэтому механизмы, благодаря которым растение противостоит стрессам и которые можно использовать для выведения устойчивых сортов, привлекают пристальное внимание биологов. А регулирование реакции на стресс с помощью тех же веществ, которыми пользуется само растение, представляется весьма интересным путем, по которому можно далеко продвинуться, создавая сорта, устойчивые к стрессам.

Подводя итог, можно сказать, что жизнь в кислородной атмосфере не так проста для аэробных организмов. Как сказал один из наших коллег: «Не дышите — и болеть не будете». Однако многофункциональность активных форм кислорода, образующихся из молекул кислорода, — это прекрасный пример, показывающий, как эволюция умеет обращать вред в пользу, и тут нам есть чему поучиться.

Литература:

J.G. Scandalios, Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses, «Brazilian Journal of Medical and Biological Research», 2005, 38(7), 995—1014; <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-879X2005000700003>.

C.H.Foyer, G.Noctor, Redox Regulation in Photosynthetic Organisms: Signaling, Acclimation, and Practical Implications. Comprehensive Invid Review. «Antioxidants and redox signaling» 11, 2009, 4; doi: 10.1089=ars.2008.2177

А.Р.Гарифзянов, Н.Н.Жуков, В.В. Иванищев, Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений, «Современные проблемы науки и образования», 2011, №2

2

В жару устьица на поверхности листа закрываются, приток углекислого газа уменьшается, и полученным от света электронам некуда деваться, кроме как создавать активные формы кислорода

щение. Подобно тому, как антенны радиоастрономических обсерваторий улавливают космические сигналы, в хлоропластах работают фотосинтетические антенны. Собрав с их помощью энергию солнечного света, необходимую для осуществления первичных процессов фотосинтеза, компоненты хлоропластов забирают электроны от молекул воды и синтезируют главные поставщики энергии для дальнейших процессов — молекулу АТФ, а также восстановленный НАДФ, то есть НАДФН. Оба соединения необходимы для последующего превращения углекислого газа в органические вещества.

Количество АТФ и НАДФН напрямую зависит от количества поглощенной фотосинтетическими антеннами энергии света. Однако летом, при ярком свете, оно может оказаться слишком большим, тем более что скорость поглощения энергии и ее миграции в антеннах во много раз выше скорости переноса электронов в мембранах хлоропласта, не говоря уж о скоростях химических реакций при ассимиляции углекислого газа. Тогда АТФ и НАДФН будут накапливаться, а антенны перевозбуждаться. Итог — образование активных форм кислорода.

Получив через них информацию о том, что процесс фотосинтеза идет с ошибками, клетки листа принимают меры. В состав фотосинтетических антенн входят белки и хлорофиллы, которые улавливают кванты света. Клетка листа снижает синтез белков, площадь антенн уменьшается и так, регулирует количество поглощаемой энергии света (рис. 1).

Лишние активные формы кислорода могут получиться не только из-за сильного света. Их источник — и засуха, то есть недостаток воды, и жара. Эта тема становится все более актуальной: из-за глобального изменения климата экстремальные явления вроде тепловых волн происходят чаще.

Корни растений поглощают воду с помощью сложных механизмов, один из которых — увеличение сосущей силы клеток корня за счет испарения воды из листа. При засухе растение ограничивает испарение, закрывая устьица — специальные поры на верхней или нижней поверхности листа. Однако у этого спасательного механизма есть обратная сторона: при закрытых устьицах ограничивается газообмен с окружающей средой (рис. 2), и в первую очередь уменьшается поступление CO_2 в хлоропласты листа. Получается то же самое, что и при ярком свете, только по другой причине: из-за недостатка углекислого газа АТФ и НАДФН не расходуются. Итог — недостаток окисленного НАДФ и усиленное образование все тех же активных форм кислорода. Растение отвечает на это быстрым синтезом антиоксидантов. К сходному эффекту приводит и засоление почвы: оно также заставляет растение экономить воду и закрывать устьица на листьях.

Растения используют активные формы кислорода на благо организма не только в стрессовых погодных условиях: с их участием происходит растяжение клеточных стенок, деление

Хозяйство негуманоидов

Кандидат биологических наук
Н.Л.Резник

Переход от собирательства к земледелию, начавшийся примерно 12 тысяч лет назад, коренным образом изменил жизнь человечества, его психологию и ландшафт планеты. Неудивительно, что исследователи регулярно возвращаются к этому судьбоносному процессу и считают земледелие одним из величайших достижений в жизни *Homo sapiens*. На самом деле сельское хозяйство придумали не люди. Еще 50 миллионов лет назад обо всех его особенностях можно было судить, понаблюдав за жизнью муравьев. Только тогда некому было разбираться в этом.

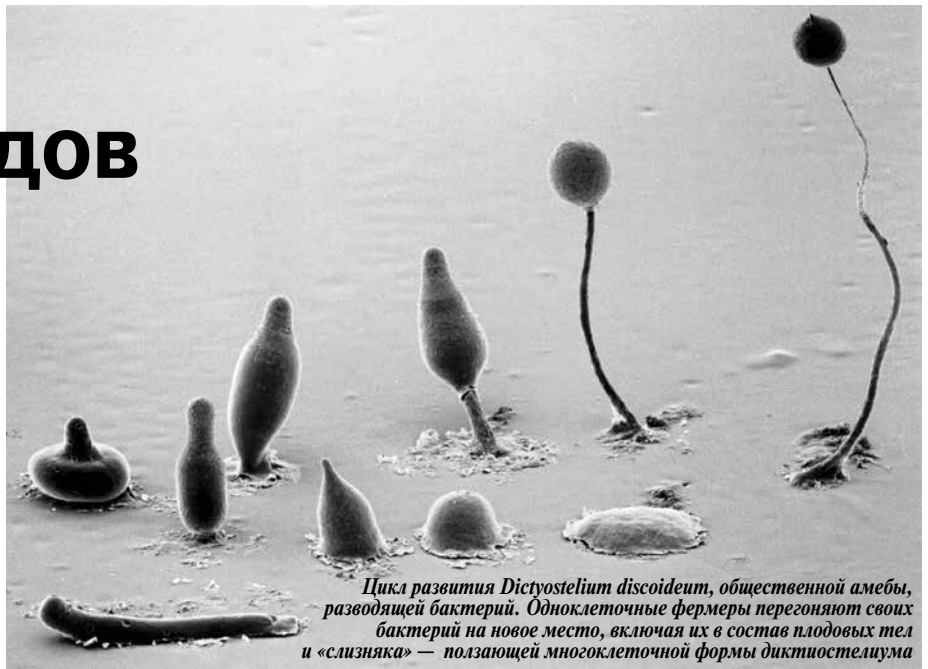
Тройственный союз

Есть много желающих полакомиться грибами. Насекомые не исключение: среди грибоедов ногохвостки и жуки, мухи и бабочки, термиты, лесные осы и муравьи. Некоторые грибами только закусывают, другим они служат основным источником пищи, и совсем немногие выращивают их специально. Одними из первых грибные хозяйства завели муравьи из трибы *Attini*, в которую в том числе входят известные муравьи-листорезы. Их предки сменили жизнь охотников на членистоногую добычу и собирателей нектара и растений на жизнь добропорядочных фермеров примерно 45—65 миллионов лет назад. Исключительно грибами кормят личинок *Attini*, которые не могут обходиться без белковой пищи, грибы же составляют значительную часть рациона взрослых насекомых.

Грибы растут в муравьиных гнездах, в специальных садах, на растительном материале, которые насекомые приносят с поверхности (рис. 1). Кроме того,

1

Муравей *Trachymyrmex septentrionalis* среди грибов
<https://webspace.utexas.edu/>



Цикл развития *Dictyostelium discoideum*, общественной амебы, разводящей бактерий. Одноклеточные фермеры перегоняют своих бактерий на новое место, включая их в состав плодовых тел «слизняка» — ползающей многоклеточной формы диктиостелиума

муравьи удобряют посадки собственными фекалиями (рис. 2). Возможно, именно с этих фекалий, которые содержат споры и кусочки мицелия, прораставшие прямо в гнезде, и началось муравьиное грибоводство.

Сейчас известно более 230 видов муравьев-фермеров. Они выращивают разные виды грибов, принадлежащих к классу базидиомицетов. Эти грибы могут образовывать споры, но у муравьев размножаются исключительно кусочками мицелия. Самки, отправляясь в брачный полет, берут с собой маленький кусочек грибницы, и, когда они оснужают собственное гнездо, из этого кусочка вырастет новый сад. Самцы мицелий не переносят, поскольку не участвуют в устройстве новых гнезд: исполнив супружеский долг, они погибают. Как показал генотипический анализ, грибы из гнезд одной семьи представляют собой клоны. И муравьи внимательно следят за тем, что они разводят.

Специалисты Техасского и Калифорнийского университетов под руководством профессора Ульриха Мюллера предлагали рабочим муравьям на выбор несколько штаммов грибов («Behavioral 2

Рабочий муравей *Cyphomyrmex cornutus* тащит фекалии — надо удобрять грибы
<http://taxondiversity.fieldsofscience.com/>



Ecology», 2004, 15, 2, 357—364; doi: 10.1093/behесо/арh020). Насекомые всегда предпочитали «родной» штамм из своего гнезда, а если такого нет, то наиболее близкий к нему. И так как муравьи отбирают для разведения определенные клоны, а другие отвергают, тем самым они влияют на эволюцию грибов — чем не селекция! Смена клона маловероятна и возможна только в результате трагического стечения обстоятельств, например если сад по каким-то причинам полностью погиб. По мнению специалистов, грибы, разводимые муравьями, вряд ли питательнее диких, скорее они отличаются уникальным сочетанием каких-то полезных веществ: аминокислот и липидов, витаминов и минералов.

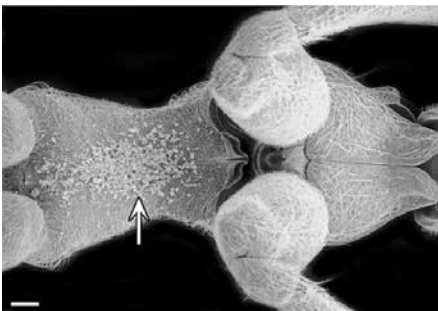
Муравьи предоставляют грибам стол, кров и распространение, а взамен получают пищу. Картина идиллическая, потому что неполная. На самом деле эту пастораль грубо нарушают два фактора, с которыми неизбежно сталкиваются все, кто занимается сельским хозяйством: воры и вредители.

Attini не единственные муравьи, которым грибы жизненно необходимы. Есть еще восемь видов, которые относятся к трибе *Solenopsidini*, роду *Megalomyrmex*. Без грибов они обойтись не могут, но выращивать их не умеют. Поэтому они тайно проникают в сады *Attini* или даже живут там как пищевые паразиты (рис. 3). Некоторые виды завладевают всем садом, изгоняя и даже убивая хозяев. Поддерживать плантации в приличном состоянии они не могут и вынуждены регулярно захватывать новые гнезда — у *Megalomyrmex* отлично поставлена разведка. Это уже не паразитизм, а разбой в чистом виде.



3
Воры подкапывают и крадут! Гнездо мирного муравья-фермера, в котором паразиты *Megalomyrma* прогрызли потайные ходы (показаны белыми стрелками)

Вторая неизбежная напасть — вредители. На базидиомицетах муравьиных посевов паразитируют микрогрибки-аскомицеты рода *Escovopsis*. Поскольку муравьи выращивают чистые грибные культуры, патогены могут уничтожить их урожай полностью. Это как раз тот случай, когда фермеры вынуждены экстренно восстанавливать сад с помощью



4
Муравей *Apterostigma dentigerum* с бактериями на груди. Они видны как белый налет. *Pseudonocardia* sp. стимулирует рост грибной культуры и защищает от патогенов.

«подручных» культур. Муравьи по мере сил защищаются от паразитов. Оказывается, в тесном симбиозе «муравей — гриб» есть и третий участник — почвенные бактерии-актиномицеты. Актиномицетов много, они известны продукцией биологически активных веществ, некоторые из них используют как лекарственные средства. Бактерии муравьиных садов тоже выделяют антибиотики, безопасные для базидиомицетов, но подавляющие рост паразитических *Escovopsis*.

Насекомые расхаживают с защитными бактериями на кутикуле, муравьиные принцессы забирают их из родного гнезда вместе с кусочком грибницы. Бактерий столько, что они выглядят как беловато-серый налет на муравьиных покровах (рис. 4). Их и считали восковым налетом, пока на них в 1999 году не поглядел вооруженным глазом канадский исследователь Камерон Карри из университета Торонто.

Первая пара, которую проанализировали исследователи, это муравей *Apterostigma dentigerum* и бактерия *Pseudonocardia* sp. («Nature Chemical Biology», 2009, 5, 6, 391—393, doi:10.1038/nchembio.159). Она синтезирует пептидный антибиотик дентигерумицин, который специфически подавляет рост паразитических грибов. Базидиомицеты муравьиных садов к его действию устойчивы и даже лучше растут в присутствии дентигерумицина. Подобные бактерии есть у всех известных видов муравьев-фермеров, во всех колониях. Исследователи полагают, что позади у муравьев и бактерий долгая совместная эволюция. Но и паразиты *Escovopsis* тоже не оставались безучастными к происходящему и вырабатывали устойчивость к антибиотикам.

Камерон Карри перебрался в Соединенные Штаты и нашел защитные бактерии и у других насекомых-грибководов — жуков-короедов («Science», 2008, 322, 5898, 63. doi: 10.1126/science.1160423). Симбиоз жуков с грибами возник 21—60 миллионов лет назад, точнее, он возник не менее семи раз у разных видов, относящихся к подсемействам *Scolytinae* и *Platypodinae* (короеды и плоскоходы). У этих видов взрослые насекомые живут в ходах внутри дерева, там же кормятся и откладывают яйца. В свои ходы они притаскивают микангии — круглые структуры, которые содержат споры и кусочки грибного мицелия. Попав внутрь, мицелий разрастается, разрушает дерево и становится источником пищи для жуков. Многие короеды вгрызаются в хвойные деревья, которые в ответ выделяют смолу, защищаясь от вредителей. Грибной мицелий растет быстро, по 3—10 мм в день, и затыкает поры, из которых выделяется смола, лишая дерево защиты.



ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

Так что симбиоз с грибами способствует широкому распространению короедов. Многие исследователи включают жуков-короедов в число созданий, культивирующих грибы, но называть такие отношения фермерством все же не вполне справедливо, потому что жуки не заботятся о посадках, а просто распространяют грибы и потом пожидают плоды своих злодеяний.

Камерон Карри описал один из видов жуков, *Dendroctonus frontalis*, который наслаждается счастливым симбиозом с грибом *Entomocorticium* sp. Их идиллию нарушает другой гриб *Ophiostoma minus*, который потребляет энтомокортициум и таким образом мешает развитию личинки жука. Ситуацию исправляют бактерии-актиномицеты *Streptomyces thermosacchari*, которые синтезируют антибиотик, селективно действующий на гриб-паразит. Бактерии обнаружили с помощью сканирующей электронной микроскопии и исследования грибных культур. Актиномицеты растут в галереях жука и внутри микангиев. Антибиотик, который они выделяют, исследователи назвали микангимицином. По мнению профессора Карри и его коллег, использование бактерий-актиномицетов, синтезирующих антибиотики, может быть общей чертой насекомых, культивирующих грибы. Эти бактерии нужно искать, возможно, они и людям окажутся полезны как источник новых биологически активных веществ.

Если следовать этой логике, актиномицеты должны обитать и в термитниках, потому что многие виды термитов тоже разводят грибы. Возможно, их найдут, пока же исследователи описали оригинальное инженерное решение, которое позволяет термитам культивировать полезные грибы, не допуская роста вредных.

Старосветские грибоводы

Муравьи и жуки-короеды успешно занимаются грибоводством в Новом Свете, а термиты — обитатели Азии и Африки. Симбиоз грибов и термитов сложился в Африке примерно 30 миллионов лет назад. Грибное фермерство свойственно только одному подсемейству термитов,



5
 Колония термитов *Macrotermes natalensis* в Южной Африке. Грибы растут на специальных «рядках» из пережеванной растительной массы

Macrotermitinae, включающему 10 родов и 330 видов. Грибы, которые они разводят, объединены в род *Termitomyces*. Термитомицеты растут в грибных сотах, каждая из которых расположена в особой ячейке гнезда (рис. 5). Общая масса грибных сот в колонии термитов иногда превышает 40 кг. Термиты-фуражиры, возвращаясь из похода, отгрыгивают пережеванный растительный материал, из которого термиты-работники лепят рядки. Эта жвачка смешана с грибными спорами и кусочками мицелия из кишечника термитов, грибы прорастают на рядках и разлагают непитательный лигнин древесины до простых сахаров и азота. Свежий материал насекомые добавляют к вершине гребня, а едят снизу, захватывая и мицелий. Личинки кормят грибами.

Грибы внутри колонии размножаются бесполом путем, кусочками грибницы, образуя небольшие разрастания мицелия — нодулы (рис. 6). Но раз в год они формируют настоящие плодовые тела, которые пробивают стенки термитника, прорываясь наружу, и их споры разлетаются по окрестностям.

Разлагать древесину в состоянии не только термитомицеты, есть множество других видов грибов, желающих поживиться пережеванными растительными остатками, например весьма агрессивная *Xylaria*. Она растет много быстрее термитомицетов и теоретически должна их подавлять. Однако этого не происходит. Споры ксиллярии и других паразитических грибов, хотя и присутствуют



6
 Нодулы — бесполое плодовые тела грибов в гнезде термитов *Macrotermes*



7
 Термитник в разрезе. Сооружение пронизано вентиляционными ходами и обеспечивает грибам термитомицетам комфортную атмосферу с высоким содержанием углекислого газа. Гнездо термитов и плантации грибов находятся под землей

в гнезде термитов, практически не прорастают. Термиты наблюдают за своими рядками и регулярно их пропальывают, однако не прополка мешает росту ксиллярии. Его тормозят сами *Termitomyces* — если удалить их из гнезда, другие грибы немедленно заполонят все соты. Но вне термитника термитомицеты не могут противостоять ксиллярии, они лишь несколько задерживают ее развитие, но в итоге она побеждает. Почему же на грибных плантациях термитомицеты успешно противостоят конкурентам?

Ответ нашел Скотт Тернер, профессор колледжа экологии и лесного хозяйства Университета штата Нью-Йорк («Natural History» 2002, 111, 6, 62—67). По его мнению, фунгицидное действие оказывает именно сочетание термитомицета и термитника. Термиты живут в подземном гнезде, а построенный ими «небоскреб» служит для вентиляции гнезда (рис. 7). Термитник пронизан ходами, по которым циркулирует воздух: прохладный свежий опускается вниз, к насекомым, более теплый, нагретый жизнедеятельностью термитов и грибов, поднимается, а в верхней части сооружения, так называемых легких, происходит газообмен с атмосферой, поскольку стенки термитника пористые и пропускают воздух.

Одна колония насекомых дышит с интенсивностью большого кролика, но гнездо в целом потребляет столько же кислорода, сколько корова. Однако корове, если удастся запихнуть ее в термитник, будет там очень душно, потому что концентрация углекислого газа внутри сооружения много выше,

чем снаружи. Такая разница возникает из-за бурного дыхания термитомицетов, которые потребляют кислород в пять раз быстрее, чем другие древесные грибы, а к высокой концентрации CO_2 гораздо устойчивее. Так термитомицеты создают в термитнике особую атмосферу, в которой получают преимущество над ксиллярией.

Macrotermes кормят и распространяют грибы, и даже гнезда строят с учетом их роста, обеспечивая термитомицетам комфортную среду, пищу и защиту от конкурентов. Так что еще вопрос, кто кого культивирует.

Подводные огороды

Грибоводство, возникшее независимо у муравьев, жуков и термитов, немало способствовало распространению и эволюционному успеху этих видов, однако больше никто из насекомых этим путем не пошел. И все же нашли другие беспозвоночные, вкушающие преимущества грибной диеты. Это морские улитки *Littoraria irrorata*, обитатели прибрежного солоноватого мелководья.

Морские беспозвоночные охотно поедают грибы, растущие на мертвых растениях, которые покрывают морское дно. Грибы можно сделать более доступными, если подготовить для них почву, точнее, растительную ткань. *Littoraria irrorata* так и поступает («Proceedings of the National Academy of Sciences», 2003, 100, 26, 15643—15648, doi: 10.1073/pnas.2535227100).

Литторарии — обычные обитатели соленых маршей, на одном квадратном метре встречается от 40 до 500 особей. Эти улитки облюбовали листья злака *Spartina alterniflora*, который тоже в изобилии растет вдоль берегов прямо в воде. Улитки не едят листья, а проскребают на них своими терками-радулами длинные борозды. Ткань, лишенная защитного покрова, увядает и отмирает, и на ней поселяются грибы-аскомицеты. Вот эти-то грибы улитки с удовольствием потребляют. Кроме того, они откладывают на поврежденные, заселенные грибами участки листьев свои фекалии (пеллеты), богатые азотом и гифами грибов (рис. 8). Их много, средняя плотность составляет 22,75 пеллет на 10 см. Улитки переваривают только половину съеденного мицелия, и их фекалии обычно набиты гифами. Так литторарии не только засевают лист грибами, но и постоянно поддерживают их численность, откладывая пеллеты с кусочками гифов.

В этой ситуации улитки выступают как вредители растений — от их соскребания рост листьев сокращается на 60%. Но это необходимо: эксперименты показывают, что на целых листьях грибы не



8
Морские улитки проскребают на листе длинную полосу и щедро удобряют фекалиями — грибная грядка готова

растут, а без грибов литторарии жить не могут. Если высадить на здоровый, лишенный грибов лист молодых улиточек, которые только что вылупились, и в их желудках нет ни спор, ни кусочков мицелия, 48% молодняка погибает, растительная ткань для них не питательна. Чем больше грибов, чем они доступнее, тем быстрее растут улитки. Иными словами, фермеры портят живые листья, чтобы подготовить грядку для роста грибов.

Отличие от наземных фермеров, насекомых и людей, которые устраивают специальные плантации, засевают их и расширяют, удобряют, борются с патогенами и конкурентами и передают грибную культуру потомкам, морские улитки лишь изменяют среду, чтобы сделать ее более благоприятной для грибов. Их фермерство находится на более низком технологическом уровне. Зато, по мнению Брайана Силлимана из Университета Брауна и Стивена Ньювелла из Морского института университета Джорджии, эта технология из-за относительной простоты и преимуществ, которые она дает, может быть распространена гораздо шире, чем полагали ранее, особенно в таких сообществах, где много грибных спор, а потребители грибов в состоянии регулировать рост субстрата, в том числе в морских и пресноводных экосистемах.

Было бы ошибкой думать, что все животные-фермеры занимаются тем, что портят растения, чтобы вырастить на них грибы. Сотрудники университета Киото описали рыбок, которые разводят как раз растения («Biology Letters», 2006, 2, 593—596, doi: 10.1098/rsbl.2006.0528). Травоядная рыба-ла-

сточка *Stegastes nigricans*, обитающая на коралловых рифах вокруг островов Рюкю, разводит водоросли на территории, которую защищает от других любителей растений и от сорняков. Эта рыбка ест единственный вид красной водоросли *Polysiphonia* sp. Водоросль хорошо размножается и спорами, и фрагментами. Осваивая новое местообитание, *S. nigricans* удаляет все менее питательные водоросли и засеивает его полисифонией. Эксперименты показали, что в отсутствие прополки плантацию быстро заполняют вредители и другие водоросли, которые заглушают *Polysiphonia*. В результате своей неутомимой деятельности рыбка отбирает самые питательные водоросли и обеспечивает им комфортные условия для роста. Зато и вид полисифонии, разводимый *S. nigricans*, встречается только на плантациях рыбы-ласточки и больше нигде.

Погонщики бактерий

Все описанные выше случаи фермерства животных известны уже несколько лет, а то и дольше. Хит сезона — фермерство амёб. Да, и они тоже. Простейшие вообще не так просты, как кажутся. Герой дня — общественная амёба *Dicystostelium discoideum*. Разводить грибы ей не по силам, и она специализируется на бактериях.

Диктиостелиум — почвенный хищник, охотник на микробов. Когда еды достаточно, он живет как одноклеточный организм и размножается простым делением. Но когда все съедено, амёбы объединяются и уходят на новое место. Происходит это так. Голодные простейшие выделяют молекулы циклоаденозинмонофосфата (цАМФ). На этот сигнал сползаются до ста тысяч клеток и объединяются, образуя псевдоплазмодий. Псевдоплазмодий проходит определенные стадии развития (см. фото в начале статьи), одна из которых — ползающий «слизень», достигающий 2—4 мм в длину, и в конце концов формирует плодовое тело — сферический сорус на длинной ножке. Клетки, образующие ножку, обречены на гибель. Однако 80% клеток попадают в сорус, превращаются в споры и с высоты ножки улетают в новое место, возможно, более сытное. Из спор выходят одиночные амёбы и приступают к охоте. Созревание плодового тела занимает 24 часа.

Диктиостелиум — популярный модельный объект для исследований многоклеточности, химической сигнализации и социальности. Существуют лабораторные штаммы, которых кормят лабораторными же штаммами бактерий *Klebsiella aerogenes* или кишечной палочки *Escherichia coli*. Но когда ис-



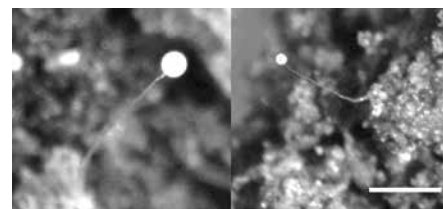
ЗЕМЛЯ И ЕЕ ОБИТАТЕЛИ

следователи взяли за дикие штаммы диктиостелиума, они обнаружили, что некоторые клоны, образуя псевдоплазмодий, прихватывают с собой бактерии и рассеивают их вместе со спорами. Бактерии на новом месте размножаются, и диктиостелиум их потом ест.

Основной исследователь симбиоза «диктиостелиум — бактерии» — американская исследовательница Дебра Брок из лаборатории профессора Джона Страссмана. Сейчас они работают в Университете Джорджа Вашингтона в Сент-Луисе, США.

Клоны диктиостелиума, которые сеют и собирают свой бактериальный урожай, исследователи назвали примитивными фермерами. Остальные попали в категорию не-фермеров, но давайте мы выберем для них другое название. Кто не фермер, тот охотник.

Фермерство присуще не всем клонам диктиостелиума, а примерно трети из них. Это постоянное свойство: фермер всегда им остается, а охотник никогда не станет фермером. У фермеров сорус в несколько раз больше, чем у охотников (рис. 9), а нагруженный бактериями «слизень» ползает существенно медленнее. То ли он отягощен своей ношей, то ли ему просто не надо далеко ползти,



9
Фермер Охотник
Плодовое тело со спорами у фермера заметно больше, чем у охотника

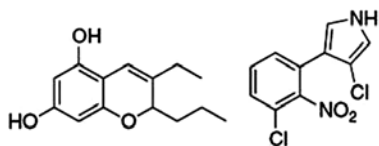
раз его еда всегда с ним. Оказавшись на питательной среде, бактерии тут же начинают размножаться и создавать угоidia для диктиостелиума. Фермер не пропадет в месте, где нет бактерий, но, откровенно говоря, такая ситуация кажется маловероятной. Трудно представить себе почву, лишенную микроорганизмов. Так зачем все это?

Некоторые скажут, что для страховки, на всякий случай, но страховка получается дороговата. Фермерам приходится чаще «переезжать», потому что они



оставляют несъеденными примерно половину бактерий — поголовье, которое берут с собой. К тому же на месте, где много собственных бактерий, фермеры образуют меньше спор, чем охотники. Но с другой стороны, люди поступают так же: кругом полно растительности, а они вместо того, чтобы выкапывать корни, сажают морковь. Возможно, диктиостелиум берет с собой самые любимые и питательные виды бактерий. Это еще предстоит проверить.

Среди бактерий, разводимых фермерами, съедобных только половина. Зачем нужны остальные? Задавшись этим вопросом, Дебра Брок с коллегами занялись изучением взаимоотношений диктиостелиума с двумя штаммами бактерии *Pseudomonas fluorescens*, один из которых, PfV, съедобен, а



10
Хромен и пирролнитрин

другой, PfA, нет. (Это вообще очень полезный методический прием — разбить одну глобальную проблему на много элементарных и разбираться с ними поодиночке.) Сравнив метаболические профили бактерий, ученые выяснили, что несъедобная псевдомонада синтезирует и выделяет в окружающую среду две небольшие молекулы (рис. 10).

Один из метаболитов, хромен, усиливает спорообразование у фермеров и подавляет его у охотников. Пирролнитрин обладает сходным действием и вдобавок подавляет рост микробных патогенов и почвенных грибов. Очевидно, фермеры держат при себе штамм PfA для защиты от патогенов и конкурентов-охотников, а конкуренция между ними плотная: разные клоны иногда соседствуют на кусочке почвы массой 0.2 г, и охотники претендуют на урожай фермеров. А те их пирролнитрином! Причем сами фермеры адаптировались к действию токсинов. При концентрации 1 нг/мл, которая близка к природной, охотники практически не образуют спор, а фермерам хоть бы что.

Пищевой штамм PfV отличается от токсичного единственной точечной мутацией в регуляторном гене *gacA*. В результате замены возникает стоп-кодон и образуется нефункциональный белок. Исследователи полагают, что псевдомонады обретают пищевую ценность в результате каких-то неустановленных эффектов гена *gacA*, потому что в присутствии пирролнитрина и хромена PfV не становится несъедобным, диктиостелиум его с аппетитом ест.

Определив последовательности гена *gacA* у нескольких других штаммов *P. fluorescens*, ученые пришли к выводу, что «съедобная» мутация произошла у токсичного штамма, опекаемого *D. discoideum*. Удивительно, что такая вредная для бактерии мутация сохранилась в ходе отбора. Исследователи полагают, что причина кроется в родственной селекции: часть бактерий погибает, но значительную их часть сытый *D. discoideum* перевезет на новое место.

Еще одна «охранная» бактерия фермеров — *Burkholderia* sp. Обычно ее доля в бактериальной популяции диктиостелиума составляет от 5 до 10%. Даже самое малое количество буркхолдерии губительно для охотников и их спор, так что в ее присутствии охотничьи клоны ни поест толком не могут, ни переселиться в другое место. Исследователи полагают, что буркхолдерия выделяет в среду токсичное вещество, пока не установленное. Фермеры к нему адаптировались, но в больших количествах буркхолдерия слегка подавляет и фермерское спорообразование.

Если случится невероятное и вокруг диктиостелиума не окажется других бактерий, кроме буркхолдерии, она сможет, хоть и скуденно, прокормить фермерские клоны. Охотники в такой ситуации погибают.

Вопрос в том, почему *Burkholderia* или несъедобные штаммы *P. fluorescens* не вредят фермерским клонам. Очевидно, фермеры в ходе эволюции выработали устойчивость к сублетальным эффектам. Переезжая, они прихватывали в плодовое тело все бактерии подряд, а микроорганизмы ведь принимают энергичные меры к тому, чтобы не быть съеденными, в том числе выделяют токсины. Амебы сначала травились, но, поскольку выгоды фермерства перевешивают подобное неудобство, фермеры в конце концов выработали устойчивость к новым партнерам и, возможно, даже зависимость от них. Охотники бактерий не собирали, опыта длительной совместной экспозиции не имели, и потому они уязвимы к токсинам. О том, почему лишь некоторые амебные клоны стали образовывать ассоциации с бактериями, как и о принципиальной разнице между фермерами и охотниками, ученые пока ничего сказать не могут.

Дебра Брок сравнивает системы хозяйствования диктиостелиума и муравьев: и те и другие культивируют бактерии, защищающие их урожай от вредителей или конкурентов. Люди действуют подобным же образом, есть у них и ружья, и собаки, и пестициды с гербицидами. Нет ничего нового под солнцем.

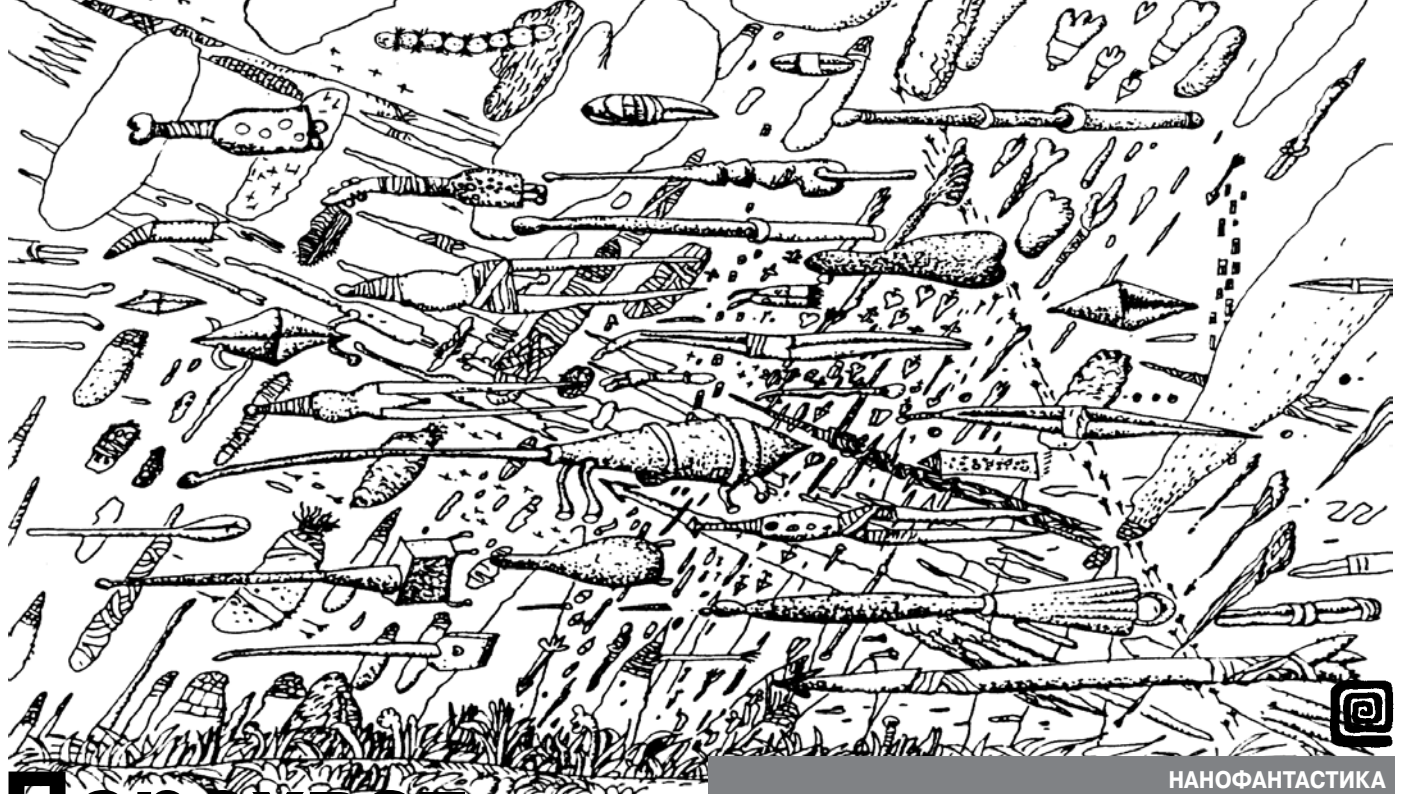
Подробности бактериоводства — для самых дотошных

Сага о фермерстве диктиостелиума состоит пока из трех статей («Nature» 2011, 469, 393–396, doi:10.1038/nature09668; «Proc. Natl Acad. Sci. USA» 2013, 110, 14528–14533, doi:10.1073/pnas.1308199110; «Nature Communications», 2013, 4, 2385, doi: 10.1038/ncomms3385). Безусловно, их будет больше. Ученые активно работают. Они, между прочим, упоминают, что более ста лет назад в симбиозе с бактериями был заподозрен другой вид диктиостелиума, *D. mucoroides*, но тогда исследователи не смогли доказать это экспериментально. Дебра Брок с коллегами доказала.

Когда исследователи обнаружили, что сорусы некоторых клонов *D. discoideum* содержат не только споры, но и бактерии, они выбрали по четыре клона с бактериями и без, собрали содержимое сорусов у шести случайно взятых плодовых тел каждого клона и посеяли на питательную среду, чтобы увидеть бактериальный рост. Пробы подтвердили, что сорусы некоторых клонов постоянно содержат живые бактерии, а сорусы безбактериальных клонов бактерий не содержат никогда. Ученые обработали несколько клонов антибиотиками, убивающими бактерии, но не амебу. Диктиостелиум, освобожденный от микроорганизмов, пересадили на среду с мертвыми клесцилами. Их можно было есть, но нельзя взять с собой в плодовое тело. Так исследователи получили безбактериальные клоны диктиостелиума, которые перенесли на среду с живыми микроорганизмами. Все фермеры снова образовали ассоциации с бактериями, а охотники — нет.

Если поместить споры диктиостелиума на среду, питательную для бактерий, но лишенную их, бактерии, перенесенные вместе со спорами, прекрасно на ней растут, диктиостелиум их потребляет, растет и спорулирует, а штаммы без бактерий с трудом образуют несколько спор. Следовательно, фермеры питаются бактериями, которые переносят. Но если их плодовые тела предварительно обработать антибиотиками, они будут так же беспомощны, как и охотники.





Перехват

НАНОФАНТАСТИКА

Сообщение с американской базы на Землю было кратким и емким: «Бомба взорвана успешно».

Неслыханный демарш со стороны американцев. Испытания любого оружия на Марсе, даже в пределах своей зоны ответственности, были категорически запрещены всеми существующими соглашениями.

Сразу после этого на русской базе «Марс-1» состоялось чрезвычайное совещание командования.

— Москва пока молчит. Видимо, тоже совещаются. Значит, будем действовать по ситуации. Итак, что мы имеем? — Полковник Михайлов оглядел офицеров. Кого-то вернули из патруля внешнего осмотра купола, кого-то буквально выдернули из бассейна или комнаты релаксации.

— Сообщение стандартной цифровой кодировки. Странно, что они не применили фразу-код. Не ожидали перехвата? — Майор выглядел озадаченным.

— Американцы не идиоты. Раз послали сообщение открытым текстом, значит, просчитали развитие событий и не увидели необходимости применять все степени защиты. Единственное объяснение — они понимали, что мы и так узнаем о проведенных испытаниях из внешних наблюдений. Дайте данные за последние сутки. — Михайлов устало потер виски.

Совершенно некстати подобная эскалация напряженности. База успешно развивалась. Сразу несколько проектов начали приносить плоды. С американской базой наладили партнерство, что там говорить, у Михайлова с командующим американской базы полковником Шелли установились почти дружеские отношения.

Появилась голограмма поверхности Марса, на фоне которой мерцали цифры графиков и диаграмм.

— Ничего необычного. Сейсмологи не зафиксировали ничего, напоминающего взрыв, — прокомментировал картинку майор.

— Москва потребует подтверждений нарушения договора. Направьте всех пилотов на прямой осмотр поверхности, американский сектор пока не трогать. Сейсмологи пусть ищут зацепку — любое отклонение за последние дни. Взрыв не мог не оставить следов, — приказал Михайлов.

— Товарищ полковник, разрешите обратиться! Вот этот сектор накрыла песчаная буря. И мы, и американцы знали, когда она

начнется. Я бы на месте американцев провел испытания там, перед самым началом бури. Идеальная маскировка, — вмешался молодой амбициозный лейтенант Соколов.

— Когда кончится буря? Сразу прошерстите сектор вдоль и поперек.

— Может, свяжетесь с Шелли? — предложил майор.

— И что скажу? «Дружище, не подскажешь, где вы взорвали бомбу? А то мои люди в упор не видят». Представляю, что мне ответит Шелли, с его вечными шуточками, — впервые проявил раздражение Михайлов. Впрочем, тут же взял себя в руки. Тем более вошла Танечка. Все мужчины невольно поглядели на нее — форма Танечке очень шла.

— Товарищ полковник, экстренное сообщение. Американцы официально объявили о рождении первого человека на Марсе. Они держали это в тайне до последнего момента, — чуточку волнуясь перед таким количеством мужских глаз, доложила девушка.

Повисла секундная пауза, и Михайлов снова показал нехарактерную для него эмоциональность, стукнув кулаком по столу. Танечка вздрогнула, округлив глаза.

— Ну Шелли, ну шутник! Отбой всем. Пилотам предоставить отдых. Ладно, Шелли, за мной должок. — Михайлов улыбался и хмурился одновременно.

Первым не выдержал лейтенант Соколов.

— Товарищ полковник, уже понятно, что это сообщение означало успешные роды. Но в чем юмор?! — воскликнул он.

— Учите историю, лейтенант. Когда американцы в тысяча девятьсот сорок пятом провели первые в истории Земли ядерные испытания, их президент Трумэн находился в Германии, в Потсдаме. И ему направили кодовое сообщение. Оно гласило: «Роды прошли успешно», — пояснил Михайлов.

— Перевертыш, — усмехнулся лейтенант.

— Все свободны. Кстати, наши первые яблоны на Марсе уже дали урожай? — спросил Михайлов.

— Так точно, товарищ полковник. Уже почти все съели, — сверкнула белыми зубками Татьяна.

— Отправьте те, что остались, на американскую базу. Мамаше витамины, а американцам напоминание, что и мы в чем-то первые.

Андрей Лободинов

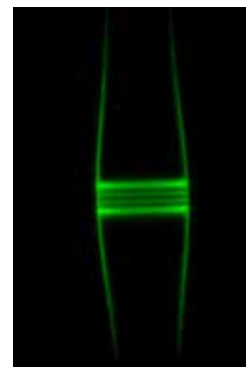
Ловцы света

Создан переключатель потоков света из одного-единственного атома

«Physics», 2013, 6, 121; doi: 10.1103/Physics.6.121

Оптики могут поймать свет, идущий по оптическому волокну, в так называемую бутылку (см. фото) — резонатор, размер которого кратен длине волны света. Он ловит весь свет, не пропуская его дальше по волокну. А вот если к нему присоединить другое волокно, обстоятельства изменятся, и свет по этому второму волокну уйдет из ловушки. Резонатор настроен столь точно, что достаточно ввести в него всего один атом, чтобы он открылся. Именно этим и занимались физики из Венского технологического университета во главе с профессором Арно Раушенбютелем.

Они вводили в резонатор атом рубидия и изменяли его квантовое состояние. В одном состоянии он запирает резонатор, а в другом — отпирает. Изменять квантовое состояние атома с помощью лазерного импульса физики уже давно умеют, за это дали Нобелевскую премию 2012 года (см. «Химию и жизнь», 2012, № 11). Самое интересное, что квантовый объект может одновременно пребывать в двух квантовых состояниях, то есть атом рубидия одновременно пропускает свет по обоим волокнам. «Раньше для демонстрации таких эффектов нужно было сложное оборудование. А теперь достаточно обычных оптических волокон, которые есть в любой лаборатории», — замечает профессор Раушенбютель



В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Суть игромании

Аномалии в мозгах игрока и наркомана задевают разные области мозга.

Агентство «AlphaGalileo», 5 ноября 2013 года

«Не за то отец сына бил, что играл, а за то, что отыгрывался», — гласит старинная мудрость преферансиста. Стремление отыграться, иллюзия, что удача — вот она, рядом, ее надо только схватить за хвост, ведет к патологической игромании, которая ныне считается почти такой же страшной болезнью, как влечение к наркотикам. Исследователи из Гренадского университета во главе с Хосе Сезаром Пералесом, впрочем, установили, что сходство этих двух болезней неполно: пристрастие к кокаину и пристрастие к играм связаны с разными аномалиями в активности мозга. В первом случае нарушается работа сектора, отвечающего за импульсивные желания. Совсем не так обстоит дело у игроков: у них нарушается процесс принятия решения, человек не способен отличить правильный выбор от неправильного и в результате лишается способности оценивать свои потери.

Исследователи установили, что сходным образом на человека действуют отрицательные эмоции, печаль. Отсюда следует, что патологических игроков прежде всего надо избавлять от негативных эмоций, которые, собственно, и заставляют человека забываться в игре, а также учить их правильно оценивать возможные потери от собственных действий.

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

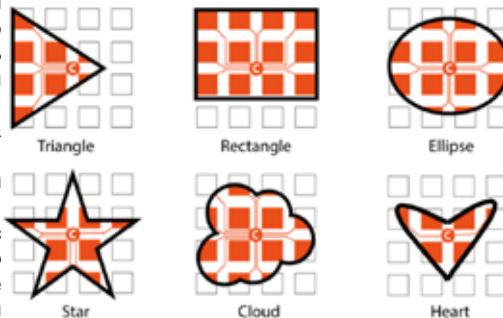
Режь схему!

Совсем скоро электронные устройства покупатель сможет кроить по своему желанию.

Агентство «AlphaGalileo», 8 октября 2013 года

Инженеры из саарбрюккенского Института информатики Макса Планка вместе с коллегами из Массачусетского технологического института придумали, как можно напечатать электронное устройство — массив датчиков нажатия — чтобы потом ему можно было придать какую угодно форму, сохранив при этом работоспособность. Электронику такого рода печатают на субстрате, например, прозрачной пленке, специальными чернилами, при этом лист формата А4 обходится (при изготовлении на лабораторном принтере) в один доллар. При желании подобные листы можно наклеивать друг на друга с помощью специальной электропроводящей ленты, которую изготавливает компания 3М. А применяют устройство там, где нужно зафиксировать факт нажатия на него, например, пальцем и выполнить какое-то действие, скажем, издать звук. Считается, что подобная электроника в недалеком будущем войдет в нашу жизнь и будет везде — от интерактивных игрушек до псевдоживых обоев умного дома.

Такой датчик состоит из контроллера, преобразующего информацию, и электродов, ее поставляющих. Все они соединены проводниками. Если геометрия проводников неверна, то попытка разрезать электросхему сильно ее повредит. А немецкие инженеры во главе с аспирантом Симоном Ольдербингом придумали такое расположение проводников и электродов, что из листа можно вырезать любую фигуру, и схема сохранит работоспособность.



В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Добавка к чаю

Лекарственные сборы могут содержать совсем не те растения, что указаны на этикетке.

«BMC Medicine», 2013, 11, 222; doi:10.1186/1741-7015-11-222

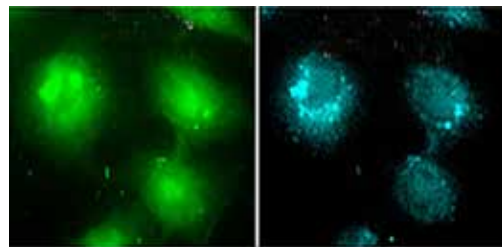
Исследование сборов для похудения, о которых шла речь в статье про кирказон («Химия и жизнь», 2013, № 10), показало, что они содержат ядовитые добавки. Что это, частная ошибка или распространенная практика? Ответ на вопрос нашли канадские ученые из университета Гуэльфа во главе со Стивеном Ньюмастером, которые проанализировали 44 сбора растений от 12 компаний и 50 образцов листьев, продаваемых в Северной Америке. Поскольку идентифицировать по внешнему виду компоненты смеси невозможно, они использовали ДНК-штрихкоды, то есть искали короткие фрагменты ДНК с характерными для каждого растения последовательностями нуклеотидов.

Анализ показал, что посторонние растения, не указанные на этикетке, содержатся в 59% изученных образцов! В большинстве остальных обнаружались еще и замены одного растения на другое. Всего из 44 образцов от добавок, замен или использования растений-наполнителей были свободны 14 образцов, и только 2 компании из 12 поставляли чистую продукцию. Поскольку некоторые из неуказанных растений были ядовиты, такая практика требует принятия серьезных мер, особенно с учетом популярности травяных сборов.

Внутренний свет

Создан краситель, который дает яркое инфракрасное свечение.

Флуоресцентная микроскопия, при которой в живой образец вводят вещество, светящееся под внешним воздействием, и смотрят за его перемещениями, — важный метод исследования. Но есть проблема: собственное свечение биологических тканей. Оно смазывает картинку (на фото — слева). А избежать этого можно, если вводить в качестве красителя вещество, светящееся в ближнем инфракрасном диапазоне. Такой свет хорошо проникает сквозь живые ткани, а сами они в этой части диапазона почти не излучают. Проблема, стоящая на пути решения, в том, что такие красители нестойки на свету; распадаясь, могут дать ядовитые вещества.



Более-менее стойки и безопасны красители на основе лантаноидов, но их свечение очень слабо. Исследователи из орлеанского Института молекулярной биофизики во главе со Стефаном Пету смогли этот недостаток исправить. Они применили металлоорганические каркасные структуры, которые позволяют сконцентрировать металлические ионы, одновременно прочно связав их с органическим веществом. Такие структуры оказались малотоксичными и не разлагались в воде, что очень важно для биологических исследований. Первые микроскопические изображения с использованием новых красителей уже получены. Паразитное самосвечение тканей на них мало (на фото — справа). Кстати, в России красные и дальне-красные флуоресцирующие белки, свечение которых хорошо заметно в образцах ткани, создают в московском Институте биоорганической химии РАН под руководством академика С.А.Лукиянова.

Агентство
«AlphaGalileo»,
10 октября 2013 года

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Печать выгодней штамповки?

Распечатывая предметы на трехмерном бытовом принтере, можно сэкономить энергию.

Движение под девизом «сделай сам» с появлением бытовых трехмерных принтеров размером с микроволновку и стоимостью в 500 долларов обретает все больше сторонников. Интернет полон инструкций и чертежей для изготовления на таком принтере тысяч разнообразных предметов, от игрушек до одноразовых пистолетов. Сырьем для принтеров служат пластиковые стержни.

Среди аргументов противников такого кустарного подхода есть следующий: массовое производство обеспечивает экономию энергии. Исследователи из Мичиганского технологического университета во главе с Джошуа Пирсом решили проверить, так ли это. Они подсчитали затраты энергии на изготовление детских кубиков, наконечника для лейки и деталей соковыжималки для цитрусовых. Причем считали полные затраты — в частности, на производство сырья и на транспортировку готовых изделий из Китая в США. Баланс оказался в пользу самодельных: их изделия требуют на 18—60% меньше энергии, чем фабричные. Наибольшее различие дали детские кубики и детали соковыжималки, которые можно распечатывать полыми, экономя таким образом еще и материалы. Стержни из экологически дружелюбного полилактата (его делают из кукурузы) давали большой выигрыш по сравнению с АБС-пластиками, поскольку у тех выше температура плавления. Правда, лидером по экономии энергии оказались все-таки деревянные кубики, сделанные столяром.

«ACS Sustainable Chemistry & Engineering», сентябрь 2013, dx.doi.org/10.1021/sc400093k

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

Мамы, берегите нервы

Самки крыс, пережившие стресс сразу после рождения, сохранили память о нем на всю жизнь.

Линдси Карини с коллегами из Университета Тафтса поставили любопытный опыт. В клетку к крысе с новорожденными крысятами на один час подсаживали самца-крысу, и так пятнадцать дней подряд. Самка совсем не радовалась необходимости делить кров с незваным гостем, она впадала в стресс, демонстрировала повышенную тревожность, что влияло и на ее способность к кормлению крысят, и вообще на уход за ними.

Как выяснилось, этот конфликт сказался и на детях — молодые крысы из экспериментальной группы, так же, как и их матери, хоть у них самих никакого стресса не было, после рождения крысят проявляли повышенную тревожность, плохо ухаживали за новорожденными, у них было мало молока. Это подтверждалось объективными данными — повышенной выработкой стрессового гормона кортикостерона, пониженной — окситоцина и пролактина, которые отвечают за материнское поведение. «Модель хронического социального стресса, использованная в нашей работе, позволяет оценить, как такой стресс сказывается на материнском поведении у животных и людей», — отмечает руководительница работы.

«Hormones and Behavior», сентябрь 2013; doi: 10.1016/j.yhbeh.2013.08.011

В з а р у б е ж н ы х л а б о р а т о р и я х

От чего будем лечиться?

Лекарство от одной болезни оказалось полезным при лечении совсем другой

При рассеянном склерозе клетки иммунной системы начинают уничтожать миелиновую оболочку нервных волокон. Из-за этого сигналы прекращают проходить, и человек медленно, но верно теряет способность к управлению своими членами. Причины болезни неизвестны, методы лечения не найдены. Единственный способ облегчить страдания пациента — подавление иммунных реакций, что провоцирует другие болезни, а кроме того, препараты имеют сильные побочные эффекты.

Одна из загадок рассеянного склероза состоит в том, что олигодендроциты, клетки, которые в норме должны восстанавливать миелиновую оболочку, больше не образуются — соответствующие клетки-предшественники перестают взрослеть. Ученые из Скриппсовского исследовательского института в Ла Хойе во главе с Брайаном Лоусоном обратили внимание именно на эту особенность. Они провели скрининг базы данных на 100 тысяч низкомолекулярных соединений и выявили несколько, способных восстанавливать производство олигодендроцитов. К счастью, среди них оказалось уже известное вещество — бензтропин, одобренный для лечения болезни Паркинсона. Опыты на мышках со стимулированным рассеянным склерозом показали, что миелиновая оболочка во время приема этого вещества практически не повреждается. Поскольку воспалительный процесс продолжался, дело было именно в быстром восстановлении оболочки. Более того, применение бензтропина позволило в десять раз сократить дозу иммунодепрессантов, применяемых при традиционном лечении рассеянного склероза. Американские ученые надеются вскоре начать клинические испытания — их проще проводить с веществом, уже разрешенным к применению.

Агентство
«NewsWise»,
7 октября 2013 года.

Выпуск подготовил кандидат физико-математических наук **С.М.Комаров**

На чистую воду

Почти месяц мне названивала девушка из крупной компании, продающей фильтры для воды, предлагала проверить нашу воду на загрязнения. У нас как раз возникла проблема с деревенской скважиной, и я задумался, не исследовать ли воду из нее. При очередном звонке я поинтересовался, наличие каких веществ будем проверять. «Всех», — был ответ. «И кальция?» — уточнил я. Девушка попросила перезвонить, когда узнает наверняка. С этого момента я решил, что прежде чем доверяться такой аттестации, необходимо аттестовать самих специалистов.

Сказав девушке, что приготавливаю воду из своего источника, в лаборатории я набрал баночку воды из дистиллятора. Вечером приехал молодой человек, вооруженный убедительным взглядом, галстуком и ящичком с приборами. Он спросил, доволен ли я употребляемой водой, после чего стал рисовать схему водоснабжения, согласно которой вода после очистных и труб делается грязнее, чем заводские стоки. Ненароком заметил, что сам видел, как «питьевую» воду набирают в бутылки прямо из городского пруда или с колонки. После прелюдии мы приступили к эксперименту.

Он достал прозрачные пластиковые стаканчики и попросил набрать пробы воды из-под крана — холодной и горячей, из домашнего фильтра, из бутылки и из моего источника. Аккуратно расставив стаканчики на столе, молодой человек достал прибор, названный им «ТНС-метр», и градуировочную таблицу, поясняющую, как число, отображаемое на экранчике, связано со степенью загрязнения. Значения от 0 до 5 указывают на дистиллят, от 5 до 40 на питьевую воду, более 100 — непригодна для питья. Обратив мое внимание, что прибор показывает ноль, специалист стал погружать его поочередно в каждый стаканчик, заносил цифры в специальную таблицу. На вопросы, как работает прибор и что значат цифры, отвечал, что измеряется проводимость и указываются некие условные единицы, специально отградуированные (чистая правда — прибор был обычным кондуктометром!). Во всех пробах, кроме дистиллята, значения оказались более 100. Вода из фильтра — 102, то есть «лучше» бутилированной (108), что дало повод упрекнуть нас в излишних тратах. Горячая — 152, чуть выше холодной — 130. Но я ждал измерения дистиллята, надеясь, что на нем прибор покажет «грязь». К моему удивлению, прибор показал 001, что неприятно удивило и молодого человека, заставив его отметить, что это наичистейшая вода, но пить ее нельзя, поскольку она хороший растворитель и вымоет все полезные вещества. Так, перемещаясь от правды к полуправде, мы подошли к главному эксперименту по электролизу.

Небольшой прибор с катодом и анодом (по словам представителя фирмы, алюминиевым и, возможно, медным), подключили к сети через розетку, хотя электролиз требует постоянного тока, а никак не переменного. Впрочем, задай я такой вопрос, наверняка услышал бы о преобразователе в приборе. После того как электроды побывали в каждом стаканчике, мой скепсис был подорван. Везде, кроме дистиллята, плавали бурые и черные хлопья. Тут же мне предъявили таблицу, указывающую на наличие в воде тяжелых металлов и ржавчины. Психологический эффект потрясающий.

Деморализованный от отсутствия мыслей, я прошу еще раз замерить ТНС-метром, и везде значения остаются прежними. В этот момент мне ничего не оставалось, как размышлять вслух, и

Результаты опыта. Слева направо: вода «фирменная» (чистая и с солью), дистиллят, бутилированная, из обычного фильтра, горячая и холодная из-под крана



я спросил молодого человека, как исследователь исследователя: откуда в прозрачной воде взялись хлопья? Ответ: примеси, неактивные в воде, при электролизе стали вступать в реакцию и выпали в осадок. Хорошо, говорю я, но почему значение ТНС-метра осталось прежним, если положительно и отрицательно заряженные ионы прореагировали и дали нейтрально заряженный осадок? Молодой человек пытался поверить мне на слово, но я включил доверительно-изумленный тон экзаменатора, и ему пришлось задуматься самому.

Он не нашел уловку, что электролиз длился недолго и концентрация почти не изменилась, сказав, что это не в его компетенции. Тогда мне пришлось оказать небольшое психологическое давление — я спросил, смотрел ли молодой человек сериал «Во все тяжкие» и помнит ли он, что пренебрежение хиральностью энантиомеров иногда завершается перерезанным горлом.

На этой радостной ноте мы перешли к измерениям воды из фильтра от его родной компании (он не получал ее при мне, а привез с собой в обычной «полторашке»). Вода оказалась чуть хуже дистиллята — «005», и при электролизе слегка порыжелая, что объяснялось наличием полезного атомарного железа. Из портфеля были извлечены брошюры с чудодейственным фильтром, красочными схемами, согласно которым вода проходит через уголь, очень чистый уголь, потом активированный уголь, осмотическую мембрану с дырочками для молекул воды (прожжены лазером) и еще два слоя сверхинновационного угля. Стоимость комплекта высока — 39940 рублей, но что важнее, здоровье или деньги?

Я чувствовал, что исчерпал все возможности, чтобы вывести молодого человека на чистую воду. Показания ТНС-метра строго коррелировали с данными электролиза. Если, рассуждал я, ТНС-метр указывает на наличие ионов, то фактически определяются качества воды как электролита. Естественно, что дистиллят с нормализованным pH = 7 был плохим электролитом, а все остальные образцы — хорошими. Но как это проверить?.. Я делаю круг по кухне и вдруг — эврика! — замечаю солонку. Раз, говорю, мы ничего не понимаем, давайте ради любопытства добавим в вашу воду крупинку поваренной соли. Молодой человек дружелюбно соглашается. Бросаю крупинку, и показания ТНС-метра с 005 начинают расти — 10, 50, 120, 290, 380! Ну, говорю, давайте теперь электролиз. Молодой человек достает уже зачехленный прибор и признается: сами проверяли — там будет черная накипь. Как только он погружает электроды в стакан, мгновенное бурление образует бурую пену.

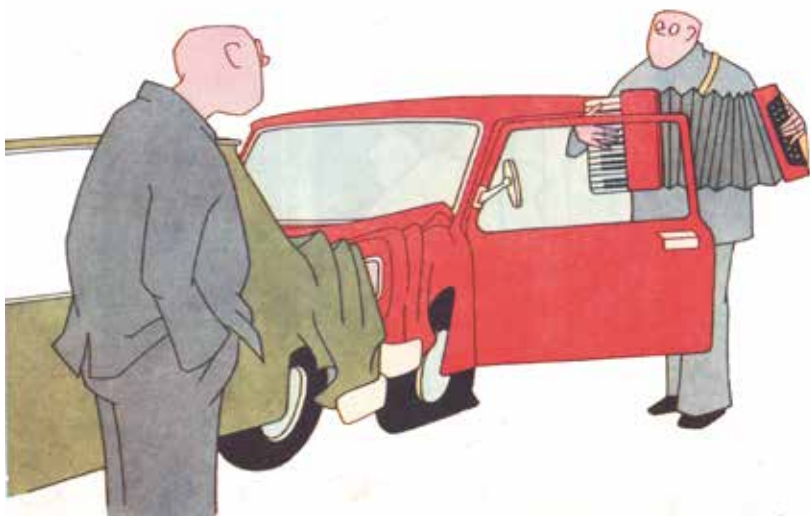
Итак, посмотрим, что же произошло (психологический фактор исключаем). С помощью кондуктометра оценивается проводимость воды, вызываемой как примесными ионами, так и ионами H^+ и OH^- , зависящими от жесткости (pH) воды. На этом этапе все честно. В пробах с хорошей проводимостью при электролизе выпали черные хлопья, но проводимость воды не изменилась, следовательно, никакие ионы в воде в реакцию не вступали. Да и для получения такого обильного осадка концентрация ионов (например, железа) должна быть крайне высокой, невозможной в воде. Собственно говоря, только бурление и имеет отношение к электролизу, оно говорит о выделении газообразного водорода или, скорее, хлора. Здесь и заключается обман — пугающий осадок вызван разложением электродов. Наверняка они состояли из графита или железа, разлагающихся под действием сильного тока (а это зависит от проводимости воды). Одна крупинка соли превращает дистиллят-дизэлектрик в отличный электролит и, брошенная в их наичистейшую воду, разоблачает мошенничество.

К сожалению, молодой человек не был невинным исполнителем чужой хитрости. Он видел, что в доме три ребенка и не так чтобы богато. Эти деятели знают, что манипулируют, и будут обманывать и пожилых людей, и заботливых мамашек, и щепетильных бизнесменов. В любом случае, если вам доходчиво объясняют, как вредны грязная вода, пылевые клещи, антенны или ГМО, — пусть это будет повод задуматься о здоровье, спорте и правильном питании, но не покупайте то, что они продают.

Кандидат физико-математических наук

А.С. Ворох,

Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург



Художник Мирослав Бартак



НАУКА И ОБЩЕСТВО

Смерть на колесах

Среди причин смерти есть так называемые внешние причины — к ним относятся все, кроме болезней. Деление не вполне четкое: болезнь может вызвать внешнюю причину, а внешняя причина — болезнь. Но скажем так: это то, чего можно избежать, если вести себя разумно и если окружающие не будут нарушать законов. Внешние причины — один из трех главных классов причин смерти в России, они дают 11—15% всех смертей, втрое большую долю, чем в Великобритании, Испании, Германии, вдвое большую, чем в Италии или Швеции. Примерно такой же процент россиян уносит рак, но внешние причины губят людей молодых и средних лет и поэтому сильно уменьшают среднюю продолжительность жизни в стране.

Убийства, самоубийства, отравления и утопления существовали всегда, но ДТП — порождение новой эпохи. У римлян были мощные дороги с односторонним движением, правила парковки, тротуары — и несчастные случаи. Однако всерьез дело началось в XIX веке, в быстро растущих городах Великобритании. В 1875 году здесь погибло 1589 человек, в основном при помощи лошадей — Остап Бендер был не оригинален. Автомобили приподнялись: первый был создан в 1886 году, первый наезд на пешехода случился через 10 лет, первое ДТП с летальным исходом еще через 13 лет. Но со временем автомобили обогнали лошадей.

Ныне в России среди внешних причин смерти дорожно-транспортным происшествиям принадлежит важное, хотя и не первостепенное место. С 2009 по 2012 год на их долю приходится около 10% смертей в этом классе причин — от самоубийств, убийств и отравлений погибло больше. Но это в относительных величинах, а в абсолютных с 1985 по 2012 год произошло — точнее, было зарегистрировано

— 5 миллионов ДТП, в которых погибли 0,8 миллиона человек. (Вклад 2012 года — более 20 тысяч летальных исходов.) Погиб Саратов — или Краснодар? Ранен Санкт-Петербург — или половина Москвы?

В «нулевые» годы нашего века число ДТП и раненых в большинстве стран падало, а в России росло. Смертность от ДТП в России в расчете на 1000 жителей намного выше, чем в большинстве развитых стран: в 1,5—2 раза больше, чем в Греции, Литве и Польше, и в 2—5 раз больше, чем в остальных европейских странах. И это при том, что российский автопарк меньше, чем во многих из них, — например, в Германии, Италии, Швейцарии, Литве, Канаде, Франции автомобилей (на 1000 человек) вдвое больше. Поэтому эффективность российского автомобиля как средства нанесения травм или убийства выше.

Хотя все участники дорожного движения могут получить травму или погибнуть, пешеходы и велосипедисты рискуют больше. Там, где смертность от ДТП уменьшилась, успех достигнут в значительной мере за счет понижения уязвимости именно этих участников — доля пешеходов среди погибших там 10—15%. В России до 2009 года она превышала 50% и лишь сейчас опустилась до 30%. Вклады наших водителей, пассажиров и пешеходов примерно равны — по трети, а в Европе доля водителей среди погибших 60%, пассажиров и пешеходов — по 20%. Согласно отчету ГИБДД, например, за 2011 год, в 85% ДТП был виноват водитель, в 16% — пешеход, в 22% — плохое состояние улиц и дорог (бывает и несколько причин сразу).

Серьезный фактор смертности от ДТП — злоупотребление алкоголем. Многие считают, что водители в России часто садятся за руль не вполне трезвыми, и в этом видят причину всех бед. Но опыт многих стран говорит об отсутствии тесной связи между аварийностью и жесткостью норм допустимого для водителя потребления алкоголя. В Америке, например, не столь жестки нормы, сколь жестоки последствия для водителя, попавшегося на этом деле (впрочем, там и за сотовый за рулем карают, не Москва, чай). Введение и отмена «нулевого промилле» на ситуацию заметно не повлияли — доля ДТП с участием

водителей, находившихся в состоянии опьянения, в общем числе ДТП уже не один год стабильно близка к 6%. Один неудачный закон отменен, и это хорошо, но вообще, необходим более широкий и разносторонний подход к повышению культуры вождения.

У всех внешних причин смерти есть общие корни, и ДТП — проявление общей российской проблемы, высокой смертности от внешних причин. Проблемы в низкой ценности жизни и здоровья, что проявляется и в малом внимании к личной безопасности, и в лихачестве на дорогах. Отсюда не следует, разумеется, что не надо снижать дорожно-транспортный травматизм и потери от него. Нужно поставить под контроль все фазы ситуации, в которой могут возникать ДТП, включающие в себя предупреждение аварии, предупреждение травматизма во время аварии и оказание быстрой и эффективной помощи.

В мире этой проблеме уделяют все больше внимания и как одной из главных для сохранения здоровья и жизни людей, и как важной для экономики — ущерб от дорожно-транспортных происшествий достигает 3% ВВП. На них давно перестали смотреть как на случайность, усилили, направленные на их предотвращение и ослабление негативных последствий, тщательно продумывают. В России, видимо, считается, что с ДТП и их последствиями можно справиться без всяких исследований, исходя из одного лишь здравого смысла депутатов и чиновников. Пока что это не удалось, и здравый смысл не может ответить на вопрос: почему в России, где число легковых автомобилей на 1000 жителей в 2,5 раза меньше, чем в Италии, смертность от ДТП в расчете на 1000 автомобилей в 10 раз выше, чем у экспансивных итальянцев? Почему она в 17 раз выше, чем у англичан, которые при этом еще и полагают, что у них 17% всех смертей от ДТП связаны с употреблением алкоголя, а мы оцениваем эту долю всего в 6%? Необходимы продуманные меры по снижению опасности на дорогах. Их разработка требует лучшего знания реальной ситуации, лучшей статистики, серьезного анализа.

Л.Хатуль

По материалам статьи:

А.Г.Вишневский, Т.А.Фаттахов. ДТП и смертность в России. «Демоскоп Weekly», 15—28 октября 2012 года, 527—528, <http://demoscope.ru/weekly/2012/0527/tema03.php>.

Человеческий мозг и социальное поведение

Кандидат социологических наук
А. В. Шкурко

Контекст

Человек — существо двойственное: в нем есть материальное и нематериальное начало. По крайней мере, так он воспринимается в западной культуре. Тело и душа, материя и сознание — этот дуализм проходит через всю историю западной цивилизации, начиная с античности. Еще Аристотель указывал, что тело и душа воздействуют друг на друга. Но говорить о чем-то как о причине и следствии можно, только если причина и следствие полагаются различными сущностями. В явной форме этот дуализм был сформулирован в XVIII веке Рене Декартом, который прямо заявил, что материя и сознание — две различные, не сводящиеся друг к другу субстанции. За такую крамолу коллеги-философы наградили Декарта множеством словесных туманов: мир един, и точка. Если субстанции действительно разные, то взаимодействовать они не могут.

Однако и после Декарта дуализм никуда не делся, время от времени появляясь в разных обликах. Например — в традиционном делении наук на естественные и... нет, нет, не естественные. Гуманитарные, социальные, науки о культуре — названий много. Важно, что это противопоставление, зачастую носящее идеологический характер, отражает то самое дуалистическое представление о человеке.

Естественные науки изучают материальный мир — мир, который можно наблюдать и измерять. Науки о человеке и культуре стремятся описать мир в терминах субъективных восприятий, желаний, интересов, целей, которые невозможно наблюдать в привычном естественно-научном смысле. Действительно, как описать «цель действия» в терминах материальных процессов? Можно характеризовать человеческое поведение объективно: физические перемещения, движения лицевых мышц, акустические сигналы и так далее, и такие описания будут полезными. Однако, как сказали бы гуманитарии, характеристики это поверхностные, ненасыщенные, малоинформативные, не приносящие понимания, почему происходит то или иное событие в жизни людей.

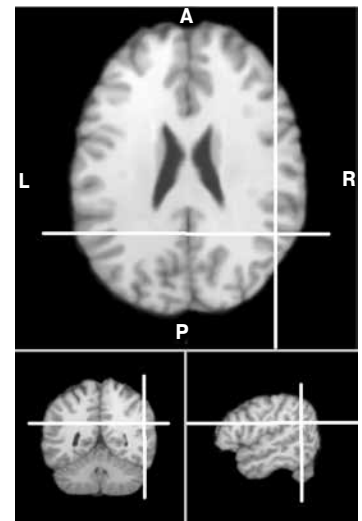
Это сильное упрощение дискуссий, ведущихся не одно десятилетие, однако у них есть конкретное житейское воплощение. Ученые, как и животные, обитают в определенном ареале и метят свою территорию. И нервно реагируют на пересечение этих границ чужаками. Когда появляется научная проблема, лежащая на границе, особенно на главной внутринаучной границе, кто-то рано или поздно начинает ею заниматься. Это вызывает обвинения в отступничестве и редукционизме (ругательное слово в социальных науках), с одной стороны, и вздымание шерсти на загривке («Не лезь не в свое дело!») — с другой.

Эта статья — об одном из направлений, успешно преодолевших извечный разрыв между естественными и социальными науками, — социальной нейронауке. О других дисциплинах, работающих «на границе», — нейроэкономике и нейросоциологии — речь может пойти в другой раз.

Становление

Нейронауки по своей природе изначально находятся в центре упомянутой проблемы связи души и тела. Связь психических и мыслительных процессов с состояниями и физиологией центральной нервной системы исследуется давно. Однако лишь сравнительно недавно была поставлена задача: найти связь между нейрофизиологическими процессами и социальным поведением, то есть тем, как человек ведет себя в социальном окружении.

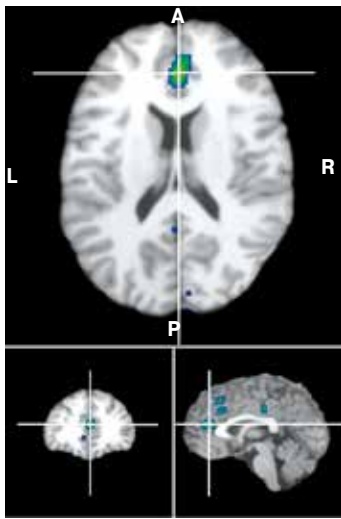
Хотя первые попытки поместить нейрофизиологию в социальный контекст (или психологию в нейрофизиологический) предпринимались давно, и не последнюю роль в этих попытках сыграли работы советских ученых А. Р. Лурии, Л. С. Выготского и А. А. Ухтомского. Революционные изменения произошли в конце 1990-х годов с появлением и распространением новых методов и инструментов исследования мозга. Первой социальной наукой, распознавшей открывающиеся возможности, стала социальная психология. Этот раздел психологии сильно развился во второй половине XX века; он изучает социальное взаимодействие и поведение людей в



1
Центр области мозга, которая отвечает за способность строить модель внутреннего мира другого человека (пересечение осей). Ориентация осей на картинке сверху: А — лобная часть, Р — затылочная, L — левое полушарие, R — правое

группах. Социальная психология активно использовала инструментальные методы экспериментальной работы, и появление новых методов естественно встроилось в общее ее развитие. Раньше использовались лишь косвенные признаки, характеризующие психологическую подноготную поведения человека (время реакции на стимул, направление взгляда), теперь стали доступными более тонкие и точные данные о нервной активности мозга.

Социальная нейронаука — направление на стыке социальной психологии и нейронауки. Она использует преимущественно социально-психологические теории и понятия, но опирается на естественно-научные методы исследования. Первые экспериментальные исследования в ней были проведены в конце 90-х годов, сейчас десятки лабораторий по всему миру производят сотни научных статей ежегодно. В 2006 году начали выходить два специализированных журнала: «Social Cognitive and Affective Neuroscience» и «Social Neuroscience», которые быстро завоевали себе репутацию как в психологии, так и в нейронауке. В настоящее время это сложившаяся и уважаемая научная область: есть несколько профессиональных научных сообществ, в крупных университетах — специальные образовательные программы, регулярно проводятся конференции. Лидируют в этой области крупные университеты США, в частности — Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе, Нью-Йоркский университет, университет штата Огайо и другие. В большинстве стран Западной Европы также имеются успешно работающие коллективы. Активно работают лаборатории в странах Латинской Америки, в Китае, Японии и



2
На пересечении осей находится участок мозга, предположительно играющий роль в формировании социальной идентичности. Ориентация осей на картинке сверху: А – лобная часть, Р – затылочная, L – левое полушарие, R – правое

Корее. В России, несмотря на серьезные традиции психофизиологии, пока нет лабораторий, которые целенаправленно занималась бы социальной нейронаукой на мировом уровне, хотя отдельные исследования проводятся, например в Центре нейрокognитивных исследований Московского городского психолого-педагогического университета. С теоретическими работами тоже пока негусто, хотя можно отметить недавнюю дискуссию в журнале «Культурно-историческая психология» (2012, № 4).

Методы

Изучение связи нейрофизиологических процессов и социального поведения — задача очень сложная, чреватая ошибками и неверными интерпретациями. Поэтому считается, что надежно результаты, полученные одним, а подтвержденные другим методом. Наиболее часто используются следующие методы.

Функциональная магнито-резонансная томография (фМРТ) позволяет локализовать области мозга, активирующиеся или, наоборот, деактивирующиеся при некотором экспериментальном условии. Сравнивая насыщенность кислородом нейронов, фМРТ выявляет различия в нервной активности при двух различных условиях (например, при эмпатической реакции по отношению к знакомым и незнакомым людям, восприятии счастливых и грустных лиц и т. п.)

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — метод, основанный на измерении электрической активности мозга. В отличие от фМРТ не дает такой точной пространственной локализации, но по-

казывает точный хронометраж нервной активности.

Исследование активности отдельных нейронов обеспечивает максимальную точность и детальность в изучении нервной активности, позволяет фиксировать паттерны активности отдельных нейронов. Вследствие инвазивности процедуры используется в основном на животных.

Исследования повреждений того или иного участка мозга позволяют выявить его функциональное значение. Хрестоматийный пример — исследования пациентов с повреждениями вентромедиальной префронтальной коры, влияющими на моральные суждения и стиль принятия решений (Koenigs M. et al., «Nature», 2007, 446, 908—911, doi:10.1038/nature05631).

Отдельное место в социальной нейронауке занимают нейрохимические исследования — изучение роли гормонов, влияющих на социальное поведение, нейrogормонов. В последние годы появилась возможность искусственного введения (администрирования) таких гормонов, как окситоцин, дофамин или тестостерон, и проведение классических медицинских экспериментов с использованием плацебо-контрольных групп.

А теперь посмотрим на проблемы и достижения области, пройдемся, так сказать, по списку.

Размеры мозга

Такой простой показатель, как размеры мозга, может многое сказать об эволюции видов и их социальной жизни. Размеры мозга в целом отражают вычислительные потребности организма, будь то необходимость управлять телом, выслеживать добычу или общаться. Условия существования и экологическая ниша, занимаемая видом, стимулируют приоритетное развитие тех нервных структур и механизмов, которые специализируются на критичных вычислительных задачах. У человека и других приматов такие задачи ставит потребность в координации и объединении в группы. Совместная защита, забота о потомстве, добыча пищи и миграция возможны только благодаря специфическим когнитивным механизмам. Действительно, коллективный образ жизни требует определенных способностей: быстро идентифицировать групповую принадлежность окружающих, распознавать их намерения, определять свою относительную социальную позицию, осуществлять мониторинг социальных отношений в группе, выявлять нарушения социальных норм, обмениваться информацией. Значительная часть специфических социальных задач, решаемых мозгом, сосредоточена в коре



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

головного мозга — и ее размеры отражают социальные навыки вида.

В 1990-х годах Робин Данбар обнаружил закономерность: размер неокортекса — новой коры полушарий, эволюционно сформировавшейся позже других областей мозга, — у представителей различных видов оказался пропорционален среднему размеру групп, в которых они живут, и другим показателям социальной активности, характерной для групповой жизни (Dunbar R.I.M., «Behavioral and Brain Sciences», «Coevolution of neocortical size, group size and language in humans», 1993, 16, 681—735). Экстраполируя полученные данные, исследователи пришли к выводу, что характерные для человека размеры неокортекса соответствуют размеру группы примерно в 150 человек (число Данбара — по определению, максимальное число людей, с которыми человек может поддерживать постоянные социальные связи). Что вполне согласуется с данными о предполагаемом размере первобытных племен, в которых жили наши предки. Несмотря на продолжающиеся дискуссии, эта гипотеза получила подтверждение в ряде недавних исследований. Число «друзей», с которыми человек общается в социальных сетях, оказалось пропорциональным плотности серого вещества в ряде «социальных» областей мозга (Kanai R. et al., «Proceedings of the Royal Society, B», 2012, 279, 1327—1334, doi:10.1098/rspb.2011.1959).

Социальное восприятие и познание

Социальные задачи, которые должен эффективно решать человеческий мозг, включают способность быстро и надежно идентифицировать окружающих и их намерения. В последние годы мы все больше узнаем о том, какие нейрокognитивные механизмы обеспечивают решение этих задач.

В 90-е годы в височной доле была обнаружена зона, избирательно активирующаяся в ответ на восприятие человеческих лиц (fusiform face area — FFA). Это участок так называемой веретенообразной извилины, fusiform gyrus, отсюда название. Точные функции FFA бурно

обсуждаются, но эксперименты показывают, что мозг способен очень быстро классифицировать базовые социальные признаки человека, такие, как пол и раса. Например, миндалевидное тело способно отреагировать на расовые признаки за 0,35 с, что гораздо меньше порога осознанного восприятия. Та же самая область мозга, входящая в «систему раннего предупреждения», чувствительна к направлению взгляда другого человека: прямой взгляд вызывает гораздо более сильную реакцию миндалевидного тела, чем взгляд в сторону. Детальный анализ нейробиологических процессов позволяет убедиться в старом философском тезисе о том, что восприятие — не пассивное запечатление стимулов внешнего мира, а активный процесс, включающий взаимодействие сенсорного «входа» с ожиданиями и предрасположенностями. В недавнем исследовании (Freeman, J.B. et al, «Cerebral Cortex», 2010, 20, 1314—1322, doi: 10.1093/cercor/bhr195) испытуемым демонстрировали последовательный ряд лиц, полученных путем искусственной трансформации изображения, — крайние были явно мужскими или женскими, а все остальные были промежуточными. Активность в веретенообразной извилине менялась монотонно по мере движения от одного полюса ряда к другому, отражая постепенность изменений лиц. Активность же в другой области — орбитофронтальной коре — носила дискретный характер; эта область реагировала на стимул или как на мужское, или как на женское лицо.

Не менее сложно устроена фундаментальная человеческая способность формирования представления о внутреннем мире другого человека, необходимая для предсказания его поведения и установления отношений. В западной психологии эта способность традиционно называется «теорией разума» (theory of mind), в русских текстах можно встретить варианты «теория сознания», «теория намерений», «модель психического состояния». Нарушения этой способности играют важную роль при аутизме — одной из наиболее исследуемых «социальных» болезней. Способность строить модель внутреннего мира другого человека убедительно ассоциируется с областью rTPJ (right temporo-parietal junction), соединяющей височную и затылочную доли в правом полушарии (рис. 1, на основе данных из Decety J., Lamm C., «Neuroscientist», 2007, 13, 580—593, doi: 10.1177/1073858407304654). Возможно, у мозга есть и иные способы понимания другого человека, не требующие создания теории разума. Одно из самых громких открытий 1990-х годов в нейронауке — так называемые зеркальные нейроны, которые обнаружил у приматов итальянский нейробиолог

Джакомо Ризцоллатти с соавторами в университете Пармы. Это нервные клетки, активирующиеся как при наблюдении за чужими действиями, так и при совершении собственных аналогичных действий. За прошедшие полтора десятка лет были выявлены как узкоспециализированные, так и более универсальные зеркальные нейроны, реагирующие на различные действия и ощущения: хватание, ходьбу, использование орудий, касание и др. Считается, что действие зеркальных нейронов лежит в основе ассоциативного научения, обеспечивающего устойчивую связь собственных и наблюдаемых моторных реакций при имитации. Таким образом, они играют важную роль в обучении, в том числе обучении языку. Благодаря зеркальным нейронам сенсорный «вход» является одновременно предтечей моторного «выхода», без опосредующих вычислительных операций, в том числе — обеспечивающих осознанное восприятие. Такая симуляция снабжает мозг информацией о том, какое именно действие было совершено другим индивидом. Другое дело, что дополнительные механизмы необходимы, чтобы контролировать эту непосредственную связь восприятия и действия и при необходимости подавлять нежелательные реакции. Впрочем, степень непосредственности действия зеркальных нейронов пока неясна: например, обсуждается вариант, при котором они не столько симулируют, сколько эмулируют чужие действия, подчиняясь команде свыше имитировать наблюдаемое действие (при симуляции такой команды «свыше» нет, симуляция в данном случае — пример «прямого восприятия», не использующего семантическое знание, сознание). Зеркальные нейроны, по всей видимости, участвуют и в распознавании эмоций, неосознаваемая симуляция которых (в частности, посредством симуляции выражения лица) может лежать в основе эмпатических реакций.

Хотя само существование зеркальных нейронов в мозге человека достаточно долго время оспаривалось, сейчас в этом мало кто сомневается. И если ранее местонахождение популяций зеркальных нейронов ассоциировалось с вполне определенными областями мозга (к числу которых не относилась область rTPJ), то сейчас предполагается, что они разбросаны чуть ли не по всему мозгу (Keyesers C., Gazzola V., «Current Biology», 2010, 20, R353—354, doi: 10.1016/j.cub.2010.03.013). Один из ключевых вопросов, обсуждаемых сейчас, — в какой степени система зеркальных нейронов обеспечивает наше понимание других людей и как она связана со способностью строить теорию разума.

Социальная идентичность

Одна из традиционных проблем социальной психологии — социальная идентичность, восприятие себя и других через призму принадлежности к социальной группе, а также последствия такой идентичности: завышенная оценка «своих», предрассудки в отношении «чужих», политика двойных стандартов, различия в эмоциональной реакции, памяти и внимании по отношению к представителям разных групп. Существует не менее десятка различных теорий, объясняющих идентичность с эволюционной, психологической, когнитивной, экономической, социологической точки (точек) зрения.

Человек, устанавливая идентичность с некоторой социальной группой, делает ее для себя привилегированной, отдавая ей предпочтение и распределяя в ее пользу ресурсы. Одно из объяснений — включение других в представление о себе, в «Я-концепцию». Человек начинает отождествлять себя с другими и воспринимать их как часть себя. Что хорошо для них, хорошо и для меня, потому что они — это я. Это утрированная схема, но она отражает общую логику неосознаваемого построения идентичности. Альтернативная гипотеза, основанная на понятии реципрокного, или взаимного альтруизма, сформировавшегося в эволюционной теории игр, предполагает, что социальная идентичность основана на холодном расчете, вытекающем из необходимости вступать в коалиции, чтобы обеспечивать себя ресурсами и защищаться от внешних угроз. Я не отождествляю себя с членами «моей» группы, но отдаю им предпочтение в ожидании будущих выгод для себя.

Ирония в том, что оба объяснения совместимы с имеющимися фактами, и понять, какой же когнитивный механизм приводит к формированию идентичности, сложно. Но можно попытаться сопоставить активность мозга при различных задачах, связанных с построением идентичности. Например, сопоставить зоны мозга, активизирующиеся при психических процессах, направленных на себя и другого, с теми, которые активизируются при эмоциональных и когнитивных реакциях на представителей своей социальной группы и не активизирующихся в ответ на стимулы, относящиеся к «чужакам». Хотя окончательные выводы делать пока рано, предварительные данные (Shkurko A.V., «Is social categorization based on relational ingroup/outgroup opposition? A meta-analysis», *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2012, doi: 10.1093/scan/nss085) говорят, что в обоих случаях может оказаться задействована часть передней поясной извилины (рис. 2). И эти данные свидетельствуют в пользу гипо-

тезы о включении других в Я-концепцию.

Но не все так просто, потому что нервные корреляты социальной идентичности могут активизироваться в одних условиях и не активизироваться — в других. Так, кросс-культурные исследования показывают, что в коллективистской системе ценностей, характерной для азиатских стран (Япония, Китай, Корея), обработка значимой информации о себе и об отце не различается на уровне нервной активности, а в индивидуалистической (прежде всего англосаксонские страны) — по-разному задействует различные зоны мозга, в том числе смежные с передней поясной извилиной. Данные были получены методом фМРТ (Harada T. et al., «Social Neuroscience», 2010, 5, 257—271, doi: 10.1080/17470910903374895). Не исключено, что одна и та же социальная идентичность (этническая, родственная, политическая) может конструироваться разным образом и разные социальные или культурные условия могут задействовать разные механизмы, с различными последствиями для социальной жизни.

Гормоны

Исследования, использующие нейровизуализацию, позволяют выявлять структуру психических процессов, однако чтобы выявить конкретные причинно-следственные связи, необходимо опуститься на следующий уровень — уровень нейрохимии. Наибольшее значение для социальных наук играет изучение нейрогормонов, модифицирующих человеческое поведение: дофамина, окситоцина, вазопрессина, адреналина, тестостерона, серотонина и других. Здесь мы остановимся только на двух из них.

Об окситоцине — сравнительно небольшом нейропептиде, известном более века и играющего важную роль в минимизации негативных последствий беременности и деторождения, «Химия и жизнь» уже писала. Однако недавно стали известны другие эффекты окситоцина, важные для регуляции социального поведения вообще и материнского в частности. Уровень окситоцина был ассоциирован с сексуальным поведением как у животных (самый известный пример — полевки), так и у людей; кое-кто даже называет его чуть ли не афродизиаксом (см. «Химию и жизнь», 1994, № 5). Однако подобные эффекты — скорее все же побочное последствие других процессов, которые запускает окситоцин. Дело в том, что окситоцин снижает связанную с переживанием страха активность миндалевидного тела. Этот отдел мозга — главный сторож, обеспечивающий быструю идентификацию потенциальных

угроз и регулирующий базовую поведенческую реакцию всех животных — «бей или беги». Снижение тревожности, в свою очередь, увеличивает доверие к другим людям и облегчает формирование социальных связей. Именно с этим связан интерес биомедиков к популярному клубному наркотику — «экстази», который влияет на уровень окситоцина в организме.

Закапывание раствора окситоцина в нос влияет на доверие испытуемых к другим людям, а также на уровень стресса. Однако еще интереснее то обстоятельство, что такое увеличение доверчивости не является совершенно безусловным: другие когнитивные процессы могут активно модулировать эффекты окситоцина, направляя их в определенном направлении. Вызванное окситоцином снижение тревожности и стресса в ходе деторождения и лактации устанавливает сильную ассоциативную связь с определенным объектом — собственным ребенком. И эти эффекты почти не распространяются на других людей. В недавнем эксперименте интраназальное введение окситоцина усиливало проявления этноцентризма — стремления считать свою социальную группу (национальную, политическую, религиозную) лучше, чем другие, — лежащего в основе многих социальных конфликтов (De Dreu et al., «Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2011, 108, 1262—1266, doi: 10.1073/pnas.1015316108).

И в завершение несколько слов о другом всем известном гормоне — тестостероне. Пример, хорошо иллюстрирующий всю двойственность нейрофизиологических процессов и возвращающий нас к проблеме, с которой мы начали: что считать причиной, а что следствием в сложных взаимоотношениях души и тела. Тестостерон — один из главных половых гормонов, обычно ассоциирующийся с маскулинностью — мужскими чертами, как морфологическими, так и поведенческими. Хотя уровень тестостерона в организме часто связывают с агрессией, правильнее говорить, что его главный социальный эффект связан с мотивацией к достижению высокого социального статуса, не обязательно достигаемого через прямую агрессию. И уровень тестостерона — не только источник, но и следствие определенных социальных ситуаций. Например, он возрастает, когда субъект только (лишь) ожидает возможного возникновения ситуации, предполагающей соперничество. Уровень тестостерона не только определяет способность победить в столкновении, но и меняется в зависимости от результатов стычки. Еще интереснее то, что тестостерон способен оказывать воздействие на поведение не как химическое соединение, а как элемент культуры. В



ПРОБЛЕМЫ И МЕТОДЫ НАУКИ

одном исследовании (C. Eisenegger et al., «Trends in Cognitive Sciences», 2011, 15, 263—271, doi: 10.1016/j.tics.2011.04.008) испытуемые, принимавшие плацебо, но уверенные в том, что им были введены дозы тестостерона, демонстрировали изменения поведения, которые в культуре ассоциируются с этим гормоном.

То обстоятельство, что взаимодействие нейрохимических процессов и социального контекста является двусторонним, показывает вредность прямого противопоставления «биологического» и «социального» в объяснении человеческого поведения. Смысл усилий социальной нейронауки заключается в том, чтобы увидеть, что наблюдаемые в нервной системе материальные процессы и субъективное восприятие социальной ситуации — разные стороны одного и того же. Название одной из самых известных книг последнего времени в области нейронаук — «Ошибка Декарта» Антонио Дамасио — подчеркивает эту идею. Понимание ложности дилеммы «материальное — нематериальное», «биологическое — социальное», «эмоции — разум» важно не только с академической, но и с практической точки зрения. Решение многих социальных проблем, начиная с социальных конфликтов и заканчивая различными проявлениями несправедливости, требует лучшего понимания вычислительных операций, лежащих в их основе. Тем более, что их осуществляет не абстрактный логический компьютер, а сложная структура, формировавшаяся в ходе длительной эволюции и оснащенная машинерией, предназначенной для решения проблем, которые возникали тысячи и миллионы лет назад.

Литература

А. Марков. Эволюция человека. В двух книгах. Кн. 2: Обезьяны, нейроны и душа. М.: Астрель: CORPUS, 2012.

О. В. Рычкова, А. Б. Холмогорова. Концепция «социального мозга» как основы социального познания и его нарушений при психической патологии. «Культурно-историческая психология», 2012. 3, 86—94 (часть 1), 4, 86—93 (часть 2).

А. В. Шкурко. На пути к нейросоциологии. СОЦИС, 2011, 4, 13—23.

Конрад Лоренц О ЖИВОТНЫХ И ЛЮДЯХ

А.М. Черников,
Е.В. Клещенко



В ноябре исполняется 110 лет со дня рождения Конрада Лоренца, а 40 лет назад Лоренцу, Карлу фон Фришу и Николасу Тинбергену была присуждена Нобелевская премия «за открытия, связанные с созданием и установлением моделей индивидуального и группового поведения животных».

Психика и поведение животных с глубокой древности вызвали интерес у философов и натуралистов, но их систематическое целенаправленное исследование началось в конце XIX века с появлением зоопсихологии. В 30-х годах XX века возникло новое направление в этой области, которое благодаря трудам австрийца Конрада Лоренца и голландца Николаса Тинбергена постепенно оформилось в самостоятельную науку — этологию (от греч. «этнос» — поведение, характер, нрав). Термин существовал и ранее, однако этология в современном понимании ведет начало от этих работ.

Но ведь уже существовала зоопсихология, в становление и развитие которой внесли вклад многие классики: Дарвин, Фабр, В.А.Вагнер и другие. Зачем понадобилось создавать новую науку о поведении братьев наших меньших? В чем отличие этологии от зоопсихологии?

Зоопсихология (не случайно в английском используется термин comparative psychology, сравнительная психология) исторически рассматривала поведение животных с учетом того, что было известно о психологии человека. Это не значит, что зоопсихологи скатывались к антропоморфизму: на рубеже веков Ллойд Морган (1852—1936) сформулировал правило, названное его именем, — «бритью Оккама» науки о поведении: не объяснять действия животных с привлечением высших психологических функций в тех случаях, когда достаточно низших. Например, нельзя утверждать, что животное «додумалось» до решения задачи, если оно могло использовать ме-

тод проб и ошибок. Однако Лоренц и его единомышленники выбрали иной путь: понять поведение животного через то, что мы знаем о животном, о его биологии и, разумеется, эволюционной истории.

Чрезмерная любовь к животным

Австрийский зоолог и этолог Конрад Лоренц родился в Альтенберге близ Вены 7 ноября 1903 года. Он был младшим из двух сыновей Эммы Лоренц, урожденной Лехер, и Адольфа Лоренца. Дед Лоренца имел непосредственное отношение к животным — был мастером по изготовлению конских сбруй. Отец будущего ученого, став преуспевающим хирургом-ортопедом, построил в Альтенберге поместье.

В детстве, бродя по полям и болотам вокруг Лоренц-холла, Конрад «заболел» тем, что позже называл «чрезмерной любовью к животным». Вскоре мальчик собрал замечательную коллекцию животных, не только домашних, но и диких. «У соседа, — вспоминал позднее Лоренц, — я взял однодневного утенка и, к огромной радости, обнаружил, что у него развилась реакция повсюду следовать за моей персоной. В то же время во мне проснулся неистребимый интерес к водоплавающей птице, и я еще ребенком стал знатоком поведения различных ее представителей».

Получив начальное образование в частной школе, которой руководила его теть, Лоренц поступил в гимназию при Шотландском монастыре в Вене. Гимназия была католической, но учиться в ней могли и представители других конфессий и религий, а уровень преподавания был весьма высоким. Что интересно, в той же гимназии учился и Карл фон Фриш, впоследствии получивший Нобелевскую премию вместе с Лоренцем и Тинбергеном, за изучение коммуникации у пчел. Там привычку Конрада к

наблюдению за животными подкрепило обучение зоологическим методам и принципам эволюции. Лоренц в своей «нобелевской» автобиографии вспоминает одного из учителей — Филиппа Хебердеи, бенедиктинского монаха и аквариумиста, учившего мальчиков не только зоологии, но и теории Дарвина. По окончании гимназии Лоренц хотел продолжить изучение зоологии и палеонтологии, но его отец настоял на медицине.

В 1922 году Лоренц поступил в Колумбийский университет Нью-Йорка, но спустя полгода вернулся в Австрию и стал учиться на медицинском факультете Венского университета. Окончив курс, Лоренц остался в университете на должности лаборанта кафедры анатомии и работал над диссертацией по медицине, параллельно проводя систематические исследования инстинктивного поведения животных.

В XX веке крупнейшие ученые-биологи стояли на позициях дарвинизма не только потому, что эволюционизм завоевал положение господствующей научной парадигмы. Дарвинизм обеспечивал исследователю методологическое преимущество в изучении явлений природы. Пройдя стажировку в 20-х годах в Англии под руководством Джулиана Хаксли, внука Томаса Гексли (Хаксли) — прославленного соратника Чарльза Дарвина и основателя династии ученых и писателей, — Лоренц стал знатоком не только дарвинизма, но также английского языка и литературы. Самостоятельные исследования поведения животных вслед за своим учителем, знаменитым орнитологом Оскаром Хейнротом, он начал с наблюдений за птицами.

В 1927 году Конрад женился на Маргарет (Гретль) Гебхардт, с которой дружил с детства; это был брак на всю жизнь. У супругов родились две дочери и сын.

Защитив диссертацию и получив в 1928 году медицинскую степень, ученый

перешел на должность ассистента, но его по-прежнему интересовала этология, поэтому он начал работу над диссертацией по зоологии, одновременно читая курс по сравнительному поведению животных. В своем исследовании Лоренц впервые успешно применил сравнительный метод к моделям поведения — начал сопоставлять одни и те же формы поведения у различных видов. Напомним: сравнительный метод был классическим в анатомии животных, но при изучении поведения практически не применялся.

Дух или машина

Важнейшими понятиями физиологии нервной системы и связанных с ней наук о поведении животных и человека в начале XX века были «рефлекс» и «рефлекторная деятельность», введенные еще Декартом (1596—1650).

Рене Декарт, или Картезий, от латинского написания фамилии, был математиком, философом, физиком, физиологом, создателем аналитической геометрии и современной алгебраической символики, автором метода радикального сомнения в философии и механицизма в физике. Картезий в духе своего времени сравнивал любой живой организм со сложными механическими устройствами, например с часами. По Декарту рефлекс — это механический ответ тела на воздействие извне, не требующий вмешательства души.

В 1654 году английский анатом Глиссон ввел понятие «раздражимость», как свойство живых тел. В 1730 году английский исследователь Стивен Гейлс обнаружил, что обезглавленная лягушка при уколе отдергивает лапку. С этого момента начинается экспериментальное изучение рефлекторной деятельности, при которой ответная реакция происходит без участия воли субъекта, следуя по определенной схеме точно за раздражением. В середине XVIII века швейцарский ученый Альбрехт фон Галлер развил учение о раздражимости и чувствительности, положив их в основу своей физиологии. Кстати, он же и ввел термин «физиология» для обозначения науки, которую до него называли «живой анатомией». Немецкий физиолог Вильгельм Макс Вундт (1832—1920) создал в 1879 году первую лабораторию экспериментальной психологии, где провел первые эксперименты над крысами в лабиринтах и над шимпанзе, достающими высоко подвешенные бананы. Английский ученый Чарльз Скотт Шеррингтон (1857—1952), лауреат Нобелевской премии по физиологии и медицине 1932 года, полученной совместно с Эдгаром Д. Эдрианом, изучая рефлекторную деятельность, заложил основы нейрофизиологии.

К началу XX века в науке о поведении животных установились две противо-

положные точки зрения: витализм и бихевиоризм. Витализм, или учение о жизненной силе (от лат. *vita* — жизнь; *vis vitalis* — жизненная сила), отнюдь не исчез с научной арены, вопреки поспешным утверждениям редуccionистов, механицистов и вульгарных материалистов. «Удалось синтезировать вещества, образующиеся в процессе жизнедеятельности организмов? И что это доказывает? — рассуждали виталисты. — Ведь Гомункул еще не создан! Преодолеть грань между живой и неживой материей, создав живое из неживого, невозможно, следовательно, теорию витализма еще рано сдавать в архив». Виталисты-инстинктивисты наблюдали за сложным поведением животных в естественной среде обитания и восхищались биологической целесообразностью и точностью инстинктов (лат. *instinctus* — побуждение) животных — всем, что с древних времен было принято объяснять расплывчатым понятием «мудрость природы». Иногда поведению животных приписывали мотивацию теми же факторами, которые лежат в основе деятельности человека. Очевидно, подобные объяснения не могли удовлетворить серьезных исследователей.

Как противовес витализму в начале XX века возник бихевиоризм. Его основоположниками считаются Джон Бродес Уотсон (1878—1958) и Баррус Фредерик Скиннер (1904—1990). В сущности, бихевиористы развивали декартовское представление о животном как машине. Они стремились сделать зоопсихологию точной наукой, разложить непрерывный поток поведения на простейшие, объективно наблюдаемые элементы «стимул — реакция» и достигли существенных успехов в лабораторных экспериментах. Важно было также то, что они определили поведение (то есть совокупность реакций организма на внешнюю среду) как центральный объект психологических исследований.

Вначале бихевиористы старались избегать рассуждений о понятии «инстинкт», считая его абстрактным, неопределенным и выходящим за рамки научного исследования. Позднее они объявили инстинкты комплексами безусловных рефлексов, выработанных в процессе исторического развития организмов, как одна из форм приспособления к условиям окружающей среды. Поведение животных бихевиористы объясняли цепочками рефлекторных реакций, связанных воедино посредством классического кондиционирования, то есть выработки условных рефлексов, исследованной И.П.Павловым (1849—1936).

Изучение поведения животных в XX веке шло, если можно так выразиться, с противоположных сторон. Одни ученые начинали исследование безусловных и условных рефлексов, а далее приступали к инстинктам и инсайтам. (Инсайтом



называется сложное, но очень привлекательное для психологов явление — внезапное, интуитивное нахождение решения проблемы; плодотворно изучать феномен инсайта в жестких рамках бихевиоризма начала века было бы невозможно.) Таким индуктивным путем двигался к истине Иван Петрович Павлов, а также Уотсон и Скиннер.

Конрад Лоренц и Николас Тинберген вошли в историю науки как авторы альтернативного — дедуктивного — подхода к изучению поведения, который привел их к созданию новой науки — этологии.

Врожденный ответ на внешний стимул

Первоначально Лоренц с интересом читал работы Уотсона. Но и Уотсон, и оппонент бихевиористов Уильям Мак-Дугалл, который ввел понятие «социальная психология» и для объяснения человеческого поведения привлекал не только инстинкты, но и «витальную энергию», «не знали животных», как выразился сам Лоренц в автобиографии. У них не было того глубокого понимания повадок зверей и птиц, которое искал увлеченный натуралист и которое он позднее встретил у Хейнрота. Они как будто игнорировали все многообразие поведенческих форм, которое можно наблюдать в естественной среде.

Бихевиористы полагали, что живое существо приходит в мир как «чистый лист». Хрестоматийным стало высказывание Уотсона: «Дайте мне дюжину здоровых младенцев... и я гарантирую, что, выбрав наугад одного, подготовлю его к любой специальности — врача, юриста, художника, коммерсанта и даже нищего или вора...» Лоренц же пришел к убеждению, что инстинктивное поведение является внутренне мотивированным. Это стало важным первым шагом к изучению генетической компоненты поведения животных. Применительно к животным особенно важна межвидовая изменчивость — характерные для вида врожденные действия, то, что Лоренц назвал «морфологией поведения».

Конечно, это не означает, что влияние среды не важно. Уже в юности, выращивая домашних уток, будущий лауреат Нобелевской премии обнаружил импринтинг

(запечатление) — специфическую форму обучения, наблюдающуюся на ранних этапах жизни животных, с помощью которой они опознают друг друга и устанавливают связи с себе подобными. Благодаря импринтингу маленькие утята запоминают первый крупный движущийся объект, попавший в их поле зрения (например, Конрада Лоренца), в дальнейшем считают его своей матерью и всюду следуют за ним. Явление импринтинга было известно птицеводам-практикам с древности, не было лишь научного термина и соответствующей теории.

В первой главе книги «Восемь смертных грехов цивилизованного человечества» (1973) Лоренц говорит о целях и задачах своей науки: «Этология рассматривает поведение животных и человека как функцию системы, обязанной своим существованием и своей формой историческому ходу ее становления, отразившемуся в истории вида, в развитии индивида и, у человека, в истории культуры». Отличительной характеристикой этологии стало использование в исследовании полевых методов, в частности получение при помощи кино съемки этограмм, фиксирующих ключевые моменты поведения животных.

Если до Лоренца и Тинбергена ученые изучали в основном влияние на поведение животных внешних факторов в искусственно созданных условиях, то австрийский и голландский исследователи сместили акценты в сторону влияния внутренних факторов на поведение животных в условиях их естественной среды обитания. Они описали модели поведения, которые не могли быть приобретены путем обучения и, следовательно, являлись генетически запрограммированными. Основоположники этологии доказали, что поведение в высокой степени определяется генетикой и поэтому должно быть подвержено действию естественного отбора и других эволюционно-генетических факторов (мутации, миграции, дрейф генов, асортативное скрещивание).

По свидетельству самого Лоренца, окончательно отказаться от представления о сложном поведенческом акте как цепочке рефлексов его заставило знакомство с молодым физиологом Эрихом фон Хольстом. А в 1936 году на симпозиуме в Лейдене произошла судьбоносная встреча Лоренца и Тинбергена. Ученые обнаружили невероятное сходство во взглядах, и так началось их дружба и сотрудничество, результатами которого стала совместная научная статья, а главное — окончательный вариант теории, опубликованный Лоренцем в 1939 году.

Лоренц утверждал, что инстинктивное поведение начинается с внутренних мотивов, заставляющих животное искать определенный набор обусловленных средой стимулов. Это поведение часто в

высокой степени изменчиво. Как только животное встречает некоторые «ключевые» стимуляторы (сигнальные раздражители, или пусковые механизмы), оно автоматически выполняет стереотипный набор движений, называемый фиксированным двигательным паттерном, или «наследственными координациями» (fixed action pattern). Каждое животное имеет отличительную систему таких паттернов и связанных с ней сигнальных раздражителей, которые являются характерными для вида и эволюционируют в ответ на требования естественного отбора.

Под действием различных ключевых стимуляторов, отключающих механизм торможения в мозге, приводится в действие сложный комплекс инстинктивных реакций. Такими стимулами могут служить звуки, запахи и морфологические признаки — форма и окраска, например, потенциального брачного партнера.

Кроме инстинктов, животные наделены коммуникативными средствами, с помощью которых они обмениваются информацией, обучаются, развивая новые формы поведения и более гибко реагируя на изменения среды. Животные, как и люди, имеют психику, хотя и более элементарную. Они напоминают сверхэмоциональных людей. До Лоренца ученые пытались антропоморфно интерпретировать психику животных. Лоренц начал объяснять психику животных на основании объективных данных об их поведении.

Темное время

В Австрии середины 30-х годов у власти находились реакционные клерикалы, и ученые, апеллирующие к дарвинизму, были персонами нон грата. Лоренц занимал в Венском университете должность приват-доцента, бесплатно читал лекции по поведению, постоянного заработка не имел. Одновременно он изучал изменения, которые происходят при одомашнивании гусей. Он отметил у них утрату сложных форм поведения, возрастание роли пищевых и сексуальных стимулов. Основоположник этологии был глубоко обеспокоен вероятностью того, что процесс «самоодомашнивания» может иметь место у человека. Не приводят ли комфортные условия, которые цивилизованные люди сами себе создали, к деградации, не только физической, но также психической и поведенческой?

Как и многие австрийцы, Лоренц ждал перемен к лучшему от присоединения Австрии к Германии в марте 1938 года. Вскоре после аншлюса он вступил в Национал-социалистическую рабочую партию, а в начале Второй мировой войны под влиянием общественных настроений, фашистской пропаганды и послушавшись чьего-то «дурного совета», Лоренц выступил в печати со статьей об опасностях

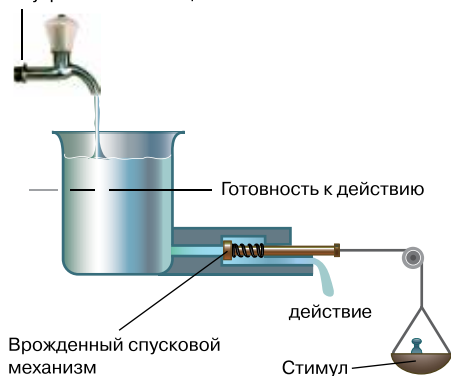
процесса одомашнивания применительно к человеку, используя «в своем сочинении худшие образцы нацистской терминологии». Увы, говорилось там и о «селекции», и о потенциальной опасности скрещивания двух рас, которое автор уподоблял скрещиванию пород у животных. Размышления о деградации человечества и евгенические идеи были в то время широко распространены, и никто не мог предвидеть, как скверно они будут выглядеть после практической попытки разделения людей на высшие и низшие расы. Позже ученый раскаялся и осудил свой поступок.

Существует мнение, что реакционная статья привлекла внимание к автору, в результате чего он получил приглашение возглавить кафедру психологии в Кенигсбергском университете (ныне Калининград) — престижную кафедру Канта. Членство в Кантовском обществе, общение с философами было для Лоренца весьма плодотворным. Взгляд эволюциониста на теорию познания не привлек внимания гуманитариев, но заинтересовал самого Макса Планка. Вместе с Рупертом Ридлом и Герхардом Воллмером Конрад Лоренц считается главным представителем эволюционной эпистемологии.

В 1942 году Лоренца мобилизовали в немецкую армию как военного врача, несмотря на то что он никогда не занимался медицинской практикой. Его военная служба началась по специальности «психиатрия и неврология» в госпитале, дислоцировавшемся вначале на территории Польши, в Познани, позже под Витебском (Белоруссия), где ему пришлось около месяца выполнять обязанности полевого хирурга. Известно, что в познанском госпитале в это время проводились «исследования» польско-немецких полукровок, в том числе на предмет их психической полноценности, и Лоренц, по-видимому, принимал в них участие, хотя и в низкой должности; сам он никогда не комментировал это.

В мае 1944 года при отступлении немецких войск Лоренц попал в плен. Судьба забросила будущего лауреата Нобелевской премии в лагерь военнопленных под Кировом, где он целый год вел отделение на 600 коек; он научился говорить по-русски и свободно общался с русскими, «главным образом врачами». Затем были другие лагеря; около полутора лет Лоренц провел в Армении, под Ереваном. В плену «профессор», как его все называли, написал книгу. За неимением тетрадей писал он на кусках мешков из-под цемента, пером ему служил гвоздь, чернилами — раствор марганцовки. Название, «Оборотная сторона зеркала», подсказал товарищ по заключению, некий Циммер. При публикации автор предпослал ей также подзаголовок: «Опыт естественной истории человеческого познания». Книга переведена на русский, и, если кто-то

Внутренняя мотивация



Модель инстинкта согласно Лоренцу. Чем сильнее раздражитель и чем сильнее внутренняя мотивация, тем сильнее реакция — поток воды из нижнего крана. Однако реакция может быть вызвана сильным стимулом и при низком уровне мотивации (на агрессивное поведение другой особи отвечает агрессивней и спокойно настроенное животное). И наоборот, переполнение «внутреннего резервуара» может вызвать врожденную реакцию в отсутствие стимула (голубь, долго живший в одиночестве, исполняет ритуал ухаживания в пустой клетке)

из читателей «Химии и жизни» с ней не знаком, — рекомендуем ознакомиться.

Когда подошло время репатриации австрийцев, призванных в нацистскую армию, «профессора» перевели в лагерь в Красногорске под Москвой, позволили перепечатать рукопись на машинке и отправили цензору. Ответ задерживался, и тогда начальник лагеря совершил неординарный поступок: вызвав ученого в кабинет, попросил его дать честное слово, что в рукописи только наука и никакой политики, пожал ему руку и позволил забрать с собой рукописный текст (а также прирученных скворца и жаворонка). Машинписная рукопись книги под названием «Естественная наука человеческих видов: введение в сравнительное исследование поведения» осталась в России, теперь она хранится в Государственном военном архиве. Интересно, что она достаточно сильно отличается от рукописного варианта, который лег в основу книги, — заменены обширные фрагменты, существенно изменены формулировки (Гороховская Е.А. «Вопросы истории естествознания и техники» 2002, 3, 529—559).



Фотография Лоренца с документа, выданного в советском лагере

После войны

Лоренц вернулся домой в 1948 году. Научная карьера в Австрии не складывалась, пришлось переехать в Германию. Эрих фон Хольст организовал для Лоренца и его коллег исследовательскую станцию в Бульдерне близ Мюнстера под эгидой Общества Макса Планка. Позднее, когда был основан Институт физиологии поведения в Зеевизене, Лоренц руководил в нем отделом и был заместителем директора — фон Хольста, а после его смерти в 1962 году возглавил институт.

Лоренц продолжал этологические исследования и, кроме того, прославился как выдающийся популяризатор науки. Его книги «Кольцо царя Соломона» (1952), «Человек находит друга» (1954), «Год серого гуся» (1979) имели огромный успех у читателей во многих странах, в том числе и в СССР. Другие его книги у нас не издавались до 90-х годов XX века. Сказывалось и «нацистское прошлое» автора, и настороженное отношение к науке, утверждающей, что не все в поведении определяется воспитанием. Однако наш знаменитый физиолог, специалист по высшей нервной деятельности животных Л.В. Крушинский был знаком с работами Лоренца и переписывался с ним.

В 1963 году вышла книга «Так называемое зло: К естественной истории агрессии». Споры о ней продолжаются до сих пор. В этой книге Лоренц утверждал, что агрессия у человека, как и у животных, является врожденной реакцией и имеет внутреннюю мотивацию. Однако цивилизация, снабдив человека разнообразными орудиями для убийства и мучения собратьев по виду, не смогла или не успела дать ему соответствующую способность гасить и перенаправлять агрессию. Человек вооружен лучше, чем волк, а по умению контролировать эмоции сопоставим с другими приматами, последствия этого мы и пожинаем. Лоренц, однако, высказывал убежденность, что справиться с разрывом между способностями к нанесению вреда и к самоконтролю нам поможет культура.

Осмыслив с позиции этологии опыт, приобретенный по обе стороны фронта, Лоренц написал также о «реакции воодушевления». Этот фрагмент полезно процитировать — актуальности он не потеряет никогда. «По спине и — как выясняется при более внимательном наблюдении — по наружной поверхности рук пробегает «священный трепет». Человек чувствует себя вышедшим из всех связей повседневного мира и поднявшимся над ними; он готов все бросить, чтобы повиноваться зову Священного Долга. Все препятствия, стоящие на пути к выполнению этого долга, теряют всякую важность; инстинктивные запреты калечить и убивать сородичей утрачивают, к сожалению, большую часть своей силы».



СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

Специалист по «морфологии поведения», Лоренц отмечает сходство героической мимики и позы человека, одержимого Священным Долгом, с реакциями самца шимпанзе, защищающего семью, — вплоть до «мурашек», вздыбливающих шерсть, чтобы силуэт казался крупнее и грознее. «Если наше мужественное выступление за то, что нам кажется высочайшей ценностью, протекает по тем же нервным путям, что и социальные защитные реакции наших антропоидных предков, — я воспринимаю это не как отрезвляющее напоминание, а как чрезвычайно серьезный призыв к самопознанию. Человек, у которого такой реакции нет, — это калека в смысле инстинктов, и я не хотел бы иметь его своим другом; но тот, кого увлекает слепая рефлекторность этой реакции, представляет собой угрозу для человечества». Думается, эти строки искупают грех его пронацистских публикаций.

Долгое время считалось, что исследования этологов не имеют прямого отношения к физиологии и медицине, но позднее выяснилось, что открытия, сделанные на животных, помогают лучше понять сложную психику человека. Эти аргументы, вероятно, и сыграли свою роль в решении Нобелевского комитета.

В 1973 году Лоренц ушел в отставку из Института физиологии поведения, но, вернувшись в Австрию, продолжал исследовательскую работу в Институте сравнительной этологии. Он снова поселился в Альтенберге.

Среди наград и знаков отличия, которых удостоен Лоренц, — золотая медаль Нью-Йоркского зоологического общества (1955), Венская премия за научные достижения, присуждаемые Венским городским советом (1959), премия Каллинги, присуждаемая ЮНЕСКО (1970). Он был также иностранным членом Лондонского королевского общества и американской Национальной академии наук.

Конрад Лоренц умер 27 февраля 1989 года. Последняя его книга, вышедшая в 1988 году, называлась «Вот я — где ты? Точное этологическое описание дикого гуся». «Где ты? — Я здесь! — Ты здесь? — Я тут!» — так переводила на человеческий язык гогот гусиной стаи Сельма Лагерлёф в своей знаменитой сказке, и Лоренц не раз отмечал, что перевод абсолютно верен.



История и естественная история

Позволю себе как редактор книги представить ее читателю. Личность Виктора Ивановича Мочульского привлекательна и противоречива, а главное — малоизвестна. До сих пор в среде энтомологов ходят байки о том, как он воровал жуков из знаменитых коллекций и ругался с европейскими коллегами. Не зря Вальтер Хорн прозвал его «инфернальным энтомологом».

В книге, наполовину составленной из воспоминаний, наполовину — из обратных переводов статей В.И., вышедших в 1850—1860-е годы, причудливо переплетаются история и естественная история. Первая часть книги — это в первую очередь история, а вторая — скорее естественная история. (Не забудем, что термин «биология» уже был изобретен, но широкого использования не получил вплоть до начала XX века.) Биографический, очень пристрастный очерк В. Хорна, написанный в 1920-е годы, помещен в конце книги в переводе с немецкого языка.

При чтении книги обращают на себя внимание неординарные исторические факты и трактовки. Оказывается, «Императрица Екатерина II тоже была убита: фрейлина Перекусихина подала ей отравленный шоколад» (с. 20). Чуть дальше — история о человеке, выдававшем себя за убитого императора Павла (с. 21). В середине книги мы видим авторитетное подтверждение фактического убийства графа Аракчеева, присвоившего бланковые подписи покойного императора Александра I и подделавшего 13 его указов... (с. 105). Как я понимаю, эта последняя «история» впервые вводится в научный оборот. Множество небольших историй разбросано по всему тексту воспоминаний. В.И. Мочульский, надо отдать ему должное, трезво оценивает способности тогдашней царской администрации. «Император Николай любил исключительно военных, представители же других профессий были вынуждены довольствоваться задним планом» (с. 23). Вот — безграмотное руководство польской кампанией, вот — происки и воровство на Кавказе... Совершенно очевидно, что принципы и методы управления российским государством не сильно изменились со времен Николая I.

Будучи человеком военным, В.И. Мочульский участвовал в подавлении польского восстания 1831 года, затем служил на Кавказе, в «Киргизской степи», Восточной Сибири, Оренбурге. Книга воспоминаний обрывается 1841 годом, затем идут обратные переводы — описания энтомологических экскурсий в окрестностях Петербурга, а также зарубежных поездок по Европе и в Америку в 1850—1860-е годы. Период с 1841 по 1851 год пропущен, сохранилось только оглавление: «Военная служба в Чугуеве», «Путешествие в Крым», «Путешествие за границей. Египет», «Париж. Лондон. Дальмацея [правильнее все же — Далмация]. Монтенегро» и т. д.

Судя по всему, служебная карьера В.И. Мочульского была не слишком успешна. «Во мне воспитали, с одной стороны, резкое неприятие всего противозаконного, а с другой — искренность, против которой я никогда не мог грешить и из-за которой, при моем вспыльчивом характере, часто попадал в сложные положения» (с. 18). Например: «...буйный характер дважды послужил причиной моего понижения в степени: в первый раз я назвал нашего учителя французского мерзавцем, в другой — не смог сдерживать смеха при виде одного сумасшедшего дежурного офицера» (с. 22) Или вот еще: «Я хотел определиться в дипломатический корпус, желая быть полезным моими сведениями о востоке, но Министерство иностранных дел... затрудняло исполнение этого желания, протягивая дело много месяцев под разными натянутыми причинами» (с. 169). И даже: «Ведь в этой стране образован-

ный, благородный человек может найти лишь немного способов достойно зарабатывать на жизнь» (с. 22).

Прекрасны описания природы и людей. Тут и легендарный силач князь Севардзелидзе, и тифлиские базары, и нравы грузин, и разливы нефти в Дагестане, и шакалы, которые утащили смазанные салом сапоги В.И. «Башлык и бурка есть лучшее, что есть из одежды на Кавказе. Это есть единственное средство, предохраняющее от дождя, ветра и солнца» (с. 75). Иронически описано посещение Закавказья императором Николаем I в 1837 году (с. 120—128). В заграничных путешествиях В.И. интересовался не только жуками: его привлекают музеи, архитектура (соборы, памятники, гробницы), даже дом-музей известного австрийского (тирольского) партизана, борца с наполеоновским нашествием Андреаса Хоффера, где сохранились его собственные штаны, от которых туристы отрезают кусочки «на память» (с. 90—91).

Но главная страсть В.И. Мочульского — это, конечно, жуки. Он коллекционировал их при каждом удобном случае. И на Кавказе, и в окрестностях Петербурга, и в Америке. Пойманных жуков буквально распахивал по карманам (в коробочках от пилюль), а потом высыпал на клеевые пластинки (на лист бумаги наносился гуммиарабик), которые разрезал на нужные куски и сажал на энтомологические булавки. Эти удивительные пластинки до сих пор сохранились в его коллекции жуков. В.И. много общался с ведущими специалистами-энтомологами того времени, ругался, вступал в конфликты. Коллекция Мочульского после его кончины была завещана Московскому обществу испытателей природы, там заброшена, вновь найдена уже в начале XX века и ныне хранится в Зоологическом музее Московского университета; она частично переисследована, многие жуки переописаны на современном уровне. А вот коробки с некоторыми другими насекомыми, многоножками и ракообразными сохранились в очень плохом состоянии — там поработали злейшие враги энтомологов, личинки жуков-кожеедов.

Именно жуки спасли жизнь В.И. Мочульского, когда он был направлен в разведку, притворившись глухонемым, и попал в плен к горцам на Кавказе в 1838 году (см. приведенный далее фрагмент).

В предисловии составителя книги личность В.И. Мочульского сравнивается с Паганелем, но эта фигура географа-естествоиспытателя тогда еще не была описана Жюлем Верном, он появился немного позднее, в 1859 году. Наверное, правильнее все же говорить о герое другого романа Жюль Верна — о кузене Бенедикте, который действительно был энтомологом.

Трудно в рецензии передать мой восторг и восхищение этой замечательной книгой. Русский язык автора — превосходен. Да и переводчики постарались. Увы, не обошлось без опечаток, хотя вычитывали мы ее не раз... Очень рекомендую книгу эту прочитать самостоятельно.

Далеко не все материалы биографии В.И. Мочульского удалось ввести в научный оборот. Надо поработать в архиве Главного штаба, там явно должны быть сведения о командировке В.И. в Северо-Американские Соединенные Штаты (как их тогда называли), ведь он занимал должность помощника атташе российского правительства. В различных архивах Москвы и Санкт-Петербурга хранится и деловая переписка Мочульского. Но академическая биография нашего персонажа — дело будущего.

К.Г. Михайлов

Приключение ЖИЗНИ

Виктора Ивановича
Мочульского



КНИГИ

1838. Кавказ

(фрагмент из книги)

До завершения Кавказской войны остается еще четверть века. Горцев Дагестана и Чечни возглавляет имам Шамиль, император Николай I выражает неудовольствие ходом кампании. Только что закончилась первая короткая ссылка Лермонтова, он вернется на Кавказ в 1840 году. Реалии той войны знакомы всем нам по «Герою нашего времени», однако Мочульскому пришлось проявить свое бесстрашие и знание местного колорита в обстоятельствах еще более необычных. Жанр шпионского детектива тогда не был известен, но и суховатые записки от первого лица производят сильное впечатление.

...Сейчас с открытием весны меня прикомандировали к сенатору барону Хану для содействия и для осмотра им Закавказского края, а по окончании этого поручения мне предписано было отправиться в горы для секретного обозрения пути, из Кахетии в Дагестан ведущего. Это последнее поручение могло быть исполнено только переодетым в горскую одежду, и потому во время нахождения при бароне Хане я отпустил себе бороду. <...>

Прошла весна, и я в ожидании проводников приготавливался к пути в горы, но проводники не являлись, несмотря на неоднократные запросы, о том делаемые у начальника Лезгинской кордонной линии князя Севардзелидзева, которому поручено было высшим начальством отправить меня в горы; потому, расставшись с сенатором Ханом, я отправился прямо в крепость Закаталы, где генерал Севардзелидзев имел свое местопребывание, но я его не застал, так как он с отрядами двинулся во владения Элисуйского султана, изменившего России и бежавшего к Шамилю. А между тем этот владелец был воспитан в Пажеском корпусе, имел чин генерала и заседал членом Главного управления Закавказского края. Я поспешил туда и, встретив наконец генерала Севардзелидзева, настоятельно просил его дать мне проводников, о готовности которых он давно уже донес начальству. По прибытии в Закаталы начались бесконечные переговоры и рассуждения о том, как возможно в настоящем положении дел отправить офицера Генерального штаба в горы, что это есть чистая жертва, что он ответственность на себя брать не может и т. п. Я им ответил, что рассуждать теперь поздно, что его донесения о готовности проводников ввело начальство в заблуждение, как будто бы неисполнение по сие время возложенного на меня поручения происходит от моей медленности и неохоты отправляться в горы, и я настоял, наконец, и проводники были мне назначены.

Один назывался Курку Шабан и был жителем джарской деревни, человек лет 60 с лишком, известный своей храбростью и предприимчивостью, выказываемой им неоднократно в бою против русских, и известный в горах по предводительству шайками хищников (так Мочульский называет кавказских разбойников. — К. М.). Другой был Мола Магомет, также джарец, но духовного сана, человек лет 35, и весьма уважаемый горцами за свою ученость и свое красноречие. Третий был урядник грузинской милиции Черкесов, знающий хорошо лезгинские наречия и русский язык. Он должен был в случае

надобности быть переводчиком. Было решено, что мне надобно переодеться в лезгинскую одежду, сбрить волосы, быть глухонемым во все время экспедиции и следовать за джарцами в виде прислуги. Джарцы же отправились в горы под предлогом разведывания, где там находятся русские пленники, и узнания условий, на которых бы их возможно было выкупить; предлог чрезвычайно заманчивый для горцев. В полдень мы отправились верхами из Закатал, чтобы следовать по Лезгинской линии в селение Кварели и Шильды. Нас сопровождал версты 2 и джарский пристав князь Андроников, который потом с нами распростился. Проехав еще с версту, Курку Шабан вдруг повернул налево, совсем в другую сторону первоначального направления, говоря, что ему необходимо побывать у себя в деревне. Итак, нечего было делать, прибыли мы в его деревню, Курку Шабан меня поместил в свой гарем, и в течение почти 36 часов я никого более не видал как его жен и детей. Потом до рассвета мы выехали из этой деревни, но последовали не первой дорогой, а большим путем, ведущим на города Сигнах и Телав, и оттуда уже прибыли к ночи в грузинское селение Сабул, откуда должен был начинаться наш поход в горы. Впоследствии я узнал, что Курку Шабан изменил маршрут для того, чтобы избежать всяких слухов и толков о нашем путешествии и потому что князь Андроников разными приговорами выказывал явное недоброжелательство ко мне и на Лезгинской кордонной линии мог легко подставить хищников для нашего истребления. Это последнее предположение действительно оправдалось тем, что один из постовых начальников, возвращаясь по той же дороге, по которой мы даже условились следовать вместе, в несколько верстах от Закатал был ранен хищниками, засевшими в лесу, через который вела дорога.

<...>

Проехав несколько деревень, построенных из шиферного камня, мы около полудня прибыли в значительное селение Мококо, расположенное на границе между Дидайским и Богосским обществами; отсюда очень ясно были видны высокие, снегом покрытые Богосские горы. По обыкновению мы остановились на большой площади селения, слезли с лошадей, и джарцы отправились к властям, чтобы узнать направление, по которому нам



Товарищество научных
изданий КМК.
Москва: 2013.

Книгу можно заказать
на сайте издательства:
<http://avtor-kmk.ru>.

надобно было следовать. Оставаясь с лошадьми на площади, я прилег на землю в ожидании прихода моих спутников. Скоро любопытные горцы окружили меня, и один, показывая на мой башлык, сказал своему товарищу, что это работа тифлисская, я сначала не понял смысл этого замечания, так как мой башлык был сделан из горского сукна, но потом я узнал, что внимание было обращено на шов, выведенный шелком, тогда как в горах все шьется шерстью. Эта мелочь, впрочем, навела нам большую беду. Наконец, мои спутники явились, мы сели верхом и продолжили путь по весьма тесной улице, где нередко с крыш противоположащих домов через всю ширину улицы переброшены были шиферные доски. Повернуть лошадь не было возможности, и для этого надобно было пройти всю улицу до самого конца (...) В этом узком месте, где защита была невозможна, внезапно на нас бросились горцы, отняли лошадей и оружие и всякого из нас посадили в отдельную хату под стражу. Послышался повсеместный крик и шум, народ теснился на площадь к предстоящему джамату, то есть совещанию. Спутников моих потащили в это бурное совещание, народ упрекал их в подкупности русскими, в измене пророку, в продаже своих горских товарищей и всяких других преступлениях. Спутники мои, в особенности Мола, старались всем своим красноречием доказать нелепость этих обвинений, напоминая им, что поручение русского правительства, то есть отыскание и выкуп пленных, совершенно согласно с давнишним и постоянным желанием самих горцев, и если они взялись за такое поручение, то только в том ожидании, что заслужат именно благодарность, а не брань, упреки и угрозы. Этими спорами горцы лишь больше воспламенялись, шум и крик дошли до того, что кази деревни, главная духовная власть, вынужден был усовещивать народ к более спокойному обсуждению и своей личностью должен был защитить моих спутников от насильства своих буйных собратьев. Наиболее шумели находившиеся тут мюриды. Все это время я находился в большой комнате об одном лишь малом окне без стекол и выходящем на глубокую пропасть, моим стражником была жена горца, которому принадлежал этот дом и которому меня поручили.

С первой минуты поняв всю опасность моего положения, я не упустил из виду приобрести и со своей стороны друзей, и первым из них должна была быть эта женщина. Так как время ужина приближалось, то я ей помогал в приготовлении оного, поправляя огонь, запекая лепешки и подобными мелочными услугами; само собой разумеется, все на манер горский, и в это время сунул в огонь находившийся у меня в кармане карандаш, за который, если бы был найден моими врагами, я без сомнения заплатил бы головой. Воспользовавшись удобной минутой, я всунул в руку этой женщины маленький платок, бывший у меня на шее, заметив, что он ей нравился. Она тотчас его взяла и спрятала. Мое опасение скоро сбылось. Несколько горцев вбежали ко мне в комнату и потащили меня на маленькую площадку, окруженную с трех сторон пропастями и четвертой, прилегающей к скале. Тут находились мои три спутника (...) Я сейчас понял, что горцы хотели видеть, не станем ли мы разговаривать. Зная весьма хорошо, что неприятели наши за нами следят, я остался верным моей роли и, не обращая внимания на моих спутников, развалился на земле и стал играть камешками, кладя их в рот и выплевывая в пропасть; а между тем я рвал в клочки находившиеся у меня в кармане пол-листа бумаги и эти клочки жевал и глотал. Так как я лежал к горцам спиной, они этого заметить не могли. И так сбыв я и этого опасного обличителя, на котором были написаны некоторые мои путевые замечания. Мои опасения были весьма основательны, ибо вскоре потом горцы явились и осмотрели мои карманы, где нашли только несколько раздавленных насекомых, которых я собрал дорогой, находка которых произвела общий хохот и которых они весьма тщательно положили опять в карман. После этого меня отвели в мое заточение, а товарищей в народное скопище на площади. Там они опять подверглись всякого рода обвинениям, упрекам, ругани и угрозам, все говорили и кричали вдруг, так что нельзя было понять, что они хотели. Возвращаясь в мою комнату,



Воспоминания о Кавказе. Картина М.Ю.Лермонтова. 1838

я в темной прихожей успел высыпать из патронов моих русский порох, не для того, что это могло бы служить обличением, ибо горцы весьма часто его сами употребляли, но для того, чтобы избежать всякого повода к подозрительным толкам.

Вступая в комнату, я нашел там сидящих вокруг огня нескольких горцев с весьма зверскими лицами. Мне дали знак сесть в этот кружок, что я исполнил, сложив накрест ноги. Тут начались разного рода испытания, мне говорили по-русски, по-грузински, по-татарски, по-лезгински, мне предлагали марушек (марушками они называли жен), земли, оружие, даже деньги, если я сознаюсь, что я русский. Другие вновь пришедшие уверяли, что мои спутники во всем сознались, и что мое упорничество ни к чему не служит и только усилит мое наказание. На все это я только знаками мог показать, что я ничего не слышу и не понимаю. Видя, что этот образ испытания ни к чему не ведет, один из горцев, вынимая свой кинжал, громким голосом закричал:

— Дай-ка станем этому молодцу из спины ремни резать, посмотрим, как он запоет, — и стал точить свой кинжал.

Другие бросились ко мне смотреть, не бледнею ли я и не заметен ли страх на моем лице, но Бог меня защищал, на лице моем не было заметно никакой перемены. Комната все более наполнялась любопытными, все теснились около меня; один предлагал мне свою коротенькую трубку, которую по горскому обычаю я должен был принять и курить с отплевом, как [это делают] лезгины. Все это я выучил и знал, но табак был так крепок и так скверен, что я чувствовал, что начинает преодолевать дурнота. К счастью, нетерпеливость моих врагов не дала заметить моего затруднительного положения. Один из них, приведший девушку с турецким барабаном, выхватил меня из кружка и зывал меня начать пляску; надобно было исполнить не такой [уж] легкий горский танец, состоящий из быстрых передвиганий ног одной над другой, становясь на цыпочки, то на пятки, и потом танцуя вокруг всей комнаты. Я исполнил это, кажется, удовлетворительно, ибо хозяйка дома сказала, что так танцевать может только горец; но главное, что это усиленное движение избавило меня от дурноты. Новый приходец своими рассказами отвлек внимание моих мучителей, что он говорил, я понять не мог, но, приблизившись ко мне, рванул мое платье и, показывая на обнаженную грудь, воскликнул:

— Смотрите на эту грудь, она никогда не видела солнца! — и, отступив [на] несколько шагов, стал прицеливать в нее свою винтовку.

Выстрел не последовал, и все обращали внимание на мое лицо, но и тут перемена не последовала. Тогда несколько человек бросились и схватили меня за руки и, толкая и ударяя, заставили меня опять сесть в кружок, в котором мучители мои замыслили употребить более действенные пытки. Одна каналья подкралась ко мне с тылу, держа кинжал за моим



ухом, а сосед кричал мне в это ухо со всех сил; другой поднял кинжал над моей головой, тогда как собрание кричало, чтобы я встал. Малейшее движение обнаружило бы, что я не глух, и кинжалы вонзились бы в мою голову. Таких проб повторялось еще много, всякий выдумывал свое, и как ничего не удавалось, то их досада все больше возрастала. Один ударил меня в бок, другой в спину, третий толкал ногою, четвертый давил шею, сосед налево толкнул меня на правую сторону, откуда тотчас же оттолкнули назад. Это произвело в кружке общий беспорядок, горцы вскочили и с обнаженными кинжалами бросились на меня. Что дальше было, я не помню, и когда пришел в себя, то находился подле своего хозяина, который упрекал своим товарищам причиненное в его доме буйство, не согласное с постановлением джамата, который в настоящую минуту занимался решением [дела] пришельцев. Хозяйка плакала, говоря, что я, очевидно, житель Дагестана и причиненные мне обиды совершенно несправедливы. Это участие произвело большое впечатление, потому что, по понятиям горцев, возбудить плач женщины есть самое постыдное дело. Итак, слезы женщины иногда и у грубых народов могут спасти жизнь человека.

Хозяин дома затем выгнал из комнаты всех горцев, которые стремглав побежали на площадь, чтобы меня обвинить и осудить. Действительно, уже готовились исполнить предложение, сделанное некоторыми горцами, чтобы снять нам кожу и тела бросить на русскую границу, когда послышался с высоты минарета протяжный голос муллы, призывающий всех верных к молитве, ибо солнце на западе уже садилось. Сопровождение должно было разойтись, и приговор в этот день исполнен быть не мог и был отложен на следующий день. Хозяйка дома дала мне скудный ужин, состоящий из овчинного молока, которое она перед тем помешала своими пальцами, выказывая ко мне много сострадания. Мне была отведена для ночлега простая деревянная кровать, стоящая у стены противоположной ложу, которое занимали хозяева дома. Когда огонь, пылавший посредине комнаты, почти угас, я услышал храпение хозяев и стал со своей стороны храпеть, не доверяя даже и спящим разбойникам. И действительно, только что хозяин убедился, что я сплю, как он внезапно поднялся и, призывая меня громким голосом, потом также внезапно утих, не сделав ли я какого-нибудь движения или ему откликнуться. Эта проба была повторена несколько раз в течение ночи, но без успеха, так как я был осторожен. Наконец в полночь тихо открылась дверь комнаты, и с горящею лучиною в руках взшел кази деревни и мои три спутника, лица которых были очень бледны и малоутешительны.

Краснобородый кази меня разбудил и указал присесть поближе к огню, где сидели мои товарищи. Хозяин дома вскочил, уважительно поклонился, и ночное совещание началось. Я раздул огонь и старался сохранить совершенное спокойствие. Мои спутники просили кази, чтоб он нас отпустил в путь, говоря, что готовы меня отдать горцам, так как я их только слуга и они никакой особенной надобности во мне не имеют, что я убогий сирота без пристанища. Кази долго не хотел слушать ни о каком соглашении, внимательно рассматривал мою одежду, потом велел снять сапоги, вероятно, чтобы удостовериться, нет ли у меня на ногах мозолей, которых у горцев не бывает, к счастью, и у меня их не было. Совещание продолжалось больше часа и кончилось тем, что кази обещал о нашем деле подумать на другой день. Затем все вышли из дома. С восходом солнца на площадь сбегалось много народа, и в их среде находились и мои спутники. Крик, шум и спор были такие же упорные, как накануне, и разъяренные горцы разорвали бы на куски джарцев, если б тут не явился сам кази, который, к крайнему удивлению, толпы объявил, что он в нас ничего не видит русского и потому дозволяет возвратиться назад по той же дороге, по которой пришли. Тут-то посыпались выражения неудовольствия, проклятия и ругательства, но дело было решено, и изменить нельзя было. Нам привели лошадей и возвратили оружие, хотя подменив его худшим, и в сопровождении одного конвойного мы оставили это селение Мококо, где жизнь наша висела на весьма

слабой нитке. Но нет худа без добра. Именно эта задержка спасла нашу жизнь, потому что если б дали нам свободный проход, то мы непременно попали бы в засаду из 30 горцев, ожидавших нас два дня около моста, верстах в трех впереди селения находящегося. Но опасность еще не миновала.

Во всех селениях, через которые мы проходили, те же вопросы повторялись: «Кто вы такие?», «Куда вы идете?», «Зачем возвращаетесь?», с теми обидными прибавлениями, которые вызывают к ссоре и драке, что бы неминуемо последовало, если бы во все время нашего следования назад сильный дождь не давал горцам выходить из домов. К вечеру мы едва достигли деревни Хупры, где ночевали во время следования в горы. Нас приняли весьма хорошо, и спутники мои успели тут познакомиться с мюридом, который путешествовал по особому поручению Шамиля. Они с ним ужинали вместе, подружились и уговорили его сопровождать нас до границы у подошвы гор. До рассвета мы уже были на конях и всходили на перевал, где, к крайнему удивлению, застали 12 человек, с головы до ног вооруженных и заграждавших нам дорогу. Ими предводительствовал тот самый горец, который нас наблюдал у моста, когда мы следовали в Мококо. Надобно было остановиться, и начались опять толки, придирки, ругательства и угрозы. Ведя лошадей за узду и держа ружья в готовности, мы следовали далее в сопровождении наших недоброжелателей, которые всеми мерами старались выманить у нас выстрел и тогда беспощадно изрубить. Они уже успели склонить на свою сторону шесть молодых людей, которых только деревня дала в конвой для перехода гор, и оставалось только уговорить одного человека, то есть мюрида, но этот не поддавался, говоря, что он нам дал свое слово, которое сдержит, и, прежде чем сделают малейший вред, им придется пройти по его трупу. Таким образом, мы все, подвигаясь вперед, достигли склона гор, ведущего в наши пределы, и откуда виднелись зеленеющие долины нашей границы, которые достигались нашими патрулями. Мы начали спускаться вниз, и наши преследователи сочли за лучшее нас оставить, послав вслед бесконечные ругательства. Достигнув подошвы гор, где надобно было вброд перейти речку, мюрид остановился и с нами простился, взяв за свои труды только рубль серебра. Мы уговаривали его следовать с нами дальше, но он решительно отказался, сказав:

— На другой стороне земля русская, и я на нее мирно вступить не могу, я дал вам слово довести вас целыми до вашей границы, и я слово сдержал, прощайте, помните, что вас вел мюрид, — и с тем пошел назад.

Так как обеденная пора давно прошла и мы были очень голодны и уставшие, то в лесу я развел огонь, стал жарить на пруте шашлык из куска баранины, купленный нами у горцев. Мое incognito все еще продолжалось, ибо с нами еще были шесть конвойных дидойцев. Часа через три мы к вечеру прибыли в деревню Сабул. Тут встретил меня один из моих товарищей, который не мог не удивиться моему перемене и стойкости в выдержании роли глухонемого. Три дня спустя я лежал в желчной горячке в прошлогодней моей квартире в селении Кварели. Если б горцы задержали нас еще три дня, никто живым оттуда бы не вышел. (...)





При свечах

М.Демина

Давным-давно, а точнее, пять тысяч лет тому назад, на закате дня собрались возле костра люди. Им было тепло, спокойно и уютно. Они отдыхали, предвкушая вкусный ужин: на огне жарилась огромная туша кабана. Ароматные капельки жира, падая на раскаленные угли, вспыхивали ярким пламенем, на несколько мгновений озаряя все вокруг.

«А что, если попробовать, — подумал некий пыливый умница, — взять этот свет в руки и заставить его сиять подольше?» Сказано — сделано! В полый стебель тростника он налил растопленный животный жир, остудил его и зажег от костра. Так получилась первая в истории человечества свеча. Она была несовершенна — нещадно дымила, отвратительно пахла и сгорала очень быстро, поскольку не имела фитиля. Ведь другой умница, которому суждено было придумать фитиль, появился на свет только спустя две тысячи лет. И все же это была свеча — светильник, удобный в обращении и простой в изготовлении. Многие века она верой и правдой служила человеку, освещая его тернистый путь в истории. В наш век электричества и высоких технологий мы тоже зажигаем свечи, чтобы отрешиться от суеты и забот, побыть наедине с собой, ощутить свою причастность к высшей гармонии мира и никогда не прерывающейся связи времен.

Да будет свет!

Первыми не захотели проводить вечера в темноте древние египтяне. Согласно свидетельствам историков, в домах богатых горожан зажигали факелы — стебли высушенных растений, политые растопленным животным жиром. Держать в руках такой факел было неудобно, поэтому их крепили на стенах зажимами, и получалось нечто похожее на сегодняшние бра. Ими же освещали дороги, когда знатным персонам вздумывалось путешествовать по ночам. Они же были важной деталью религиозных обрядов.

Где впервые появился фитиль, точно не известно. По-видимому, это случилось одновременно (по историческим меркам, конечно) во многих странах сразу. Идеи носятся в воздухе! Сначала фитили делали из щепочек или вымоченной мякоти сердцевин тростника. В Древнем Египте фитилем служил папирус, благо его было много. Листик папируса скручивали в тугий рулончик и смачивали в животном жире. В Китае фитили изготавливали из рисовой бумаги, скатанной в трубочку и пропитанной воском, добытым из растений или насекомых. Много позже для фитилей начали использовать хлопковые и конопляные волокна. Форма древних свечей была совсем не похожа на нынешнюю, ведь в дело шли только доступные человеку материалы, например длинные тонкие обрезки камыша, бамбука, тростника. Их наполняли горючей жировой или восковой массой и помещали в нее фитиль. Китайцы первыми начали делать из плотной рисовой бумаги корпуса-контейнеры для свечей.

В качестве стационарных светильников для освещения больших помещений

использовались чаши, наполненные застывшим жиром с фитилем внутри. Их ставили на устойчивый высокий треножник — прадедушку канделябра. Иногда чаши подвешивали к потолочным балкам, совсем как современные лампы. Горючая масса древних свечей представляла собой смолоподобную смесь растительных и животных восков и топленого животного жира. В Индии воск получали переработкой плодов корицевого дерева, в Японии — орехового дерева, в Китае — из зерен злаковых растений. Американские индейцы добывали воск сжиганием коры восковника или смоляного дерева, а также использовали очень жирную рыбу, обитающую в Тихом океане. Ее сушили и продавали сквозь нее фитиль, а то и просто насаживали на палку и поджигали. Такая «рыба-свеча» горела довольно долго. Процесс получения растительных восков был трудоемким и сложным, а значит, и дорогим, поэтому все шире применялись животные жиры, в частности, бараний. Он не растекался, в застывшем виде хорошо сохранял форму. И хотя жировые свечи неприятно пахли, дымили и чадили, они были относительно дешевы и доступны. Эстеты греки и римляне отчаянно пытались перебить свечной «аромат», добавляя всевозможные благовония. Помогало это делу мало: запах становился хоть и сладковатым, но приторно-тошнотворным.

Повсеместно свечи делали, как мы бы сказали, по единому стандарту: растопленную жировую смесь заливали доверху в сосуд любой формы и в нее погружали фитиль. Зачастую самой дорогой составляющей свечи был именно сосуд. А так как свечей требовалось все больше и больше, появилась необходимость от него отказаться. В этот самый исторический момент и сделали свое гениальное открытие древние римляне: раз свечной жир хорошо и быстро застывает (того и гляди, не успеешь поместить в него фитиль!), то почему бы ему самому не быть для себя сосудом-формой. Если скрученный фитиль опустить в растопленный жир и медленно вынуть, на нем останется тоненький, быстро твердеющий на воздухе жировой слой. Многократным маканием фитиля его можно нарастить до любых размеров. И получается отличная плотная свеча с торчащим из нее кончиком фитиля. Такие свечи стали называть макаными, от слова «макать».

Изготовление маканых свечей сразу же поставило на поток. К раме, подвешенной над чаном с расплавленным жиром, прикрепляли несколько десятков фитилей одинаковой длины. С помощью рычага раму много раз опускали и поднимали. Когда свечи набирали нужную толщину, их срезали и еще теплыми ка-

тали по гладкой каменной поверхности, отчего они становились гладкими, без наплывов. Макушке обязательно придавали форму конуса, чтобы было красиво, а кончик фитиля подравнивали.

В XIII веке появились настоящие свечные фабрики, а значит, и свечные лавки. До этого времени производство свечей было в основном надомным. Их делали для собственного потребления, и лишь часть продукции продавали. Свечные мастера объединялись в гильдии. Самым крупным производителем в средневековой Европе, почти монополистом, была церковь. Для христианского богослужения свечей требовалось много. Ведь ранние христиане, жестоко гонимые язычниками, проводили литургии и другие священные таинства в катакомбах и пещерах, а там без света не обойтись. Поэтому зажигание свечей было узаконено церковным уставом. Со временем горящая свеча стала не просто атрибутом или данью традиции, но символом нетварного вечного Света, явленного человеку Богом, без которого люди «веками бродят во тьме и беспросветном мраке, не прекращающемся даже днем». Возжигание свечей перед иконами — это и жертва храму (ведь свечи всегда покупались), и благодарение Богу, и выражение человеком своей веры.

Свечи ставили в подсвечник. Сначала это была просто деревянная дощечка с выдолбленными в ней полостями. С XVI века внешний вид подсвечников начал меняться. Они стали не просто приспособлением для удержания свечи в вертикальном положении, а богато украшенным предметом интерьера. Свечи для церковных служб делали не из животного жира, а из восков, обычно пчелиного. Горели они ярче и дольше, чадили меньше и приятно пахли, но были дороги, поэтому восковыми свечами пользовались лишь богатые люди.

В XV веке во Франции для производства свечей придумали литейную форму в виде конуса. Фитиль сверху крепили к проволочной перекладине, натягивали и пропускали сквозь отверстие в доньшке, которое плотно затыкали, чтобы не дать вытечь расплавленной свечной массе. Когда она застывала, кончик фитиля обрезали, форму переворачивали и вы-



ДРУГИЕ ВЕЩИ

тряхивали готовую свечу, как песочный куличик из детского ведерка. Литые свечи имели утолщенное основание и были ровные, гладкие, одинакового размера, как близнецы-братья.

«Свеча горела на столе, свеча горела...»

На Руси для свечей традиционно использовалось говяжье или баранье сало, и назывались они салными. Свечи сильно коптели, но были недороги. Тем не менее в деревнях нередко коротали вечера при лучине. В XVII веке в России начался бурный рост свечного производства. Мастеров называли свечниками или свешниками. В Москве в Зарядье, на Ильинке, на Варварке открывались свечные ряды, где продавались свечи и литые, и маканые. Формы для литья делали из меди. Восковых свечей было, не в пример Европе, много. Ведь добыча и заготовка пчелиного воска велась на Руси с X века. Этот промысел назывался бортничеством. В летописях и грамотах часто упоминаются бортники, медовый оброк, бортные угодья. Князья считали своим долгом дарить монастырям воск, из которого монахи делали не только свечи, но и печати. Смоленский князь Ростислав Мстиславович в 1150 году, согласно летописи, отправил «на посвет Святой Богородице из двора своего 8 капий воску». (Капь — древнерусская мера веса, равная четырем или пяти пудам.) Звенигородский князь Юрий Дмитриевич предоставил Саввино-Сторожевскому монастырю бортъ «по Нахабну к реце Москве». Об этом осталась запись в жалованной грамоте 1404 года. Запе-

чатана она печатью «на черном воску».

В свечном ряду можно было купить, выражаясь современным языком, всевозможные аксессуары, например съемцы — щипцы для снятия фитильного нагара, металлические колпачки на длинных ручках для гашения свечей, кольца с ламповым стеклом, чтобы сквозняк не задувал пламя. По мере сгорания свечи кольцо сдвигали вниз, и она горела спокойно и ровно. Наверное, такая настольная лампа, то есть свеча, очень располагала к работе. В богатых домах по праздникам зажигали многие сотни восковых свечей, вставленных в изящные канделябры, вычурные бра, которые занимали простенки между окнами или зеркалами. В XVII веке появились люстры — сложные конструкции весом по нескольку сот килограммов. Они монтировались вместе с механизмом, позволявшим поднимать и опускать люстру. Специальный работник часами зажигал и гасил свечи. Люстры отделывали бронзой, украшали подвесками из цветного стекла и натуральных самоцветов. Диву даешься, как такую махину выдерживали потолочные перекрытия! Улицы около домов в дни балов и приемов тоже освещались: «...усеян площадками кругом стоит великолепный дом...» Гости приезжали в экипажах с огоньком: «...двойные фонари карет веселый изливают свет и радуги на снег наводят...» В фонарях горели свечи, а в плосках сало.

В XVIII веке появилось новое сырье для свечной массы — спермацет. Его получали вымораживанием и кристаллизацией спермацетового масла — густого твердого воскоподобного жира, находящегося в особой полости головы кашалота — фиброзном мешке над носовыми ходами. На воздухе спермацет застывает и становится блестящим и маслянистым на ощупь. По свойствам он близок к пчелиному воску, хотя и не такой твердый. Спермацетовые свечи горели ярче и чище и были даже дешевле салных, ведь китобойный промысел только набирал обороты, и китов в морях было много. Хотя проблему запаха такие свечи не решили — спермацет, как всякий животный жир, пахнет плохо, — но пользовались большим спросом. Их ароматизировали



ягодами барбариса, правда, с малым успехом. Варварское уничтожение кашалотов длилось недолго, в XX веке их добыча была запрещена законом.

Для новой свечи был усовершенствован и фитиль. С этого времени фитили стали делать из хорошо впитывающих растительных волокон, прессованных или плетеных. Чтобы улучшить качество горения, их смачивали растворами селитры, борной кислоты, хлористого аммония. Такие фитили используются в свечах и сегодня.

Долго бы еще чадили сально-жировые свечи, покрывая копотью все вокруг. Но наконец пришел XIX век — поистине золотой век свечного дела. В 1820 году французский химик Мишель Эжен Шевроль получил новый органический продукт — стеарин — реакцией гидролиза жирных кислот при высоких температуре и давлении. Он был тверже и крепче животного жира, а горел даже чище пчелиного воска. Стеариновые свечи с новыми плетеными фитилями были выше всяких похвал. Они сразу решили все проблемы — запаха, чистоты горения и прочности. Что теперь сдерживало производство, так это устаревшая технология макания. Не спасала дело и формовка, ведь каждую свечку надо было вынимать вручную. Срочно требовалась машина, и она появилась.

В 1834 году английский изобретатель Джозеф Морган сконструировал устройство для автоматического вынимания готовой свечи из формы: цилиндр сдвигающимся поршнем — пистоном, который выталкивал остывшую свечу и освобождал его для новой порции свечной массы. Дальше — больше. В 1850 году был впервые получен парафин из углеводородного сырья. Парафиновая свеча была великолепна — прочная, белоснежная, она горела красивым пламенем и — о счастье! — ничем не пахла. Только дым при тушении свечи имел запах, но и он был вполне сносным. Единственный недостаток парафина — низкая температура плавления по сравнению со стеарином или воском, поэтому чисто парафиновые свечи быстро оплавляют. Добавление стеарина делает их заметно тверже.

Свечное производство росло невиданными темпами, как вдруг оно получило почти смертельный удар, причем оттуда, откуда его никто не ждал, — со стороны новых технологий, которые перед этим так двинули его вперед. Сначала появились керосиновые лампы, потом газовые уличные фонари, и, наконец, в 1879 году Томас Эдисон предложил миру электрическую лампочку накаливания. Но это уже другая история.

А что же свечи? Они благополучно дожили до наших дней, по-прежнему востребованы церковью. Как и раньше, их делают из парафина, стеарина и пчелиного воска. Для освещения они

не используются, хотя, наверное, в каждом доме есть хозяйственная свеча «на всякий случай». Когда-то человек мечтал осветить свое жилище свечой бездымной, яркой, ароматной, красивой формы. Теперь — пожалуйста, все это есть в наличии, вот только стало не нужно. Но просто так расстаться со свечой, выкинуть ее на свалку истории не поднимется рука. Свечи получили новое предназначение. Из предмета утилитарного они превратились в предмет декоративно-эстетический. Выключите свет и зажгите ароматную свечу. Язычок пламени магически притягивает и не отпускает взор. Теплый мерцающий свет создает восхитительную атмосферу уединенности, чарующий аромат наполняет комнату. Заботы отступают, тревоги рассеиваются, страхи исчезают. И ничто не существует в эти мгновения, кроме мира и покоя.

Поиграем с огнем?

Зададимся детским вопросом: почему свеча горит? Если поджечь один фитиль, он сгорит почти мгновенно. Его аналог — бикфордов шнур, или пропитанная селитрой нитка, горит со скоростью 1 см в секунду. Чтобы присоединенный к нему заряд взорвался через минуту, шнур должен быть длиной около 60 см.



Твердую свечную массу, не важно, парафин, стеарин или воск, не удастся даже поджечь. Для этого нужны очень высокие температуры. А свеча зажигается от одной спички и горит долго и ровно. На наших глазах она медленно тает и исчезает совсем (при условии хорошего горения). Куда она девается?

Посмотрим на составляющие свечной массы. Парафин — это минеральный воск, жироподобное твердое вещество, сложная смесь углеводородов состава $C_n H_{2n+2}$, где n принимает значения от 18 до 35. Получают его вытапливанием или кристаллизацией парафинового дистиллята, остающегося после выделения из нефти летучих фракций — бензина, керосина, лигроина и солярового масла. Чистый парафин имеет белый цвет, неочищенный — светло-коричневый. Плавится он при температуре от

45 до 60°C. Вязкость расплава мала. Стеарин — это стеариновая кислота с примесью некоторых насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, например пальмитиновой и олеиновой. Пчелиный воск вырабатывают медоносные пчелы для строительства сот. Это твердое светло-желтое вещество с характерным запахом, по химическому составу — соединение сложных эфиров, свободных жирных кислот и воды. Температура плавления — от 60 до 70 °C.

Давайте возьмем парафиновую свечу, расправим кончик фитиля, выглядывающий из верхнего края, и спичкой подождем его. Пламя побежит по фитилю вниз и коснется парафина. Он начнет нагреваться и таять. На макушке свечи образуется ямка с лужицей расплавленного парафина в ней, как в чашечке. Внешняя часть свечи остается холодной, и ее можно спокойно держать в руках. В расплаве парафина фитиль меркнет и гаснет — в этом можно убедиться, резко опрокинув свечу: жидкость мгновенно затушит его. Значит, жидкий парафин, как и твердый, сам не горит. А фитиль горит только выше жидкой субстанции. Что же тогда является горячим и как оно попадает вверх, в зону горения?

Фитиль — туго скрученная двойная или тройная нитка — играет роль капилляра, по которому расплавленная свечная масса поднимается вверх. Капельки жидкого парафина вытягиваются в щелки между нитями. Вспомним доисторические бесфитильные свечи из полых узких стеблей тростника. Там жидкий жир благодаря явлению капиллярного притяжения поднимался к верхушке сам, вытягиваясь в мельчайшие поры на внутренней поверхности стебля. В восковых свечах фитиль немножко другой — он не скручен туго, а имеет рыхлое плетение, поскольку расплавленный воск имеет вязкость много большую, чем парафин, и капилляры для него должны быть шире. Так расплавленный парафин или воск легко движутся вверх, в зону горения. Там они продолжают нагреваться, и с какого-то момента начинается процесс испарения. Вот эти-то пары парафина и горят! Окружающий воздух, а точнее кислород, будучи окислителем, поддерживает горение, и свеча, то есть газообразный парафин, горит чисто и ясно. Накроем горящую свечу стеклянной банкой. Она быстро погаснет, и чем меньше будет банка, тем быстрее, потому что не будет притока воздуха. А если вместо воздуха подавать чистый кислород, горение будет еще ярче, активнее и... Этот опыт дома повторять не стоит — недалеко и до пожара. Азот, которого в воздухе более 70%, сдерживает горение, умеряет его.

Давайте понаблюдаем за пламенем свечи. Если нет дуновения ветра, оно ровное и спокойное, по форме напоминает вытянутую продолговатую каплю.

Факел пламени вытягивается холодными восходящими потоками воздуха. Они обхватывают его, и поэтому язычок пламени может подняться достаточно высоко. Они же охлаждают внешнюю поверхность свечи и не дают расплаву вылиться из «чашечки». На сквозняхках пламя отклоняется, и жидкий парафин может пролиться — так на свече образуются наплывы-наросты. Пламя свечи не однородно, а состоит из нескольких зон. Вверху оно яркое, красно-желтое, а внизу темнее. Оно похоже на пламя горячей газовой горелки. В обоих случаях фронт горения, характеризующийся максимальной температурой, находится в зоне смешивания или диффузии газов (у свечи это парафиновые пары и кислород). Их постоянный подогрев происходит благодаря теплопроводности из фронта горения. Отличие горелки от свечи — в подаче горючего. Если газ принудительно и грубо регулируется человеком: прикрыл краник, отвернул краник, то свеча «поставляет» его сама, в своем собственном темпе. И эта согласованность и слаженность процессов просто поражает.

Часть пламени, прилегающая к фитилю, имеет сине-фиолетовый цвет. Именно здесь находятся тяжелые пары парафина, которые сгорают в исправно поступающем кислороде. В результате освобождается чистый углерод. Раскаленные крошечные частички угля ярко светятся при сгорании. Да, да, та самая противная черная сажа обеспечивает теплый желто-оранжевый свет свечи. Не успевший сгореть углерод (или кислорода мало, или неподходящий фитиль «подает» слишком много горючего) выпадает в виде сажи, и мы говорим, что свеча коптит. Как вы думаете, в какой области факела пламя самое горячее? Около фитиля? Совсем нет. Самый горячий фронт имеет форму кольца, центр которого — фитиль. Если пламя накрыть листком бумаги и быстро его поднять (а где у нас огнетушитель?), можно увидеть подпалину в виде ровного кольца. Таким образом, самая яркая часть пламени одновременно и самая горячая. Именно



в этом кольце горит углерод. Внешняя часть пламени светится слабо — там углерода мало, а кислорода много.

Как горит водород — вторая составляющая парафиновых паров, демонстрирует так называемая философская свеча. Это — банка, наполненная водородом, закрытая притертой пробкой, сквозь которую проходит тоненькая трубка. Пламя горящего водорода очень горячее и практически бесцветное. Его можно заметить только благодаря сгорающим твердым пылинкам, находящимся в воздухе. Они придают ему слегка голубоватый оттенок.

А теперь давайте задумаем свечу. Появится дымный запах, от фитиля потянется белесый шлейф. Если поджечь эту дымящуюся ленту, пламя побежит по ней назад к фитилю, и свеча опять загорится. Это значит, что дым задутой свечи есть не что иное, как остывающие пары парафина, которым не удалось сгореть.

Что происходит с углеродом? Он сгорает в кислороде, и образуется углекислый газ, не имеющий ни цвета, ни запаха и не поддерживающий горение. Он поднимается вверх и улетучивается. Второй продукт горения свечи — вода, выделяющаяся в виде паров. Обнаружить ее легко. Подержите над пламенем свечи холодный предмет, например ложку. Она запотеет, и на ней выпадет роса в виде капелек воды. Теперь мы можем описать горение парафиновой свечи химическим уравнением: $C_nH_{2n+2} + O_2 = CO_2 + H_2O$.

Вот такое непростое это явление — горение обычной свечи. Этот интереснейший физико-химический процесс был окончательно понят людьми только в XX веке на основе атомно-молекулярной теории строения вещества и законов химической кинетики — науки, изучающей механизмы и скорости протекания химических реакций. Полтора века назад великий ученый Майкл Фарадей написал: «Явления, наблюдающиеся при горении свечи таковы, что нет ни одного закона природы, который при этом не был бы так или иначе затронут». В самом деле, горящая свеча демонстрирует нам физико-химические превращения, основанные на газовых законах и законе всемирного тяготения, явлениях конвекции, теплового расширения, капиллярного притяжения, диффузии и других. В 1861 году Фарадей прочитал цикл лекций для школьников и студентов под названием «История свечи», которые один из благодарных слушателей, став взрослым, издал отдельной книгой. Она и сегодня ничуть не устарела.

Стоит свеч!

В конце XX века во всем мире начался «свечной ренессанс». Декоративные ароматные свечи стали непременным



ДРУГИЕ ВЕЩИ

атрибутом праздников, оригинальным подарком, украшением интерьера. Их зажигают и во время торжественного обеда, и на веселой дружеской вечеринке, и просто так, под настроение. А почему бы не сделать необычную свечу самому? Домашнее «свечеделание» иногда называют «креативной терапией», лекарством от расстройств и хронической усталости. Если надо отвлечься или хочется творчески отдохнуть, лучше занятия не найти: технология проста и понятна, необходимые материалы доступны и недороги, затраты времени небольшие.

В качестве рабочего места подойдет кухонный стол, застеленный плотной бумагой. Если нечаянно прольем расплавленный парафин, подстилку свернем и выбросим, а стол останется чистым. Кухня годится любая, главное — хорошая вентиляция и отсутствие вечно спящих под ногами домашних питомцев. Нам потребуются две кастрюли разного размера для водяной бани — свечную массу плавить просто на огне нельзя, она может загореться, а также электронные весы и специальный термометр со шкалой до 100°C, чтобы измерять температуру расплава. Свечная масса — это материал, из которого мы будем делать свечи: парафин, стеарин (его используют, как упрочняющую добавку к парафину в массовом соотношении 80% парафина, 20% стеарина), пчелиный воск.

В магазинах для домашнего творчества можно купить и разработки последних лет — соевый и пальмовый воски, горящие долго и чисто. Это натуральные продукты, получаемые из чистых масел — соевого и пальмового. Они отлично впитывают запахи, поэтому из них получаются самые хорошие ароматические свечи. Пальмовый воск имеет интересную особенность: при застывании его поверхность получается не гладкой, на ней отчетливо проступает «морозный» узор, как на замерзшем окне зимой. Чтобы его не потерять, форму для свечи надо выбрать пластиковую или металлическую. В силиконовых или стеклянных узор становится малозаметным. Новым продуктам ничуть не уступает и пчелиный воск, самый экологичный, обладающий целебными свойствами. Свечи из него и без ароматизаторов чудесно

пахнут медом. Редкие, дорогие виды восков — карнаубский, канделильский, воск мимозы, используются для особых — массажных или ароматерапевтических — свечей.

Формой может служить любой сосуд, лишь бы он не сужался кверху. (Иначе готовую свечу будет невозможно извлечь.) Перед заливкой свечной массы внутреннюю поверхность желательно смазать растительным маслом. На дне формы шилом сделаем отверстие, в которое будем пропускать фитиль. Его надо тщательно загерметизировать, чтобы горячая свечная масса не подтекла. Для контейнерных свечей используются стеклянные или керамические сосуды. В этом случае фитиль крепится на дно фитиледержателем. Так называется металлический кружок, похожий на пуговицу с одной дыркой. Его приклеивают к дну термоклеем, а отверстие со вставленным фитилем зажимают плоскогубцами. Фитиль должен быть хорошо натянут. Для этого на край формы кладем металлическую спицу. Продернутый фитиль отцентрируем (это важно!), натянем и наматываем на нее. Для верности, чтобы он не съехал, пристегнем его прищепкой.

Фитили — воощенные нити разного диаметра — продаются в магазинах. Чем толще свеча, тем толще должен быть фитиль. Его можно сделать и самостоятельно из хлопчатобумажной пряжи без примеси синтетики. Толщину нити опять-таки выбираем в зависимости от размера свечи. Несколько ниточек заплетаем в тугую косичку и обмакиваем в расплавленный воск. Когда он подсохнет, фитиль можно вставлять в форму.

Подкрашивают свечи жирорастворимыми красителями. Для домашнего творчества подойдут детские восковые мелки, палитра которых огромна. Натертый на крупной терке мелок засыпают в растопленную массу и перемешивают. Воски при застывании могут изменить цвет, поэтому желательно делать пробы.

Готовые свечи можно украсить ленточками, термонаклейками, аппликациями, раскрасить акриловыми красками на водной основе. Главное, чтобы материал декора не был легковоспламеняющимся. В любом случае его лучше располагать подальше от фитиля.

Сделаем свечу для украшения праздничного стола. Возьмем самую простую форму — цилиндр. Проденем подготовленный фитиль и закрепим его на спице. Растопим свечную массу, пусть это будет парафин со стеарином. Для запаха выберем готовую отдушку. Натуральные эфирные масла в парафин добавлять бесполезно, при горении пахнуть они не будут. Нальем расплав в форму. Когда он застынет, вытряхнем готовую свечу и выровняем низ. Для этого прижмем ее

к горячей подставке и поворачиваем. Подрежем кончики фитиля.

Раскрасить свечу под силу даже младшим школьникам. Сначала покроем ее целиком акриловым лаком на водной основе. На него в несколько слоев нанесем кисточкой акриловую краску, гармонирующую, например, с цветом скатерти. Подсохшую краску опять покроем лаком. Сверху разбросаем золотые блестки — глиттер. К низу свечи привяжем декоративную ленту в тон и уберем часа на два в холодильник. Теперь свеча готова к торжественному выходу. Поставим ее в красивый подсвечник и зажжем. Ее теплый свет тре-



петно заиграет, отражаясь в хрустальных бокалах и металлических приборах. Стол, даже самый простой, сразу станет изысканным.

Потренировавшись, мы замахнемся на свечу посложнее — аромасвечу. Так называются свечи только из натуральных восков с добавлением эфирных масел и эссенций. Просто ароматическая свеча — это обычная восковая или парафиновая с приятно пахнущей синтетической отдушкой. Аромасвечи не только источают аромат, но и помогают справиться с головной болью, усталостью и бессонницей, успокаивают, улучшают настроение. Первые аромасвечи появились в продаже в 60-е годы прошлого века. Они были сделаны вручную из пчелиного воска, окрашены в темно-зеленый цвет и замечательно пахли кипарисом. Свечу, перевязанную красной лентой, помещали в стеклянную чашу и зажигали, чтобы очистить воздух в комнате.

Мы с вами сделаем лучше! Это будет не простая аромасвеча. Кроме приятного запаха, она подарит нам необыкновенное масло, которое можно использовать для массажа, обертывания или после банной процедуры. Итак, заранее приобретем все необходимые компоненты для свечной массы: по 6 г восков пчелиного, карнаубского и канделильского, по 6 г твердых масел — какао, кокоса и карите и 15 мл жидкого масла виноградной косточки. Нужно количество отмерим

на электронных весах. Растопим воски с маслами, осторожно перемешаем и добавим эфирные масла: по 5 капель лимонного, апельсинового, бергамота, герани и витамина Е. Формой будет стеклянная рюмка на 50 мл. К доньшку приклеим фитиледержатель с фитилем, протянем его на всю высоту рюмки и наматываем на спицу. Зальем свечную массу. Сохнуть она должна не менее двух часов. Подрежем фитиль. Наше чудо нежно-оранжевого цвета готово. Зажжем свечу. Легкий свежий цитрусовый аромат настроит на радостные мысли. Очень скоро наверху свечи в лунке образуется жидкое масло. Погасим свечу и чуть-чуть остудим. Наклонив ее, выльем масло на ладонь и нанесем его, чуть теплее и нежное, на кожу. Гиппократ еще в IV веке до н. э. говорил, что путь к хорошему здоровью — ежедневный ароматизированный массаж, он успокаивает душу и лечит тело. Опять зажжем свечу и будем долго наслаждаться ее волшебным ароматом и живительным теплом. А кожа, смягченная и увлажненная, отблагодарит нас сияющим, здоровым видом.

В следующий раз попробуем масло авокадо или кокоса, из жидких — оливковое. Если не удастся купить один из восков, ничего страшного, заменим его соевым или пальмовым, увеличим содержание пчелиного. Единственное условие — восков должно быть не меньше, чем твердых масел, в противном случае свеча гореть не будет. С эфирными маслами можно экспериментировать бесконечно, их выбор велик: роза, сандал, пачули, имбирь, мята, лаванда, розмарин, бергамот. Фантазируя, ориентируйтесь на свой нос — ему виднее. Натуральные эфирные масла недешевы, но их много и не требуется — не более 5 мл на 100 г свечной массы. Покупая их, избегайте подделок. Если вам предлагают эфирное масло клубники, персика, сирени или ландыша, не покупайте — перед вами дешевая синтетическая отдушка, ведь таких эфирных масел не существует в природе. Попробуйте капнуть на ткань — настоящее эфирное масло не оставляет жирных пятен, оно просто испаряется. Будьте аккуратны с розовым маслом: при горении его запах может стать резким, почти неприятным. Не забудьте сделать свечу с ароматом эвкалипта и сохраните ее до лета. Комары и прочая кровососущая нечисть облетят ваш дом стороной.

И наконец, придумайте свою свечу, с ароматом, навевающим воспоминания о полевых цветах, вкуском ванильном печенье, прогулках в сосновом лесу... — и всплывут в памяти давно забытые счастливые и радостные моменты прошлого. Горящая свеча отдаст вам свое тепло и свет. «Служа другим — сгораю сам»

Фото автора

СОРБОМЕТР™

АНАЛИЗАТОРЫ УДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ДИСПЕРСНЫХ И ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

Предназначены для исследования текстурных характеристик дисперсных и пористых материалов, в том числе нанокomпозитов, катализаторов, сорбентов, и т.д.

Характеристики

- Диапазон измерения удельной поверхности: 0,1-1000 м²/г
- Погрешность измерений: 6% во всем диапазоне
- Полная автоматизация циклов адсорбция-десорбция
- Автоматическая калибровка
- Станция подготовки образцов к измерению

Прибор **СОРБОМЕТР** обеспечивает

- Измерение удельной поверхности однотоочечным методом БЭТ



СОРБОМЕТР

СОРБОМЕТР-М



Прибор **СОРБОМЕТР-М** обеспечивает

- Измерение изотермы адсорбции
- Измерение удельной поверхности многоточечным методом БЭТ и STSA, объема микро- и мезопор
- Расчёт распределения мезопор по размерам

Области применения

- Научные исследования
- Учебный процесс
- Химическая промышленность
- Горно-обогатительная промышленность
- Атомная промышленность
- Производство огнеупорных и строительных материалов
- Производство катализаторов и сорбентов

Пельмени

В ноябре холодно, выставленные за окно продукты замерзают, хочется чего-нибудь горячего. Время лепить пельмени и время их есть.

Что такое пельмени? Пельмени — это мясной фарш со специями, завернутый в тонкую оболочку из пресного теста. Слово «пельмени» не переводится на английский язык, точно так же как taiga, tundra и vodka. Поясняя англосаксам, что это такое, составители словарей определяют пельмени как сибирские мясные клецки. Никакие это, конечно, не клецки, но действительно сибирские, хотя рецепты пельменей — неперменная составляющая любой кулинарной книги, посвященной блюдам русской кухни. Ну что ж, «Сибирь ведь тоже русская земля».

Классические «тестяные уши». Блюда, представляющие собой завернутое в тесто мясо, есть у каждого народа. Вопрос в том, какое мясо при этом берут, в какое тесто заворачивают и как потом готовят. Согласно Вильяму Похлебкину, пельмени придумали финно-угорские народы в XV—XVII веках, когда стали покупать у русских и татар пшеничную муку. Мука в тех краях стоила много дороже мяса, поэтому слой теста делали совсем тоненьким. В правильно приготовленных пельменях начинка должна просвечивать. Чтобы тесто при этом не порвалось, в него обязательно добавляют яйца. Заворачивают в них фарш, состоящий из рубленой зелени, черного перца, репчатого лука и трех сортов мяса — говядины, баранины и свинины в соотношении 450:350:200 г. Допустимо и другое соотношение — 400:400:200. Тесто зашпигуют так, чтобы получился полумесяц, а затем соединяют его края. Получаются пельняни — «тестяные уши» от «пель» — ухо и «нянь» — тесто, хлеб.

Русские оценили это блюдо, переименовали в пельмени, и пошло оно в разных вариантах гулять по всей России. Сейчас можно встретить пельмени с самой разной начинкой, в том числе с олениной и можжевельными ягодами, медвежатинной, курицей с цукини, филе семги, морепродуктами, грибами и даже луком и яйцами. Есть низкокалорийные пельмени с большим количеством овощей.

Как готовить пельмени. Специалисты не рекомендуют при лепке настоящих пельменей пользоваться пельменными досками — швы получаются непрочными, и пельмени развариваются. Только вручную, долго, но надежно. Замораживать их необязательно, достаточно подсушить, чтобы тесто не слипалось, и можно варить. Варят либо в мясном бульоне, либо в подсоленной воде с луком, лавровым листом, перцем и другими пряностями. Жидкости наливают побольше, пельменям нужно место, куда всплыть. Тогда их выкладывают в ситечко, промасливают, чтобы не слиплись, и снова высыпают в ту же воду. Пельмени готовы, когда всплывут вторично. Едят их горячими, со сливочным маслом или сметаной и зеленью. Пельмени можно недovarить и потом либо обжарить в масле, либо запечь в горшочке.

Колдуны и кундюмы. А еще встречаются в кулинарных книгах сообщения: есть, мол, в России колдуны — тоже пельмени, только большие. На самом деле «колдуны» — искаженное «колдунай», литовские пельмени. Они как раз некрупные, не больше 2—3 см. Тесто для колдунов замешивают без воды, только мука, яйца и лавровый сок, а основу фарша составляют жирная говядина и свиное сало. Вместо мяса можно взять грибы, но сало все равно добавляют. Слепленные колдунчики сначала обжаривают на сковороде, а потом варят и используют чаще не как второе блюдо, а как наполнение супов. Для супа нужен хороший бульон, а не та вода, в которой варились пельмени.

А вот кундюмы — старинное русское блюдо, известное с XVI века, грибной вариант пельменей. Рецепт их приготовления восстановил Вильям Похлебкин. Тесто для кундюмов замешивают на кипятке с растительным маслом без яиц, а начинку делают из сухих или свежих грибов с гречневой крупой, пряностями и рубленным яйцом. Кундюмы не варят, а пекут, а затем перекалывают в горшочек, заливают грибным отваром и 15 минут томят в духовке. Едят их горячими со сметаной.

Манты. На авторство всех блюд пельменного типа претендует Китай, но это спорный вопрос. Разные народы придумывали собственные рецепты. Вот, например, манты — среднеазиатское кушанье, хотя само слово китайское. О его происхождении рассказано в средневековой китайской хронике «Троецарствие» Ло Гуаньчжуня: «Стояла ранняя осень, когда Чжугэ Лян собрался возвращаться в Шу [после умиротворения народа маньцев]. А тут примчался гонец с донесением, что река яростно разбушевалась и переправу войск пришлось отложить. Чжугэ Лян стал расспрашивать местных жителей, как утихомирить реку. «По местному обычаю в жертву приносят сорок девять человеческих голов», — сказали жители. «Я не буду больше убивать людей», — воскликнул Чжугэ Лян. Вызвав к себе походных поваров, он приказал им зарезать быка и лошадь, а потом сделать из теста шары, напоминающие человеческие головы, и начинить их мясом. Эти шары назвали «мантоу»,



Художник Н. Колпакова



что значит головы маньцев». Тесто для мант может быть и потолще классическогопельменного, до 2 мм, а фарш делают из баранины, курдючного сала и специй, иногда из говядины или рыбы, свинина исключается. Манты крупнеепельменей, кроме того, их не отваривают, а готовят на пару.

Хинкали — грузинский вариантпельменей. Они очень крупные, и для них тесто раскатывают еще толще, до 3 мм, потому что в фарш добавляют бульон. Тонкое тесто просто не выдержит нагрузки, и бульон выльется. Хинкали защипывают, собирая тесто в оборочки, и в результате получается изделие, напоминающее головку чеснока, даже тестяной хвостик сверху торчит. Варят их в большом количестве воды или бульона, при этом обращаясь с величайшей осторожностью, чтобы не порвать тесто. Замороженные хинкали, которые иногда соседствуют в наших магазинах спельменями, — суррогат, их полагается есть свежими.

Есть еще позы, или буузы — бурятскиепельмени. Они тоже крупные, а лепят их в виде юрты, даже дырочка сверху есть. Основу фарша составляют говядина и жирная свинина, лучше рубленые, и репчатый лук. В фарш, как и в хинкали, добавляют мясной бульон, а готовят буузы, как манты, на пару.

Китайскиепельмени. Ну вот, добрались мы и до них, чтобы сказать, что в Китае сотни видовпельменей всевозможных размеров с самыми разнообразными начинками, и, разумеется, у каждой разновидности свое название. Пельмени жарят, варят, парят и запекают, используют как второе блюдо и заправку для супа. На праздничном столе обязательно должно быть несколько видовпельменей.

Разумеется, рассказать о всех видах китайскихпельменей нет возможности, поэтому предоставим выбор профессионалам. Известный журналист Всеволод Овчинников, много лет проживший в Китае, приводит в своей книге «Цветы сливы» рецепт китайскихпельменей. Английская исследовательница китайской кухни Фуксия Данлоп выбрала для своей книги «Суп из акульего плавника» рецепт новогоднихпельменей по-ганьсуйски. Оказалось, что в главном оба рецепта похожи. В обоих замешивают тесто на воде без яиц (муки в два раза больше, чем воды). Ни один из авторов не упоминает о том, что его надо раскатывать тонко. Начинка состоит из мясного фарша (свинина или свинина с говядиной) с яйцом и такого же количества овощей. В одном случае это капуста, в другом — китайский редис. Овощи мелко режут, капусту солят, редис ошпаривают кипятком, потом все тщательно отжимают. Специи по вкусу. Пельмени варят, и, когда вода закипит, добавляют в нее чашку холодной воды. Эту операцию повторяют трижды, и только тогдапельмени вынимают и едят с уксусом и соевым соусом.

Равиоли. Равиоли — блюдо совсем не русское, но теперь мы его едим и называем итальянскимипельменями. Сами же итальянцы считают равиоли разновидностью пасты.

Их раскатывают из тонкого пресного теста и не защипывают, а обрезают по краям зубчатым колечком. Поэтому у настоящих равиоли непременно фигурный край, а форма может быть разной: эллипсы, полумесяцы, квадратики. Начинка бывает практически любой: мясной, рыбной, овощной и даже сладкой, как в варениках. Главная особенность равиоли заключается в том, что начинку делают из уже готовых продуктов. Мясо и рыба вареные, овощи тушеные. Вареные равиоли едят как второе блюдо, обжаренные подают к супам.

На изобретение лапши и макарон претендует Китай. Итальянцы возражают, что равиоли упоминают в итальянской литературе с начала XIII века, то есть еще до того, как Марко Поло вернулся из Китая, а при раскопках Помпеи нашли скалку, точно такую же, как те, которыми в наши дни раскатывают тесто для пасты. Китайцы, в свою очередь, гордятся горшком с просяной лапшой, которому четыре тысячи лет, — его обнаружили при раскопках у берегов Хуанхэ. Пусть спорят: многие специалисты полагают, что родина лапши и макаронных изделий находится в Персии.

Пельмень в мешке. «Чтобы приготовитьпельмени, их сначала нужно купить!» Это фраза из спектакля «Говорит и показывает ГЦТК» Государственного центрального театра кукол тогда еще не имени, а под руководством С.В.Образцова. Покупателям рекомендуется внимательно читать маркировку на упаковке. Пельмени (мясные полуфабрикаты в оболочке из теста) делятся на категории. Продукты категории А содержат более 80% мясного фарша, Б — 60—80%, В — 40—60%, Г — 20—40%, Д — менее 20%. Недостающие проценты составляют соя, вкусовые добавки и даже манная крупа. Заветные буквы нелегко найти, и за поиски стоит браться лишь в том случае, если внешний видпельменей не вызывает опасений.

Они должны быть правильной формы, с плотно заделанными краями. На срезе теста видно, какой оно толщины — чем тоньше, тем вкуснее, и не более 2 мм. Никаких трещин на нем быть не должно. Качественныепельмени гладкие и белые, не желтоватые и тем более не серые. Еслипельмени слиплись, значит, их неправильно хранили. Автор этих строк всегда смотрит на шов. Если он ровный и унылый, как по лекалу проведенный,пельмени точно невкусные. Если же они напоминают слепленные вручную, можно рискнуть. Окончательный диагноз мы поставим уже во время еды. У качественного вареногопельменя сероватый фарш, розовый цвет бывает от красителей, которых классические рецепты не предусматривают.

Н.Ручкина



ЧТО МЫ ЕДИМ





Птиба

Наталья Анискова,
Майк Гелприн



ФАНТАСТИКА

Птиба летит высоко. Несется по небу, режет хвостом облака, смахивает плавниками звезды. Не удержишь ее, не остановишь.

Первые полста лет Птиба плавает глубоко, говорят, в дальних морях, а в каких, никто не ведает. Глодает мелкую рыбешку, растет, набирает силу. С мелкой переходит на крупную, да и морским зверем не брезгует — ей по вкусу и макрель, и касатка, и морская корова дюгонь. На шестом десятке птиба выплывает повыше, и горе кораблю, что попался на ее пути. Мечется птиба по океану в поисках пищи, ближе и ближе к берегам. Полсотни лет глодает все — живое и неживое: рыбу и зверя, корабли и рыбацкие сети, брошенный балласт и затонувшие грузы...

Говорят, что на нерест птиба отправляется, когда стукнет ей ровно сотня. Отяжелевшая, не спеша плывет она вдоль берега, и, если какому смельчаку достанет ловкости, можно забросить кошку-крюк, зацепиться за плавник, подтянуть лодку и взобраться на спину. Затем птиба взлетит, поднимется ввысь и примется резать облака...

Нерестильщиками их зовут — людей лихих, отчаянных, что улетают на птибе невесь куда. Немного таких — готовых рискнуть, бросить родные места и пуститься в неведомое. Зато кто доберется до нерестилища — получит все, что когда-то проглотила птиба, и сможет жить безбедно там, в дальних краях. Иногда от некоторых везунчиков доходят письма с оказией, из мест с названиями странными, которые в северных краях и не слыхивали — Сингапур, Джакарта, Йокогама, Бомбей... А обратно, в Низинные земли, на берега Северного моря, ни один нерестильщик так и не вернулся. Да и не мудрено: в дальних теплых краях жизнь, видать, побогаче, чем на скудных рыбацких польдерах.

Фольмар сидел в лодке и теребил веревку, к которой был привязан крюк. Улла тихонько сопела на корме. Волны мерно накатывали, облизывали нос лодки. Тучи, подкрашенные закатом, ключьями свисали с неба.

Птиба здесь — Фольмар ждал ее каждый день, с тех пор как впервые увидел вскипевшую на гладкой воде пенистую волну в человеческий рост. Поначалу ждал один, потом на пару с Уллой. Когда она появилась, Фольмар не стал спрашивать, зачем пришла, лишь освободил место на кормовой банке.

— Фольмар, как ты думаешь?.. — тихонько спросила Улла и осеклась.

— Что? — Нерестильщик обернулся. Лицо Уллы тоже было подкрашено закатом — и выбившиеся из-под чепца прядки, и ломаные дуги бровей, и полупрозрачные веснушки на носу. Она сейчас казалась прекрасной, словно мадонна на фреске. Фольмар видел однажды такую, в гаагской Новой церкви — заглянул туда, когда распродал на рынке подводу сушеной рыбы.

— Как думаешь, чем сейчас занимается Мартин?

— Откуда мне знать. — Фольмар пожал плечами.

Мартин был его старшим братом, единственным, и тоже нерестильщиком — одним из немногих счастливцев, от ко-

торых доходили письма домой. Было тех писем всего пять, по одному на год — потрепанных, доставленных с оказией проезжими купцами. Адресованных Улле Ван Камп, невесте.

Бывшей невесте, злословили старухи за спиной. Брошенной. Кому нужна нищенка, сирота из рыбацкой деревни, когда в кармане не звенят монеты?

Оказалось, однако — нужна. Когда к Улле посватался старший сынок утрехтского купца-богатея, сплетники языки прикусили. Когда Улла ему отказала — распустили их вновь. Видать, порченная, шептали о ней выпивохи в таверне, подмигивали друг дружке и ухмылялись в пивные кружки. Мартин-то парень был ухватистый. Попортил небось красотку перед тем, как сгинуть на своей птибе.

Слухи слухами, а вслед за утрехтцем взять за себя гордую и статную Уллу хотели многие. И сыновья местных рыбаков, и отпрыски людей познатнее и посостоятельнее. Все получили отказ — как один.

Фольмар не сватался. На гулянья не приглашал, тюльпанов не дарил, даже в глаза не заглядывал. Он, впрочем, и так нечасто людям в глаза глядел, больше в землю. Детина здоровенный вымахал, и на работу злой, и на драку скорый, а людей чурался. Не говоря о том, что девиц.

Не сватался... А что дров сироте нарубить, крышу поправить или там отвадить кого понаглея — так то по-соседски. Можно сказать, по-родственному. Иногда Улла и монеты у крыльца находила. Немного, гульдена два-три. Удивлялась всякий раз сильно — не с неба ведь монеты валялись. Ну да мир не без чудес, людей послушать, еще и не то на свете бывает...

Поверхность моря внезапно взбухла и поднялась серым бургом.

Фольмар на мгновение замер, затем вскочил, подхватил веревку с крюком, стал раскручивать. Серая туша росла на глазах, поднималась все выше, застила небо. Улла пискнула что-то, Фольмар не разобрал. Он примерился, напрягся и, собрав силы воедино, метнул крюк.

Птиба не шелохнулась. Она косила желтым глазом величиной с доброе мельничное колесо в сторону лодки, и Фольмар уже думал, что промахнулся, как вдруг веревка дернулась, а затем и натянулась.

Птиба неспешно плыла под облаками. Внизу переливались огни большого города. Фольмару показалось, что он узнал ратушу и дом бургомистра.

— Что это там? — спросила Улла.

— Гаага, по всему, — буркнул Фольмар.

Птиба внезапно вильнула и, задрав морду вверх, пошла в облака. Улла ойкнула, уцепилась за плавник.

— Фольмар, может, она проголодалась?..

— Черт ее знает.

— Не богохульствуй! — возмутилась Улла.

Фольмар пожал плечами, встал на колени и, цепляясь за чешую, пополз к хвосту. К нему были привязаны запасы, которые он перетащил из лодки, — корм для птибы, одеяла, запасная одежда и провиант. Ухватив тук с вяленой рыбой,

Фольмар закинул его за спину и так же, на коленях, двинулся обратно. Улла сидела, нахохлившись, как воробей.

— Она нас не сожрет?

Фольмар поскреб в затылке:

— Пока не сожрала, а там черт ее знает.

Первое письмо от Мартина пришло пять лет назад. Улла к тому времени уже перестала плакать, только исхудала так, что походила на тень.

Говорилось в письме, что Мартин жив, разбогател на нересте и думает возвращаться домой — с купеческим караваном. А больше в письме не было ничего. Оно и неудивительно — Мартин неразговорчив был, а уж буквы в слова складывать и вовсе не приучен.

Внизу вновь показался город, окруженный серой крепостной стеной с зубцами и бойницами, полный башен со шпилями. На башнях развевались флаги, похожие на разноцветные лоскутки.

— Фольмар, а что бывает в птибах?

— Всякое, — пожал плечами Фольмар. — Что успела птиба глотнуть, то и находят. Говорят, Петер Ван Мей, сын хромого Конрада, сундук с золотыми монетами взял. Адриан Кастейн — алмаз достал, величиной с кулак. Эрик Хесселинк — шкатулку с пряностями нашел, только в тех краях они не стоили ни гроша.

— Врут, — убеждено хмыкнула Улла. — Не может быть, чтобы пряности — и ни гроша.

— Наверное, врут, — согласился Фольмар. — У Эрика не спросишь — где он теперь, никто не знает.

— Что же Мартин в своей нашел?

— Вот встретим его там — расскажем.

Улла подперла кулачком щеку и смотрела на Фольмара, будто хотела что-то спросить и не решалась.

Второе письмо пришло через год после первого. Писал Мартин, что трепала его лихорадка, от которой он едва не протянул ноги, но теперь оправился и присматривается к товарам. Что собирается закупить побольше и двинуться в обратный путь. Путь тот неблизкий, и на корабле плыть придется, и посуху с купеческим караваном пробираться через пустыню. Однако если Бог даст, за год управится и домой вернется с большими деньгами...

Снова птиба вильнула, двинувшись всей тушей, вправо, а потом и влево.

— Оголодала, — предположила Улла.

Фольмар двинулся к хвосту, за очередным тюком с рыбой. Там, подумав немного, прихватил одеяло и торбу с провизией.

— Боишься? — угрюмо спросил он, усевшись напротив Уллы и зубами развязав на торбе тесьму.

— Да. — Улла закуталась в одеяло до подбородка, глядела несмело. — Жутко боюсь. Сколько нам еще лететь?

— Кто знает. — Фольмар расстелил клеенку, выложил на нее снесь, откупорил флягу с водой, свинтил крышку с медного молочника. — Думаю, что, быть может, с неделю.

Новый город показался вдали и стал приближаться. Птиба спустилась ниже, замедлилась и неспешно поплыла над черепичными крышами.

— Я бы пожил в таком, — вздохнул Фольмар. — Купил бы дом с садом, разводил цветы, по вечерам прогуливался, слушал колокольный звон.

— Один? — тихо спросила Улла.

Фольмар покраснел. Не ответил.

В третьем письме говорилось, что на верфи случился

пожар и корабль, на котором собирался отплыть Мартин, сгорел. Новое судно снарядят только через полгода, а пока присматривается Мартин к торговому делу и думает, как вложить деньги с выгодой.

Фольмар помнил, как Улла смотрела то на него, то на листок бумаги, который дрожал в руках. Потом листок упал, и Фольмар бросился подбирать, нескладно бормоча что-то утешительное...

Год спустя пришло еще одно письмо, четвертое. Плыть на корабле Мартин раздумал и поступил правильно, потому что были шторма и суда, капитанам которых повезло, вернулись в гавань. А суда тех, которым не повезло, забрало море. Деньги Мартин вложил удачно и за год их обернул, увеличив капитал вдвое. На часть прибыли купил он хороший глиняный дом на берегу тихой заводи с большим садом, в котором бьет фонтан, растут диковинные цветы и деревья и поют райские птицы невиданной красоты. А еще занялся Мартин банковским делом, сулящим приличные барыши, почти без риска, и, если Бог даст, войдет в дело компаньоном. А там уж и домой вернуться можно, забрать Уллу и жить безбедно в Гааге, а то и в самом Амстердаме...

Улла по-прежнему отказывала женихам, и свататься к ней мало-помалу перестали. Частенько она заходила к Фольмару — поговорить о Мартине, прибраться, сготовить ужин. Или подсобить с починкой сетей — Улла ловко управлялась с ними, и ее, сидящую вместе с Фольмаром в путанице бечевы, легко можно было принять за жену рыбака.

Города под брюхом птибы стали появляться реже, потом их не стало вовсе. Птиба прошла над лесом, над морем и теперь плыла над огромной песчаной пустошью. Похоже, лететь ей было уже нелегко, наполненное брюхо тянуло к земле. Улла дернула Фольмара за рукав.

— Смотри!

Поодаль раскинулся город, подобного которому они еще не видали. Дома с белыми стенами и затейливыми цветными крышами, золоченые шпили и башенки, сады.

— Ох, Фольмар, какая красота! — выдохнула Улла.

Фольмар кивнул. Неизвестно, чем их встретит эта красота. И чем обернется тоже.

Птиба прошла над городом, оставила его позади, и мало-помалу он потерялся из виду. Впереди вновь была песчаная пустошь, ровная, бескрайняя.

В пятом письме, последнем, говорилось, что возвращаться Мартин раздумал. Что жизнь в стране с названием Индия намного веселее, богаче и лучше для человека, у которого есть голова на плечах. И почему бы Улле не перебраться к нему и не жить в глиняном доме у моря, в тепле и в лениности, вместо того чтобы зябнуть от холода в промозглых северных городах. А заодно и Фольмару, дело для которого здесь наверняка найдется. Как добраться до Индии, Мартин не сообщал, видимо, путь казался ему простым, удобным, трудов и затрат не требующим.

Улла, прочитав письмо, долго молчала. Молчал и Фольмар, сидел на крыльце, понурившись и уставившись неподвижным взглядом в береговую кромку. Затем поднялся.

— Что ж, ладно, — сказал он. — Чтобы зацепить птибу, нужен особый железный крюк.

— Ты что же?! — ахнула Улла. — Хочешь...

Она не договорила. Мартин кивнул, ссутулил плечи и двинулся к деревенскому кузнецу.

На рассвете сплошная лазурная полоса показалась на горизонте. Она росла, близилась, и птиба стала снижаться.

— Готовься! — крикнул Фольмар. Одной рукой он обхватил Уллу, другой вцепился в плавник.

Птиба, пройдя над берегом и тяжело дыша, так что бока ходили ходуном, вспорола мордой водную гладь и грохнулась брюхом о мелководе.

Фольмар и Улла головами вперед бросились в поднявшуюся волну и, отчаянно отмахивая гребками, принялись отплывать. Добрались до берега и, держась за руки, до полудня смотрели, как издыхает, ворочаясь на острых донных камнях, исполинская туша.

Когда мутное, бурлящее водоворотами море стало опять прозрачным и ровным, Фольмар поднялся. Скинул одежду и с разбегу нырнул. До вечера его голова то показывалась над водой, то исчезала под ней вновь. Нырять он и весь следующий день — от рассвета до заката.

— Это всё? — тихо спросила Улла, разглядывая пять разложенных на берегу тусклых, щербатых монет.

— Всё, — Фольмар, скрестив ноги, сел, замер недвижно. — Еще гнилые доски, рваные сети, обломки и разный хлам. Ну, и икра. Целые горы икры.

— Что же мы станем теперь делать?

— Выбора нет, — Фольмар криво усмехнулся. — Доберемся до какого-нибудь города. Попробуем продать монеты на рынке. И будем искать Мартина.

— Где мы его будем искать?

— Не знаю.

— Мартин-голландец? — переспросил представитель британской торговой компании. — Знаю, конечно, человек известный. Живет в Мадрасе, у него там дела с недвижимостью и оптовой торговлей. Потом...

— Как добраться до Мадраса? — перебил Фольмар.

— Непросто. Но если есть деньги, добраться можно куда угодно.

— Есть несколько старинных монет. — Мартин выложил на стол улов с нереста.

Британец, вставив в глаз монокль, внимательно осмотрел монеты, попробовал на зуб каждую, поскреб ногтем.

— Цехины, — заключил он. — Продать, насколько я понимаю, надо срочно?

Фольмар кивнул.

— Что ж, я куплю. На дорогу до Мадраса вам хватит.

— Вот этот дом, сагиб.

Провожатый в чалме поклонился, отступил в сторону. Фольмар, скрестив на груди руки, с минуту рассматривал огороженный цветастым кустарником белый нарядный дом. Украшенный лепниной по стенам, с вычурной кремовой крышей — почти дворец. Затем решительно направился к чугунным резным воротам.

— Здесь ли живет Мартин-голландец? — угрюмо спросил он выбежавшего из дома на звон колокольчика мальчишку в чалме.

Тот, потоптавшись, умчался, но вскоре вернулся, сопровождаемый русоволосой молодой женщиной — стройной, белокожей, настоящей красавицей.

— Вы ищете моего мужа? — спросила она по-фламандски.

— Могу я осведомиться, по какому делу?

Фольмар сглотнул, закашлялся, с трудом перевел дух.

— Я ищу человека по имени Мартин Ван Клоост, — сказал он. — Его в этих краях называют Мартин-голландец.

— Это мой муж, — улыбнулась русоволосая красавица. — Его сейчас нет, он с детьми на морской прогулке, должен вернуться к вечеру. Что ему передать?

Фольмар попятился.

— Ничего, — буркнул он. — Не надо передавать. Я приду завтра.



ФАНТАСТИКА

Улла ждала там, где Фольмар ее оставил, — в тени раскидистого придорожного дерева.

— Я нашел Мартина-голландца, — сказал Фольмар, глядя Улле в глаза. — Но мы обознались. Это другой человек, я с ним не знаком.

— Я так и знала. — Улла невесело улыбнулась.

— Как знала? — оторопел Фольмар. — Откуда?

— Да так. Расскажешь мне об этом другом человеке.

— Он голландец и женат на красавице-нидерландке, у них по меньшей мере двое детей. У него прекрасный дом, с садом и со слугами. Но какая разница — этот человек не мой брат и не твой жених. И письма писал не он.

— Я знаю, кто их писал, Фольмар. Хотя до сих пор не вполне понимаю зачем.

Фольмар отступил на шаг, споткнулся и едва не упал.

— Откуда ты знаешь? — прошептал он.

— Догадалась. Твой брат — решительный человек. Он не стал бы строить долгие планы и потом их менять — то одно, то другое. Я думаю, что он действительно написал мне. Один раз, только письмо его не дошло.

Фольмар опустил голову. Письмо, что Мартин написал Улле, дошло. Фольмар перехватил его, прочитал и уничтожил. Всего шесть слов: «Я не вернусь. Прости меня. Мартин».

— Я д-думал, — запинаясь, проговорил Фольмар, — я думал, т-ты не согласишься. Будешь ждать его, несмотря ни на что. Я знал, что он не станет больше писать. И писал за него. Ты поэтому отказывала женихам, и я думал, что, может быть, настанет день...

— День, когда ты решишься посвататься сам, так?

Фольмар понурился и проговорил тихо:

— Ты отказала бы мне так же, как остальным. Пока была надежда, что Мартин вернется, отказала бы. Я не знаю, что стал бы тогда делать.

Улла молча смотрела на него. Долго, потом сказала:

— Ты решил, что стоит преодолеть полмира для того, чтобы я смогла убедиться?

Фольмар не ответил. Он мог бы добавить, что рассчитывал разбогатеть. Но не стал говорить — деньги сейчас не значили ничего. Их птиба оказалась пустой. Что с того — не всем же быть везунчиками, как Мартину!

— Что ж, я убедилась в том, что знала уже давно, — грустно сказала Улла. — Мартин бросил меня. Что дальше? Говорят, за океанами есть еще более дальние страны. Найдем новую птибу и полетим туда? Тебе необходимы еще две-три неудачи, чтобы...

— Чтобы — что? — выдохнул Фольмар.

Улла улыбнулась невесело:

— Чтобы наконец понять, почему я отказывала всем, кто хотел взять меня в жены. Додуматься, почему я полетела с тобой. И решиться на слова, которые мог бы сказать годы назад. Без всякой птибы.



Фимбулвинтер. Пленники бирюзы



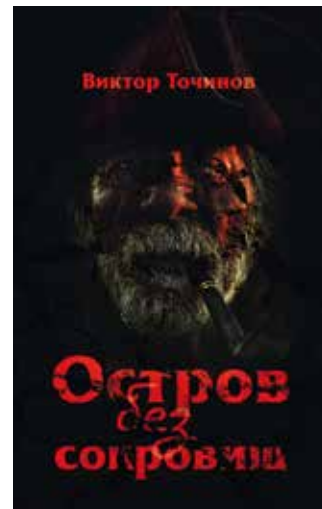
Юлиана
Лебединская,
Елена Крас-
носельская,
Игорь
Вереснев,
Николай
Немытов,
Олег Силин,
Юлия Скуркис

Земля — Паладос



Михаил
Костин,
Алексей
Гравицкий

Остров без сокровищ



Виктор
Точинов

Серьезное коллективное творчество — не такая уж редкость в нашей фантастике. Вспомним хотя бы «Пентакль» Олди, Дяченко и Валентинова или недавно вышедший «Кетополис». Книга, которую вы держите в руках, — плод совместных усилий дерзкой команды литературного семинара «Партенит». Некоторые из авторов уже имеют сольные книги, иные успели отметиться только рассказами и повестями в сборниках. А всему виной — Андрей Валентинов, сподвигший их на эту авантюру!

Кто такой лифтер? Нет, не тот, о ком вы подумали. Лифтеры — смотрители межпространственных тоннелей, они же техники. Однако их все меньше, а беспечное человечество будущего привыкло жить, не думая о завтрашнем дне. Но завтрашний день не забыл о человечестве.

Вот уже сотни тысяч лет корабли Земли бороздят просторы космоса. Человечество выросло, вышло за пределы Солнечной системы, вступило в контакт с внеземными цивилизациями, выиграло кровопролитную войну с призраками — представителями загадочной негуманоидной расы.

Однако борьба не окончена: время от времени призраки снова напоминают о своем существовании, тогда на помощь приходит Церковь Света — в это верит каждый. А вот кто поможет потерявшему веру священнику-следователю Церкви Света? Быть может, коллега по несчастью?

Брат Габриель усомнился в догматах святой обители, брат Исаак никогда в них не верил, да и священником-следователем быть не хотел. Но какая разница, кто ты и во что веришь, когда нужно спасти мир?

История о закопанных на далеком Острове сокровищах пирата Фланта знакома всем: кто не читал знаменитый роман Роберта Льюиса Стивенсона, тот хотя бы видел одну из многочисленных экранизаций... Все сопереживали героям в их приключениях и с замиранием сердца следили за отчаянными схватками, и радовались, когда честь и мужество одержали верх над низостью и предательством, и...

И ошибались.

Потому что все приключения на Острове Сокровищ происходили совсем не так, как в истории, рассказанной Джимом Хокинсом, сыном трактирщика. Новое и неожиданное прочтение классической книги — в романе-расследовании Виктора Точинова «Остров без сокровищ».

Подробности на сайте <http://skomm.ru/>

О подписке

Напоминаем, что на наш журнал с любого номера можно подписаться в редакции. Стоимость подписки на первое полугодие 2014 года с доставкой по РФ — 810 рублей, при получении в редакции — 540 рублей.

Об электронных платежах см. www.hij.ru.

Справки по телефону (495) 722-09-46.

Реквизиты:

Получатель платежа: АНО Центр «НаукаПресс»,
ИНН/КПП 7701325151/770101001

Банк: АКБ «РосЕвроБанк» (ОАО) г.Москва,
Номер счета: № 40703810801000070802,
к/с 30101810800000000777, БИК 044585777

Назначение платежа: подписка на журнал
«Химия и жизнь—XXI век»

Об архиве

Архив «Химии и жизни» за 45 лет — это более 50 000 страниц, рассказывающих о науке, о том, как ее делают, кто ее делает и зачем, а также антология фантастики и собрание великолепных рисунков. Стоимость — 1350 рублей с учетом доставки.



Московский Дом Книги

СЕТЬ МАГАЗИНОВ



КНИГИ

Джеймс Уотсон
Двойная спираль
АСТ, 2013



Прошли десятилетия, а научное достижение Уотсона и его коллег не только не утратило актуальности, но и помогает совершать все новые и новые открытия. Ведь теперь ученые всерьез рассуждают о клонировании и лечении заболеваний на генном уровне. Разве такое было бы возможно без Уотсона, Крика и Уилкинса?

Ник Лейн
Лестница жизни: десять величайших изобретений эволюции
АСТ, 2013



Как возникла жизнь? Откуда взялась ДНК? Почему мы умираем? В последние десятилетия ученые смогли пролить свет на эти и другие вопросы происхождения жизни. Известный английский биохимик реконструирует историю всего живого, описывая лучшие «изобретения» эволюции..

Дмитрий Жуков
Стой, кто ведет? Биология поведения человека и других зверей (в 2 т.)
Альпина нон-фикшн, 2014



Автор рассказывает о стрессе, депрессии, ритмах жизнедеятельности, психологических типах и половых различиях, гормонах и обонянии в социальном поведении, питании и психике, гомосексуализме, видах родительского поведения и многом другом

Роджер Пенроуз
Циклы времени. Новый взгляд на эволюцию Вселенной
Бином. Лаборатория знаний, 2013



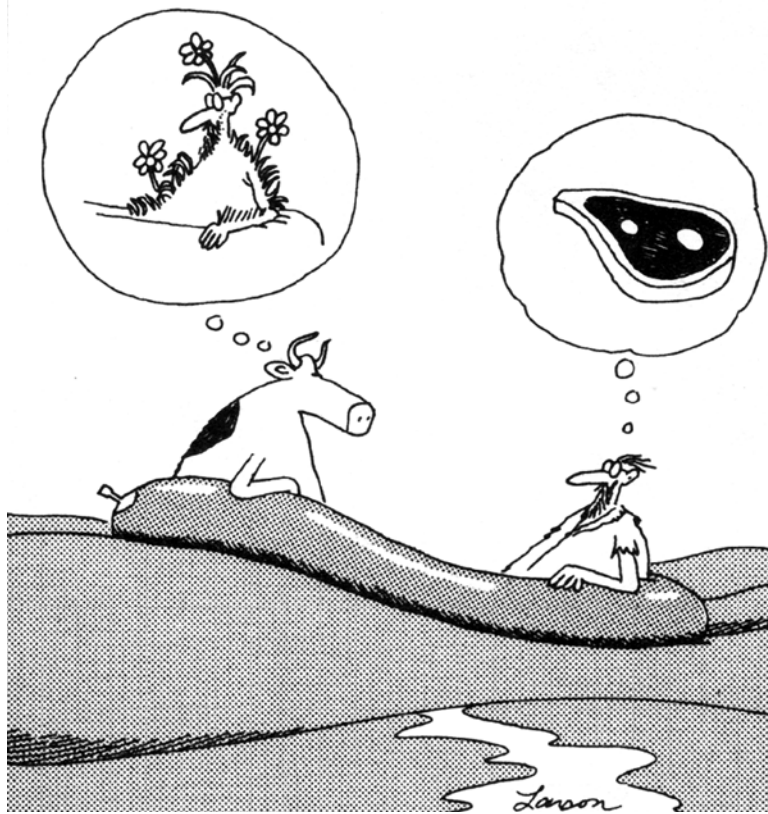
Роджер Пенроуз, крупнейший математик и физик-теоретик, популяризатор науки, коллега и соавтор легендарного Стивена Хокинга, продолжает развивать свои новые космологические идеи и дает неожиданный ответ на вопрос о том, что предшествовало Большому взрыву..

Джессика Снайдер Сакс
Микробы хорошие и плохие. Наше здоровье и выживание в мире бактерий
АСТ, 2013



Улучшение санитарных условий и появление антибиотиков резко увеличили продолжительность жизни людей. Но при этом нарушилось тонкое, вековое равновесие, сложившееся между микроорганизмами, живущими внутри нас, и окружающей средой. Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам стала одной из самых серьезных медицинских проблем нашего времени. Книга «Микробы хорошие и плохие» посвящена не только этой проблеме, но и так называемой гигиенической гипотезе, согласно которой нынешний всплеск иммунных и других заболеваний вызван нашей чрезмерной заботой о чистоте. Ведь человеческий организм живет в симбиозе с населяющими его микробами, которых в девять раз больше, чем наших собственных клеток. Автор книги выражает надежду, что люди научатся создавать и использовать антибиотики более разумно, и более того, когда-нибудь заменят противобактериальные средства бактериальными, каждое из которых будет специально разработано для конкретного случая.

Эти книги можно приобрести в Московском доме книги.
Адрес: Москва, Новый Арбат, 8,
тел. (495) 789-35-91
Интернет-магазин: www.mdk-arbat.ru



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Живопись или гравюра?

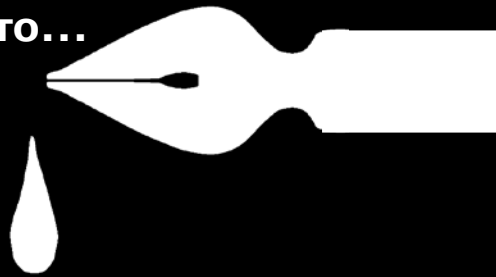
Черно-белая фотография — не просто колыбель фотоискусства или эпоха в его развитии. Как считают многие, это истинное дао, подлинное мастерство светописа, не чета нынешней глупой пестроте. Цветные изображения, полученные современными цифровыми камерами, превращают в черно-белые — так гораздо лучше, уверяют специалисты, и зрители соглашаются: действительно лучше. А какое негодование вызывают попытки раскрасить на компьютере старые киноленты или рисунки Туве Янссон к ее историям о Муми-тролле! Все не так, все испортили, зачем было трогать?! Сила привычки, консерватизм, отбиваются труженики фотошопа. Но только ли консерватизм виноват?

Вероятно, нет. Михаэль Баннерт и Андреас Бартельс из Бернштейновского центра вместе с Вернером Рейхардтом из Центра интегративных нейронаук в Тюбингене (Германия) показывали добровольцам черно-белые фотографии объектов, которые ассоциируются с одним определенным цветом: всем известно, что банан желтый, клубника красная, а капуста брокколи зеленая (агентство Alpha Galileo, 31 октября 2013 года, результаты исследования опубликованы в «Current Biology»). При этом записывали функциональную активность мозга. Испытуемым не сказали, что опыты связаны с цветом объектов, их просили сообщать, в каком направлении движется картинка. Затем им предъявляли изображения колец, окрашенные в те же яркие цвета, и снова фиксировали активность мозга у тех же людей. Оказалось, что рассматривание черно-белого объекта, для которого характерен определенный цвет, вызывает появление того же паттерна мозговой активности, что и наблюдение этого цвета в реальности. Мозг самостоятельно раскрашивает черно-белую картинку.

Эти результаты имеют практическое значение — они помогают понять, как влияет предварительное знание на восприятие новых объектов. А кроме того — за что эстеты ценят черно-белые изображения. Творческая активность мозга, дополняющего увиденный образ, — один из самых приятных и полезных видов умственной деятельности, и человечеству не стоит лишать себя этого удовольствия.

Е. Сизикова

Пишут, что...



...вероятно, крупные метеориты, подобные челябинскому, попадая в атмосферу Земли, вызывают возмущения во всей толще атмосферы, а не только в области его вторжения («Астрономический вестник», 2013, 47, 4, 304—311)...

...мотивы создания космодрома «Восточный» носят явно политический характер и слабо соотносятся с реальными задачами космической деятельности («Вестник РАН», 2013, 83, 9, 799—806)...

...по абсолютным величинам выбросов различных загрязнителей Россия занимает от четвертого до восьмого места в мире, при этом лидируя и по производству загрязнителей на единицу ВВП («Проблемы региональной экологии», 2013, 2, 66—68)...

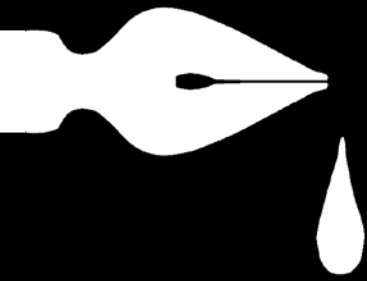
...«гипотеза Геи» Джеймса Лавлока, согласно которой биосфера ведет себя как живой организм, поддерживая на Земле условия, подходящие для жизни, к сожалению, неверна («New Scientist», 2013, 2940, 5 и 30—31)...

...найлены сигнальные пути, на которые нужно воздействовать при первичной недостаточности яичников, приводящей к ранней менопаузе, а также, возможно, при некоторых других видах бесплодия; описан случай рождения здорового ребенка («Proceedings of the National Academy of Sciences USA», 2013, 110, 43, 17474—17479)...

...масла корицы и лаванды нарушают деление клеток золотистого стафилококка («Прикладная биохимия и микробиология», 2013, 49, 5, 476—480)...

...далеко не все дрожжи рода *Saccharomyces* имеют культурное происхождение; кроме пекарских, винных и проч. есть еще «дикие» дрожжи, обитающие на деревьях, в почве и желудках насекомых, которые могут представлять селекционную ценность («Микробиология», 2013, 82, 4, 387—394)...

...существуют белки, которые связываются с мембраной клетки только тогда, когда она изогнута определенным образом («Trends in Cell Biology», 2013, 23, 2, 47—53)...



...крысята линий, селекционированных на высокий уровень агрессии, проявляют ее к человеку уже в возрасте 15 дней («Журнал высшей нервной деятельности», 2013, 63, 4, 479—485)...

...антиоксидант SkQ1, известный как «ион Скулачева», способствует формированию растений из культивируемой недифференцируемой ткани кукурузы, пшеницы, сахарного тростника, люцерны («Физиология растений», 2013, 60, 5, 747—753)...

...экспериментально показано, что во время сна мозг очищается от побочных продуктов активности нервной ткани, накопившихся во время бодрствования («Science», 2013, 342, 6156, 373—377)...

...найденные в городище Рославль обломки горшка с дарственной надписью и закланием в адрес возможных похитителей могут расцениваться как свидетельство массовой грамотности населения даже в небольших городах накануне Батыева нашествия («Российская археология», 2013, 3, 134—145)...

...исследованы останки участвовавших в Бородинском сражении лошадей из обнаруженного в 2010 году санитарного захоронения; впервые в руки ученых попали скелеты лошадей XIX века в столь хорошей сохранности («Зоологический журнал», 2013, 92, 9, 1162—1178)...

...возможно, перед сильными землетрясениями дают о себе знать гипотетические сейсмогенные токи, возникающие между тектоническими разломами и ионосферой («Химическая физика», 2013, 32, 9, 9—13)...

...после воздействия сильной магнитной бури в течение суток предличинки плотвы вылупляются гораздо интенсивнее, а спустя год эти рыбешки меньше и легче нормы, разнообразие числа позвонков в разных отделах позвоночника у них сокращается («Журнал общей биологии», 2013, 74, 5, 354—365)...

...не исключено, что тираннозавры были покрыты не чешуей, а перьями или пухом («Nature», 2013, 502, 7472, 424—426)...



КОРОТКИЕ ЗАМЕТКИ

Любовь или общение?

«Мне говорят — он маленького роста, мне говорят — одет он слишком просто... А он мне нравится, нравится, нравится, и для меня на свете друга лучше нет», — пела когда-то Анна Герман. Но ведь с точки зрения полового отбора это вроде бы плохая стратегия — быть незаметным и скромным! Бывают ли в природе ситуации, когда девушкам нравятся такие парни? И в каком смысле «нравятся»?

Это выясняли Керстин Тонхаузер и ее коллеги из Института Конрада Лоренца в венском Университете ветеринарной медицины (агентство Alpha Galileo, 31 октября 2013 года, результаты опубликованы в «Journal of Animal Behaviour»). У самцов мышей, как и у многих млекопитающих, аналог павлиньего хвоста или широких плеч — пахучие метки. Чем больше этих меток, чем интереснее хозяин территории для самок: вероятно, он сильный, раз у него хватает времени и энергии на эту деятельность, и хищников привлечь не боится. И наоборот, метки больных, ослабленных самцов менее заметны и менее привлекательны.

Эксперимент организовали следующим образом. Самцов посадили в клетки, на пол которых положили кусочки ПВХ-пленки. Таким образом исследователи могли регулировать интенсивность мечения — если подкинуть одному из самцов кусок ПВХ из соседней клетки, он решит, что кто-то претендует на его владения, и предпримет дополнительные меры, чтобы защитить их. Самцов свободно посещали самки. Затем методом генетического анализа проверяли, у кого получилось больше потомков. Как ни странно, такого прямого эксперимента до сих пор никто не поставил.

Результат был ожидаемым: тот мышиный мужчина, который из-за хитрости ученых метит свою территорию энергичнее, становится отцом большего количества мышат. А удивительно другое: по результатам наблюдений, самки предпочитали проводить время в гостях у более скромных соседей этих «мачо». Может, и правильно мужчина бывает недоволен, когда женщина говорит о дружбе или симпатии, а не о любви?

С.Воронина



Фердинанд Тиман и синтез душистых веществ

С.В.АКИШИНУ, Самара: *Если вы абсолютно уверены, что на вашем пластике нигде нет маркировки, определить тип полимера можно с помощью пробы на горение; таблицу признаков посылаем почтой, подробности нетрудно найти в Сети.*

Л.Н.КАЗАКОВОЙ, Москва: *Перманентный маркер, который не смывается с пластмассы спиртосодержащей жидкостью, можно попробовать удалить бензолом или ацетоном; если надписей много и невоспитанные люди их регулярно возобновляют, возможно, проще купить специальное средство для смывки граффити.*

Марине, электронная почта: *Перламутровая декоративная косметика обычно содержит измельченную слюду; вреда для кожи от нее нет, как, впрочем, и пользы.*

А.Н.БАТУРИНУ, Томск: *Историю, изложенную в старом номере «Вокруг света», о происхождении слова «вазелин» от ваз, в которые его якобы расфасовывали, словари не подтверждают; по общепринятой версии, это название образовано от немецкого Wasser — вода и греческого ελαιον — оливковое масло.*

С.Т., Ижевск: *При дурном запахе из стиральной машины, если не помогает очистка фильтра, первая рекомендация — один цикл на максимальной температуре без отжима; нагрев до 90 градусов микрофлоре точно не понравится.*

М.С.СЕДЫХ, Санкт-Петербург: *Шамбала как пряность — это пажитник сенной, или фенугрек, Trigonella foenic-graecum; его антидиабетическое действие подтверждено научными исследованиями; более душистый пажитник голубой, или ицхо-сунели, — другой вид.*

Г.П.БОНДАРЕНКО, Тверь: *Чтобы опарыши для рыбалки были цветными, их кормят жирорастворимыми пищевыми красителями; едва ли это вредно для рыбы и рыбаков, а червяку беспокоиться о здоровье в любом случае поздно; о том, как влияет подкраска на клев, бытуют разные мнения, но цветное зрение у рыб есть — это факт.*

Л.Л., электронная почта: *Ваш сетевой собеседник, видимо, любит пошутить, а «метилкарбинол» — это этиловый спирт, поскольку карбинол — то же, что метанол.*

Вторая половина XIX века — время взлета органического синтеза. Сбылась мечта Германа Кольбе — «собирать искусственным путем самые главные составные части растительного мира из фрагментов, имеющих к ним отдаленное отношение». В 1845 году это выглядело утопией, хотя еще в 1828 году Фридрих Вёлер получил мочевины изомеризацией неорганической соли — цианата аммония. Однако многие полагали, что существует некая «жизненная сила» и что все природные соединения образуются только в растительных и животных организмах.

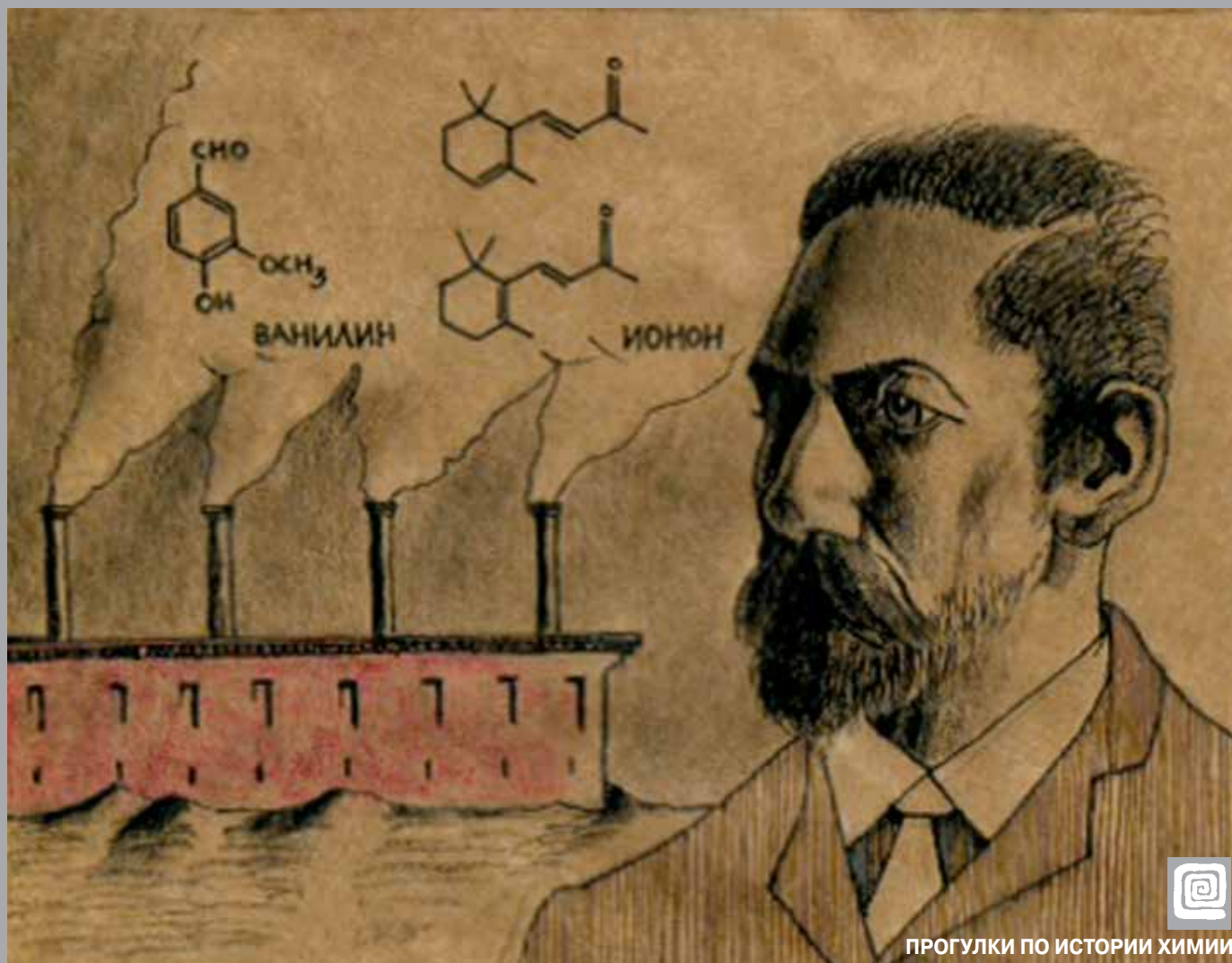
В 1854 году Марселен Бертло синтезировал этиловый спирт и аналоги природных жиров, затем последовали синтезы пропана, метана, ацетилена и муравьиной кислоты. Разработка теории органических соединений, успехи в области аналитической и физической химии, появление хорошо оборудованных лабораторий, подготовка большого количества высококвалифицированных химиков, а главное — потребности промышленности привели к тому, что химики научились разбирать сложные молекулы на составные части и соединять их в иной последовательности, заменять в молекуле отдельные фрагменты другими. Один за другим появлялись новые методы синтеза углеводородов и органических кислот, альдегидов и кетонов, спиртов и эфиров. Многие из разработанных методов нашли практическое применение, и многие сотни реакций носят имена создателей этих методов; есть среди них и реакции Кольбе и Бертло. А три реакции носят имя героя этого очерка Тимана.

Немецкий химик Иоганн Карл Вильгельм Фердинанд Тиман (1848—1899) изучал химию и фармацию в Брауншвейгском технологическом университете. В 1869 году он переехал в Берлин и стал работать у знаменитого профессора Берлинского университета Августа Вильгельма фон Гофмана. Начав с должности его ассистента, в 1878 году он стал приват-доцентом, в 1882 году — экстраординарным профессором. С этого года в течение 15 лет Тиман был редактором самого знаменитого немецкого химического журнала — «Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft» («Доклады Немецкого химического общества»), который основал Гофман. В 1877 году он стал родственником знаменитого химика: его младшая сестра Берта вышла за Гофмана замуж.

Имя Тимана связано с химией душистых веществ. В 1816 году из стручков ванили было выделено кристаллическое вещество с приятным запахом, которое назвали ванилином. Его строение было установлено в 1862 году, оказалось, что ванилин — производное бензальдегида, в молекуле которого помимо альдегидной содержатся ОН- и ОСН₃-группы. Синтезировали его в 1874 году Тиман и его коллега Вильгельм Хаарман — окислением хромовой кислотой кониферина, выделенного из озонгена (он содержится в сосновой коре). Через год Хаарман в маленьком городке Гольцминдене в Брауншвейге основал фабрику, производящую ванилин из кониферина; это было первое в мире масштабное промышленное производство синтетического душистого вещества. До того ванилин был так дорог, что продавцы запирали его на ночь в сейфы. Первый синтетический ванилин тоже был недешев: 250 долларов за фунт, причем доллар тех времен содержал 1,5046 г золота.

В 1876 году Тиман и его коллега Карл Людвиг Реймер, работая в лаборатории Гофмана, подробно изучили открытую Реймером реакцию, которая позволяла вводить альдегидную группу в орто-положение фенолов при нагревании их с хлороформом в присутствии щелочи (реакция Тимана — Реймера). На основе этой реакции Тиман и Реймер получили ванилин обработкой гваякола хлороформом и гидроксидом натрия. Гваякол был доступен, так как содержится в продуктах сухой перегонки древесины. Усовершенствование методики синтеза позволило снизить цену на ванилин более чем в 50 раз.

Ныне ванилин и его производные получают из отходов производства целлюлозы и используют в пищевой промышленности и парфюмерии. Это одно из веществ, к которым нос человека наиболее чувствителен: одного



ПРОГУЛКИ ПО ИСТОРИИ ХИМИИ

миллиграмма этого вещества достаточно, чтобы в любой точке огромного концертного зала можно было уловить его запах.

С реакцией Тимана — Реймера связана уникальная история: над этой реакцией в лаборатории Гофмана работал еще один химик, и звали его также Карл Людвиг Реймер. Чтобы их различали, они подписывали публикации так: старший (1845—1883) — K.Reimer, младший (1856—1921) — K.L.Reimer. В одной из статей Тимана и К.Реймера среди тех, кого они благодарят, есть «Reimer II». Двух Реймеров путают, в ряде статей и даже учебников упоминается не тот Реймер. А в книге Эдварда Хельта «История органической химии с древнейших времен до современности», изданной в Брауншвейге в 1916 году, в качестве дат жизни Реймера указано 1856—1883. Реймеру-старшему не повезло: в 1866 году, во время прусско-австрийской войны, он был призван в армию и там подхватил какую-то инфекцию, от которой так окончательно и не оправился. Младший Реймер в 1878 году сменил тему своих исследований, переключившись на промышленную химию — получение поташа.

Ободренный синтезом ванилина, Тиман решил синтезировать вещество, придающее запах фиалкам. Фиалковое масло продавалось тогда по неслыханной цене — несколько тысяч тогдашних долларов за фунт. Чтобы получить фунт лепестков, надо было оборвать 2 тысячи цветков, а для получения фунта фиалкового масла требовалось 15 тонн лепестков. Однако вначале надо было изучить состав фиалкового масла, а на его покупку денег не было: это сейчас химику для анализа достаточно крошечной капельки, а тогда работали с десятками граммов.

Тиман решил найти аналог фиалковому маслу. По запаху фиалку напоминает относительно недорогое эфирное масло

из корневищ ириса, которые называют «фиалковым корнем». Тиман сумел выделить из них соединение, которое он назвал ироном (современное название 6-метилюнон, от греч. *ion* — фиалка). Известны три изомера ирона, отличающиеся положением двойной связи в кольце. В масле фиалкового корня ирона содержится от 10 до 15%. Изучив химические свойства нового вещества, Тиман предложил для него структурную формулу. Из нее следовало, что ирон можно получить искусственно, соединив молекулы цитраля и ацетона. Но когда этот синтез был осуществлен, оказалось, что запах продукта не имел ничего общего с ожидаемым. Предложенная Тиманом структура оказалась неверной: в молекуле ирона имеется шестичленное углеродное кольцо, тогда как Тиман считал, что углерод образует линейную цепочку, — потому он и взял в качестве исходного компонента цитраль с линейной цепью. Кроме того, ирон содержит соединенную с кольцом дополнительную метильную группу CH_3 , которой не было в структуре Тимана. Полученное вещество назвали псевдоиононом.

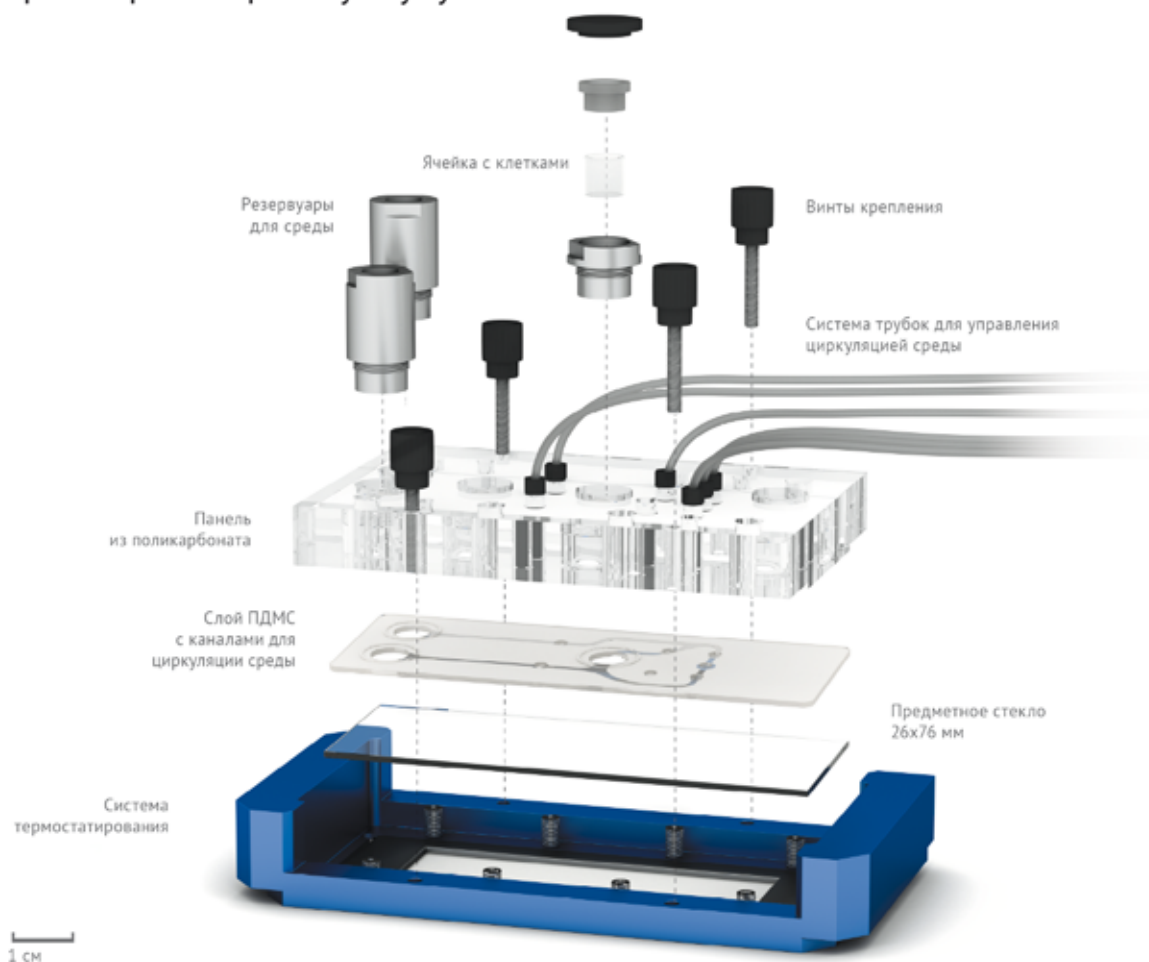
Как гласит легенда (а у химиков таких легенд множество), Тиман выбросил продукт неудачного синтеза и попросил ассистента вымыть колбу с остатками вещества. Тот ополоснул колбу соляной кислотой, и лабораторию наполнил восхитительный запах фиалок! Сейчас хорошо известно, что под действием кислот молекулы псевдоионона замыкаются в цикл, образуя настоящий ионон.

Тиман известен также синтезом кофеина, выяснением структуры глюкозамина и детальным изучением терпенов. В его честь назван редкий минерал тиманит HgSe .

И.А.Леенсон

Homunculus

Микробиореактор Гомункулус



Микробиореактор «Homunculus» — биотехнологическая платформа для получения упрощенных клеточных моделей органов и тканей человека. Обеспечивает длительное совместное культивирование до 6 различных типов клеток в условиях циркуляции клеточной среды, имитирующей кровотока. Возможно культивирование стандартизованных перевиваемых клеточных линий и первичных культур, полученных из биопсийного материала, взятого у конкретного пациента.

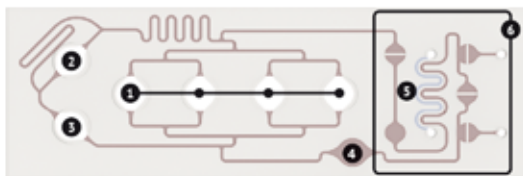
«Homunculus» реализует концепцию «Человек-на-чипе», предоставляя уникальную возможность изучать системный ответ организма человека на различные воздействия, проводя исследования *in vitro*. Нивелирует недостатки экспериментов на лабораторных животных и изолированных клеточных культурах, объединяя их преимущества.

Обладает широкими возможностями управления и мониторинга процесса культивирования: обеспечивает стабильность функционального статуса клеток, возможность мониторинга их жизнеспособности, автоматизированное управление условиями культивирования, архивирование основных параметров эксперимента.

«Homunculus» предназначен для:

- проведения доклинических исследований лекарственных средств;
- разработки индивидуальных схем медикаментозной терапии;
- разработки и оценки безопасности клеточных технологий;
- оценки безопасности наночастиц и наноматериалов;
- промышленного экологического мониторинга;
- фундаментальных и прикладных медико-биологических научных исследований.

Устройство исследовательского чипа для тестирования веществ, предназначенных для перорального применения.



Органы мишени (1), модель кишечника (2), модель печени (3).
Расширительная камера (4), канал CO₂ (5), клапаны насоса (6)